

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5619829号
(P5619829)

(45) 発行日 平成26年11月5日 (2014. 11. 5)

(24) 登録日 平成26年9月26日 (2014. 9. 26)

(51) Int. Cl.	F 1
G 0 2 F 1/061 (2006.01)	G 0 2 F 1/061 5 0 2
G 0 2 F 1/13 (2006.01)	G 0 2 F 1/061 5 0 3
	G 0 2 F 1/13 5 0 5

請求項の数 12 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2012-160894 (P2012-160894)	(73) 特許権者	000005290
(22) 出願日	平成24年7月19日 (2012. 7. 19)		古河電気工業株式会社
(65) 公開番号	特開2014-21338 (P2014-21338A)		東京都千代田区丸の内二丁目2番3号
(43) 公開日	平成26年2月3日 (2014. 2. 3)	(74) 代理人	100089118
審査請求日	平成26年3月13日 (2014. 3. 13)		弁理士 酒井 宏明
早期審査対象出願		(74) 代理人	100142712
			弁理士 田代 至男
		(72) 発明者	河原 亮
			東京都千代田区丸の内2丁目2番3号 古河電気工業株式会社内
		審査官	林 祥恵
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 光信号選択装置の制御方法および光信号選択装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の光ファイバが所定のスイッチ方向に沿って配列した入出力光ファイバアレイと、前記入出力光ファイバアレイから入力された光信号を前記スイッチ方向と略垂直の方向に分光する波長分光器と、

前記スイッチ方向と前記分光方向とに2次元状に配列された、液晶素子である位相変調素子を有し、前記分光された光信号が入射され、前記入射された光信号を回折させる位相変調素子アレイと、

を備え、前記位相変調素子アレイに対して、前記スイッチ方向に沿って配列した前記位相変調素子の列に、前記光信号を回折させるための線形の位相変調を印加する光選択装置の制御方法であって、

所定の位相変調素子に印加する前記位相変調として、各位相変調素子間に相互作用が無い場合に印加すべき基準位相変調に、当該基準位相変調を印加したことにより発生する前記所定の位相変調素子と他の位相変調素子との相互作用の影響を減殺する補正を加えた位相変調を印加することを特徴とする光信号選択装置の制御方法。

【請求項 2】

前記他の位相変調素子は、前記所定の位相変調素子に対して前記スイッチ方向に沿って配列した位相変調素子であることを特徴とする請求項 1 に記載の光信号選択装置の制御方法。

【請求項 3】

10

20

前記他の位相変調素子は、前記所定の位相変調素子に対して前記分光方向に沿って配列した位相変調素子であることを特徴とする請求項 1 に記載の光信号選択装置の制御方法。

【請求項 4】

前記補正は、前記所定の位相変調素子に隣接する他の位相変調素子との相互作用の影響を補正することを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれか一つに記載の光信号選択装置の制御方法。

【請求項 5】

前記スイッチ方向に沿って印加する位相変調が折り返される領域に位置する位相変調素子に印加する位相変調に対して、前記補正を行うことを特徴とする請求項 2 に記載の光信号選択装置の制御方法。

【請求項 6】

前記補正を前記光信号の波長に応じて変更することを特徴とする請求項 1 ～ 5 のいずれか一つに記載の光信号選択装置の制御方法。

【請求項 7】

複数の光ファイバが所定のスイッチ方向に沿って配列した入出力光ファイバアレイと、
前記入出力光ファイバアレイから入力された光信号を前記スイッチ方向と略垂直の方向に分光する波長分光器と、

前記スイッチ方向と前記分光方向とに 2 次元状に配列された、液晶素子である位相変調素子を有し、前記分光された光信号が入射され、前記入射された光信号を回折させる位相変調素子アレイと、

前記位相変調素子アレイに対して、前記スイッチ方向に沿って配列した前記位相変調素子の列に、前記光信号を回折させるための線形の位相変調を印加する際に、所定の位相変調素子に印加する前記位相変調として、各位相変調素子間に相互作用が無い場合に印加すべき基準位相変調に、当該基準位相変調を印加したことにより発生する前記所定の位相変調素子と他の位相変調素子との相互作用の影響を減殺する補正を加えた位相変調を印加する制御部と、

を備えることを特徴とする光信号選択装置。

【請求項 8】

前記他の位相変調素子は、前記所定の位相変調素子に対して前記スイッチ方向に沿って配列した位相変調素子であることを特徴とする請求項 7 に記載の光信号選択装置。

【請求項 9】

前記他の位相変調素子は、前記所定の位相変調素子に対して前記スイッチ方向とは垂直の分光方向に沿って配列した位相変調素子であることを特徴とする請求項 7 に記載の光信号選択装置。

【請求項 10】

前記補正は、前記所定の位相変調素子に隣接する他の位相変調素子からの影響を補正することを特徴とする請求項 7 ～ 9 のいずれか一つに記載の光信号選択装置。

【請求項 11】

前記スイッチ方向に沿って印加する位相変調が折り返される領域に位置する位相変調素子に印加する位相変調に対して、前記補正を行うことを特徴とする請求項 8 に記載の光信号選択装置。

【請求項 12】

前記補正は前記光信号の波長に応じて変更されることを特徴とする請求項 7 ～ 11 のいずれか一つに記載の光信号選択装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光信号選択装置の制御方法および光信号選択装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

10

20

30

40

50

波長分割多重（WDM：Wavelength Division Multiplexing）方式を適用した光ネットワークにおいては、より柔軟なネットワークを構成するために、光信号の経路を電気信号に変換せずに光信号のまま切り替えを行う、光信号選択装置の重要性が高まっている。上記のような光信号選択装置として、例えば反射型位相変調器を使用した装置が提案されている。反射型位相変調器としては、位相変調素子である反射型液晶素子を２次元状に配列した位相変調素子アレイ（例えばLCO S:Liquid Crystal on Siliconなど）があり、光学特性や拡張性などの面から有力な方式として考えられている（特許文献１参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

10

【０００３】

【特許文献１】特表２００７－５１０９５７号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００４】

液晶素子で構成した位相変調素子アレイは、例えば、液晶層の片側に全ての位相変調素子に対して基準電圧を与える共通の基準電極を配置し、液晶層の反対側には各位相変調素子に対応した個別の駆動電圧を供給するための複数の駆動電極をアレイ状に配置した構成を有する。

【０００５】

20

このような構成において、それぞれの駆動電極に駆動電圧を供給すると、基準電圧との電位差に応じて液晶層の内部に各駆動電極から基準電極に向かって電場が生じる。理想的には、或る所定の駆動電極から基準電極までは直線状に電場が生じるので、所定の駆動電極の位置に相当する液晶のみが、所定の駆動電極に印加された駆動電圧に相当する位相変調を受ける。

【０００６】

しかしながら、駆動電極の間隔が狭い場合は、所定の駆動電極からの電場が他の駆動電極に回りこみ、かつ他の駆動電極からの電場が所定の駆動電極に回りこむ現象が発生する場合がある。この現象が発生すると、得られる位相変調が所望の位相変調からずれるので、所望の光信号選択特性が得られないという問題が生じる。一般に、このような現象はフリンジ効果（fringing field effect）と呼ばれている。

30

【０００７】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、所望の光信号選択特性により近い特性を得ることができる光信号選択装置の制御方法および光信号選択装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【０００８】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る光信号選択装置の制御方法は、複数の光ファイバが所定のスイッチ方向に沿って配列した入出力光ファイバアレイと、前記入出力光ファイバアレイから入力された光信号を前記スイッチ方向と略垂直の方向に分光する波長分光器と、前記スイッチ方向と前記分光方向とに２次元状に配列された位相変調素子を有し、前記分光された光信号が入射され、前記入射された光信号を回折させる位相変調素子アレイと、を備え、前記位相変調素子アレイに対して、前記スイッチ方向に沿って配列した前記位相変調素子の列に、前記光信号を回折させるための線形の位相変調を印加する光選択装置の制御方法であって、所定の位相変調素子に印加する前記位相変調として、各位相変調素子間に相互作用が無い場合に印加すべき基準位相変調に、当該基準位相変調を印加したことにより発生する前記所定の位相変調素子と他の位相変調素子との相互作用の影響を減殺する補正を加えた位相変調を印加することを特徴とする。

40

【０００９】

また、本発明に係る光信号選択装置の制御方法は、上記発明において、前記他の位相変

50

調素子は、前記所定の位相変調素子に対して前記スイッチ方向に沿って配列した位相変調素子であることを特徴とする。

【0010】

また、本発明に係る光信号選択装置の制御方法は、上記発明において、前記他の位相変調素子は、前記所定の位相変調素子に対して前記分光方向に沿って配列した位相変調素子であることを特徴とする。

【0011】

また、本発明に係る光信号選択装置の制御方法は、上記発明において、前記補正は、前記所定の位相変調素子に隣接する他の位相変調素子との相互作用の影響を補正することを特徴とする。

10

【0012】

また、本発明に係る光信号選択装置の制御方法は、上記発明において、前記スイッチ方向に沿って印加する位相変調が折り返される領域に位置する位相変調素子に印加する位相変調に対して、前記補正を行うことを特徴とする。

【0013】

また、本発明に係る光信号選択装置の制御方法は、上記発明において、前記補正を前記光信号の波長に応じて変更することを特徴とする。

【0014】

また、本発明に係る光信号選択装置の制御方法は、上記発明において、前記位相変調素子は液晶を備えることを特徴とする。

20

【0015】

また、本発明に係る光信号選択装置は、複数の光ファイバが所定のスイッチ方向に沿って配列した入出力光ファイバアレイと、前記入出力光ファイバアレイから入力された光信号を前記スイッチ方向と略垂直の方向に分光する波長分光器と、前記スイッチ方向と前記分光方向とに2次元状に配列された位相変調素子を有し、前記分光された光信号が入射され、前記入射された光信号を回折させる位相変調素子アレイと、前記位相変調素子アレイに対して、前記スイッチ方向に沿って配列した前記位相変調素子の列に、前記光信号を回折させるための線形の位相変調を印加する際に、所定の位相変調素子に印加する前記位相変調として、各位相変調素子間に相互作用が無い場合に印加すべき基準位相変調に、当該基準位相変調を印加したことにより発生する前記所定の位相変調素子と他の位相変調素子との相互作用の影響を減殺する補正を加えた位相変調を印加する制御部と、を備えることを特徴とする。

30

【0016】

また、本発明に係る光信号選択装置は、上記発明において、前記他の位相変調素子は、前記所定の位相変調素子に対して前記スイッチ方向に沿って配列した位相変調素子であることを特徴とする。

【0017】

また、本発明に係る光信号選択装置は、上記発明において、前記他の位相変調素子は、前記所定の位相変調素子に対して前記スイッチ方向とは垂直の分光方向に沿って配列した位相変調素子であることを特徴とする。

40

【0018】

また、本発明に係る光信号選択装置は、上記発明において、前記補正は、前記所定の位相変調素子に隣接する他の位相変調素子からの影響を補正することを特徴とする。

【0019】

また、本発明に係る光信号選択装置は、上記発明において、前記スイッチ方向に沿って印加する位相変調が折り返される領域に位置する位相変調素子に印加する位相変調に対して、前記補正を行うことを特徴とする。

【0020】

また、本発明に係る光信号選択装置は、上記発明において、前記補正は前記光信号の波長に応じて変更されることを特徴とする。

50

【0021】

また、本発明に係る光信号選択装置は、上記発明において、前記位相変調素子は液晶を備えることを特徴とする。

【発明の効果】

【0022】

本発明によれば、光信号選択装置において所望の光信号選択特性により近い特性を得ることができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】図1は、実施の形態1に係る制御方法を適用する光信号選択装置の模式的な構成図である。 10

【図2】図2は、位相変調素子アレイに光信号が入射されている状態を示す図である。

【図3】図3は、光信号の経路の切り替えを行う場合の位相変調素子アレイの位相の設定を説明する図である。

【図4】図4は、図3を位相軸方向から見た図である。

【図5】図5は、図3をX軸（分光軸）方向から見た図である。

【図6】図6は、位相変調素子アレイの液晶層中の理想的な電界の様子を示す図である。

【図7】図7は、フリッジ効果が発生した場合の液晶層中の電界の様子を示す図である。

【図8】図8は、従来の制御方法を適用した場合であって、フリッジ効果により位相変調に誤差が生じた場合の、図4の X_{12} におけるY軸（スイッチ軸）方向の位相変調の様子を、X軸（分光軸）方向から見た図である。 20

【図9】図9は、従来の制御方法を適用した場合であって、フリッジ効果により位相変調に誤差が生じた場合の、位相変調素子アレイの反射特性のシミュレーション結果を示す図である。

【図10】図10は、実施の形態1の制御方法を適用した場合であって、フリッジ効果が発生している場合の、図4の X_{12} におけるY軸（スイッチ軸）方向の位相変調の様子を、X軸（分光軸）方向から見た図である。

【図11】図11は、実施の形態1の制御方法を適用した場合の、位相変調素子アレイの反射特性のシミュレーション結果を示す図である。

【図12】図12は、従来の制御方法を適用した場合であって、フリッジ効果により位相変調に誤差が生じた場合の、図4の Y_m におけるX軸（分光軸）方向の位相変調の様子を、Y軸（スイッチ軸）方向から見た図である。 30

【図13】図13は、フリッジ効果により位相変調に誤差が生じていない理想の場合、および誤差が生じた場合に従来の制御方法を適用した場合の、光信号選択装置の通過帯域のシミュレーション結果を示す図である。

【図14】図14は、実施の形態2の制御方法を適用した場合であって、フリッジ効果により位相変調に誤差が生じた場合の、図4の Y_m におけるX軸（分光軸）方向の位相変調の様子を、Y軸（スイッチ軸）方向から見た図である。

【図15】図15は、フリッジ効果により位相変調に誤差が生じていない理想の場合、および誤差が生じた場合に実施の形態2の制御方法を適用した場合の光信号選択装置の通過帯域のシミュレーション結果を示す図である。 40

【図16】図16は、m番目の位相変調素子に与えられるべき基準位相変調と、隣接する位相変調素子との間で位相変調に折り返しがない場合を示す図である。

【図17】図17は、隣接する位相変調素子のどちらかの位相が $\phi_{\max}$ 以上になって位相変調が折り返される場合を示す図である。

【図18】図18は、隣接する位相変調素子のどちらかの位相が0未満となって位相変調が折り返される場合を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0024】

以下に、図面を参照して本発明に係る光信号選択装置の制御方法および光信号選択装置 50

の実施の形態を詳細に説明する。なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。また、各図面において、同一または対応する要素には適宜同一の符号を付している。さらに、図面は模式的なものであり、各要素の寸法の関係などは、現実のものとは異なる場合があることに留意する必要がある。図面の相互間においても、互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれている場合がある。

【0025】

(実施の形態1)

図1は、実施の形態1に係る制御方法を適用する光信号選択装置の模式的な構成図である。この光信号選択装置100は、入出力光ファイバアレイ10と、波長分光器20と、集光レンズ30と、位相変調素子アレイ40と、制御部50とを備えている。ここで、説明のために、位相変調素子アレイ40の素子面に平行にXY座標軸を規定する。なお、X軸は適宜分光軸またはX軸（分光軸）と記載し、Y軸はスイッチ軸または適宜Y軸（スイッチ軸）と記載する。

10

【0026】

入出力光ファイバアレイ10は、Y軸方向に沿って複数本の光ファイバ11₁～11_mがアレイ状に配列して構成されている。ただし、mは4以上の整数である。光ファイバ11₁～11_mのそれぞれの先端にはコリメータレンズ付のフェルルール12₁～12_mが取り付けられている。光ファイバ11₁は光入力ポートとして機能し、光ファイバ11₂～11_mは光出力ポートとして機能する。

20

【0027】

波長分光器20は、たとえば回折格子を用いて構成されている。波長分光器20は、入出力光ファイバアレイ10から入力された光信号をX軸方向に沿って分光するように配置されている。

【0028】

集光レンズ30は、波長分光器20が分光した光を位相変調素子アレイ40に集光するように配置されている。

【0029】

位相変調素子アレイ40は、電圧を印加することによって屈折率を変化させることができる単位位相変調素子（ピクセル）がXY平面に2次元状に配列して構成されている。位相変調素子アレイ40は、たとえば位相変調素子として液晶素子を用いた反射型のLCO Sを用いて構成することができる。

30

【0030】

制御部50は、位相変調素子アレイ40に接続しており、位相変調素子アレイ40を構成する各位相変調素子に所望の電圧を印加するように構成されている。

【0031】

つぎに、光信号選択装置100の動作について説明する。

はじめに、入出力光ファイバアレイ10の光ファイバ11₁が外部から光信号S₁、S₂、S_nを入力させる。ここで、nは3以上m未満の整数とする。光信号S₁、S₂、S_nは互いに異なる波長を有し、WDM光信号の異なるチャンネルに割り当てられている。光信号S₁、S₂、S_nの波長は光通信に使用される波長であり、たとえば1520nm～1620nmの範囲である。光信号S₁、S₂、S_nはフェルルール12₁のコリメータレンズによって平行光とされる。

40

【0032】

光信号S₁、S₂、S_nは太い実線で示す光路に沿って伝搬し、波長分光器20に入射する。波長分光器20は光信号S₁、S₂、S_nをそれぞれの波長に応じた異なる回折角で回折して、3つの光信号を分光する。

【0033】

集光レンズ30は破線で示す光路に沿って伝搬する光信号S₁を位相変調素子アレイ40に集光する。位相変調素子アレイ40は集光され入射された光信号S₁を所定の角度で回折する。この回折角度は制御部50によって制御される。

50

【0034】

回折された光信号 S_1 は集光レンズ 30 によって平行光とされ、波長分光器 20 によってフェルルール 12_k を介して所望の光ファイバ 11_k に入力される。これによって、光信号 S_1 の光ファイバ 11₁ から光ファイバ 11_k への経路の切り替えが実現される。

【0035】

同様に、集光レンズ 30 はそれぞれ点線、一点鎖線で示す光路に沿って伝搬する光信号 S_2 、 S_n を位相変調素子アレイ 40 に集光する。位相変調素子アレイ 40 は集光され入射された光信号 S_2 、 S_n を所定の角度で回折する。光信号 S_2 、 S_n の回折角度は互いに異なり、かつ光信号 S_1 の回折角度とも異なる。回折された光信号 S_2 、 S_n は集光レンズ 30 によって平行光とされ、波長分光器 20 によってそれぞれフェルルール 12₁、12_m を介して所望の光ファイバ 11₁、11_m に入力される。これによって、光信号 S_2 、 S_n の光ファイバ 11₁ から光ファイバ 11₁、11_m への経路の切り替えが実現される。

10

【0036】

つぎに、位相変調素子アレイ 40 による光信号 S_1 、 S_2 、 S_n の回折について具体的に説明する。図 2 は、位相変調素子アレイ 40 に光信号 S_1 、 S_2 、 S_n が入射されている状態を示す図である。図 2 に示すように、各光信号 S_1 、 S_2 、 S_n は X 軸（分光軸）に沿って位相変調素子アレイ 40 の異なる領域に入射する。また、各光信号 S_1 、 S_2 、 S_n は複数の位相変調素子上にビームが広がって入射する。

【0037】

20

図 3 は、光信号 S_1 、 S_2 、 S_n の経路の切り替えを行う場合の位相変調素子アレイ 40 の位相の設定を説明する図である。図 3 に示すように、位相変調素子アレイ 40 のうち、光信号 S_1 、 S_2 、 S_n が入射する各領域 A_1 、 A_2 、 A_n には、Y 軸（スイッチ軸）に沿った傾きがそれぞれ異なる線形の位相変調を印加する。

【0038】

図 4 は、図 3 を位相軸方向から見た図である。図 4 では、紙面下端で X 軸に沿ったピクセル列の Y 座標をゼロとし、紙面上端のピクセル列の Y 座標を Y_{max} としている。なお、図 4 では、Y 軸（スイッチ軸）に沿って位相が階段状に変化しているが、これはピクセルにより位相変調が離散化されるためであり、図 3 および後述する図 5 の線形の位相変調は階段状の位相変調を線形近似したものである。このように、線形の位相変調を印加するとは、線形近似できる階段状の位相変調を印加する場合も含む。

30

【0039】

図 5 は、図 3 を X 軸方向から見た図であり、位相変調素子アレイ 40 に印加した線形の位相変調と、位相変調素子アレイ 40 の素子面に対する光信号の入射角および出射角（回折角）との関係を示している。所望の回折角 θ_{out} を得るための条件は下記の式（1）で表すことができる。

【0040】

【数 1】

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{d} = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot (\sin\theta_{out} - \sin\theta_{in}) \quad \cdots(1)$$

40

【0041】

式（1）において、 $\Delta\phi$ は必要な位相変調の傾き、 d は位相変調の周期、 λ は光信号の波長、 θ_{in} は光信号の入射角を意味する。なお光信号の波長がスペクトルのに広がりを持つ場合は、 λ は、たとえば光信号の波長帯域の中心波長とすればよい。図 5 で位相の変化が 0 から 2π までであり、位相の変化が鋸状になっている理由は、位相は 0 から 2π までの周期関数であるため、 2π 以上の位相とする場合は 0 から 2π の範囲で折り返すように位相を設定しても同等の位相特性となるからである。

【0042】

したがって、光信号 S_1 、 S_2 、 S_n の経路の切り替えを行う場合には、制御部 50 は

50

、光信号 S_1 、 S_2 、 S_n の波長、入射角、所望の回折角に応じた、各光信号 S_1 、 S_2 、 S_n に対する位相変調の傾き $\Delta\phi$ が得られるように、位相変調素子アレイ 40 の各領域 A_1 、 A_2 、 A_n の位相変調素子の位相を制御する。

【0043】

ここで、図 6 は、位相変調素子アレイ 40 の液晶層中の理想的な電界の様子を示す図である。図 6 に示すように、位相変調素子アレイ 40 は、基準電極 41、液晶層 42、および複数の駆動電極 43 とを備えており、液晶層 42 の片側に全ての位相変調素子に対して基準電圧を与える共通の基準電極 41 を配置し、液晶層 42 の反対側には各位相変調素子に対応した個別の駆動電圧を供給するための複数の駆動電極 43 をアレイ状に配置した構成を有する。

10

【0044】

式 (1) に示す所望の回折角 θ_{out} を得るための位相変調の傾き $\Delta\phi$ を実現するために、駆動電極 43 に駆動電圧 (V_1 、 V_2 、 V_3 、 $\dots$ 、 V_n 、 V_{n+1} 、 $\dots$) を供給すると、基準電圧 (V_0) との電位差に応じて液晶層 42 の内部に各駆動電極 43 から基準電極 41 に向かって電気力線 L1 で示す電場が生じる。理想の場合には、或る所定の駆動電極 43 に注目すると、所定の駆動電極 43 から基準電極 41 までは直線状に電場が生じるので、所定の駆動電極 43 の位置に相当する液晶層 42 のみに、所定の駆動電極 43 に印加された駆動電圧に相当する位相変調が印加される。そのため、駆動電極 43 間 (すなわち位相変調素子間) に相互作用は無い。

20

【0045】

これに対して、図 7 は、フリッジ効果が発生した場合の液晶層 42 中の電界の様子を示す図である。図 7 に示すように、フリッジ効果が発生した場合には、電気力線 L2 で示すように、所定の駆動電極 43 からの電場が他の駆動電極 43 に回りこみ、かつ他の駆動電極 43 からの電場が所定の駆動電極 43 に回りこむ現象が発生する。これによって、駆動電極 43 間 (すなわち位相変調素子間) に相互作用が発生し、液晶層 42 に印加される電圧が所望の駆動電圧とは異なる値となる。これによって、液晶層 42 が受ける位相変調に所望値からの誤差が生じる。

【0046】

図 8 は、従来の制御方法を適用した場合であって、フリッジ効果により位相変調に誤差が生じた場合の、図 4 の X_{12} における Y 軸 (スイッチ軸) 方向の位相変調の様子を、X 軸 (分光軸) 方向から見た図である。線 L3 は相互作用が無いとして設定した位相、線 L4 はフリッジ効果の影響を受けた位相を示している。

30

【0047】

図 8 に示すように、設定した位相は、0 から 2π の範囲で折り返すような階段状の形状をしているが、フリッジ効果が生じている場合は、設定値から誤差が生じる。特に、誤差は、 2π から 0 に折り返す領域で顕著である。このように誤差が生じると、位相変調素子アレイ 40 は所望の回折角 θ_{out} 以外の角度へも光を回折してしまう。

【0048】

図 9 は、従来の制御方法を適用した場合であって、フリッジ効果により位相変調に誤差が生じた場合の、位相変調素子アレイの反射特性のシミュレーション結果を示す図である。図 9 の例では、従来の制御方法によって、入射された光が $+1^\circ$ の回折角度で回折するように位相変調素子アレイ 40 に位相変調を印加した場合である。縦軸は回折角度が 1° の場合の反射光強度を基準とした相対強度を示している。図 9 に示すように、位相変調に誤差が生じると、 1° 以外の回折角度にも回折光が発生している。このように意図しない角度への回折が生じることによって、光信号選択装置 100 に入力された光が所望の光出力ポートとは異なる光出力ポートに出力されてしまい、ポート間のクロストークが劣化したり、所望の光出力ポートから出力される光の強度が減少するので、光信号選択装置 100 の挿入損失が増大したりするという問題が生じ、所望の光信号選択特性を得ることができなくなる。

40

【0049】

50

これに対して、本実施の形態 1 に係る制御方法では、各位相変調素子間の相互作用の影響を減殺する補正を加えた位相変調が印加されるように、各位相変調素子に駆動電極を印加する。これによって、誤差が減殺され、位相変調素子アレイ 40 において意図しない角度への光信号の回折が抑制される。

【0050】

図 10 は、本実施の形態 1 の制御方法を適用した場合であって、フリッジ効果が発生している場合の、図 4 の X_{12} における Y 軸（スイッチ軸）方向の位相変調の様子を、X 軸（分光軸）方向から見た図である。線 L5 が設定した位相、線 L6 がフリッジ効果の影響を受けた位相を示している。

【0051】

10

図 10 に示すように、隣接する位相変調素子間で位相が小さい側では実際に与える位相変調を減少させ、逆に大きい側では実際に与える位相変調を増加させる。特に、 2π から 0 に折り返しのある素子間で補正量が最大になるように補正を行うことで、本実施の形態 1 の制御方法によって設定した位相は、フリッジ効果の影響を受けた状態においても、0 から 2π の範囲で折り返すような形状となる。

【0052】

図 11 は、本実施の形態 1 の制御方法を適用した場合の、位相変調素子アレイの反射特性のシミュレーション結果を示す図である。図 11 の例は、本実施の形態 1 の制御方法によって、図 9 の場合と同様に、入力された光が $+1^\circ$ の回折角度で回折するように位相変調素子アレイ 40 に位相変調を印加した場合である。図 11 に示すように、本実施の形態 1 の制御方法を適用した場合は、 1° 以外の回折角度に発生する回折光はきわめて抑制されている。たとえば、回折角度 1° における光強度に対する回折角度 0° 、 -1° 、 $\pm 2^\circ$ 、 $\pm 3^\circ$ における光強度は相対的に -45 dB 以下である。このように、本実施の形態 1 の制御方法を適用した場合は、ポート間のクロストークの劣化が抑制され、かつ光信号選択装置 100 の挿入損失の増大も抑制されるので、所望の光信号選択特性により近い特性を得ることができる。

20

【0053】

つぎに、位相変調素子アレイ 40 の各位相変調素子に与える位相の一例について具体的に説明する。

【0054】

30

Y 軸（スイッチ軸）方向における各位相変調素子に与えた位相を $\phi(i)$ ($i = 0, 1, 2, \dots, M$, M は Y_{max}) とする時、フリッジ効果を受けた後の m 番目の位相変調素子における位相変調 ($\phi'(m)$) は、下記の式 (2) で表される。

【0055】

【数 2】

$$\phi'(m) = \frac{1}{1 + \sum_{i \neq 0} k(i)} \left\{ \phi(m) + \sum_{i \neq 0} k(i) \cdot \phi(m+i) \right\} \quad \dots (2)$$

なお、 $k(i)$ ($0 < k(i) < 1$, $i : 0$ 以外の整数) は i 番目だけ離れた位相変調素子が m 番目の位相変調素子に与えるフリッジ効果の影響の重み係数である。

40

【0056】

ここで、Y 軸（スイッチ軸）方向の位相変調のベクトル表記を Φ_M 、フリッジ効果を表現する行列を A とすると、 Φ_M 、 A は、それぞれ下記の式 (3)、(4) で表される。

【0057】

【数 3】

$$\Phi_M = \begin{pmatrix} \phi(0) \\ \phi(1) \\ \vdots \\ \phi(m-1) \\ \phi(m) \\ \phi(m+1) \\ \vdots \\ \phi(M) \end{pmatrix} \quad \cdots(3)$$

10

【数 4】

$$A = \frac{1}{1 + \sum_{i \neq 0} k(i)} \begin{pmatrix} 1 & k(1) & k(2) & k(3) & k(4) & \cdots & k(M-2) & k(M-1) \\ k(-1) & 1 & k(1) & k(2) & k(3) & \cdots & k(M-3) & k(M-2) \\ k(-2) & k(-1) & 1 & k(1) & k(2) & \cdots & k(M-4) & k(M-3) \\ k(-3) & k(-2) & k(-1) & 1 & k(1) & \cdots & k(M-5) & k(M-4) \\ k(-4) & k(-3) & k(-2) & k(-1) & 1 & \cdots & k(M-6) & k(M-5) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ k(2-M) & k(3-M) & k(4-M) & k(5-M) & k(6-M) & \cdots & 1 & k(1) \\ k(1-M) & k(2-M) & k(3-M) & k(4-M) & k(5-M) & \cdots & k(-1) & 1 \end{pmatrix} \quad \cdots(4)$$

20

【0058】

この時、印加した位相変調がフリッジ効果の影響を受けた後の位相変調は、下記の式（5）で表現される。

【0059】

【数 5】

$$\Phi'_M = A \cdot \Phi_M \quad \cdots(5)$$

30

【0060】

そこで、位相変調素子間に相互作用が無い場合に印加すべき理想的な位相変調を基準位相変調（ Φ_{ideal} ）とし、フリッジ効果を表現する行列 A の逆行列である行列 A^{-1} をあらかじめ基準位相変調 Φ_{ideal} に掛けたものを Φ_M に置き換えると、下記の式（6）になる。

【0061】

【数 6】

$$\Phi'_M = A \cdot (A^{-1} \cdot \Phi_{ideal}) = \Phi_{ideal} \quad \cdots(6)$$

40

【0062】

このように、フリッジ効果を表現する行列 A の逆行列である行列 A^{-1} を基準位相変調に掛けたものを各位相変調素子に対する位相変調として印加することによって、フリッジ効果の影響を受けた後の位相変調を、所望の位相変調とすることができる。

【0063】

ここで、一般的にはフリッジ効果は位相変調素子の距離が離れるほど、その影響は小さくなるため、隣接する位相変調素子（ $i = \pm 1$ ）からのフリッジ効果の影響が支配的である。そこで、隣接する位相変調素子から受ける影響のみを考慮し、また重み係数は対称であると仮定し、 $k(1) = k(-1) = k$ （ $0 < k < 1$ ）とすると、フリッジ効果を表現

50

する行列 A は、下記の式 (7) で表される。

【0064】

【数7】

$$A = \frac{1}{1+2k} \begin{pmatrix} 1 & k & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ k & 1 & k & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & k & 1 & k & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k & 1 & k & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k & 1 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 & k \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & k & 1 \end{pmatrix} \quad \cdots(7)$$

10

【0065】

さらに、隣接する位相変調素子からしか影響を受けないのであれば、 $k^2 \ll 1$ として、 k の高次の項は十分小さいとみなして無視することができる。たとえば、 $k \sim 0.05$ である。この場合、フリッジ効果の逆特性を与える行列 A^{-1} は下記の式 (8) のように近似できる。

【0066】

【数8】

$$A^{-1} \cong \frac{1}{1-2k} \begin{pmatrix} 1 & -k & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ -k & 1 & -k & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & -k & 1 & -k & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -k & 1 & -k & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -k & 1 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 & -k \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & -k & 1 \end{pmatrix} \quad \cdots(8)$$

20

30

【0067】

式 (8) を用いると、フリッジ効果の影響を考慮した後の、 m 番目の位相変調素子に印加する位相変調は、下記の式 (9) で表される。 $\phi_{\text{ideal}}(m)$ は基準位相変調である。

【0068】

【数9】

$$\phi(m) = \frac{1}{1-2k} [\phi_{\text{ideal}}(m) - k\{\phi_{\text{ideal}}(m-1) + \phi_{\text{ideal}}(m+1)\}] \quad \cdots(9)$$

40

【0069】

式 (9) で表させる位相変調を、Y 軸 (スイッチ軸) 方向に対して与えることによって、フリッジ効果の発生にかかわらず各位相変調素子に所望の位相変調を与えることが可能となる。

【0070】

上述した位相変調を与えるための、本実施の形態 1 に係る制御方法のフローについて説明する。なお、以下のフローに示す制御は、制御部 50 が、たとえば外部から入力されたデータ、または内部に備えられた記憶部から読み出したデータ等に基づいて、制御部 50 の内部に備えられた演算部が所定の演算処理を行うことによって実現される。

50

【0071】

はじめに、ステップ1で、制御対象とするピクセル列のY座標をゼロに設定する($Y=0$)。つぎに、ステップ2で、制御対象に印加する位相の初期値 ϕ_{ini} を設定する($\phi(X, Y=0)=\phi_{ini}$)。なお、XはピクセルのX座標である。つぎに、ステップ3で、位相変調素子間に相互作用が無い場合に印加すべき基準位相変調 $\phi_{ideal}(Y=0)$ を算出する。つぎに、ステップ4で、制御対象とするピクセル列に隣接するピクセル列に印加する基準位相変調($\phi_{ideal}(Y-1)$ 、 $\phi_{ideal}(Y+1)$)を算出する。ただし、 $Y=0$ の場合は $\phi_{ideal}(Y+1)$ 側だけでよい。つぎに、ステップ5で、フリッジ効果の影響を考慮した後の位相変調 $\phi(0)$ を算出する。つぎに、ステップ6で、制御対象である位相変調素子アレイ40の $Y=0$ のピクセル列内の各ピクセルに、位相変調 $\phi(0)$ をX軸(分光軸)に沿って出力する。具体的には、位相変調 $\phi(0)$ を実現するための駆動電圧を各ピクセルの駆動電極に印加する。

10

【0072】

つぎに、ステップ7で、制御対象のピクセル列のY座標が最大値(Y_{max})かどうかを判定する。最大値(Y_{max})でなければ、ステップ8に進む。最大値(Y_{max})であれば、制御を終了する。

【0073】

ステップ8では、制御対象のピクセル列のY座標をカウントアップする($Y=Y+1$)。その後、ステップ3に戻って、上記ステップ3～ステップ7を繰り返し行う。たとえば、 $Y=1$ の場合は、フリッジ効果の影響を考慮した後の位相変調 $\phi(1)$ を算出し、制御対象である位相変調素子アレイ40の $Y=1$ のピクセル列内の各ピクセルに、位相変調 $\phi(1)$ をX軸(分光軸)に沿って出力する。具体的には、位相変調 $\phi(1)$ を実現するための駆動電圧を各ピクセルの駆動電極に印加する。

20

【0074】

上記制御によって、本実施の形態1に係る制御方法が実現される。なお、位相 $\phi(0) \sim \phi(M)$ は、外部から入力されたデータ、または制御部50内部に備えられた記憶部に格納されたテーブルデータに基づいて、制御部50の内部に備えられた演算部が演算するものである。

【0075】

以上説明したように、本実施の形態1によれば、光信号選択装置100において所望の光信号選択特性により近い特性を得ることができる。

30

【0076】

(実施の形態2)

上記実施の形態1に係る制御方法では、Y軸(スイッチ軸)方向の位相変調に対して補正を行っているが、実施の形態2に係る制御方法では、さらにX軸(分光軸)方向の位相変調に対しても補正を行う。

【0077】

図12は、従来の制御方法を適用した場合であって、フリッジ効果により位相変調に誤差が生じた場合の、図4の Y_m におけるX軸(分光軸)方向の位相変調の様子を、Y軸(スイッチ軸)方向から見た図である。線L7が設定した位相、線L8がフリッジ効果の影響を受けた位相を示している。光信号 S_1 が入射する領域 A_1 と光信号 S_2 が入射する領域 A_2 とは隣接しているが、一般に各領域には傾きが異なる位相変調が与えられるため、領域 A_1 と領域 A_2 との間で位相差が生じる場所がある。これによってX軸(分光軸)方向でもフリッジ効果が発生し、設定した位相からの誤差が生じ、位相変調が、階段状である設定値に対してなだらかな曲線状の形状となる。

40

【0078】

図13は、フリッジ効果により位相変調に誤差が生じていない理想的な場合、および誤差が生じた場合に従来の制御方法を適用した場合の、光信号選択装置100の通過帯域のシミュレーション結果を示す図である。ここで、通過帯域とは、光信号選択装置100の光入力ポートと所定の光出力ポートとの間の光の通過帯域を光の周波数で表したものであ

50

る。なお、横軸の周波数オフセットは、通過帯域の中心波長を基準（０GHz）として高周波側のオフセット（正の値）と低周波側のオフセット（負の値）とを示したものである。

【００７９】

図１３に示すように、光信号が入射する領域の境界で位相に誤差が発生した場合の通過帯域（線Ｌ１０）は、誤差が生じていない理想の通過帯域（線Ｌ９）に比べて通過帯域が狭くなる。

【００８０】

これに対して、本実施の形態２に係る制御方法では、X軸（分光軸）方向でも、各位相変調素子間の相互作用の影響を減殺する補正を加えた位相変調が印加されるように、各位相変調素子に駆動電極を印加する。これによって、誤差が減殺され、位相変調素子アレイ４０において意図しない角度への光信号の回折が抑制され、通過帯域の狭帯域化が抑制される。

【００８１】

図１４は、本実施の形態２の制御方法を適用した場合であって、フリンジ効果が発生している場合の、図４のY_mにおけるX軸（分光軸）方向の位相変調の様子を、Y軸（スイッチ軸）方向から見た図である。線Ｌ１１が設定した位相、線Ｌ１２がフリンジ効果の影響を受けた位相を示している。

【００８２】

図１４に示すように、領域の境目において、隣接する位相変調素子間で位相が小さい側では実際に与える位相変調を減少させ、逆に大きい側では実際に与える位相変調を増加させることで、本実施の形態２の制御方法によって設定した位相は、フリンジ効果の影響を受けた状態においても、階段状に近い形状となる。

【００８３】

図１５は、フリンジ効果により位相変調に誤差が生じていない理想的な場合、および誤差が生じた場合に本実施の形態２の制御方法を適用した場合の光信号選択装置１００の通過帯域のシミュレーション結果を示す図である。図１５に示すように、本実施の形態２の制御方法を適用した場合の通過帯域（線Ｌ１３）は、通過帯域の狭帯域化が抑制され、理想の通過帯域（線Ｌ９）に近い通過帯域となるので、所望の光信号選択特性にさらに近い特性を得ることができる。

【００８４】

つぎに、位相変調素子アレイ４０の各位相変調素子に与える位相の一例について具体的に説明する。

【００８５】

ここで、X軸（分光軸）方向およびY軸（スイッチ軸）方向の位相変調のベクトル表記をΦ_{MN}とすると、Φ_{MN}は、下記の式（１０）で表される。

【００８６】

【数１０】

$$\Phi_{MN} = \begin{pmatrix} \phi(0,0) & \phi(0,1) & \cdots & \phi(0,n-1) & \phi(0,n) & \phi(0,n+1) & \cdots & \phi(0,N) \\ \phi(1,0) & \phi(1,1) & \cdots & \phi(1,n-1) & \phi(1,n) & \phi(1,n+1) & \cdots & \phi(1,N) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi(m-1,0) & \phi(m-1,1) & \cdots & \phi(m-1,n-1) & \phi(m-1,n) & \phi(m-1,n+1) & \cdots & \phi(m-1,N) \\ \phi(m,0) & \phi(m,1) & \cdots & \phi(m,n-1) & \phi(m,n) & \phi(m,n+1) & \cdots & \phi(m,N) \\ \phi(m+1,0) & \phi(m+1,1) & \cdots & \phi(m+1,n-1) & \phi(m+1,n) & \phi(m+1,n+1) & \cdots & \phi(m+1,N) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi(M,0) & \phi(M,1) & \cdots & \phi(M,n-1) & \phi(M,n) & \phi(M,n+1) & \cdots & \phi(M,N) \end{pmatrix} \quad \cdots(10)$$

【００８７】

この時、印加した位相変調がフリンジ効果の影響を受けた後の位相変調は、下記の式（11）で表現される。なお、行列Aは式（4）で示されるものである。

【0088】

【数11】

$$\Phi'_{MN} = A \cdot \Phi_{MN} \cdot A \quad \dots (11)$$

【0089】

そこで、フリンジ効果を表現する行列Aの逆行列である行列 A^{-1} をあらかじめ基準位相変調（ Φ_{ideal} ）に掛けたものを Φ_{MN} に置き換えると、下記の式（12）になる。

【0090】

【数12】

$$\Phi'_{MN} = A \cdot (A^{-1} \cdot \Phi_{ideal} \cdot A^{-1}) \cdot A = \Phi_{ideal} \quad \dots (12)$$

【0091】

ここで、隣接する位相変調素子から受ける影響のみを考慮し、また重み係数は対称であると仮定し、かつ $k^2 \ll 1$ として、kの高次の項は十分小さいとみなして無視すると、フリンジ効果の影響を考慮した後の、Y軸（スイッチ軸）においてm番目および、X軸（分光軸）においてn番目の位相変調素子に印加する位相変調は、下記の式（13）で近似的に表される。

【0092】

【数13】

$$\phi(m, n) = \frac{1}{1 - 4k} [\phi_{ideal}(m, n) - k \{ \phi_{ideal}(m - 1, n) + \phi_{ideal}(m + 1, n) + \phi_{ideal}(m, n - 1) + \phi_{ideal}(m, n + 1) \}] \quad \dots (13)$$

【0093】

式（13）で表させる位相変調を、X軸（分光軸）方向およびY軸（スイッチ軸）方向に対して与えることによって、フリンジ効果の発生にかかわらず各位相変調素子に所望の位相変調を与えることが可能となる。

【0094】

以上説明したように、本実施の形態2によれば、光信号選択装置100において所望の光信号選択特性にさらに近い特性を得ることができる。

【0095】

（実施の形態3）

上記実施の形態1に係る制御方法のように、Y軸（スイッチ軸）方向に対して与える位相変調が、Y軸に対して線形に変化し、位相変調の最小値と最大値 ϕ_{max} との間（一般的には0と 2π との間）で折り返すような鋸状の形状である場合は、隣接する位相変調素子間での位相差は、式（1）で表される $\Delta\phi$ で一定である。本実施の形態3では、これを利用して制御をより簡易なものとしている。

【0096】

たとえば、Y軸（スイッチ軸）方向においてm番目の位相変調素子に与えられるべき基準位相変調と、隣接する位相変調素子との間で位相変調に折り返しがない場合を考える。図16は、m番目の位相変調素子に与えられるべき基準位相変調と、隣接する位相変調素子との間で位相変調に折り返しがない場合を示す図である。図16（a）は $\Delta\phi$ が正の場合を示し、図16（b）は $\Delta\phi$ が負の場合を示している。この場合には、下記の式（14）が成り立つ。

【0097】

【数14】

$$\phi_{ideal}(m - 1) = \phi_{ideal}(m) - \Delta\phi \quad \text{かつ} \quad \phi_{ideal}(m + 1) = \phi_{ideal}(m) + \Delta\phi \quad \dots (14)$$

10

20

30

40

50

【0098】

式(9)に式(14)を代入すると、以下の式(15)になる。

【0099】

【数15】

$$\phi(m) = \phi_{ideal}(m) \quad \dots(15)$$

位相変調が線形であり、隣接する位相変調素子との間で位相変調に折り返しがない場合には、 m 番目の位相変調素子に与える位相変調に対して、隣接する位相変調素子に与える各位相変調は、同じ位相差で逆方向に位相変調を受けているため、対称の関係にある。

したがって、この場合には、フリンジ効果が発生していたとしても、隣接する位相変調素子から与えられるフリンジ効果が同じ大きさで逆方向となって相殺されるため、基準位相変調に補正を加えなくてもよい。

10

【0100】

一方、隣接する位相変調素子のどちらかの位相が ϕ_{max} 以上になって位相変調が折り返される場合を考える。図17は、隣接する位相変調素子のどちらかの位相が ϕ_{max} 以上になって位相変調が折り返される場合を示す図である。図17(a)は $\Delta\phi$ が正かつ $\phi_{ideal}(m)$ と $\phi_{ideal}(m+1)$ の間で折り返しがある場合を示し、図17(b)は $\Delta\phi$ が負かつ $\phi_{ideal}(m-1)$ と $\phi_{ideal}(m)$ の間で折り返しがある場合を示す図である。図17(a)の場合には、下記の式(16)が成り立ち、図17(b)の場合には、下記の式(17)が成り立つ。

20

【0101】

【数16】

$$\begin{aligned} \phi_{ideal}(m-1) &= \phi_{ideal}(m) - \Delta\phi \\ \text{かつ} \phi_{ideal}(m+1) &= \phi_{ideal}(m) + \Delta\phi - \phi_{max} \end{aligned} \quad \dots(16)$$

【数17】

$$\begin{aligned} \phi_{ideal}(m-1) &= \phi_{ideal}(m) - \Delta\phi - \phi_{max} \\ \text{かつ} \phi_{ideal}(m+1) &= \phi_{ideal}(m) + \Delta\phi \end{aligned} \quad \dots(17)$$

【0102】

30

この場合、式(9)に式(16)または式(17)を代入すると、下記式(18)となる。

【0103】

【数18】

$$\phi(m) = \phi_{ideal}(m) + \frac{k}{1-2k} \cdot \phi_{max} \quad \dots(18)$$

【0104】

位相変調が線形であり、隣接する位相変調素子のどちらかの位相が ϕ_{max} 以上になって位相変調が折り返される場合には、 m 番目の位相変調素子に与える位相変調に対して、隣接する位相変調素子に与える位相変調はどちら側も小さくなる。

40

よってこの場合には、位相変調を増加させるような補正を加える必要があるため、基準位相変調に以下の式(19)を補正值として加算する補正を行えばよい。

【0105】

【数19】

$$\frac{k}{1-2k} \cdot \phi_{max} \quad \dots(19)$$

【0106】

同様に、隣接する位相変調素子のどちらかの位相が0未満となって位相変調が折り返さ

50

れる場合を考える。図 18 は、隣接する位相変調素子のどちらかの位相が 0 未満となって位相変調が折り返される場合を示す図である。図 18 (a) は $\Delta\phi$ が正かつ $\phi_{ideal}(m-1)$ と $\phi_{ideal}(m)$ の間で折り返しがある場合を示し、図 18 (b) は、 $\Delta\phi$ が負かつ $\phi_{ideal}(m)$ と $\phi(m+1)_{ideal}$ の間で折り返しがある場合を示す。この場合には、下記の式 (20) が成り立つ。

【0107】

【数 20】

$$\phi(m) = \phi_{ideal}(m) - \frac{k}{1-2k} \cdot \phi_{max} \quad \dots(20)$$

10

【0108】

位相変調が線形であり、隣接する位相変調素子のどちらかの位相が 0 未満になって位相変調が折り返される場合には、 m 番目の位相変調素子に与える位相変調に対して、隣接する位相変調素子に与える位相変調はどちら側も大きくなる。

よってこの場合には、位相変調を減少させるような補正を加える必要があるため、基準位相変調に以下の式 (21) を補正值として減算する補正を行えばよい。

【0109】

【数 21】

$$\frac{k}{1-2k} \cdot \phi_{max} \quad \dots(21)$$

20

【0110】

本実施の形態 3 では、位相変調の折り返しがある領域のみに対して補正を施すことになるので、演算量またはデータ量を減らすことができ、制御部 50 における演算処理、記憶部、または外部とのデータの入出力の負荷を軽減することが可能となるとともに、制御がより簡易になる。

【0111】

ところで、液晶による位相変調は、電場を印加することにより液晶の屈折率が変化することにより生じる。ここで、液晶層の厚さを D 、液晶の屈折率の変化量を Δn とすると、液晶層中での位相変化量 ($\Delta\phi$) は下記の式 (22) で表される。

30

【0112】

【数 22】

$$\Delta\phi = 2\pi \cdot \Delta n \cdot \frac{D}{\lambda} \quad \dots(22)$$

【0113】

また、 Δn は波長に依存する。したがって、液晶の屈折率変化量および位相変化量は波長に依存しているため、フリッジ効果の影響による位相の誤差も波長依存性を持つことになる。さらには、 Δn は波長だけでなく温度にも依存する。

【0114】

40

したがって、上記実施の形態において、他の位相変調素子から与えられるフリッジ効果の影響の重み係数 k を、波長や温度等の、液晶の屈折率変化量に影響を与えるパラメータに応じて変更することによって、さらに正確な誤差の補正を行うことが可能となる。たとえば、波長に応じた重み係数の変更は、例えば光信号選択装置への入力が見定されている光信号の波長ごとにあらかじめ算出した最適な重み係数をテーブルデータとして記憶部に格納しておき、これを入力される光信号の波長に応じて参照することで実現することが可能である。入力される光信号の波長は、分光軸方向の座標に対する光信号の波長情報をテーブルデータとして記憶部に格納し参照すればよい。また、光信号選択装置に公知の波長モニタを設け、モニタした波長を制御部に入力することで検知する構成にしたり、入力される光信号の波長の情報を光信号選択装置の外部から制御部に入力する構成としたりして

50

もよい。

【0115】

なお、上記実施の形態において、位相変調に補正を行う場合には、各位相変調素子間の相互作用の影響を完全に相殺するように補正を加えることがより好ましいが、完全に相殺しなくても、相互作用の影響を減殺するような補正であれば、本発明の効果を奏するものとなる。

【0116】

また、上記実施の形態により本発明が限定されるものではない。上述した各構成要素を適宜組み合わせ構成したものも本発明に含まれる。また、さらなる効果や変形例は、当業者によって容易に導き出すことができる。よって、本発明のより広範な態様は、上記の実施の形態に限定されるものではなく、様々な変更が可能である。

10

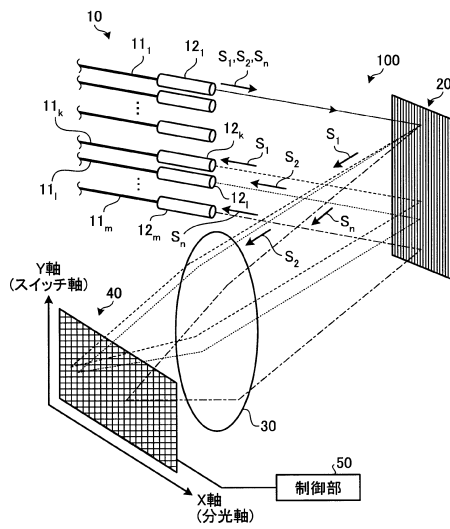
【符号の説明】

【0117】

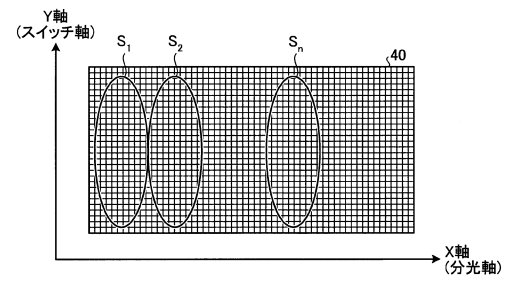
- 10 入出力光ファイバアレイ
- 11₁～11_m 光ファイバ
- 12₁～12_m フェルルール
- 20 波長分光器
- 30 集光レンズ
- 40 位相変調素子アレイ
- 41 基準電極
- 42 液晶層
- 43 駆動電極
- 50 制御部
- 100 光信号選択装置
- A₁、A₂、A_n 領域
- L1、L2 電気力線
- L3～L12 線
- S₁、S₂、S_n 光信号

20

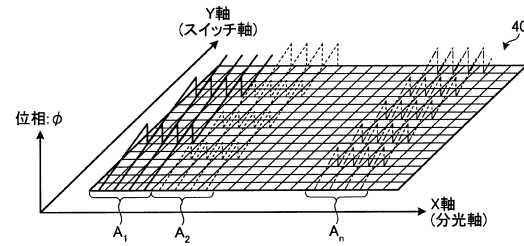
【図 1】



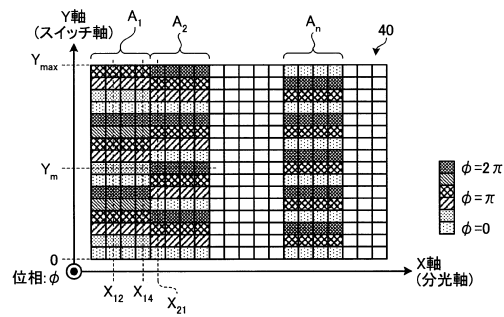
【図 2】



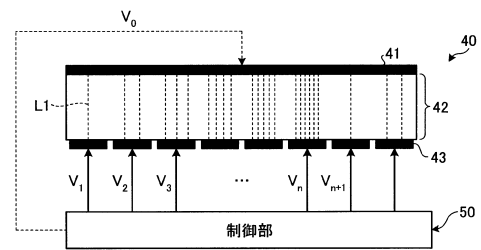
【図 3】



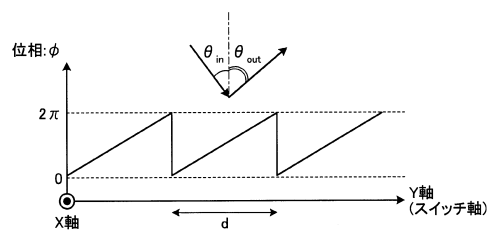
【図 4】



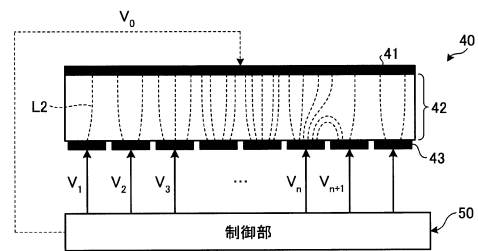
【図 6】



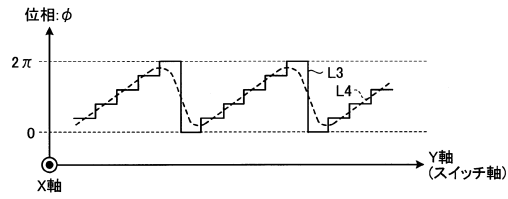
【図 5】



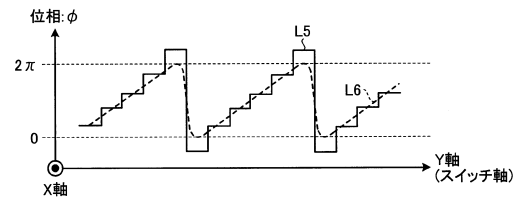
【図 7】



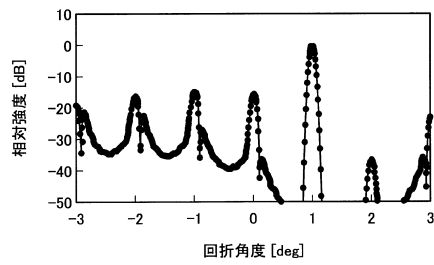
【図 8】



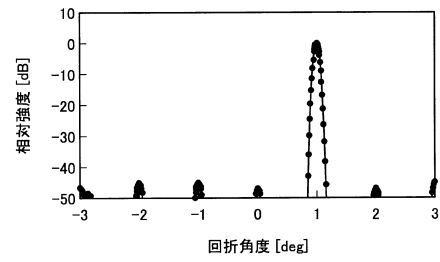
【図 10】



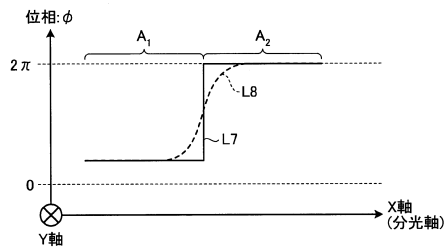
【図 9】



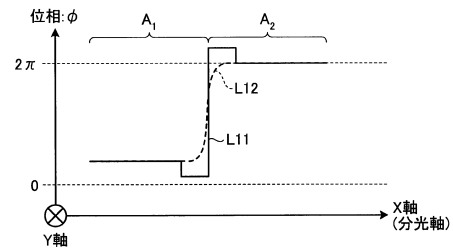
【図 11】



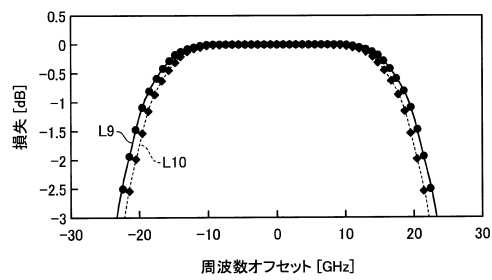
【図 12】



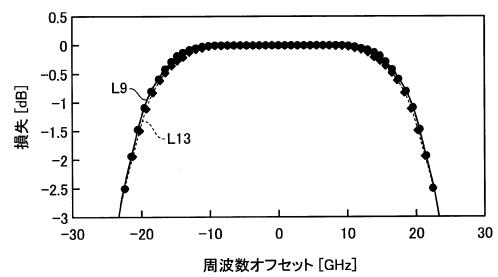
【図 14】



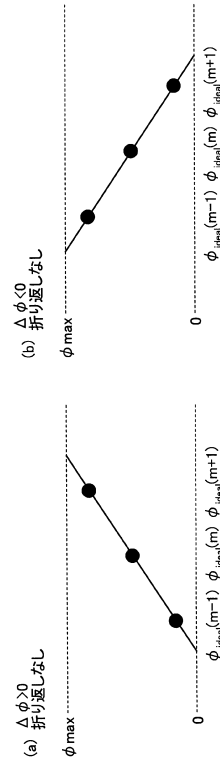
【図 13】



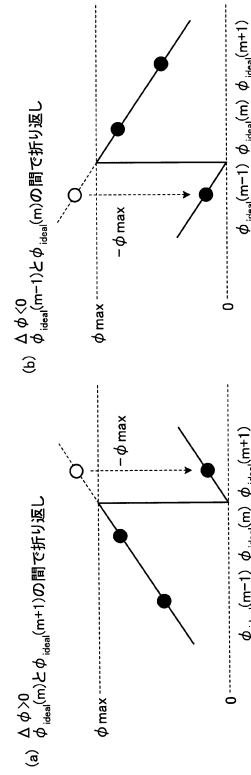
【図 15】



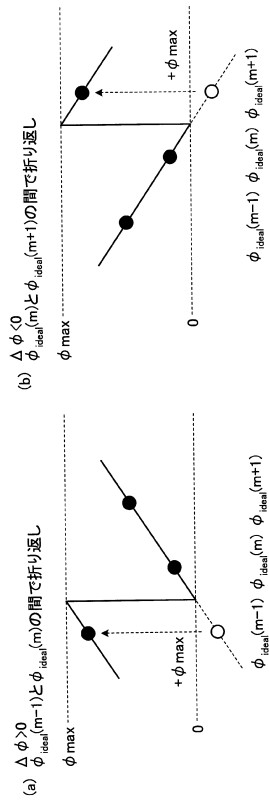
【図 16】



【図 17】



【図 18】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2010-113067 (JP, A)
特開2002-229066 (JP, A)
特開2012-083404 (JP, A)
特開2007-60578 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02F 1/00-1/125
G02F 1/13-1/1337
G02F 1/00-1/125
G02F 1/1343
JSTPlus/JST7580 (JDreamIII)