

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4911404号
(P4911404)

(45) 発行日 平成24年4月4日(2012.4.4)

(24) 登録日 平成24年1月27日(2012.1.27)

(51) Int. Cl. F 1
G02F 1/365 (2006.01) G02F 1/365
G02F 1/017 (2006.01) G02F 1/017 503

請求項の数 2 (全 12 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2006-228604 (P2006-228604)</p> <p>(22) 出願日 平成18年8月25日 (2006.8.25)</p> <p>(65) 公開番号 特開2008-52066 (P2008-52066A)</p> <p>(43) 公開日 平成20年3月6日 (2008.3.6)</p> <p>審査請求日 平成21年3月9日 (2009.3.9)</p> <p>(出願人による申告) 平成18年度独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「160Gb/s 超光通信システム用超高速全光スイッチ成果普及事業」委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受ける特許出願</p>	<p>(73) 特許権者 301021533 独立行政法人産業技術総合研究所 東京都千代田区霞が関1-3-1</p> <p>(73) 特許権者 301022471 独立行政法人情報通信研究機構 東京都小金井市貫井北町4-2-1</p> <p>(74) 代理人 100118670 弁理士 及川 泰嘉</p> <p>(72) 発明者 土田 英実 茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法人産業技術総合研究所つくばセンター内</p> <p>(72) 発明者 石川 浩 茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法人産業技術総合研究所つくばセンター内</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
---	---

(54) 【発明の名称】 光信号処理回路

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

波長 λ_c の強度変調されたパルス信号である制御光を2分岐して出力する第1の光方向性結合器と、

前記制御光に同期し、前記制御光と同じビットレートを有するクロック信号である波長 λ_p のプローブ光と、前記2分岐出力した制御光のうち的一方とを結合して、それぞれ前段のプローブ光と、前段の制御光として出力する第2の光方向性結合器と、

前記第1の光方向性結合器の2分岐出力した制御光のうち他方を入力し、1ビット分の遅延を与えて出力する1ビット遅延素子と、

前記第2の光方向性結合器の前記結合した出力光を入力し、前記前段の制御光の光強度に比例した位相変調を前記前段のプローブ光に与えて出力する第1の光位相変調素子と、

前記1ビット分の遅延を与えた制御光と、前記第1の光位相変調素子から出力される前記位相変調を受けた前段のプローブ光を結合し、それぞれ後段の制御光と、後段のプローブ光として出力する第3の光方向性結合器と、

前記第3の光方向性結合器の前記結合した出力光を入力し、前記後段の制御光の光強度に比例した位相変調を前記後段のプローブ光に与えて出力する第2の光位相変調素子と、

前記第2の光位相変調素子の出力から残留している前記前段、および前記後段の制御光を除去し、前記位相変調を受けた後段のプローブ光を取り出す光バンドパスフィルタとからなる強度変調・差動位相変調変換回路であって、

前記第3の光方向性結合器と前記第2の光位相変調素子と前記光バンドパスフィルタで光

10

20

位相変調回路を構成し、

前記第 1 および第 2 の光位相変調素子を単一または多重量子井戸構造の半導体素子であって、前記量子井戸のサブバンド間遷移に共鳴する T M 偏光の光と、T E 偏光の光を入力した場合に、該 T M 偏光の光を吸収し、該 T M 偏光の光の強度に比例した屈折率変化を該 T E 偏光の光に対して引き起こす素子とし、

前記第 1 の光位相変調素子と前記第 2 の光位相変調素子を直列接続して、前記プローブ光に前記制御光の引き続く 2 ビット間の論理値の差に対応した位相変調を与え、該プローブ光を差動位相変調光に変換する

ことを特徴とする強度変調・差動位相変調変換回路。

10

【請求項 2】

差動位相復調回路と、請求項 1 記載の強度変調・差動位相変調変換回路とからなり、差動位相変調されたデータ信号光である制御光を前記差動位相復調回路で強度変調信号の制御光に変換し、

前記強度変調信号の制御光を請求項 1 記載の制御光として前記強度変調・差動位相変調変換回路に入力するとともに、クロック信号であるプローブ光を請求項 1 記載のプローブ光として前記強度変調・差動位相変調変換回路に入力し、前記強度変調・差動位相変調変換回路で前記クロック信号光であるプローブ光を差動位相変調信号光に変換して、前記位相変調されたデータ信号光である制御光を再生することを特徴とする光信号再生回路。

【発明の詳細な説明】

20

【技術分野】

【0001】

大容量・高機能光通信ネットワークのノード等においては、超高速光データ信号に対する種々の処理を、電気信号に変換することなく、光信号のまま行うことが要求されている。本発明は、要求されている超高速光データ信号のスイッチング、再生、変調フォーマット変換などの全光信号処理技術に関する。

【背景技術】

【0002】

光通信システムは、単純な 2 地点間の伝送から、多数のノードを含むネットワーク技術へと展開しつつある。ネットワークに配置されたノードは、伝送により劣化した信号の再生中継、経路切替などのスイッチング、速度やプロトコルの異なるネットワークを繋ぐゲートウェイ、信号の品質モニタリングなどの機能を担っている。これら一連の信号処理は、現状では電子回路を用いて行われ、その過程で光信号から電気信号へ、さらに電気信号から光信号への変換が必要になる。ビットレートが 10 - 160 Gb/s の光信号を処理するノードでは、電子回路の動作速度の限界や、光・電気・光変換に伴う消費電力の増大により、従来電子回路による信号処理が困難になり、電気信号に変換しないで光信号のまま高速処理できる技術が要求される。このためには、光信号を高速に切り替えることができる光ゲートスイッチ、光信号の再生中継、変調フォーマット変換などの機能を有する光信号処理回路が必要である。また、光信号の変調方式も単純な光のオン・オフだけでなく、差動位相シフト変調などに代表される、光波の位相を変調する方式も利用されるため、制御光での信号光の位相を変調、制御できる光信号処理回路が必要である。

30

40

【0003】

ビットレートが 10 - 160 Gb/s の光信号を、別の光信号で制御して処理する方式の光ゲートスイッチ回路として、半導体光増幅器の相互位相変調効果と光干渉計を組み合わせた方式、および光ファイバのカー効果を利用する方式が報告されている。

例えば、特許文献 1 では、制御光に対して非線形屈折率変化を示す半導体光導波路を、マッハツェンダー干渉計型の 2 つの光路に、対称に配置した構造の光ゲートスイッチ素子を提案している。半導体光導波路における非線形屈折率変化の緩和時間（スイッチオフ時間）は、キャリアの緩和時間により数ナノ秒に制限される。このため、特許文献 1 の素子では、ピコ秒オーダーの高速動作を実現するため、光の干渉を利用して、遅い緩和成分を

50

打ち消し、高速ゲートスイッチ動作を実現している。しかしながら、2つの光路に配置した半導体光導波路の特性を一致させることが困難であり、特性の違いを補償する回路が必要になるなどの問題があった。

【0004】

この問題を解決するため、特許文献2では、特許文献1と同等の機能を、1つの半導体光導波路のみで実現できる、長期安定性に優れた光ゲートスイッチ素子を提案している。

しかしながら、制御光による屈折率変化に起因する光の位相変化は数ナノ秒の緩和を伴うため、1つの半導体光導波路のみで光ゲートスイッチ素子を実現しても、位相変調・制御素子として高速動作させることは困難である。

【0005】

特許文献3では、光ファイバのカー効果を利用する、非線形光ループミラー型の光ゲートスイッチ回路を提案している。光ファイバの非線形屈折率変化は、特許文献1、2で用いられる半導体光導波路の非線形屈折率変化に比べて、桁違いに小さい。このため、数100mから数kmの光ファイバを用いて、制御光と信号光の相互作用長を長くする必要があり、またスイッチングに必要な制御光のパワーも1桁以上大きい。光ファイバによりループを構成し、ループを時計回り、および反時計回りに伝搬する光との間の干渉を利用して、屈折率変化に起因する光の位相変化を強度変化に変換する。光ファイバのカー効果は、制御光による光ファイバの非線形屈折率変化であり、数100フェムト秒程度の高速度応答を示すため、数100Gb/s以上のスイッチング動作を実現できる可能性があり、光の位相変調・制御素子として高速動作させることも原理的には可能である。しかしながら、長尺の光ファイバを用いる必要があるため、信号のタイミング調整が困難であり、信号の遅延を引き起こす可能性がある。このため、小型化・集積化には不向きである。

【特許文献1】特開平7-20510公報

【特許文献2】特開平8-179385公報

【特許文献3】特開2006-30295公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本発明は、小型化・集積化ができる半導体素子を用いて光強度に応じて光の位相を制御する遅い緩和を伴わない高速の光位相変調回路と、この光位相変調回路を用いた、光強度変調を位相変調に変換する回路と、強度変調を差動位相変調に変換する回路と、差動位相変調信号を再生する光信号再生回路と、干渉を利用する光ゲートスイッチ回路と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】

【0007】

本発明は、上記目的を達成するために下記の解決手段を採用する。

なお、この明細書中で用いる「光信号処理回路」は、「光位相変調回路と、この光位相変調回路を用いた、光強度変調を位相変調に変換する回路、強度変調を差動位相変調に変換する回路、差動位相変調信号を再生する光信号再生回路、干渉を利用する光ゲートスイッチ回路」を含む概念の回路を意味する。

【0008】

(1) 光位相変調回路は、光位相変調素子と、光バンドパスフィルタと、光方向性結合器とからなり、波長 c の制御光と、波長 p のプローブ光とを、前記光方向性結合器により結合して前記光位相変調素子に入力し、該光位相変調素子で位相変調したプローブ光を前記光バンドパスフィルタにより抽出して、制御光の強度により、プローブ光の位相を変調することを特徴とする。

(2) 強度変調・位相変調変換回路は、上記(1)記載の光位相変調回路において、前記プローブ光をクロック信号光とし、強度変調された波長 c の制御光と、クロック信号光である波長 p のプローブ光とを、前記光方向性結合器により結合して前記光位相変調素子に入力し、透過するプローブ光を前記光バンドパスフィルタにより抽出して、前記制御

10

20

30

40

50

光の強度変調をプローブ光の位相変調に変換することを特徴とする。

【0009】

(3) 1ビット遅延素子と、光バンドパスフィルタと、光方向性結合器と、上記(1)記載の光位相変調回路とからなり、

制御光を第1の光方向性結合器と1ビット遅延素子を介して遅延した制御光とし、前記第1の光方向性結合器の分岐光とプローブ光を第2の光方向性結合器で結合し、前記第2の光方向性結合器の結合出力のプローブ光を前記第1の光位相変調素子を介して制御信号で位相変調した変調信号とし、前記遅延した制御光を上記(1)記載の光位相変調回路の制御光とし、前記位相変調した変調信号を上記(1)記載の光位相変調回路のプローブ光とした強度変調・差動位相変調変換回路において、

10

前記制御光の強度変調をプローブ光の差動位相変調に変換することを特徴とする。

(4) 光信号再生回路は、

差動位相復調回路と、上記(3)記載の強度変調・差動位相変調変換回路とからなり、差動位相変調されたデータ信号光である制御光を前記差動位相復調回路を介して強度変調データ信号光に変換し、前記強度変調データ信号光を制御光として、前記強度変調・差動位相変調変換回路により、クロック信号光を差動位相変調信号光に変換して、前記位相変調されたデータ信号光を再生することを特徴とする。

【0010】

(5) 光ゲートスイッチ回路は、上記(1)記載の光位相変調回路の制御光とプローブ光を第1の光方向性結合器と光位相変調素子を介して第2の光方向性結合器へ出力する光路と、プローブ光を入力する第3の光方向性結合器から可変光減衰器と光位相シフタを介して前記第2の光方向性結合器へ接続する光路とからなる非対称マッハツェンダー干渉計と、前記第2の光方向性結合器に接続された光バンドパスフィルタとからなり、

20

強度変調された波長 λ_c の制御光を前記光位相変調素子に入力し、クロック信号光、または連続光である波長 λ_p のプローブ光を前記非対称マッハツェンダー干渉計に入力し、透過したプローブ光を前記光バンドパスフィルタにより抽出して、前記制御光により前記プローブ光をスイッチングすることを特徴とする。

(6) 上記(1)乃至(5)のいずれか1項記載の回路において、前記光位相変調素子を井戸層と障壁層からなる半導体の単一または多重量子井戸構造の素子とし、前記制御光を量子井戸のサブバンド間遷移に共鳴するTM偏光とし、プローブ光をTE偏光としたことを特徴とする。

30

【発明の効果】

【0011】

特許文献1と2の光ゲートスイッチ素子においては、制御光により引き起こされるプローブ光の位相変調を強度変調に変換するために、半導体光導波路における非線形屈折率変化の緩和時間(スイッチオフ時間)を打ち消すように干渉計を用いた。これに対して、本発明の光信号処理回路では、半導体の非線形屈折率変化は制御光に対して高速に応答するため、遅い緩和成分を除去する必要はない。このため、干渉計は位相変調を強度変調に変換するためだけに利用され、構造が簡素化され、安定性と信頼性が著しく向上する。さらに、本発明の光信号処理回路に用いる光位相変調素子では、遅い緩和成分が存在しないため、位相変調・制御素子として高速動作させることが可能になる。これにより、特許文献1と2の光ゲートスイッチ素子ではできなかった強度変調・位相変調変換回路、強度変調・差動位相変調変換回路、光信号再生回路が実現できる。

40

特許文献3の光ゲートスイッチ回路においては、制御光により光ファイバの非線形屈折率変化が高速に応答するものの、長さ数100mから数kmの光ファイバを必要とするため、信号遅延、タイミング調整が困難、小型化・集積化には不向きなどの問題がある。これに対して、本発明の光信号処理回路は、半導体素子により実現できるため、信号遅延やタイミング調整の問題は解消され、小型化と、他の半導体素子との集積化ができるようになる。

【発明を実施するための最良の形態】

50

【 0 0 1 2 】

以下、本発明の実施の形態を図を用いて詳細に説明する。

図 1 は本発明に係る光位相変調回路を示す図である。波長 c の制御光と、波長 p のプローブ光とを、光方向性結合器 1 により結合して、光位相変調素子 2 に入力する。制御光の波長 c は、中心波長 p の光バンドパスフィルタ 3 により、除去できるように設定する。制御光の強度に比例して、光位相変調素子 2 の屈折率が変調され、これに応じて光位相変調素子 2 を伝搬するプローブ光の位相が変調される。制御光としてパルス光を用いた場合、プローブ光には図 1 に示すようなパルス状の位相変化が与えられる。光位相変調素子 2 を透過したプローブ光は、光バンドパスフィルタ 3 により残留している制御光を除去して取り出す。プローブ光として連続光、または制御光に同期したクロックパルス光を用いることができる。

10

【 0 0 1 3 】

図 2 は本発明に係る強度変調・位相変調変換回路を示す図である。強度変調・位相変調変換回路 4 では、波長 c の制御光と、波長 p のプローブ光とを、光方向性結合器 1 により結合して、光位相変調素子 2 に入力する。制御光の波長 c は、中心波長 p の光バンドパスフィルタにより、除去できるように設定する。制御光は 2 値デジタル信号で強度変調されたパルス信号光とする。プローブ光は制御光に同期し、制御光と同じビットレートを有するクロック信号光とする。光位相変調素子 2 において、制御光の光強度に比例した位相変化がプローブ光に与えられるが、制御光の値が “ 1 ” の場合のプローブ光の位相変化が π になるように、制御光の強度を調整する。制御光の値が “ 0 ” と “ 1 ” に対応して、

20

プローブ光は位相が “ 0 ” と “ π ” に変調された位相シフト変調 (P S K : P h a s e S h i f t K e y i n g) 光に変換される。光位相変調素子 2 を透過したプローブ光は、光バンドパスフィルタ 3 により残留している制御光を除去して取り出す。

【 0 0 1 4 】

図 3 は本発明に係る強度変調・差動位相変調変換回路を示す図である。

強度変調・差動位相変調変換回路 6 は、制御光を入力する光方向性結合器 1 a を基点として、光方向性結合器 1 c までの光路を 2 光路設ける。一方は、1 ビット遅延素子 5 を介する光路であり、他方は、光方向性結合器 1 b、光位相変調素子 2 a を介する光路である。光方向性結合器 1 c は、光位相変調素子 2 b、光バンドパスフィルタ 3 を介して出力される。光方向性結合器 1 c と、光位相変調素子 2 b と、光バンドパスフィルタ 3 とは図 1

30

記載の光位相変調回路 4 と同一のものである。

【 0 0 1 5 】

強度変調・差動位相変調変換回路 6 では、波長 c の制御光と、波長 p のプローブ光とを、光方向性結合器 1 a により結合して、光位相変調素子 2 a に入力するが、さらに光位相変調素子 2 b を光路に設けて、光位相変調素子を 2 段に直列接続した構造を有している。後段の光位相変調素子 2 b に入力する制御光には、前段の光位相変調素子 2 a に入力する制御光に対して、1 ビット遅延素子 5 により 1 ビット分の遅延を与える。制御光の波長 c は、中心波長 p の光バンドパスフィルタ 3 により、除去できるように設定する。制御光は 2 値デジタル信号で強度変調された光パルス信号とする。プローブ光は制御光に同期し、制御光と同じビットレートを有するクロック信号とする。それぞれの光位相変調素子 2 a、2 b において、制御光の光強度に比例した位相変化がプローブ光に与えられるが、制御光の値が “ 1 ” の場合のプローブ光の位相変化が π になるように、制御光の強度を調整する。それぞれの光位相変調素子 2 a、2 b において、制御光の値が “ 0 ” と “ 1 ” に対応して、プローブ光には位相が “ 0 ” と “ π ” の位相変化が与えられる。光位相変調素子 2 a、2 b を 2 段に直列接続することにより、制御光の引き続く 2 ビット間の論理値の差に対応した位相変調が与えられ、プローブ光は最終的に差動位相変調 (D P S K : D i f f e r e n t i a l P h a s e S h i f t K e y i n g) 光に変換される。後段の光位相変調素子 2 b を透過したプローブ光は、光バンドパスフィルタ 3 により残留している制御光を除去して取り出される。

40

【 0 0 1 6 】

50

図4は本発明に係る光信号再生回路を示す図である。光信号再生回路は、劣化した差動位相変調信号を、電気信号に変換することなく、全光学的に再生する機能を有する。強度変調・差動位相変調変換回路6は、図3の強度変調・差動位相変調変換回路と同一のものである。波長Cの制御光は差動位相変調された光パルス信号とし、波長Pのプローブ光は制御光に同期し、制御光と同じビットレートを有するクロック信号とする。制御光を差動位相復調回路7に入力し、強度変調信号に変換する。

差動位相復調回路7は、例えば、制御光の1ビット分の遅延を有するマッハツェンダー干渉計等により実現できる。

【0017】

10

図3の強度変調・差動位相変調変換回路6と同様の原理で、差動位相復調回路7により強度変調信号に変換された制御光は、強度変調・差動位相変調変換回路6に入力され、同時に入力されたプローブ光を差動位相シフト変調光に変換して、制御光の情報はプローブ光に転写され、再生される。

【0018】

図5は本発明に係る光ゲートスイッチ回路を示す図である。

光ゲートスイッチ回路は、非対称マッハツェンダー干渉計10の出力側に光バンドパスフィルタ3を接続した構造を有する。

非対称マッハツェンダー干渉計10は、プローブ光を入力する光方向性結合器1dを基点として、光方向性結合器1e、光位相変調素子2を介して光方向性結合器1fに接続される光路と、可変光減衰器8、光位相シフタ9を介して光方向性結合器1fに接続される光路とを有し、光方向性結合器1eには制御光が入力される構成を有する。光方向性結合器1fは光バンドパスフィルタ3に接続される。

20

【0019】

プローブ光は光方向性結合器1dにより2分して、非対称マッハツェンダー干渉計7の2つの光路をそれぞれ伝搬した後、光方向性結合器1fにより結合する。可変光減衰器8の透過率は、非対称マッハツェンダー干渉計10の光路を透過した2つのプローブ光の強度が等しくなるように調整する。光位相シフタ9の位相変化は、制御光を入力しない場合の、非対称マッハツェンダー干渉計10の光路を透過した2つのプローブ光の位相差が、

(180°)になるように調整する。非対称マッハツェンダー干渉計10を透過したプローブ光は、光バンドパスフィルタ3により残留している制御光を除去して取り出される。

30

【0020】

制御光を入力しない場合は、プローブ光は干渉により打ち消され、非対称マッハツェンダー干渉計10の出力側にはプローブ光は出力されない。強度変調されたデータ信号光を制御光として入力した場合は、制御光がプローブ光の位相変調を引き起こし、干渉により位相変調が強度変調に変換され、非対称マッハツェンダー干渉計10は光ゲートスイッチとして動作する。プローブ光として連続光、または制御光に同期したクロックパルス光を用いることができ、光波長変換や光信号再生に利用できる。図2の光ゲートスイッチ回路においては、非対称マッハツェンダー干渉計10は、位相変調を強度変調に変換するために用いられ、特許文献1、2で用いられる、遅い緩和成分を打ち消す機能は不要である。

40

【0021】

図1から図5の光信号処理回路において、光位相変調素子2は、井戸層と障壁層からなる半導体の単一または多重量子井戸構造である。制御光はサブバンド間遷移に共鳴するTM偏光を用い、サブバンド間遷移による制御光の吸収を通して、半導体の屈折率変化を引き起こす。さらに、この屈折率変化を介してTE偏光のプローブ光の位相を変調して、制御光でプローブ光の位相を変調できる光位相変調素子として動作する。光通信波長帯にサブバンド間遷移を有する材料系として、非特許文献1～3に述べられている半導体量子井戸構造があり、導波路構造により光閉じ込めを施して、光位相変調素子として動作できる。

【0022】

50

【非特許文献1】H. Yoshida, T. Shimoyama, A. V. Gopal, J. Kasai, T. Mozume and H. Ishikawa, "Ultrafast all optical switching and modulation using intersubband transitions in coupled quantum well structures", IEICE Trans. Electron., vol. 87-C, no. 7, pp. 1134-1141 (2004).

【0023】

【非特許文献2】R. Akimoto, B. S. Li, K. Akita and T. Hasama, "Subpicosecond saturation of intersubband absorption in (CdS/ZnSe) BeTe quantum well waveguides at telecommunication wavelength", Appl. Phys. Lett., vol. 87, no. 18, 181104 (2005).

10

【0024】

【非特許文献3】N. Iizuka, K. Kaneko and N. Suzuki, "Sub-picosecond all-optical gate utilizing GaN intersubband transition", Opt. Exp., vol. 13, no. 10, pp. 3835-3840 (2005).

20

【0025】

以下では、半導体多重量子井戸構造の光位相変調素子を用いた、サブバンド間遷移による相互位相変調の実験結果を報告する。

実験に用いた光位相変調素子は、InGaAs/AlAs/AlAsSb結合量子井戸構造を有し、組成と構造は非特許文献1に記載されている。

【0026】

図6は、光位相変調素子2の位相変調特性を評価する実験装置の構成を示す図である。制御光の光源として、能動モード同期光ファイバレーザー11を用いた。能動モード同期光ファイバレーザー11は、シンセサイザ12により駆動され、繰り返し周波数が9.95328GHz、持続時間2.3ps、中心波長1550nmの光クロック信号を安定に発生する。前記シンセサイザ12に同期した符号発生器14で駆動される光強度変調器13に、前記光クロック信号を入力し、デジタル変調された制御光を生成する。前記制御光は光ファイバ増幅器15により増幅し、偏光制御器16aによりTM偏光に設定して、光サーキュレータ17を介して、光位相変調素子2に入力した。

30

【0027】

図6に示されているように、前記制御光は、周期100.47psのデジタル変調信号である。プローブ光の光源として波長可変レーザー18を用いた。波長可変レーザー18の出力光をTE偏光に設定して、前記制御光とは逆方向から光位相変調素子2に入力した。光位相変調素子2を透過した前記プローブ光は、光サーキュレータ17を介して取り出し、光バンドパスフィルタ3により不要な制御光成分を除去した後、偏光制御器16bにより偏波を調整して、直交偏光間の遅延時間25.12psを有する差動群遅延素子19に入力した。差動群遅延素子19を透過したプローブ光は、偏光制御器16cにより偏波を調整して、偏光子20に入力し、直交偏光間の干渉を利用して、位相変調を強度変調に変換した。図6に示されているように、偏光子20を透過したプローブ光は、時間間隔25.12psの2連パルスが、周期100.47psで繰り返されるデジタル変調信号になっている。理想的には、図5に示した構造の非対称マッハツェンダー干渉計7を用いることが望ましいが、個別部品で安定な干渉計を構成することが困難であるため、直交偏光間の干渉計を利用した。

40

【0028】

図7は、強度変調信号に変換されたプローブ光の光サンプリング波形を表す図である。図7の横軸はTime(時間)[ps]、縦軸はAmplitude(振幅)[2mW/d

50

i v]を表し、図7の波形は、下から順に制御光の1パルス当たりのエネルギーを1.59 pJ、4.48 pJ、6.76 pJ、8.47 pJ、9.93 pJに設定した場合の、プローブ光の波形を表す。差動群遅延素子19の遅延時間25.12 psに相当する間隔の2連パルスが現れており、制御光によりプローブ光に引き起こされた位相変調が、強度変調に変換されたことを示している。

図7の各波形は、アイパターン (Eye Pattern) を呈する。このアイパターンは、サンプリングデータを時間軸上で重ね合わせた特性を備え、中央の空白の部分が広いほうが良質であり、振幅が位相変化の大きさに対応している。特性上、9.93 pJの強度レベルのプローブ光が最も良質である。

【0029】

図7は、制御光のエネルギーを増大すると、プローブ光の強度変調が増大し、プローブ光の位相変調が増大していることを示している。制御光の1パルス当たりのエネルギーが6.76 pJ以上では、明瞭なアイ開口を有する強度変調信号が得られており、光ゲートスイッチ回路として利用可能であることを示している。

【0030】

図8は、プローブ光の光スペクトラムを表す図であり、横軸はWavelength Offset (波長オフセット) [nm]、縦軸はIntensity (強度) [10 dB/div]を表す。図8の波形は、制御光を入力しない場合 (Pump Off)、および制御光の1パルス当たりのエネルギーを3.19 pJ、9.02 pJに設定して測定したものである。制御光を入力した場合は、制御光により引き起こされるプローブ光の位相変調により、キャリアの周囲に多数のサイドバンドが生じている。また、プローブ光のサイドバンドの振幅は、制御光のエネルギーとともに増大している。サイドバンドの間隔は9.95328 GHzであり、制御光のビットレートに対応している。

【0031】

図9は、制御光により引き起こされるプローブ光の位相変化を、制御光の1パルス当たりのエネルギーの関数として表した図であり、横軸はPump Energy (制御光エネルギー) [pJ]で、縦軸はPhase Change (位相変化) [rad]を表す。プローブ光の位相変化は、制御光の1パルス当たりのエネルギーにほぼ比例して、0.234 rad/pJの割合で増大している。プローブ光に の位相変化を与えるのに必要な制御光1パルス当たりのエネルギーは、13.4 pJと見積もられ、10 Gb/sの光デジタル信号では、平均パワー67.1 mWに相当する。したがって、プローブ光に対して の位相変化を必要とする、上記強度変調・位相変調変換回路と、上記強度変調・差動位相変調変換回路と、上記光信号再生回路は、実験に用いた光位相変調素子2により実現することができる。

【0032】

以上のとおりであるから、小型化・集積化できる半導体素子を用いて、遅い緩和を伴わない高速の光位相変調回路と、光強度変調を位相変調に変換する回路と、強度変調を差動位相変調に変換する回路と、差動位相変調信号を再生する光信号再生回路と、干渉を利用する光ゲートスイッチ回路を提供することが可能になり、実験結果により有効性が示された。

【産業上の利用可能性】

【0033】

本発明の光信号処理回路は、従来の光ゲートスイッチ回路では不可能であった遅い緩和を伴わない高速の光位相変調回路を、小型化・集積化ができる半導体素子を用いて実現することが可能になる。これによりビットレートが10 - 160 Gb/s超高速光データ信号に対するスイッチング、再生、変調フォーマット変換などの種々の処理を、電気信号に変換することなく、光信号のまま行うことができるようになる。この技術思想は、光通信システムに適用することにより、その性能向上に寄与することができる。

【図面の簡単な説明】

【0034】

10

20

30

40

50

- 【図1】本発明に係る光位相変調回路を説明する図である。
 【図2】本発明に係る強度変調・位相変調変換回路を説明する図である。
 【図3】本発明に係る強度変調・差動位相変調変換回路を説明する図である。
 【図4】本発明に係る光信号再生回路を説明する図である。
 【図5】本発明に係る光ゲートスイッチ回路を説明する図である。
 【図6】光位相変調素子の相互位相変調特性を評価する実験装置を示す図である。
 【図7】強度変調信号に変換されたプローブ光の光サンプリング波形を表す図である。
 【図8】プローブ光の光スペクトラムを表す図である。
 【図9】プローブ光の位相変化を、制御光の1パルス当たりのエネルギーの関数として表した図である。

10

【符号の説明】

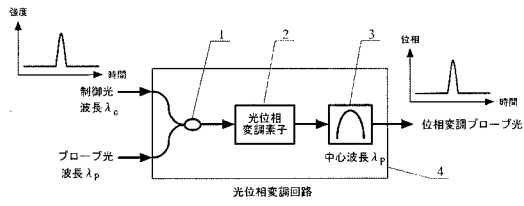
【0035】

- 1, 1 a、1 b、1 c、1 d、1 e、1 f 光方向性結合器
 2, 2 a、2 b 光位相変調素子
 3 光バンドパスフィルタ
 4 光位相変調回路
 5 1ビット遅延素子
 6 強度変調・差動位相変調変換回路
 7 差動位相復調回路
 8 可変光減衰器
 9 位相光位相シフタ
 10 非対称マッハツェンダー干渉計
 11 能動モード同期光ファイバレーザー
 12 シンセサイザ
 13 光強度変調器
 14 符号発生器
 15 光ファイバ増幅器
 16 a、16 b、16 c 偏光制御器
 17 光サーキュレータ
 18 波長可変レーザー
 19 差動群遅延素子
 20 偏光子

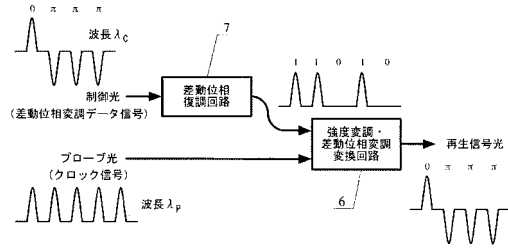
20

30

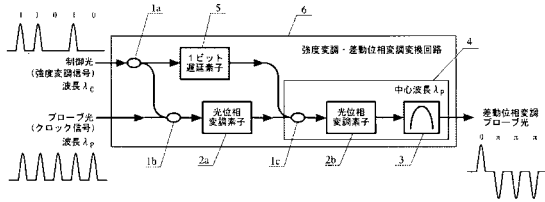
【図1】



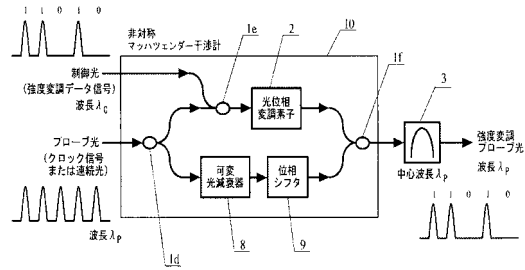
【図4】



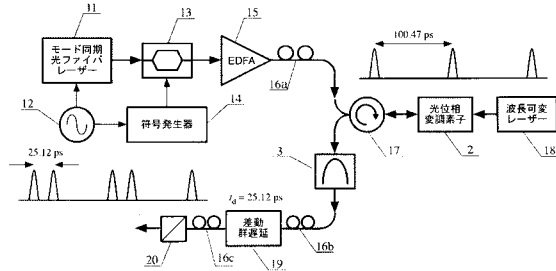
【図3】



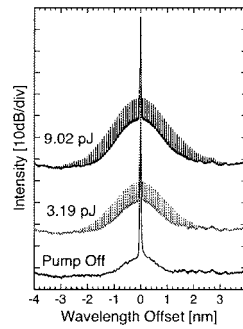
【図5】



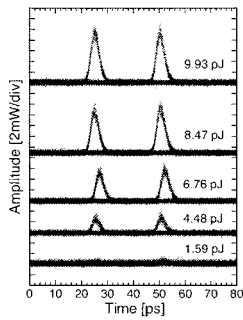
【図6】



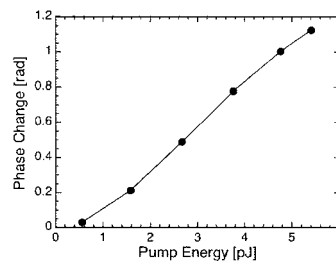
【図8】



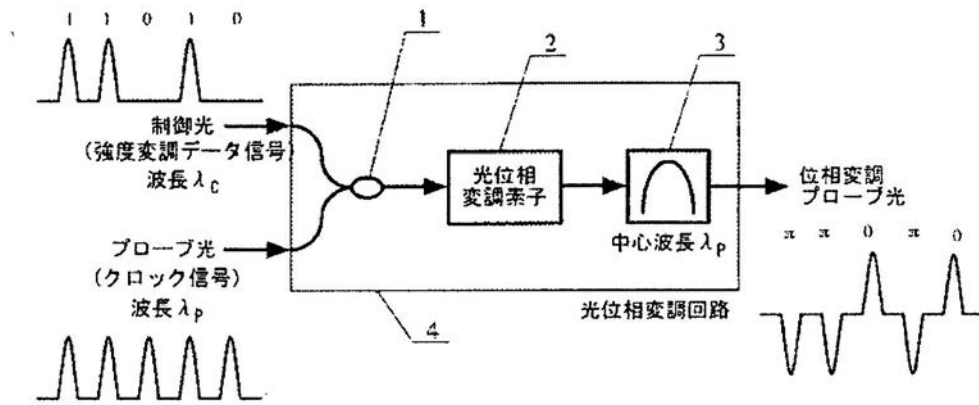
【図7】



【図9】



【図2】



フロントページの続き

- (72)発明者 下山 峰史
茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法人産業技術総合研究所つくばセンター内
- (72)発明者 アベディン カジサルワル
東京都小金井市貫井北町4-2-1 独立行政法人情報通信研究機構内
- (72)発明者 宮崎 哲弥
東京都小金井市貫井北町4-2-1 独立行政法人情報通信研究機構内

審査官 日夏 貴史

- (56)参考文献 特開2003-195237(JP,A)
特開2002-162657(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | | | |
|------|-------|---|-------|
| G02F | 1/015 | - | 1/025 |
| G02F | 1/35 | - | 1/365 |
- JSTPlus(JDreamII)