

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4984442号  
(P4984442)

(45) 発行日 平成24年7月25日(2012.7.25)

(24) 登録日 平成24年5月11日(2012.5.11)

(51) Int.Cl. F 1  
G 0 2 F 1/365 (2006.01) G 0 2 F 1/365

請求項の数 11 (全 35 頁)

(21) 出願番号	特願2005-182424 (P2005-182424)	(73) 特許権者	000005223 富士通株式会社
(22) 出願日	平成17年6月22日 (2005.6.22)		神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(65) 公開番号	特開2007-3718 (P2007-3718A)	(74) 代理人	100092152 弁理士 服部 毅巖
(43) 公開日	平成19年1月11日 (2007.1.11)	(72) 発明者	田村 裕司 神奈川県横浜市港北区新横浜三丁目9番18号 富士通ネットワークテクノロジーズ株式会社内
審査請求日	平成20年6月19日 (2008.6.19)	(72) 発明者	渡辺 茂樹 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
		審査官	林 祥恵

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光スイッチ装置及び光スイッチ方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数のチャンネルの光パルスが時間多重された第1の波長を有する入力光を入力し、偏光方向を制御した偏光入力光を出力する第1の偏光制御部と、

連続した制御光パルスから構成された、前記第1の波長とは異なる第2の波長を有する制御光を生成する制御光生成部と、

前記制御光を入力し、偏光方向を制御した偏光制御光を出力する第2の偏光制御部と、前記偏光入力光および前記偏光制御光を入力し、前記偏光制御光の非線形効果によって、前記偏光入力光に対して増幅および偏光回転を生じさせて、増幅光として出力する非線形光ファイバと、

前記第1の偏光制御部で制御した偏光方向と直交する偏光軸を有し、前記増幅光が入力する偏光子と、

前記偏光子から出力された前記増幅光をモニタするモニタ部と、

を備え、

前記制御光生成部は、前記モニタ部のモニタ結果にもとづき、連続する前記制御光パルスの各光パワーを制御し、

前記第2の偏光制御部は、前記モニタ部のモニタ結果にもとづき、連続する前記制御光パルスの各偏光方向を制御し、

前記第2の偏光制御部は、前記偏光入力光に対して所定角度を形成する偏光方向を持った前記偏光制御光を出力し、

前記モニタ部は、前記偏光子から出力された前記増幅光のレベルをモニタし、モニタ値と目標値とを比較して、差分値を算出し、

前記制御光生成部は、前記差分値がゼロに近づくように励起レベルを可変に設定した前記制御光パルスを生成し、

前記第2の偏光制御部は、前記入力光のスイッチ出力対象の光パルスであるスイッチ対象光パルスに対して、前記スイッチ対象光パルスと同一位相の前記制御光パルスに前記所定角度を持たせて、前記非線形光ファイバへ入力することで、

前記非線形光ファイバ内で、増幅および偏光回転を生じさせて、スイッチ出力後の光パルスのレベルが所望レベルに設定された光スイッチングを行う、

ことを特徴とする光スイッチ装置。

10

**【請求項2】**

前記制御光生成部は、前記第2の波長を、前記非線形光ファイバの平均ゼロ分散波長と略一致させることを特徴とする請求項1記載の光スイッチ装置。

**【請求項3】**

前記制御光生成部は、前記非線形光ファイバ内で増幅を生じさせるのに必要なパワーの範囲内で前記制御光パルスの励起レベルを可変に設定し、前記制御光パルスの励起レベルの設定を、チャンネル単位に個別に行って、光スイッチング後の光パルスのすべてのチャンネルを同一レベルに設定、または光スイッチング後の光パルスをチャンネル毎に異なるレベルに設定することを特徴とする請求項1記載の光スイッチ装置。

**【請求項4】**

20

前記制御光パルスの励起レベルを設定する際は、前記モニタ部は、レベル未設定のチャンネルのレベルをモニタして、未設定チャンネルのモニタ値と目標値との差分値を算出し、

前記制御光生成部は、レベル設定済みのチャンネルに対応する制御光パルスのレベルはゼロにしながら、前記スイッチ対象光パルスに対しては、前記差分値がゼロに近づくような励起レベルを設定し、すべてのチャンネルのレベルが設定されるまでは運用を停止して、未設定チャンネルのレベルを順次設定していくことで、光スイッチング後の光パルスのレベルを所望レベルに設定することを特徴とする請求項1記載の光スイッチ装置。

**【請求項5】**

前記制御光パルスの励起レベルを設定する際は、前記モニタ部は、レベル設定済みのチャンネルと未設定チャンネルの両方のレベルをモニタして、前記差分値として、未設定チャンネルのレベルの増加分を算出し、

30

前記制御光生成部は、レベル設定済みのチャンネルに対応する制御光パルスを出力しながら、前記スイッチ対象光パルスに対しては、前記増加分がゼロに近づくような励起レベルを設定することで、レベル設定済みのチャンネルを運用状態にしながら、未設定チャンネルのレベルを順次設定していき、光スイッチング後の光パルスのレベルを所望レベルに設定することを特徴とする請求項1記載の光スイッチ装置。

**【請求項6】**

前記制御光パルスの励起レベルを設定する際は、前記制御光生成部は、低周波信号を前記制御光パルスに重畳して強度変調を施した制御光パルスを生成して前記非線形光ファイバへ入力し、

40

前記モニタ部は、スイッチ出力された、強度変調を受けた増幅後の光パルスから低周波信号を抽出し、抽出した低周波信号の振幅をモニタして、抽出した低周波信号の振幅と、目標振幅との差分値を算出し、

前記制御光生成部は、前記差分値がゼロに近づくように、前記制御光パルスの励起レベルを補正して、光スイッチング後の光パルスのレベルを所望レベルに設定することを特徴とする請求項1記載の光スイッチ装置。

**【請求項7】**

前記制御光パルスの励起レベルを設定する際は、前記制御光生成部は、前記差分値がゼロに近づくように、励起レベルの可変設定に加えて、前記入力光の偏光方向に対する前記制御光パルスの偏光方向の前記所定角度も可変に設定して、光スイッチング後の光パルス

50

のレベルを所望レベルに設定することを特徴とする請求項 1 記載の光スイッチ装置。

【請求項 8】

前記光パルスと前記制御光パルスとを同期させる際に、前記入力光からクロックパルスの抽出を行わない場合は、前記制御光生成部は、外部から与えられたチャンネル周期またはチャンネル間隔にもとづくクロックパルスを生成し、前記クロックパルスを移相させながら前記クロックパルスと同期する制御光パルスを前記非線形光ファイバに入力して、前記モニタ部で認識されたモニタ値が所定値となるタイミングで、前記クロックパルスの移相を固定して前記光パルスと前記制御光パルスとを同期させることを特徴とする請求項 1 記載の光スイッチ装置。

【請求項 9】

光パルスの所定チャンネルのレベルに対して、他チャンネルのレベルとの差異が認識可能な差分を持たせたチャンネル識別用光パルスを含む光が前記非線形光ファイバに入力し、前記制御光生成部は、前記光パルスと前記制御光パルスとの同期後に、前記モニタ部で得られる前記チャンネル識別用光パルスのモニタ結果から、複数チャンネルが時間多重された光パルス列の中からどのタイミングの光パルスが所定チャンネルかを識別することを特徴とする請求項 1 記載の光スイッチ装置。

【請求項 10】

前記制御光生成部は、前記光パルスと前記制御光パルスとの同期後に、所定チャンネルに対応する制御光パルスのレベルをオンまたはオフさせることで、スイッチ出力された光パルスを受信する受信局を判別し、各受信局の識別番号から、複数チャンネルが時間多重された光パルス列の中からどのタイミングの光パルスが所定チャンネルかを識別することを特徴とする請求項 1 記載の光スイッチ装置。

【請求項 11】

光スイッチ方法において、  
 複数のチャンネルの光パルスが時間多重された第 1 の波長を有する入力光を入力し、偏光方向を制御した偏光入力光を出力し、  
 連続した制御光パルスから構成された、前記第 1 の波長とは異なる第 2 の波長を有する制御光を生成し、  
 前記制御光を入力し、偏光方向を制御した偏光制御光を出力し、  
 非線形光ファイバに対して、前記偏光入力光および前記偏光制御光とを入力し、前記偏光制御光の非線形効果によって、前記偏光入力光に対して増幅および偏光回転を生じさせて、増幅光として出力させ、  
 前記偏光入力光を生成した際の偏光方向と直交する偏光軸を有する偏光子に対して、前記増幅光を入力させ、  
 前記偏光子から出力された前記増幅光をモニタし、  
 モニタ結果にもとづき、連続する前記制御光パルスの各光パワーを制御し、  
 モニタ結果にもとづき、連続する前記制御光パルスの各偏光方向を制御し、  
 前記偏光子から出力された前記増幅光のレベルをモニタし、モニタ値と目標値とを比較して、差分値を算出し、  
 前記差分値がゼロに近づくように励起レベルを可変に設定した前記制御光パルスを生成し、  
 前記入力光のスイッチ出力対象の光パルスであるスイッチ対象光パルスに対して、前記スイッチ対象光パルスと同一位相の前記制御光パルスに所定角度を持たせて、前記非線形光ファイバへ入力することで、  
 前記非線形光ファイバ内で、増幅および偏光回転を生じさせて、スイッチ出力後の光パルスのレベルが所望レベルに設定された光スイッチングを行う、  
 ことを特徴とする光スイッチ方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

20

30

40

50

本発明は、光スイッチ装置及び光スイッチ方法に関し、特に光信号をスイッチする光スイッチ装置及び光信号をスイッチする光スイッチ方法に関する。

【背景技術】

【0002】

インターネットの急激な普及や大容量コンテンツの増加に伴って、さらなる高速・大容量で柔軟性のある通信ネットワークが要求されている。このような通信ネットワークの構築のためには、光通信技術は不可欠であり、様々な分野での研究開発が行われている。

【0003】

特に、光信号をON/OFFする光スイッチは、将来のフォトニックネットワークを構築する上での重要な構成要素であり、近年では光ファイバの非線形光学効果（ガラス中に比較的強いパワーの光を伝搬させたときに、光強度に応じてガラスの物性が変化して、光学的な応答が線形性を失う現象）を積極的に用いた超高速の光スイッチ技術が注目されている。

10

【0004】

従来の光スイッチとして代表的なものに、MEMS（Micro Electro Mechanical Systems）や導波路型スイッチなどがある。MEMSは、マイクロマシン技術を用いて、ミクロンサイズのミラーやシャッターにより、光路を変えて光をON/OFFするものであり、導波路型は、光導波路に対して熱や電界を与えて熱光学効果や電気光学効果を生じさせて、導波路の屈折率を変化させることにより、光をON/OFFさせるものである。

【0005】

20

MEMSでは、アライメント（ミラー等の素子を光軸の直線上に整列する操作）の許容誤差によって集光効率が低下したり、導波路型スイッチでは、挿入損失（部品挿入時に生じるレベル損失）や、消光比（透過光強度の最大値と最小値の比率）が高くとれないなどの理由によって、レベル低下や雑音が生じやすいといった欠点があった。

【0006】

このため、従来の光スイッチでは、信号品質の劣化を伴うものであり、また電子的な信号処理によるスイッチ制御では、高速光スイッチングを行うことは不可能であった。

一方、光の物理的特性を活かして、光ファイバの非線形光学効果を用いる光スイッチは、非線形光学効果の発生効率が高い高非線形ファイバ（HNLF：High Non-Linear Fiber）に対し、信号光と制御光（励起光）を入力して、高非線形ファイバ内で生じる非線形屈折率変化に対して、パラメトリック増幅（parametric amplification）を起こさせて、高速スイッチングを行うものである。

30

【0007】

パラメトリック増幅とは、信号光の強度を増幅する非線形光学効果のことであり、従来のEDF（Erbium-Doped Fiber）のような線形増幅媒体を用いずに、信号光と制御光とが高非線形ファイバの中で相互作用することで生じる現象である（パラメトリック増幅またはパラメトリック発振は、簡単には、非線形光学媒質中で、高い周波数 3 によって2つの低周波数 1、 2 の光を発生する過程と定義される）。

【0008】

高非線形ファイバ内で生じるパラメトリック増幅は、非常に高速で生じる光学的物理現象なので、メカニカルな光路切り替えや、熱/電気光学効果によって媒質の屈折率を変化させる現象などよりも、はるかに応答速度が高速であり、高非線形ファイバに入力した超高速光パルスの中から、入力光と同じ速さで、目的とするパルスを抜き出して超高速スイッチングを行うことができ、それと同時に光信号は増幅されて出力される。

40

【0009】

このように、高非線形ファイバを用いた光スイッチは、超高速スイッチ動作に加えて光増幅機能を有するので、スイッチング効率が高く（入力信号光パワーに対する出力信号光パワーの比率が大きく）、極低雑音でS/N劣化が非常に少ない高品質な光スイッチング伝送を行えるといった特徴を有しており、次世代の超高速光信号処理の実現に向けて、大きく期待されている技術である。

50

## 【 0 0 1 0 】

パラメトリック増幅を用いた従来技術として、入力信号光偏波に依存しない増幅特性を有する光ファイバのパラメトリック増幅器の技術が提案されている（例えば、特許文献 1）。

【特許文献 1】特開 2 0 0 2 - 9 0 7 8 8 号公報（段落番号〔 0 0 0 1 3 〕～〔 0 0 2 0 〕，第 1 図）

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【 0 0 1 1 】

高非線形ファイバで生じるパラメトリック増幅による光スイッチにおいて、光パルスが時間多重（TDM：Time Division Multiplex）された信号光の中から所望の光パルスを抽出してスイッチ出力する場合には、スイッチング対象の光パルスと同じ位相で、かつ光パルスに対してある角度を持って制御光パルスを高非線形ファイバへ入力する。

10

## 【 0 0 1 2 】

図 2 0 はパラメトリック増幅を用いた光スイッチ動作の概要を示す図である。高非線形ファイバ F に対して、信号光と制御光パルスが入力する。信号光は、光パルスが時間多重された TDM 光信号であり、c h（チャンネル）1～c h 4 の繰り返しで構成されているとする。

## 【 0 0 1 3 】

このとき、c h 1、c h 3 の光パルスのみを抽出してスイッチ出力させる場合には、c h 1 と c h 3 の光パルスと同一位相で、かつ c h 1、c h 3 の光パルスの偏光方向に対して一定の角度から制御光パルス p 1、p 3 を高非線形ファイバ F へ入射する。

20

## 【 0 0 1 4 】

すると、高非線形ファイバ F 内で生じるパラメトリック増幅によって、制御光パルス p 1、p 3 のパワーが c h 1、c h 3 の光パルスへ移行し、c h 1、c h 3 の光パルスのみが増幅されて出力することになる（実際には高非線形ファイバ F の出力段で、偏光子やバンドパスフィルタなどを用いて余分な光信号をカットするが詳細はここでは省略）。

## 【 0 0 1 5 】

このように、複数のチャンネルが時間多重されている信号光に対し、各チャンネルに対応した制御光パルスを生成し、スイッチング対象の光パルスに対して、それぞれの制御光パルスを上記の条件で高非線形ファイバ F に入力することで、光スイッチ処理を行うことが可能である。

30

## 【 0 0 1 6 】

一方、各チャンネルの光パルスは、ネットワーク上に散在する各ノードから送信されて到達したものであり、それらの光パルスが時間多重されて、信号光は生成されたものであるため、実際の信号光は、チャンネル毎に光レベルに差が生じていることになる。

## 【 0 0 1 7 】

このようなレベルの異なるチャンネルからなる信号光に対して、従来では、あらかじめ設定されている一定レベルの制御光パルスを高非線形ファイバ F に入力して光スイッチングを行っていた。このため、スイッチング後の光パルスのレベルには、ばらつきが生じることになり、受信側でレベル補償をしなければならないといった問題があった。

40

## 【 0 0 1 8 】

図 2 1 は問題点を説明するための図である。信号光は、c h 1～c h 4 の繰り返しからなる TDM 光信号であり、c h 1～c h 4 のレベルは互いに異なっている。また、c h 1～c h 4 の光パルスに対応する制御光パルス p 1～p 4 は、すべて同じ一定レベルである。

## 【 0 0 1 9 】

従来のように、信号光の各チャンネルに対応する制御光パルスのレベルがすべて固定である場合に、制御光パルス p 1～p 4 を上述の条件で高非線形ファイバ F へ入力し、c h 1～c h 4 の 4 チャンネルを出力させると、出力した c h 1～c h 4 のレベル差の比率は、高

50

非線形ファイバFの入力時のレベル差の比率と同じ状態で出力されることになる。

【0020】

すなわち、スイッチ出力された各チャネルの光パルスのレベルには、ばらつきが生じるため、受信するノード側では、受信ノード毎にレベルを補償しなければならず、システム運用の利便性を低下させるといった問題があった。

【0021】

また、レベル補償するために、高非線形ファイバFの後段において、光増幅器をチャネル数分設置して、スイッチ出力後のすべてのチャネルのレベルを一定に増幅制御することも考えられる。

【0022】

しかし、近年では通信トラフィックの急激な増加に伴い、使用すべきチャネル数も増加しており、時間多重されている光パルスのチャネル数も非常に多く、そのような状況において、ネットワーク上の光スイッチングを行うノード毎に、すべてのチャネルに対応してレベル補償するための光増幅器を設置すると、装置規模及びコストが増大してしまい、超高速光通信ネットワークを経済的に構築する上での大きな障害要因となってしまう。

【0023】

本発明はこのような点に鑑みてなされたものであり、時間多重された光パルスのスイッチ出力レベルを適応的に制御して、高品質で柔軟性のある光スイッチングを行う光スイッチ装置を提供することを目的とする。

【0024】

また、本発明の他の目的は、時間多重された光パルスのスイッチ出力レベルを適応的に制御して、高品質で柔軟性のある光スイッチングを行う光スイッチ方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0025】

上記課題を解決するために、光スイッチ装置が提供される。この光スイッチ装置は、複数のチャネルの光パルスが時間多重された第1の波長を有する入力光を入力し、偏光方向を制御した偏光入力光を出力する第1の偏光制御部と、連続した制御光パルスから構成された、前記第1の波長とは異なる第2の波長を有する制御光を生成する制御光生成部と、前記制御光を入力し、偏光方向を制御した偏光制御光を出力する第2の偏光制御部と、前記偏光入力光および前記偏光制御光を入力し、前記偏光制御光の非線形効果によって、前記偏光入力光に対して増幅および偏光回転を生じさせて、増幅光として出力する非線形光ファイバと、前記第1の偏光制御部で制御した偏光方向と直交する偏光軸を有し、前記増幅光が入力する偏光子と、前記偏光子から出力された前記増幅光をモニタするモニタ部と、を備え、前記制御光生成部は、前記モニタ部のモニタ結果にもとづき、連続する前記制御光パルスの各光パワーを制御し、前記第2の偏光制御部は、前記モニタ部のモニタ結果にもとづき、連続する前記制御光パルスの各偏光方向を制御し、前記第2の偏光制御部は、前記偏光入力光に対して所定角度を形成する偏光方向を持った前記偏光制御光を出力し、前記モニタ部は、前記偏光子から出力された前記増幅光のレベルをモニタし、モニタ値と目標値とを比較して、差分値を算出し、前記制御光生成部は、前記差分値がゼロに近づくように励起レベルを可変に設定した前記制御光パルスを生成し、前記第2の偏光制御部は、前記入力光のスイッチ出力対象の光パルスであるスイッチ対象光パルスに対して、前記スイッチ対象光パルスと同一位相の前記制御光パルスに前記所定角度を持たせて、前記非線形光ファイバへ入力することで、前記非線形光ファイバ内で、増幅および偏光回転を生じさせて、スイッチ出力後の光パルスのレベルが所望レベルに設定された光スイッチングを行う。

【発明の効果】

【0027】

非線形光学効果を利用した光スイッチに対して、時間多重された光パルスのスイッチ出力レベルを適応的に制御した光スイッチングを行うことができるので、高品質で柔軟性の

10

20

30

40

50

ある光スイッチングを行うことが可能になる。また、スイッチ出力後の光パルスのレベルが所望レベルに設定された光スイッチングを行うことが可能になる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0028】

以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。図1は光スイッチ装置の原理図である。光スイッチ装置10は、非線形光ファイバ11、信号光偏光制御部12(第1の偏光制御部に該当)、偏光子13、レベルモニタ部14(モニタ部に該当)、制御光パルス設定部15、フィルタ16、カプラC1、C2から構成され、光パルスをスイッチして伝送する装置である。

10

【0029】

非線形光ファイバ11は、非線形光学効果を有し、複数のチャネルの光パルスが時間多重された信号光(TDM信号光)が入力する。非線形光ファイバ11の長さは、例えば、20~30mの実用的な長さである。なお、非線形光ファイバ11は、非線形光学効果の発生効率が高い高非線形ファイバを使用するものとし、以降では、HNLF11と呼ぶ。

【0030】

信号光偏光制御部12は、信号光の偏光方向を制御する。偏光子13は、HNLF11の出力段に設けられ、信号光偏光制御部12で制御された信号光の偏光方向と直交する偏光主軸を有する。

【0031】

具体的には、偏光子13は、偏光主軸成分の光のみを通過させる光フィルタの機能を有している。また、信号光偏光制御部12は、偏光子13の偏光主軸と直交するように信号光の偏光方向を設定制御する。

20

【0032】

レベルモニタ部14は、偏光子13を透過し、かつフィルタ16でフィルタリングされたスイッチ出力後の光パルスを、カプラC2を介して受信し、受信した光パルスのレベルをモニタする。そして、モニタ値と目標値とを比較して、差分値を算出する。レベルモニタ部14では、このような差分値や、または各光パルスのモニタ値を制御光パルス設定部15へ送信する。

【0033】

制御光パルス設定部15は、制御光パルス生成部15a(制御光生成部に該当)、制御光パルス偏光制御部15b(第2の偏光制御部に該当)及び制御部15cを含む。制御光パルス生成部15aは、信号光の波長とは異なる波長を有し、差分値がゼロに近づくように、励起レベルを可変に設定した制御光パルスを生成する(信号光の波長sと制御光パルスの波長pは互いに異なり、また制御光パルスは、信号光の光パルスと同期して生成される)。

30

【0034】

制御光パルス偏光制御部15bは、制御光パルスの偏光方向を信号光の偏光方向に対して所定角度(約45度)に設定する。

制御部15cは、制御光パルス生成部15a及び制御光パルス偏光制御部15bに対して、制御光パルスのレベル設定の指示や偏光方向の角度設定の指示などの制御光パルス設定に必要な全体制御を行う(装置全体の制御も兼ねている)。

40

【0035】

また、制御部15cには保守端末(図示せず)が接続可能であり、レベルモニタ部14から送信される各光パルス(チャネル)のモニタ値を、保守端末の画面上に表示するなどして、システムの運用状態や障害チャネルをオペレータが確認することが可能である。さらに、保守端末から制御部15cを介して、レベルモニタ部14へスイッチ出力後の光パルスの目標レベル設定を行うことができる。

【0036】

制御光パルス設定部15では、上述のレベルモニタ部14及び制御光パルス生成部15

50

aによるフィードバック制御によって求められた励起レベルを設定した制御光パルスを作成する（HNL F 1 1内でパラメトリック増幅を生じさせるのに必要なパワーの範囲内で、差分値がゼロに近づくように、制御光パルスの励起レベルを可変に設定する）。

【0037】

そして、信号光のスイッチ出力対象の光パルスである、スイッチ対象光パルスに対して、この制御光パルスをスイッチ対象光パルスと同一位相で、かつ所定角度を持たせて、HNL F 1 1へ入力することで、HNL F 1 1内で偏光回転及びパラメトリック増幅を起こさせる。これによって、スイッチ出力後の光パルスのレベルが所望レベルに設定された、パラメトリック増幅による光スイッチングを実行する。

【0038】

なお、偏光回転及びパラメトリック増幅は、信号光全体に生じるものではなく、制御光パルスと時間的に重複する時間領域でのみ生じるものなので、スイッチ対象光パルス以外の光パルスについては、偏光回転及びパラメトリック増幅は生じない。偏光回転及びパラメトリック増幅の詳細については後述する。

【0039】

フィルタ16は、バンドパスフィルタであり、信号光の波長  $s$  のみを通させ、他の波長の光をカットする。すなわち、制御光パルス（波長  $p$ ）やHNL F 1 1で発生した自然放出光（ASE：Amplified Spontaneous Emission）などの光は、このフィルタ16によってカットされる。

【0040】

なお、制御光パルスの波長が信号光の波長から大きく離れていたり、偏光子13を通する信号光のパワーが自然放出光と比較して十分に大きい場合などには、フィルタ16は必ずしも設ける必要はない。

【0041】

次に光スイッチ装置10の動作概要について説明する。図2は光スイッチ装置10の動作概要を示す図である。信号光は、 $ch1 \sim ch4$ の光パルスの繰り返しからなるTDM光信号であり、 $ch1 \sim ch4$ のレベルは互いに異なっている。

【0042】

初期状態では、制御光パルス生成部15aは、各チャンネルの光パルスに対して、一定レベル（初期値レベル）の制御光パルスをHNL F 1 1に入力する。そして、レベルモニタ部14は、HNL F 1 1から出力された光パルスのレベルをそれぞれモニタし、目標値との差分を算出し、制御光パルス生成部15aへ送信する。

【0043】

そして、運用状態では、制御光パルス生成部15aは、各チャンネルの差分値にもとづいて設定した励起レベルを持つ制御光パルスを生成して、HNL F 1 1へ入力することで、スイッチ出力後のレベルのばらつきを抑制する。

【0044】

ここで、スイッチ出力後の $ch1 \sim ch4$ のすべてのレベルの目標値を $L_T$ とする。光パルス $ch1$ に対して、光パルス $ch1$ と、初期値レベルを設定した制御光パルスと、を同じタイミングでかつ所定の角度でHNL F 1 1へ入力する。レベルモニタ部14は、HNL F 1 1通過後のパラメトリック増幅された光パルス $ch1$ のレベルをモニタし、モニタ値と目標値 $L_T$ との差分値を算出する。

【0045】

制御光パルス生成部15aは、差分値がゼロに近づくように、光パルス $ch1$ に対応する制御光パルス $p1$ の励起レベルを補正して、スイッチ出力後の光パルス $ch1$ のレベルを $L_T$ と設定する。

【0046】

同様に光パルス $ch2$ に対して、光パルス $ch2$ と、初期値レベルを設定した制御光パルスと、を同じタイミングでかつ所定の角度でHNL F 1 1へ入力する。レベルモニタ部14は、HNL F 1 1通過後のパラメトリック増幅された光パルス $ch2$ のレベルをモニ

10

20

30

40

50

たし、モニタ値と目標値  $L_T$  との差分値を算出する。

【0047】

制御光パルス生成部 15 a は、差分値がゼロに近づくように、光パルス  $ch_2$  に対応する制御光パルス  $p_2$  の励起レベルを補正して、スイッチ出力後の光パルス  $ch_2$  のレベルを  $L_T$  と設定する。他の  $ch$  のレベル設定も同様である。

【0048】

このように、光スイッチ装置 10 では、スイッチ出力レベルを目標値のレベルとなるようにフィードバックして制御光パルスの励起レベルを可変設定し、光スイッチングを行う構成としたので、スイッチ出力レベルのばらつきを抑制することが可能になる。

【0049】

また、この例では、すべてのスイッチ出力後の光パルスのレベルを同一レベルとなるように制御したが、光スイッチ装置 10 では、チャンネル単位に個別にスイッチ出力レベルを制御することができるので、一方のチャンネルの出力レベルは高くし、他方のチャンネルの出力レベルは低くするといったように、各チャンネルの光パルスを受信する装置の受信状態に応じて所望のレベルに設定することができ（意図的にスイッチ出力レベルにばらつきを持たせることが可能）、スイッチ運用に対して柔軟性をを持たせることが可能である。

【0050】

ここで、制御光パルス生成部 15 a で、制御光パルス  $p_1 \sim p_4$  を生成する場合においては、制御光パルス  $p_1 \sim p_4$  の各波長はすべて同一であり、その波長は  $HNL F 11$  のゼロ分散波長と一致させるものとする。

【0051】

理由としては、 $HNL F 11$  の平均ゼロ分散波長（特定の波長で波形の広がり（波長分散）が最小になるところ）と制御光パルスの波長とが略一致するように設定すると、非線形光学効果によって生じる新たな光と制御光パルスの位相が整合することになり、後述のパラメトリック増幅の発生効率が高くなるからである。

【0052】

また、光増幅では波長毎に利得は異なるので、制御光パルスの波長を同一にしておけば、スイッチ出力のレベル制御において、制御光パルス毎の利得も同一化することができ、レベル制御がしやすくなるといった利点もある。

【0053】

次に光スイッチ装置 10 で実現される光スイッチ制御について段階的に詳しく説明する。非線形光学媒質で生じる非線形光学効果の現象には大別すると、非線形屈折率変化と非線形散乱とがある。

【0054】

前者の非線形屈折率変化は、光の強度に応じて媒質の屈折率が変化する現象であり、代表的なものに、自己位相変調（SPM：Self Phase Modulation）、相互位相変調（XPM：Cross Phase Modulation）及び 4 光波混合（FWM：Four Wave Mixing）がある。

【0055】

SPM は、1 波の伝送で位相シフトを生じる現象であり（自分自身の光強度で位相が変化）、XPM は、異なる波長の光が、同時に同一方向に伝送したときに生じる位相シフト現象である（別の光の強度により位相が変化）。また、FWM は、2 つ以上の光から新しい光が生成される現象である（ちなみに、非線形散乱には、誘導ラマン散乱や誘導ブリルアン散乱などがあるが、本発明の内容とは直接関係ないので説明は省略する）。

【0056】

非線形屈折率変化は、光カー効果（optical Kerr effect）とも呼ばれる。光スイッチ装置 10 の光スイッチ制御では、まず、この光カー効果によって（特に XPM の作用によって）入力信号光に偏光回転を生じさせている。

【0057】

最初に、信号光の偏光回転及び偏光回転によって実現される光スイッチングについて説明する。なお、説明しやすいように、光カー効果によって実現される光スイッチングのモ

10

20

30

40

50

デルとして光カースイッチを想定する。

【 0 0 5 8 】

図 3 は光カースイッチを示す図である。光カースイッチ 2 0 は、非線形光ファイバ 2 1、信号光偏光制御部 2 2、偏光子 2 3、制御光パルス生成部 2 5 a から構成される。非線形光ファイバ 2 1 には、信号光及び制御光パルスが入力される。なお、光カースイッチ 2 0 で用いる制御光パルスは、レベルが低く、励起の機能は持っていない。また、信号光偏光制御部 2 2 は、信号光の偏光方向を、偏光子 2 3 の偏光主軸と直交するように設定している。

【 0 0 5 9 】

図 4 は偏光回転の様子を示す図である。制御光パルス生成部 2 5 a で制御光パルスを生成せず、制御光パルスのパワーがゼロであれば、非線形光ファイバ 2 1 において信号光の偏光方向は回転しない。この場合、非線形光ファイバ 2 1 から出力される信号光の偏光方向は、偏光子 2 3 の偏光主軸と直交する状態であるので、信号光は偏光子 2 3 により完全に遮断される。

10

【 0 0 6 0 】

一方、制御光パルス生成部 2 5 a が制御光パルスを生成して、信号光の光パルスと同一タイミングで非線形光ファイバ 2 1 へ入力したとする。このとき、光パルスと制御光パルスとが時間的に重複した状態で（互いに同一位相で）、制御光パルスのパワーをある程度大きくしていくと、図に示すように、非線形光ファイバ 2 1 内では、制御光パルスのパワーに応じて、信号光の偏光方向が回転する。このため、信号光の一部の成分が偏光子 2 3

20

【 0 0 6 1 】

この場合、制御光パルスのパワーを調整することで、信号光の位相を非線形光ファイバ 2 1 への入力状態に対して 9 0 度だけ変化（回転）させると、信号光の偏光方向は、偏光子 2 3 の偏光主軸と一致するので、信号光のほぼ 1 0 0 % が偏光子 2 3 を通過することになる。すなわち、信号光の偏光方向を 9 0 度だけ回転させるのに必要なパワーを持つ制御光パルスを非線形光ファイバ 2 1 に入力すれば、信号光を効率よく抽出できる。

【 0 0 6 2 】

このように、非線形光ファイバ 2 1 へ入力する制御光パルスの光強度を変えて、信号光の偏光方向を、偏光子 2 3 の偏光主軸に対して 0 度または 9 0 度に変化させれば、非線形光学効果（光カー効果）による高速の光スイッチングが可能である。しかし、この場合、光スイッチングだけが実現しているだけで、信号光の入力パワーよりも大きなパワーの出力光は得ることができない（信号光が単に回転するだけで増幅作用は起きていないから）。

30

【 0 0 6 3 】

次にパラメトリック増幅を含めた光スイッチの動作について説明する。光スイッチ装置 1 0 で行う光スイッチ制御は、上記の偏光回転の作用をベースとしながら、制御光パルスを励起光として H N L F 1 1 に供給することにより、パラメトリック増幅を H N L F 1 1 内で生じさせて、高いスイッチング効率を実現するものである。

【 0 0 6 4 】

なお、上記の光カースイッチ 2 0 の場合、非線形光ファイバ 2 1 に入力する制御光パルスのパワーは小さく（励起光の役目は持たないので）、小さいパワーの範囲内で制御光パルスのレベルを変化させてスイッチングを行う。

40

【 0 0 6 5 】

これに対し、パラメトリック増幅を行う光スイッチ装置 1 0 の場合は、H N L F 1 1 に入力する制御光パルスのパワーは、光カースイッチ 2 0 のそれと比べて非常に大きい（励起光の役目を持たせる）。そして、本発明の光スイッチ装置 1 0 では、この大きいパワー（パラメトリック増幅を行うに必要な十分なパワー）の範囲内で制御光パルスのレベルを変えている。

【 0 0 6 6 】

50

次に一般的なパラメトリック増幅の定義について説明する。パラメトリック増幅は、光の波長域で起こるパラメトリック効果によって生じる増幅現象である。ここで、パラメトリック効果とは、非線形光学媒質において角周波数  $\omega_1$ 、 $\omega_2$ 、 $\dots$  の入射光から新しい角周波数  $\omega_n$ 、 $\omega_{n+1}$ 、 $\dots$  の光を生じる過程のことであり、通常は、 $\omega_p$  の強い光（励起光）を非線形光学媒質に入射した際に、 $\omega_p = \omega_1 + \omega_2 + \dots$  を満たす複数の低周波の光  $\omega_1$ 、 $\omega_2$ 、 $\dots$  を発生させる効果をいう。

【0067】

この現象は光混合の逆過程に相当する。光混合とは、すなわち非線形光学媒質に角周波数  $\omega_1$ 、 $\omega_2$ 、 $\dots$  の複数の光が同時に入射したとき、角周波数  $\omega_m = \omega_1 \pm \omega_2 \pm \dots$  の光を発生する効果のことである。

10

【0068】

例えば、光混合としてよく知られるものには、FWMがある。FWMは、 $\omega_1$  と  $\omega_2$  の2波が非線形光学媒質に入射した場合に、3次の非線形分極を介して、あらたな  $\omega_3$  と  $\omega_4$  の光を発生させる現象である。

【0069】

パラメトリック増幅は、パラメトリック効果によって、角周波数  $\omega_p$  の励起光から  $\omega_p = \omega_s + \omega_i$  の2つの光（信号光とアイドラ（idler）光）が発生し、かつこれらの光が位相整合条件を満たしている（ $\omega_p$ 、 $\omega_s$ 、 $\omega_i$  の位相が揃っていると）、最初は弱い  $\omega_s$  の光であっても、それと  $\omega_p$  との再結合によって  $\omega_i$  を生じ、次に  $\omega_p$  と  $\omega_i$  の再結合によって、 $\omega_s$  を発生する。これを繰り返し結果的に  $\omega_s$  の光（または  $\omega_i$  の光）は、 $\omega_p$  のポンプ光によって増幅されることになる。

20

【0070】

次に光スイッチ装置10におけるパラメトリック増幅による光スイッチ制御について説明する。光スイッチ装置10では、HNL F11に対して、信号光及び制御光パルスを合波して入力し、HNL F11内で、スイッチ対象の光パルスの偏光方向を回転させると共に、パラメトリック増幅を起こさせて、スイッチ対象の光パルスを増幅させて抽出し、光スイッチングを実現する。

【0071】

ここで、パラメトリック増幅は、非線形光学媒質内で相互作用する光波の偏光方向が互いに一致しているときに発生効率が最大になり、それらの偏光方向が互いに直交しているときにはほとんど発生しないことが知られている。

30

【0072】

一方、図1の制御光パルス偏光制御部15bでは、上述したように、HNL F11の入力端で、信号光の偏光方向に対して、制御光パルスの偏光方向との間の角度が約45度（以下、単に45度と記す）となるように、制御光パルスの偏光方向を設定している。

【0073】

このように、信号光の偏光方向と制御光パルスの偏光方向との間の角度が45度に設定されているので、それらの方向が互いに一致しているときと比較すると、一見、パラメトリック増幅の発生効率は低下するように見える。

【0074】

しかし、信号光の偏光方向は、図4で上述したように、光カー効果のXPMの作用により、制御光パルスのパワーに応じて回転するので、信号光の偏光方向の回転量が45度に近づくとつれて、信号光の偏光方向と制御光パルスの偏光方向とが一致する方向に向かい、パラメトリック利得が次第に増大していくことになる（信号光の回転量が45度になれば、信号光及び制御光パルスの偏光方向が一致してパラメトリック利得が最大となる）。

40

【0075】

図5はパラメトリック増幅による光スイッチングの動作を説明するための図である。制御光パルス生成部15aから制御光パルスが出力されないときは、HNL F11において信号光の位相は回転しない。したがって、信号光の偏光方向と偏光子13の偏光主軸は、直交関係となるので、信号光は偏光子13によって完全に遮断される。

50

## 【 0 0 7 6 】

一方、制御光パルスが H N L F 1 1 に入力すると（信号光の偏光方向と制御光パルスの偏光方向との角度が 4 5 度で H N L F 1 1 に入力）、図 4 で上述したように、制御光パルスのパワーに応じて、信号光の偏光方向は回転する。そして、信号光が 4 5 度回転したときに、信号光及び制御光パルスの偏光方向が共に一致するので、このときパラメトリック増幅の発生効率が最大となる。

## 【 0 0 7 7 】

ここで、H N L F 1 1 内で生じるパラメトリック増幅は、励起光として供給される制御光パルスによって、信号光と同じ波長成分が新たに生成される現象であるが、パラメトリック増幅によって新たに生成される信号光成分は、光カー効果（X P M）の影響を受けることがないので偏光回転を生じない。

10

## 【 0 0 7 8 】

すなわち、パラメトリック増幅を発生させることが可能な十分な励起パワーを持つ制御光パルスを 4 5 度の角度で H N L F 1 1 に入力すると、信号光は 4 5 度まで回転し、信号光と制御光パルスの互いの偏光方向が一致して、パラメトリック増幅が最大となる。そして、この時点で、パラメトリック増幅によって増幅された信号光は、光カー効果（X P M）の影響を受けなくなり、信号光は偏光回転しなくなり、この位置で固定するのである。

## 【 0 0 7 9 】

上記の内容をまとめると、光カースイッチ 2 0 で使用した制御光パルスは、レベルが低いので、非線形光ファイバにそのような制御光パルスを入力してもパラメトリック増幅は起きず、光カー効果の作用によって、信号光の偏光方向が、制御光パルスのパワーに応じて回転するだけである。

20

## 【 0 0 8 0 】

ところが、パラメトリック増幅発生に必要なパワーを持った制御光パルスを例えば、4 5 度で H N L F 1 1 に入力すると、パラメトリック増幅発生が最大となる前の状態においては、光カー効果によって信号光は偏光回転するが、偏光回転の過程で制御光パルスの偏光方向と信号光の偏光方向とが一致すると（4 5 度で一致）、そこでパラメトリック増幅が最大となり、そのとき、信号光は光カー効果の影響を受けなくなり、信号光の偏光回転が停止することになる。

## 【 0 0 8 1 】

したがって、パラメトリック増幅が最大となる、信号光と制御光パルスの偏光方向が互いに一致する位置において、信号光は回転しなくなるので、パラメトリック増幅を発生させるパワーの範囲内で（パラメトリック増幅が効率よく生じるパワーの範囲内で）、本発明のように、制御光パルスのパワーを可変に設定しても、信号光は回転せずに 4 5 度の位置で固定されるのである。そして、この 4 5 度の固定位置で、信号光の増幅量だけが可変されることになる（パラメトリック増幅を発生させるパワーの範囲内で制御光パルスの励起レベルを可変させれば、信号光は 4 5 度の位置から動かずに信号増幅量のみが変化するということ）。

30

## 【 0 0 8 2 】

一方、図 5 からわかるように、増幅された信号光は、偏光子 1 3 の偏光主軸に対して 4 5 度であるので、増幅された信号光の大きさを  $g$  とすれば、偏光子 1 3 から出力される信号光のパワーは  $(g / 2)$  となる。

40

## 【 0 0 8 3 】

このように、増幅効率は 1 0 0 % ではないものの、元々の入力信号光のパワーと比べれば十分に大きな出力光を得ることができ（パラメトリック増幅により 1 0 倍以上の増幅が可能である）、従来の光スイッチに比べて、スイッチング効率を格段に改善することが可能になる。

## 【 0 0 8 4 】

また、パラメトリック増幅を用いた光スイッチ装置 1 0 では、制御光パルスを H N L F 1 1 に入力しないときのスイッチ O F F 時においては、信号光の偏光方向は偏光子 1 3 の

50

偏光主軸と直交するので信号光は完全に遮断され、制御光パルスを入力したスイッチON時には、パラメトリック増幅によって増幅された信号光（光パルス）が出力するので、非常に良好な消光比及びS/Nを得ることが可能である。

【0085】

さらに、光スイッチ装置10では、HNL F 11内でXPMやFWMの非線形光学効果によるスイッチングを行うが、これらの非線形光学効果は、いずれもfs（フェムト秒）オーダの応答速度を有する極めて高速な光学現象である。したがって、T（テラ）b/sの光スイッチングを行うことができ、従来の光スイッチと比べてはるかに高速な光スイッチングを実現することが可能である。

【0086】

図6は信号光と制御光パルスの偏光状態の様子を示す図である。パラメトリック増幅による光スイッチング時の信号光と制御光パルスの偏光状態の様子を示している（図5で上述した内容を装置上で示すものである）。

【0087】

信号光の光パルスと、励起レベルを有する制御光パルスは、同一位相タイミングでHNL F 11へ入力する。その場合、信号光の偏光方向と制御光パルスの偏光方向とは互いに45度の角度を保ってHNL F 11へ入力する。

【0088】

すると、HNL F 11内では偏光回転及びパラメトリック増幅が生じて、信号光の偏光方向は、制御光パルスと一致し、かつ信号光のパワーは増幅されて、HNL F 11から出力する。また、偏光子13の偏光主軸は垂直方向に切られているので、HNL F 11からの出力光の垂直成分が偏光子13を透過して出力する。

【0089】

次に光スイッチ装置10における、スイッチ出力後の光パルスレベル設定の適応的制御について説明する。なお、以降で示す第1～第3の実施の形態の動作フローでは、信号光は、ch1～ch4の4チャンネルが時間多重された信号であるとし、制御光パルス設定部15は、各チャンネルに応じて制御光パルスp1～p4を入力信号光に同期して生成する。また、信号光及び制御光パルスそれぞれの偏光方向は45度で、HNL F 11に入力されるとする。

【0090】

図7は第1の実施の形態の動作フローを示す図である。なお、このフローは、図2で上述した動作内容に対応している。

〔S1〕制御光パルス生成部15aは、制御光パルスp1の初期レベル値をX1と設定して生成する。そして、光パルスch1と制御光パルスp1は、同一タイミングでHNL F 11へ入力する。なお、制御光パルスp2～p4それぞれのレベル値はゼロとする。

【0091】

〔S2〕レベルモニタ部14は、フィルタ16から出力された光パルスch1を、カップラC2を介して受信し、O/E（光/電気変換）後にレベルをモニタする。モニタ値Mch1が目標値Xch1と等しければステップS4へいき、等しくなければステップS3へいく。

【0092】

〔S3〕レベルモニタ部14は、モニタ値Mch1と目標値Xch1との差分値d1を算出し、差分値d1を制御光パルス設定部15へ送信する。

〔S4〕制御光パルス生成部15aは、制御光パルスp2の初期レベル値をX2と設定して生成する。そして、光パルスch2と制御光パルスp2は、同一タイミングでHNL F 11へ入力する。なお、制御光パルスp1、p3、p4それぞれのレベル値はゼロとする。

【0093】

〔S5〕レベルモニタ部14は、フィルタ16から出力された光パルスch2を、カップラC2を介して受信し、O/E変換後にレベルをモニタする。モニタ値が目標値Xch2と等しければステップS7へいき、等しくなければステップS6へいく。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 9 4 】

〔 S 6 〕 レベルモニタ部 1 4 は、モニタ値 Mch2 と目標値 Xch2 との差分値 d 2 を算出し、差分値 d 2 を制御光パルス設定部 1 5 へ送信する。

〔 S 7 〕 制御光パルス生成部 1 5 a は、制御光パルス p 3 の初期レベル値を X 3 と設定して生成する。そして、光パルス ch 3 と制御光パルス p 3 は、同一タイミングで H N L F 1 1 へ入力する。なお、制御光パルス p 1、p 2、p 4 のレベル値はゼロとする。

## 【 0 0 9 5 】

〔 S 8 〕 レベルモニタ部 1 4 は、フィルタ 1 6 から出力された光パルス ch 3 を、カプラ C 2 を介して受信し、O / E 変換後にレベルをモニタする。モニタ値が目標値 Xch3 と等しければステップ S 1 0 へいき、等しなくなればステップ S 9 へいく。

10

## 【 0 0 9 6 】

〔 S 9 〕 レベルモニタ部 1 4 は、モニタ値 Mch3 と目標値 Xch3 との差分値 d 3 を算出し、差分値 d 3 を制御光パルス設定部 1 5 へ送信する。

〔 S 1 0 〕 制御光パルス生成部 1 5 a は、制御光パルス p 4 の初期レベル値を X 4 と設定して生成する。そして、光パルス ch 4 と制御光パルス p 4 は、同一タイミングで H N L F 1 1 へ入力する。なお、制御光パルス p 1、p 2、p 3 のレベル値はゼロとする。

## 【 0 0 9 7 】

〔 S 1 1 〕 レベルモニタ部 1 4 は、フィルタ 1 6 から出力された光パルス ch 4 を、カプラ C 2 を介して受信し、O / E 変換後にレベルをモニタする。モニタ値が目標値 Xch4 と等しければステップ S 1 3 へいき、等しなくなればステップ S 1 2 へいく。

20

## 【 0 0 9 8 】

〔 S 1 2 〕 レベルモニタ部 1 4 は、モニタ値 Mch4 と目標値 Xch4 との差分値 d 4 を算出し、差分値 d 4 を制御光パルス設定部 1 5 へ送信する。

〔 S 1 3 〕 制御光パルス生成部 1 5 a は、ステップ S 3、S 6、S 9、S 1 2 で得られた各差分値 d 1 ~ d 4 がゼロに近づくように、制御光パルス p 1 ~ p 4 の初期レベル値を補正し、光パルス ch 1 ~ ch 4 のレベルを設定する。

## 【 0 0 9 9 】

例えば、ch 1 に対しては、制御光パルス p 1 の初期レベル値 X 1 に対して、レベルモニタ部 1 4 で算出された差分値 d 1 がゼロとなるように、制御光パルス p 1 のレベルを X 1 c と補正して、レベル X 1 c の制御光パルスを H N L F 1 1 へ入力することで、光パルス ch 1 のレベル = Xch1 と設定する。

30

## 【 0 1 0 0 】

また、ch 2 に対しては、制御光パルス p 2 の初期レベル値 X 2 に対して、レベルモニタ部 1 4 で算出された差分値 d 2 がゼロとなるように、制御光パルス p 2 のレベルを X 2 c と補正して、レベル X 2 c の制御光パルスを H N L F 1 1 へ入力することで、光パルス ch 2 のレベル = Xch2 と設定する。ch 3、ch 4 も同様の制御を行う。

## 【 0 1 0 1 】

図 8 は第 1 の実施の形態の動作フローを示す図である。

〔 S 1 a 〕 制御光パルス生成部 1 5 a は、制御光パルス p 1 の初期レベル値を X 1 と設定して生成する。そして、光パルス ch 1 と制御光パルス p 1 は、同一タイミングで H N L F 1 1 へ入力する。なお、制御光パルス p 2 ~ p 4 それぞれのレベル値はゼロとする。

40

## 【 0 1 0 2 】

〔 S 2 a 〕 レベルモニタ部 1 4 は、フィルタ 1 6 から出力された光パルス ch 1 を、カプラ C 2 を介して受信し、O / E ( 光 / 電気変換 ) 後にレベルをモニタする。モニタ値 Mch1 が目標値 Xch1 と等しければステップ S 4 a へいき、等しなくなればステップ S 3 a へいく。

## 【 0 1 0 3 】

〔 S 3 a 〕 レベルモニタ部 1 4 は、モニタ値 Mch1 と目標値 Xch1 との差分値 d 1 を算出し、差分値 d 1 を制御光パルス設定部 1 5 へ送信する。制御光パルス設定部では差分値 d 1 より、差分がゼロとなるような制御光パルスレベル X 1 c と補正する。補正後ステップ

50

S 2 a へ戻り、目標値となるまで補正を繰り返す。

【 0 1 0 4 】

〔 S 4 a 〕制御光パルス生成部 1 5 a は、制御光パルス p 2 の初期レベル値を X 2 と設定して生成する。そして、光パルス c h 2 と制御光パルス p 2 は、同一タイミングで H N L F 1 1 へ入力する。なお、制御光パルス p 1、p 3、p 4 それぞれのレベル値はゼロとする。

【 0 1 0 5 】

〔 S 5 a 〕レベルモニタ部 1 4 は、フィルタ 1 6 から出力された光パルス c h 2 を、カプラ C 2 を介して受信し、O / E 変換後にレベルをモニタする。モニタ値が目標値 X ch2 と等しければステップ S 7 a へいき、等しなくなればステップ S 6 a へいく。

10

【 0 1 0 6 】

〔 S 6 a 〕レベルモニタ部 1 4 は、モニタ値 Mch2 と目標値 X ch2 との差分値 d 2 を算出し、差分値 d 2 を制御光パルス設定部 1 5 へ送信する。制御光パルス設定部では差分値 d 2 より、差分がゼロとなるような制御光パルスレベル X 2 c と補正する。補正後ステップ S 5 a へ戻り、目標値となるまで補正を繰り返す。

【 0 1 0 7 】

〔 S 7 a 〕制御光パルス生成部 1 5 a は、制御光パルス p 3 の初期レベル値を X 3 と設定して生成する。そして、光パルス c h 3 と制御光パルス p 3 は、同一タイミングで H N L F 1 1 へ入力する。なお、制御光パルス p 1、p 2、p 4 のレベル値はゼロとする。

【 0 1 0 8 】

20

〔 S 8 a 〕レベルモニタ部 1 4 は、フィルタ 1 6 から出力された光パルス c h 3 を、カプラ C 2 を介して受信し、O / E 変換後にレベルをモニタする。モニタ値が目標値 X ch3 と等しければステップ S 1 0 a へいき、等しなくなればステップ S 9 a へいく。

【 0 1 0 9 】

〔 S 9 a 〕レベルモニタ部 1 4 は、モニタ値 Mch3 と目標値 X ch3 との差分値 d 3 を算出し、差分値 d 3 を制御光パルス設定部 1 5 へ送信する。制御光パルス設定部では差分値 d 3 より、差分がゼロとなるような制御光パルスレベル X 3 c と補正する。補正後ステップ S 8 a へ戻り、目標値となるまで補正を繰り返す。

【 0 1 1 0 】

〔 S 1 0 a 〕制御光パルス生成部 1 5 a は、制御光パルス p 4 の初期レベル値を X 4 と設定して生成する。そして、光パルス c h 4 と制御光パルス p 4 は、同一タイミングで H N L F 1 1 へ入力する。なお、制御光パルス p 1、p 2、p 3 のレベル値はゼロとする。

30

【 0 1 1 1 】

〔 S 1 1 a 〕レベルモニタ部 1 4 は、フィルタ 1 6 から出力された光パルス c h 4 を、カプラ C 2 を介して受信し、O / E 変換後にレベルをモニタする。モニタ値が目標値 X ch4 と等しければステップ S 1 3 a へいき、等しなくなればステップ S 1 2 a へいく。

【 0 1 1 2 】

〔 S 1 2 a 〕レベルモニタ部 1 4 は、モニタ値 Mch4 と目標値 X ch4 との差分値 d 4 を算出し、差分値 d 4 を制御光パルス設定部 1 5 へ送信する。制御光パルス設定部では差分値 d 4 より、差分がゼロとなるような制御光パルスレベル X 4 c と補正する。補正後ステップ S 1 1 a へ戻り、目標値となるまで補正を繰り返す。

40

【 0 1 1 3 】

〔 S 1 3 a 〕制御光パルス生成部 1 5 a は、ステップ S 3 a、S 6 a、S 9 a、S 1 2 a で得られた各差分値 d 1 ~ d 4 がゼロに近づくように、制御光パルス p 1 ~ p 4 の初期レベル値を補正し、光パルス c h 1 ~ c h 4 のレベルを設定する。

【 0 1 1 4 】

ここで、図 7 は、各 c h のレベル補正値をモニタ値との差分値から一度で設定するため、差分値から補正値への換算精度により、目標値との誤差が決定してしまう欠点があるが、各 c h での差分判定は一度のみのため処理速度が速い利点がある。一方、図 8 では、目標値になるまで補正を繰り返し実行するため、補正値への換算精度は荒くてもよい利点が

50

あるが、処理速度が遅い欠点がある。

【 0 1 1 5 】

次に第 2 の実施の形態について説明する。図 9、図 1 0 は第 2 の実施の形態の動作概要を示す図である。上述の第 1 の実施の形態では、制御光パルスに対して、レベル設定済みのチャンネルの制御光パルスのレベルを落としながら（レベル設定済みのチャンネルに対応する制御光パルスのレベルはゼロにしながら）、未設定チャンネルの制御光パルスのレベルを設定していくというように、1 チャンネルずつのレベル設定を行うものなので、すべてのチャンネルが設定し終わるまでは、各チャンネルは運用状態とはならないが、第 2 の実施の形態では、レベル設定済みのチャンネルを運用状態にししながら、未設定チャンネルの制御光パルスのレベルを順次設定していくものである。

10

【 0 1 1 6 】

第 2 の実施の形態は、まず、1 つの光パルスチャンネル（ $c h 1$  とする）に対しては、第 1 の実施の形態と同じような制御を施して、光パルス  $c h 1$  のレベルを目標値  $X c h 1$  に設定する。

【 0 1 1 7 】

次に光パルス  $c h 2$  のレベルを設定する場合、レベルモニタ部 1 4 は、スイッチ出力信号のレベルモニタとして、光パルス  $c h 1$ 、 $c h 2$  の出力をモニタする。このとき、制御光パルス  $p 1 = X c h 1$ （目標値）、制御光パルス  $p 2 = X 2$ （初期値）、制御光パルス  $p 3$ 、 $p 4 = 0$  である。

【 0 1 1 8 】

ここで、光パルス  $c h 2$  のレベルが目標値  $X c h 2$  で出力されていれば、出力モニタ値  $M c h 1, c h 2$  は、 $M c h 1, c h 2 = X c h 1 + X c h 2$  であり、光パルス  $c h 2$  に対する制御光パルス  $p 2$  のレベル設定は補正の必要がなく終了である。

20

【 0 1 1 9 】

一方、図 9 のように、 $M c h 1, c h 2 < X c h 1 + X c h 2$  の場合には、レベルモニタ部 1 4 は、差分値  $d a = (X c h 1 + X c h 2) - M c h 1, c h 2$  を算出し、制御光パルス生成部 1 5 a は、差分値  $d a$  がゼロに近づくように、初期レベル値  $X 2$  を増加補正して制御光パルス  $p 2$  を生成する。

【 0 1 2 0 】

また、図 1 0 のように、 $M c h 1, c h 2 > X c h 1 + X c h 2$  の場合には、レベルモニタ部 1 4 は、差分値  $d b = M c h 1, c h 2 - (X c h 1 + X c h 2)$  を算出し、制御光パルス生成部 1 5 a は、差分値  $d b$  がゼロに近づくように、初期レベル値  $X 2$  を減少補正して制御光パルス  $p 2$  を出力する。制御光パルス  $p 3$ 、 $p 4$  の励起レベル設定も同様に行う。

30

【 0 1 2 1 】

図 9、図 1 0 は、信号光ピーク値によるレベル補正方法を図示しているが、信号光の時間平均レベル値によっても同様の方法が実現可能である。

図 1 1 は第 2 の実施の形態の動作フローを示す図である。なお、この例では、スイッチ出力後の光パルス  $p 1 \sim p 4$  は、すべて同じレベル  $X c h$  に設定するものとする。

【 0 1 2 2 】

〔 S 2 1 〕制御光パルス生成部 1 5 a は、制御光パルス  $p 1$  の初期レベル値を  $X 1$  と設定し、光パルス  $c h 1$  と同一タイミングで、制御光パルス  $p 1$  を H N L F 1 1 へ入力する。なお、制御光パルス  $p 2 \sim p 4$  それぞれのレベル値はゼロである。

40

【 0 1 2 3 】

〔 S 2 2 〕レベルモニタ部 1 4 は、フィルタ 1 6 から出力された光パルス  $c h 1$  を、カプラ C 2 を介して受信し、O / E 変換後にレベルをモニタする。モニタ値  $M c h 1$  が光パルス  $c h 1$  の目標レベル値  $X c h$  と等しければステップ S 2 5 へいき、等しくなければステップ S 2 3 へいく。

【 0 1 2 4 】

〔 S 2 3 〕レベルモニタ部 1 4 は、モニタ値  $M c h 1$  と目標値  $X c h$  との差分値  $d 1$  を算出し、差分値  $d 1$  を制御光パルス設定部 1 5 へ送信する。

50

〔S 2 4〕制御光パルス生成部 1 5 a は、差分値  $d_1$  がゼロに近づくように、制御光パルス  $p_1$  のレベルを  $X_{1c}$  と補正し、光パルス  $ch_1$  のレベル =  $X_{ch}$  と設定する。

【0 1 2 5】

〔S 2 5〕制御光パルス生成部 1 5 a は、制御光パルス  $p_2$  の初期レベル値を  $X_2$  と設定し、光パルス  $ch_2$  と同一タイミングで、制御光パルス  $p_2$  を H N L F 1 1 へ入力する。なお、制御光パルス  $p_1$  は、光パルス  $ch_1$  のレベル =  $X_{ch}$  となる補正後のレベル  $X_{1c}$  で H N L F 1 1 へ入力し、制御光パルス  $p_3$ 、 $p_4$  それぞれのレベル値はゼロにする。

【0 1 2 6】

〔S 2 6〕レベルモニタ部 1 4 は、出力レベルをモニタする。出力モニタ値の  $M_{ch1, ch2}$  に対して、 $M_{ch1, ch2} = 2 \cdot X_{ch}$  であればステップ S 2 9 へいき、そうでなければステップ S 2 7 へいく。

10

【0 1 2 7】

〔S 2 7〕レベルモニタ部 1 4 は、モニタ値  $M_{ch1, ch2}$  と目標値  $2 \cdot X_{ch}$  との差分値  $d_2$  を算出し、差分値  $d_2$  を制御光パルス設定部 1 5 へ送信する。

〔S 2 8〕制御光パルス生成部 1 5 a は、差分値  $d_2$  がゼロに近づくように、制御光パルス  $p_2$  のレベルを  $X_{2c}$  と補正し、光パルス  $ch_2$  のレベル =  $X_{ch}$  と設定する。

【0 1 2 8】

〔S 2 9〕制御光パルス生成部 1 5 a は、制御光パルス  $p_3$  の初期レベル値を  $X_3$  と設定し、光パルス  $ch_3$  と同一タイミングで、制御光パルス  $p_3$  を H N L F 1 1 へ入力する。なお、制御光パルス  $p_1$  のレベルは補正後のレベル  $X_{1c}$ 、制御光パルス  $p_2$  のレベルは補正後の  $X_{2c}$  で H N L F 1 1 へ入力し、制御光パルス  $p_4$  のレベル値はゼロにする。

20

【0 1 2 9】

〔S 3 0〕レベルモニタ部 1 4 は、出力レベルをモニタする。出力モニタ値の  $M_{ch1, ch2, ch3}$  に対して、 $M_{ch1, ch2, ch3} = 3 \cdot X_{ch}$  であればステップ S 3 3 へいき、そうでなければステップ S 3 1 へいく。

【0 1 3 0】

〔S 3 1〕レベルモニタ部 1 4 は、モニタ値  $M_{ch1, ch2, ch3}$  と目標値  $3 \cdot X_{ch}$  との差分値  $d_3$  を算出し、差分値  $d_3$  を制御光パルス設定部 1 5 へ送信する。

〔S 3 2〕制御光パルス生成部 1 5 a は、差分値  $d_3$  がゼロに近づくように、制御光パルス  $p_3$  のレベルを  $X_{3c}$  と補正し、光パルス  $ch_3$  のレベル =  $X_{ch}$  と設定する。

30

【0 1 3 1】

〔S 3 3〕制御光パルス生成部 1 5 a は、制御光パルス  $p_4$  の初期レベル値を  $X_4$  と設定し、光パルス  $ch_4$  と同一タイミングで、制御光パルス  $p_4$  を H N L F 1 1 へ入力する。制御光パルス  $p_1$  のレベルは補正後のレベル  $X_{1c}$ 、制御光パルス  $p_2$  のレベルは補正後の  $X_{2c}$ 、制御光パルス  $p_3$  のレベルは補正後のレベル  $X_{3c}$  で H N L F 1 1 へ入力する。

【0 1 3 2】

〔S 3 4〕レベルモニタ部 1 4 は、出力レベルをモニタする。出力モニタ値の  $M_{ch1, ch2, ch3, ch4}$  に対して、 $M_{ch1, ch2, ch3, ch4} = 4 \cdot X_{ch}$  であれば終了し、そうでなければステップ S 3 5 へいく。

40

【0 1 3 3】

〔S 3 5〕レベルモニタ部 1 4 は、モニタ値  $M_{ch1, ch2, ch3, ch4}$  と目標値  $4 \cdot X_{ch}$  との差分値  $d_4$  を算出し、差分値  $d_4$  を制御光パルス設定部 1 5 へ送信する。

〔S 3 6〕制御光パルス生成部 1 5 a は、差分値  $d_4$  がゼロに近づくように、制御光パルス  $p_4$  のレベルを  $X_{4c}$  と補正して、光パルス  $ch_4$  のレベル =  $X_{ch}$  と設定する。

【0 1 3 4】

図 1 2 は第 2 の実施の形態の動作フローを示す図である。

〔S 2 1 a〕制御光パルス生成部 1 5 a は、制御光パルス  $p_1$  の初期レベル値を  $X_1$  と設定し、光パルス  $ch_1$  と同一タイミングで、制御光パルス  $p_1$  を H N L F 1 1 へ入力する。なお、制御光パルス  $p_2 \sim p_4$  それぞれのレベル値はゼロである。

50

## 【 0 1 3 5 】

〔 S 2 2 a 〕 レベルモニタ部 1 4 は、フィルタ 1 6 から出力された光パルス  $c h 1$  を、カプラ C 2 を介して受信し、O / E 変換後にレベルをモニタする。モニタ値  $Mch1$  が光パルス  $c h 1$  の目標レベル値  $Xch$  と等しければステップ S 2 4 a へいき、等しければステップ S 2 3 a へいく。

## 【 0 1 3 6 】

〔 S 2 3 a 〕 レベルモニタ部 1 4 は、モニタ値  $Mch1$  と目標値  $Xch$  との差分値  $d 1$  を算出し、差分値  $d 1$  を制御光パルス設定部 1 5 へ送信する。制御光パルス設定部では差分値  $d 1$  より、差分がゼロとなるような制御光パルスレベル  $X 1 c$  と補正する。補正後ステップ S 2 2 a へ戻り、目標値となるまで補正を繰り返す。

10

## 【 0 1 3 7 】

〔 S 2 4 a 〕 制御光パルス生成部 1 5 a は、制御光パルス  $p 2$  の初期レベル値を  $X 2$  と設定し、光パルス  $c h 2$  と同一タイミングで、制御光パルス  $p 2$  を H N L F 1 1 へ入力する。なお、制御光パルス  $p 1$  は、光パルス  $c h 1$  のレベル =  $Xch$  となる補正後のレベル  $X 1 c$  で H N L F 1 1 へ入力し、制御光パルス  $p 3$ 、 $p 4$  それぞれのレベル値はゼロにする。

## 【 0 1 3 8 】

〔 S 2 5 a 〕 レベルモニタ部 1 4 は、出力レベルをモニタする。出力モニタ値の  $Mch1, ch2$  に対して、 $Mch1, ch2 = 2 \cdot Xch$  であればステップ S 2 7 a へいき、そうでなければステップ S 2 6 a へいく。

20

## 【 0 1 3 9 】

〔 S 2 6 a 〕 レベルモニタ部 1 4 は、モニタ値  $Mch1, ch2$  と目標値  $2 \cdot Xch$  との差分値  $d 2$  を算出し、差分値  $d 2$  を制御光パルス設定部 1 5 へ送信する。制御光パルス設定部では差分値  $d 2$  より、差分がゼロとなるような制御光パルスレベル  $X 2 c$  と補正する。補正後ステップ S 2 5 a へ戻り、目標値となるまで補正を繰り返す。

## 【 0 1 4 0 】

〔 S 2 7 a 〕 制御光パルス生成部 1 5 a は、制御光パルス  $p 3$  の初期レベル値を  $X 3$  と設定し、光パルス  $c h 3$  と同一タイミングで、制御光パルス  $p 3$  を H N L F 1 1 へ入力する。なお、制御光パルス  $p 1$  のレベルは補正後のレベル  $X 1 c$ 、制御光パルス  $p 2$  のレベルは補正後の  $X 2 c$  で H N L F 1 1 へ入力し、制御光パルス  $p 4$  のレベル値はゼロにする。

30

## 【 0 1 4 1 】

〔 S 2 8 a 〕 レベルモニタ部 1 4 は、出力レベルをモニタする。出力モニタ値の  $Mch1, ch2, ch3$  に対して、 $Mch1, ch2, ch3 = 3 \cdot Xch$  であればステップ S 3 0 a へいき、そうでなければステップ S 2 9 a へいく。

## 【 0 1 4 2 】

〔 S 2 9 a 〕 レベルモニタ部 1 4 は、モニタ値  $Mch1, ch2, ch3$  と目標値  $3 \cdot Xch$  との差分値  $d 3$  を算出し、差分値  $d 3$  を制御光パルス設定部 1 5 へ送信する。制御光パルス設定部では差分値  $d 3$  より、差分がゼロとなるような制御光パルスレベル  $X 3 c$  と補正する。補正後ステップ S 2 8 a へ戻り、目標値となるまで補正を繰り返す。

40

## 【 0 1 4 3 】

〔 S 3 0 a 〕 制御光パルス生成部 1 5 a は、制御光パルス  $p 4$  の初期レベル値を  $X 4$  と設定し、光パルス  $c h 4$  と同一タイミングで、制御光パルス  $p 4$  を H N L F 1 1 へ入力する。制御光パルス  $p 1$  のレベルは補正後のレベル  $X 1 c$ 、制御光パルス  $p 2$  のレベルは補正後の  $X 2 c$ 、制御光パルス  $p 3$  のレベルは補正後のレベル  $X 3 c$  で H N L F 1 1 へ入力する。

## 【 0 1 4 4 】

〔 S 3 1 a 〕 レベルモニタ部 1 4 は、出力レベルをモニタする。出力モニタ値の  $Mch1, ch2, ch3, ch4$  に対して、 $Mch1, ch2, ch3, ch4 = 4 \cdot Xch$  であれば終了し、そうでなければステップ S 3 2 a へいく。

50

## 【 0 1 4 5 】

〔 S 3 2 a 〕 レベルモニタ部 1 4 は、モニタ値 Mch1, ch2, ch3, ch4 と目標値  $4 \cdot X_{ch}$  との差分値  $d_4$  を算出し、差分値  $d_4$  を制御光パルス設定部 1 5 へ送信する。制御光パルス設定部 1 5 では差分値  $d_4$  より、差分がゼロとなるような制御光パルスレベル  $X_4 c$  と補正する。補正後ステップ S 3 1 a へ戻り、目標値となるまで補正を繰り返す。

## 【 0 1 4 6 】

ここで、図 1 1 は、各  $ch$  のレベル補正値をモニタ値との差分値から一度で設定するため、差分値から補正値への換算精度により、目標値との誤差が決定してしまう欠点があるが、各  $ch$  での差分判定は一度のみのため処理速度が速い利点がある。一方、図 1 2 では、目標値になるまで補正を繰り返し実行するため、補正値への換算精度は荒くてもよい利点があるが、処理速度が遅い欠点がある。

10

## 【 0 1 4 7 】

なお、上述の第 1、第 2 の実施の形態では、特に運用起動時に存在する信号経路損失等の初期レベル偏差を吸収することに対して有効といえる。

次に第 3 の実施の形態について説明する。第 3 の実施の形態では、制御光パルスに低周波信号を重畳して強度変調（振幅変調）を行い、強度変調された制御光パルスを H N L F 1 1 へ入力する。そして、スイッチ出力後の強度変調された光パルスに重畳されている低周波信号の振幅にもとづいて、制御光パルスの励起レベルをフィードバック制御し、スイッチ出力後の光パルスのレベルを所望レベルに設定する。

## 【 0 1 4 8 】

図 1 3 は第 3 の実施の形態の概要を示す図である。

〔 S 4 1 〕 制御光パルス  $p_1$  に対して、低周波信号を重畳して、低周波重畳信号  $p_1 a$  を生成する。このときの低周波信号は、信号光の周波数よりも十分低域な周波数であり、例えば、信号光が 1 0 Gb/s 以上ならば、低周波信号は 1 kHz 程度と小さくする。また、制御光パルス  $p_1 a$  の振幅を  $A_1$ 、低周波信号の振幅を  $A_2$  としたときの変調度（搬送波の振幅と信号波の振幅の比率） $m$  は、 $m = A_2 / A_1$  であり、変調度  $m$  の強度変調を行うことになる。

20

## 【 0 1 4 9 】

〔 S 4 2 〕 スイッチ出力後の信号光は、強度変調が施されて出力される。

〔 S 4 3 〕 レベルモニタ部 1 4 は、スイッチ出力後の信号光を O / E 変換した後に低周波信号を抽出し、抽出した低周波信号の振幅をモニタする。

30

## 【 0 1 5 0 】

〔 S 4 4 〕 制御光パルス生成部 1 5 a は、抽出した低周波信号の振幅が目標値となるように、変調度は一定のまま、制御光パルスレベルを補正する。

図 1 4、図 1 5 は第 3 の実施の形態の動作フローを示す図である。なお、スイッチ出力後の光パルス  $p_1 \sim p_4$  の目標レベルを  $X_{ch1} \sim X_{ch4}$  とする。

## 【 0 1 5 1 】

〔 S 5 1 〕 制御光パルス生成部 1 5 a は、制御光パルス  $p_1 \sim p_4$  の初期レベル値を  $X_1 \sim X_4$  と設定する。

〔 S 5 2 〕 制御光パルス生成部 1 5 a は、振幅  $X_1$  の制御光パルス  $p_1$  に対して、固定振幅の低周波信号を重畳して、変調度  $m_1$  の強度変調を行って、光パルス  $ch_1$  と同一タイミングで、制御光パルス  $p_1$  を H N L F 1 1 へ入力する。

40

## 【 0 1 5 2 】

〔 S 5 3 〕 レベルモニタ部 1 4 は、フィルタ 1 6 から出力された光パルス  $ch_1$  を、カプラ C 2 を介して受信し、O / E 変換後に低周波信号を抽出し、抽出した低周波信号の振幅をモニタする。

## 【 0 1 5 3 】

〔 S 5 4 〕 レベルモニタ部 1 4 は、抽出した低周波信号の振幅と、目標振幅との差分を算出し、差分値  $d_1$  を制御光パルス設定部 1 5 へ送信する。

〔 S 5 5 〕 制御光パルス生成部 1 5 a は、差分値  $d_1$  がゼロに近づくように、変調度  $m$

50

1のまま、制御光パルス p 1 のレベルを可変設定して補正し、光パルス c h 1 のレベル = X ch1 と設定する。

【 0 1 5 4 】

〔 S 5 6 〕制御光パルス生成部 1 5 a は、振幅 X 2 の制御光パルス p 2 に対して、固定振幅の低周波信号を重畳して、変調度 m 2 の強度変調を行って、光パルス c h 2 と同一タイミングで、制御光パルス p 2 を H N L F 1 1 へ入力する。

【 0 1 5 5 】

〔 S 5 7 〕レベルモニタ部 1 4 は、フィルタ 1 6 から出力された光パルス c h 2 を、カプラ C 2 を介して受信し、O / E 変換後に低周波信号を抽出し、抽出した低周波信号の振幅をモニタする。

10

【 0 1 5 6 】

〔 S 5 8 〕レベルモニタ部 1 4 は、抽出した低周波信号の振幅と、目標振幅との差分を算出し、差分値 d 2 を制御光パルス設定部 1 5 へ送信する。

〔 S 5 9 〕制御光パルス生成部 1 5 a は、差分値 d 2 がゼロに近づくように、変調度 m 2 のまま、制御光パルス p 2 のレベルを可変設定して補正し、光パルス c h 2 のレベル = X ch2 と設定する。

【 0 1 5 7 】

〔 S 6 0 〕制御光パルス生成部 1 5 a は、振幅 X 3 の制御光パルス p 3 に対して、固定振幅の低周波信号を重畳して、変調度 m 3 の強度変調を行って、光パルス c h 3 と同一タイミングで、制御光パルス p 3 を H N L F 1 1 へ入力する。

20

【 0 1 5 8 】

〔 S 6 1 〕レベルモニタ部 1 4 は、フィルタ 1 6 から出力された光パルス c h 3 を、カプラ C 2 を介して受信し、O / E 変換後に低周波信号を抽出し、抽出した低周波信号の振幅をモニタする。

【 0 1 5 9 】

〔 S 6 2 〕レベルモニタ部 1 4 は、抽出した低周波信号の振幅と、目標振幅との差分を算出し、差分値 d 3 を制御光パルス設定部 1 5 へ送信する。

〔 S 6 3 〕制御光パルス生成部 1 5 a は、差分値 d 3 がゼロに近づくように、変調度 m 3 のまま、制御光パルス p 3 のレベルを可変設定して補正し、光パルス c h 3 のレベル = X ch3 と設定する。

30

【 0 1 6 0 】

〔 S 6 4 〕制御光パルス生成部 1 5 a は、振幅 X 4 の制御光パルス p 4 に対して、固定振幅の低周波信号を重畳して、変調度 m 4 の強度変調を行って、光パルス c h 4 と同一タイミングで、制御光パルス p 4 を H N L F 1 1 へ入力する。

【 0 1 6 1 】

〔 S 6 5 〕レベルモニタ部 1 4 は、フィルタ 1 6 から出力された光パルス c h 4 を、カプラ C 2 を介して受信し、O / E 変換後に低周波信号を抽出し、抽出した低周波信号の振幅をモニタする。

【 0 1 6 2 】

〔 S 6 6 〕レベルモニタ部 1 4 は、抽出した低周波信号の振幅と、目標振幅との差分を算出し、差分値 d 4 を制御光パルス設定部 1 5 へ送信する。

40

〔 S 6 7 〕制御光パルス生成部 1 5 a は、差分値 d 4 がゼロに近づくように、変調度 m 4 のまま、制御光パルス p 4 のレベルを設定して補正し、光パルス c h 4 のレベル = X ch 4 と設定する。

【 0 1 6 3 】

図 1 6、図 1 7 は第 3 の実施の形態の動作フローを示す図である。

〔 S 5 1 a 〕制御光パルス生成部 1 5 a は、制御光パルス p 1 ~ p 4 の初期レベル値を X 1 ~ X 4 と設定する。

【 0 1 6 4 】

〔 S 5 2 a 〕制御光パルス生成部 1 5 a は、振幅 X 1 の制御光パルス p 1 に対して、固

50

定振幅の低周波信号を重畳して、変調度  $m_1$  の強度変調を行って、光パルス  $ch_1$  と同一タイミングで、制御光パルス  $p_1$  を H N L F 1 1 へ入力する。

【 0 1 6 5 】

〔 S 5 3 a 〕 レベルモニタ部 1 4 は、フィルタ 1 6 から出力された光パルス  $ch_1$  を、カプラ C 2 を介して受信し、O / E 変換後に低周波信号を抽出し、抽出した低周波信号の振幅をモニタする。

【 0 1 6 6 】

〔 S 5 3 a - 1 〕 モニタした振幅と目標振幅を比較し、目標振幅と等しければステップ S 5 6 a へいき、等しくなければステップ S 5 4 a へいく。

〔 S 5 4 a 〕 レベルモニタ部 1 4 は、抽出した低周波信号の振幅と、目標振幅との差分を算出し、差分値  $d_1$  を制御光パルス設定部 1 5 へ送信する。

10

【 0 1 6 7 】

〔 S 5 5 a 〕 制御光パルス生成部 1 5 a は、差分値  $d_1$  がゼロに近づくように、変調度  $m_1$  のまま、制御光パルス  $p_1$  のレベルを可変設定して補正し、光パルス  $ch_1$  のレベル =  $X_{ch1}$  と設定し、ステップ S 5 3 a - 1 へいく。

【 0 1 6 8 】

〔 S 5 6 a 〕 制御光パルス生成部 1 5 a は、振幅  $X_2$  の制御光パルス  $p_2$  に対して、固定振幅の低周波信号を重畳して、変調度  $m_2$  の強度変調を行って、光パルス  $ch_2$  と同一タイミングで、制御光パルス  $p_2$  を H N L F 1 1 へ入力する。

【 0 1 6 9 】

20

〔 S 5 7 a 〕 レベルモニタ部 1 4 は、フィルタ 1 6 から出力された光パルス  $ch_2$  を、カプラ C 2 を介して受信し、O / E 変換後に低周波信号を抽出し、抽出した低周波信号の振幅をモニタする。

【 0 1 7 0 】

〔 S 5 7 a - 1 〕 モニタした振幅と目標振幅を比較し、目標振幅と等しければステップ S 6 0 a へいき、等しくなければステップ S 5 8 a へいく。

〔 S 5 8 a 〕 レベルモニタ部 1 4 は、抽出した低周波信号の振幅と、目標振幅との差分を算出し、差分値  $d_2$  を制御光パルス設定部 1 5 へ送信する。

【 0 1 7 1 】

〔 S 5 9 a 〕 制御光パルス生成部 1 5 a は、差分値  $d_2$  がゼロに近づくように、変調度  $m_2$  のまま、制御光パルス  $p_2$  のレベルを可変設定して補正し、光パルス  $ch_2$  のレベル =  $X_{ch2}$  と設定し、ステップ S 5 7 a - 1 へいく。

30

【 0 1 7 2 】

〔 S 6 0 a 〕 制御光パルス生成部 1 5 a は、振幅  $X_3$  の制御光パルス  $p_3$  に対して、固定振幅の低周波信号を重畳して、変調度  $m_3$  の強度変調を行って、光パルス  $ch_3$  と同一タイミングで、制御光パルス  $p_3$  を H N L F 1 1 へ入力する。

【 0 1 7 3 】

〔 S 6 1 a 〕 レベルモニタ部 1 4 は、フィルタ 1 6 から出力された光パルス  $ch_3$  を、カプラ C 2 を介して受信し、O / E 変換後に低周波信号を抽出し、抽出した低周波信号の振幅をモニタする。

40

【 0 1 7 4 】

〔 S 6 1 a - 1 〕 モニタした振幅と目標振幅を比較し、目標振幅と等しければステップ S 6 4 a へいき、等しくなければステップ S 6 2 a へいく。

〔 S 6 2 a 〕 レベルモニタ部 1 4 は、抽出した低周波信号の振幅と、目標振幅との差分を算出し、差分値  $d_3$  を制御光パルス設定部 1 5 へ送信する。

【 0 1 7 5 】

〔 S 6 3 a 〕 制御光パルス生成部 1 5 a は、差分値  $d_3$  がゼロに近づくように、変調度  $m_3$  のまま、制御光パルス  $p_3$  のレベルを可変設定して補正し、光パルス  $ch_3$  のレベル =  $X_{ch3}$  と設定し、ステップ S 6 1 a - 1 へいく。

【 0 1 7 6 】

50

〔S64a〕制御光パルス生成部15aは、振幅X4の制御光パルスp4に対して、固定振幅の低周波信号を重畳して、変調度m4の強度変調を行って、光パルスch4と同一タイミングで、制御光パルスp4をHNL F11へ入力する。

【0177】

〔S65a〕レベルモニタ部14は、フィルタ16から出力された光パルスch4を、カプラC2を介して受信し、O/E変換後に低周波信号を抽出し、抽出した低周波信号の振幅をモニタする。

【0178】

〔S65a-1〕モニタした振幅と目標振幅を比較し、目標振幅と等しくなければステップS66aへいく。

10

〔S66a〕レベルモニタ部14は、抽出した低周波信号の振幅と、目標振幅との差分を算出し、差分値d4を制御光パルス設定部15へ送信する。

【0179】

〔S67a〕制御光パルス生成部15aは、差分値d4がゼロに近づくように、変調度m4のまま、制御光パルスp4のレベルを設定して補正し、光パルスch4のレベル=Xch4と設定し、ステップS65a-1へいく。

【0180】

なお、第3の実施の形態では、特に、運用起動時の信号経路損失等の初期レベル偏差を吸収する場合だけではなく、信号が有効となった後の運用中に生じる環境変化による信号損失偏差や一部の信号の経路が切り替った場合等のレベル偏差の吸収も効果的に行うことができる。

20

【0181】

また、上記では、重畳低周波数を1つにして、すべてのchに対する制御光パルスのレベルを補正したが、ch毎に重畳低周波を割り当てて、光出力モニタから各周波数成分を抽出することにより、各ch単位で制御光パルスのレベル補正を行ってもよい。

【0182】

ここで、第1～第3の実施の形態において、レベルモニタ部14は、スイッチ出力後の高速光パルス単体のレベルをモニタするのではなく、スイッチ出力の全信号のトータルレベルをモニタしている。

【0183】

30

例えば、第1の実施の形態では、ch1のレベルをモニタする際は、ch2～ch4はOFFとなっているので、スイッチ出力信号はch1のみであり、このときのスイッチ出力信号のトータルレベルをモニタすることで、実質的にch1のレベルを認識している(第2、第3の実施の形態も同様にトータルレベルのモニタを行っている)。

【0184】

したがって、レベルモニタ部14では、スイッチ出力の全信号の時間平均された値を見ればよいので、通常のPD(Photo Diode)を用いてのモニタ監視が可能であり(もし、高速パルス単体をPDでモニタしようとしても、PDでは、回路内部の時定数によって応答特性が決まるので、高速光パルスに追従できず、明確なパルス強度は認識できない)、信号のビットレート(例えば40Gbit/s)に対し、十分低い帯域(例えば10kHz程度)でのレベル監視が可能である。

40

【0185】

次に第4の実施の形態について説明する。第1～第3の実施の形態では、レベルモニタ部14において、スイッチ出力の光パルスのレベルをモニタし、制御光パルス生成部15aで、モニタ結果にもとづいて、制御光パルスのレベルを可変に設定するフィードバック制御としたが、第4の実施の形態では、制御光パルス偏光制御部15bにおいて、信号光の偏光方向に対する制御光パルスの偏光方向の角度を可変に変えて、スイッチ出力後の光パルスのレベルを補正するものである。

【0186】

すなわち、第1～第3の実施の形態では、信号光の偏光方向と制御光パルスの偏光方向

50

は常に45度を保ったままで、制御光パルスの励起レベルのみを可変設定したが、第4の実施の形態では、制御光パルスの励起レベルの可変設定に加えて、信号光の偏光方向と制御光パルスの偏光方向との角度の可変設定も行うことにする。

【0187】

上述の図5からわかるように、スイッチ出力光は、HNL F 11内でパラメトリック増幅された信号光の垂直成分のみが、偏光子13から透過されるものなので、制御光パルスの偏光方向の角度を変えることで、スイッチ出力のレベルも可変させることができる。

【0188】

ただし、信号光の偏光方向と制御光パルスの偏光方向との間の角度は、実験及びシミュレーションにより、HNL F 11の入力端において40～50度が好適であることが認識され、この角度が大きすぎると、信号光の偏光回転が起こりにくくなり、小さすぎると偏光子13による損失が大きくなりすぎるので、一定範囲(40～50度)内で可変に動かすことになる。

10

【0189】

このように、制御光パルスの励起レベルの可変設定と、信号光の偏光方向と制御光パルスの偏光方向との間の角度の可変設定とを組み合わせることで、スイッチ出力後の光パルスのレベルをより精細に設定することが可能になる(微調整が可能である)。

【0190】

次に制御光パルス設定部15における制御光パルスの生成動作について説明する。制御光パルス生成部15aで制御光パルスを生成する際に、各チャンネルの光パルスのスイッチ出力レベルを同一に制御するとき(chの識別が不要なとき)、各チャンネルと各制御光パルスは、1対1で対応していればよく、必ずしも光パルスのチャンネル番号と制御光パルスの番号が一致している必要はない(例えばch1とp3が対応してもよい)。

20

【0191】

図18はチャンネル周期とチャンネル間隔を示す図である。制御光パルスを生成する際にはch周期とch数が認識できればよいので、外部からch周期(ta)とch数(n)の情報を(ch周期(ta)の代わりにch間隔(tb)でもよい)、制御光パルス設定部15へ入力する。

【0192】

また、信号光により伝搬される光パルスに制御光パルスを同期させる場合には、制御光パルス設定部15内の制御部15cにおいて、PLL(Phase Locked Loop)回路等を使用することにより、信号光からクロックパルスを抽出して、クロックパルスを再生する。そして、再生したクロックパルスに制御光パルスを同期させて生成することにより、制御光パルスは入力光パルスと同期をとることができる。一方、信号光からクロックパルス抽出を行わない場合には、制御部15c内でクロックパルス発生回路を持つ必要がある。

30

【0193】

図19はクロックパルス発生部の構成を示す図である。信号光からクロック抽出は行わずに、装置内部で信号光の光パルスと同期したクロックパルスを発生させる構成を示している。

【0194】

クロックパルス発生部15c-1は、パルス発生部5a、遅延部5b-1～5b-nから構成される(nはch数に等しい)。パルス発生部5aは、外部からch周期(ta)が与えられると、ch周期taのクロックパルスck0を生成する。このクロックパルスck0は、ch周期ta毎にクロックパルスが立っているだけの信号であり、信号光のchのタイミングとは一致していない。

40

【0195】

遅延部5b-1は、クロックパルスck0を受信して、クロックパルスck0の位相を遅延させながら(移相させながら)クロックパルスck1を出力する。制御光パルス生成部15aでは、この位相が動いているクロックパルスck1に同期した制御光パルスを生成し、HNL F 11へ入力する。

50

## 【 0 1 9 6 】

そして、可変した遅延に対応した光出力モニタ値をレベルモニタ部 1 4 から取得し、このモニタ値が最大（または所定値）になるときの遅延量を、遅延部 5 b - 1 で設定すべき遅延量  $D L 1$  とすることにより、ある  $c h$  のタイミングに一致した遅延量  $D L 1$  を得ることになる。すなわち、クロックパルス  $c k 1$  は、ある  $c h$  の光パルスに同期させたことになる。

## 【 0 1 9 7 】

また、遅延部 5 b - 1 で遅延量  $D L 1$  が求められたならば、遅延部 5 b - 2 で設定すべき遅延量  $D L 2$  は、遅延量  $D L 1$  に対して、 $c h$  間隔 ( $t b$ ) 分遅延させた量となるので、遅延部 5 b - 2 は、遅延量  $D L 2$  にもとづくクロックパルス  $c k 2$  を出力する。以降同様にして、 $c h$  と同期するクロックパルスを生成していく（遅延量  $D L m$  は、遅延量  $D L m - 1 + t b =$  遅延量  $D L 1 + (n - 1) \times t b$  となる）。

10

## 【 0 1 9 8 】

なお、パルス発生部 5 a に  $c h$  周期 ( $t a$ ) ではなく、 $c h$  間隔 ( $t b$ ) のクロックパルスが外部から与えられる場合には、 $c h$  周期 ( $t a$ ) となるよう与えられたクロックパルス信号を  $n$  分周し、 $t a$  間隔のクロックパルス  $c k 0$  を出力する構成となる。

## 【 0 1 9 9 】

次に信号光により伝搬される光パルスの  $c h$  識別処理について説明する。制御光パルス生成部 1 5 a で制御光パルスを生成する際に、各  $c h$  の光パルスのスイッチ出力レベルを異なる値に制御する場合（すなわち、 $c h$  の識別が必要な場合）、 $c h$  識別処理として、例えば、送信側で識別情報を付与する方法と、受信側で識別情報を判別する方法がある。

20

## 【 0 2 0 0 】

送信側で識別情報を付与する場合、光パルスを送信する送信装置において、例えば  $c h 1$  のレベルを、他の  $c h$  よりも十分差分のあるレベルとして高いレベルで送信する。そして、受信側では制御光パルスのクロックパルス生成において、遅延量  $D L 1$  の可変範囲を  $c h$  周期 ( $t a$ ) として位相を動かす。

## 【 0 2 0 1 】

このとき、光出力モニタ値として最大モニタ値を取得することにより、その最大モニタ値を取得したタイミングから  $c h 1$  の遅延量  $D L 1$  を認識することができる。このことは、複数  $c h$  が時間多重された光パルス列の中からどのタイミングの光パルスが  $c h 1$  かを認識していることになる。

30

## 【 0 2 0 2 】

そして、 $c h 1$  に対する遅延量  $D L 1$  を認識したら、 $c h 1$  のタイミングでクロックパルス  $c k 1$  を生成することができ、 $c h$  周期 ( $t a$ ) 及び  $c h$  間隔 ( $t b$ ) から、その他の  $c h$  の識別と、その他の  $c h$  のクロックパルス生成も行うことが可能である。

## 【 0 2 0 3 】

また、送信側で識別情報を付与する場合としては、上記の所定  $c h$  を他  $c h$  に比べ高いレベルに設定する他、例えば、所定  $c h$  のみ  $O F F$  してもよい。この場合、制御光パルス設定部 1 5 においては、 $O N$  となっているチャンネルの制御光パルスのクロックパルスを生成して、 $O N$  となっている他チャンネルに対して同期をとる。これにより、複数  $c h$  が時間多重された光パルス列の中で、 $O F F$  となっているタイミングの光パルスの  $c h$  を識別することが可能になる（ $O F F$  しているチャンネルが何番であるかはあらかじめ認識しているので）。また、送信装置側では他の  $c h$  に対しても順次  $O F F$  して光パルスを送信して、制御光パルス設定部 1 5 で同様な操作を行うことで、他  $c h$  の識別を行う。

40

## 【 0 2 0 4 】

一方、受信側（制御光パルス設定部 1 5 側）で  $c h$  識別を行う場合、制御光パルスのクロックパルス生成後、所定  $c h$  に対応する制御光パルスを  $O N$  又は  $O F F$  することにより、所定  $c h$  に対応した受信局が認識できる。そして、受信局の識別情報から  $c h$  識別を行う。

## 【 0 2 0 5 】

50

例えば、ある1つのchのみに制御光パルスをONさせて、スイッチ出力後の光パルスが受信局#4で受信されたことを認識すると(光スイッチ装置10のスイッチ出力後の光パルスが受信局で正常に受信されたか否かといった情報や、そのときの受信局の識別情報は、受信局から制御部15cへ通知される)、該当chはch4であると識別することができる。

【0206】

以上説明したように、光スイッチ装置10によれば、非線形光学効果を利用した光スイッチとして、時間多重された光パルスのスイッチ出力レベルを適応的に制御した光スイッチングを行うことが可能になる。

【0207】

また、光スイッチ装置10を光通信ネットワークの中継ノードに設けることにより、高速光中継伝送を実現することができ、また、各中継ノードの受信状態に応じて、光スイッチ出力レベルを可変設定できるので、高品質で柔軟性のある光スイッチングを行う超高速光通信ネットワークを構築することが可能になる。また、本発明はネットワーク上の光通信装置に限らず、光測定の分野などにおいても、幅広く適用可能である。

【0208】

(付記1) 光信号をスイッチする光スイッチ装置において、

非線形光学効果を有し、複数のチャネルの光パルスが時間多重された信号光が入力する非線形光ファイバと、

前記信号光の偏光方向を制御する信号光偏光制御部と、

前記非線形光ファイバの出力段に設けられ、前記信号光偏光制御部で制御された前記信号光の偏光方向と直交する偏光主軸を有する偏光子と、

前記偏光子から出力された光パルスのレベルをモニタし、モニタ値と目標値とを比較して、差分値を算出するレベルモニタ部と、

前記信号光の波長とは異なる波長を有し、前記差分値がゼロに近づくように励起レベルを可変に設定した制御光パルスを生成する制御光パルス生成部と、前記制御光パルスの偏光方向を、前記信号光の偏光方向に対して所定角度に設定する制御光パルス偏光制御部とを含み、前記信号光のスイッチ出力対象の光パルスである、スイッチ対象光パルスに対して、前記制御光パルスを前記スイッチ対象光パルスと同一位相で、かつ前記所定角度を持たせて、前記非線形光ファイバへ入力することで、前記非線形光ファイバ内で偏光回転及びパラメトリック増幅を生じさせて、スイッチ出力後の光パルスのレベルが所望レベルに設定された光スイッチングを行う制御光パルス設定部と、

を有することを特徴とする光スイッチ装置。

【0209】

(付記2) 前記制御光パルス設定部は、前記非線形光ファイバ内でパラメトリック増幅を生じさせるのに必要なパワーの範囲内で前記制御光パルスの励起レベルを可変に設定し、前記制御光パルスの励起レベルの設定を、チャネル単位に個別に行って、光スイッチング後の光パルスのすべてのチャネルを同一レベルに設定、または光スイッチング後の光パルスをチャネル毎に異なるレベルに設定することを特徴とする付記1記載の光スイッチ装置。

【0210】

(付記3) 前記制御光パルスの励起レベルを設定する際は、前記レベルモニタ部は、レベル未設定のチャネルのレベルをモニタして、未設定チャネルのモニタ値と目標値との差分値を算出し、前記制御光パルス設定部は、レベル設定済みのチャネルに対応する制御光パルスのレベルはゼロにしなから、前記スイッチ対象光パルスに対しては、前記差分値がゼロに近づくような励起レベルを設定し、すべてのチャネルのレベルが設定されるまでは運用を停止して、未設定チャネルのレベルを順次設定していくことで、光スイッチング後の光パルスのレベルを所望レベルに設定することを特徴とする付記1記載の光スイッチ装置。

【0211】

10

20

30

40

50

(付記4) 前記制御光パルスの励起レベルを設定する際は、前記レベルモニタ部は、レベル設定済みのチャンネルと未設定チャンネルの両方のレベルをモニタして、前記差分値として、未設定チャンネルのレベルの増加分を算出し、前記制御光パルス設定部は、レベル設定済みのチャンネルに対応する制御光パルスは出力しながら、前記スイッチ対象光パルスに対しては、前記増加分がゼロに近づくような励起レベルを設定することで、レベル設定済みのチャンネルを運用状態にしながら、未設定チャンネルのレベルを順次設定していき、光スイッチング後の光パルスのレベルを所望レベルに設定することを特徴とする付記1記載の光スイッチ装置。

【0212】

(付記5) 前記制御光パルスの励起レベルを設定する際は、前記制御光パルス設定部は、低周波信号を前記制御光パルスに重畳して強度変調を施した制御光パルスを生成して前記非線形光ファイバへ入力し、前記レベルモニタ部は、スイッチ出力された、強度変調を受けたパラメトリック増幅後の光パルスから低周波信号を抽出し、抽出した低周波信号の振幅をモニタして、抽出した低周波信号の振幅と、目標振幅との差分値を算出し、前記制御光パルス設定部は、前記差分値がゼロに近づくように、制御光パルスの励起レベルを補正して、光スイッチング後の光パルスのレベルを所望レベルに設定することを特徴とする付記1記載の光スイッチ装置。

【0213】

(付記6) 前記制御光パルスの励起レベルを設定する際は、前記制御光パルス設定部は、前記差分値がゼロに近づくように、励起レベルの可変設定に加えて、前記信号光の偏光方向に対する前記制御光パルスの偏光方向の前記所定角度も可変に設定して、光スイッチング後の光パルスのレベルを所望レベルに設定することを特徴とする付記1記載の光スイッチ装置。

【0214】

(付記7) 前記光パルスと前記制御光パルスとを同期させる際に、前記信号光からクロックパルスの抽出を行わない場合は、前記制御光パルス設定部は、外部から与えられたチャンネル周期またはチャンネル間隔にもとづくクロックパルスを生成し、前記クロックパルスに移相させながら前記クロックパルスと同期する制御光パルスを前記非線形光ファイバに入力して、前記レベルモニタ部で認識されたモニタ値が所定値となるタイミングで、前記クロックパルスの移相を固定して前記光パルスと前記制御光パルスとを同期させることを特徴とする付記1記載の光スイッチ装置。

【0215】

(付記8) 光パルスの所定チャンネルのレベルに対して、他チャンネルのレベルとの差異が認識可能な差分を持たせたチャンネル識別用光パルスを含む信号光が前記非線形光ファイバに入力し、前記制御光パルス設定部は、前記光パルスと前記制御光パルスとの同期後に、前記レベルモニタ部で得られる前記チャンネル識別用光パルスのモニタ結果から、複数チャンネルが時間多重された光パルス列の中からどのタイミングの光パルスが所定チャンネルかを識別することを特徴とする付記1記載の光スイッチ装置。

【0216】

(付記9) 前記制御光パルス設定部は、前記光パルスと前記制御光パルスとの同期後に、所定チャンネルに対応する制御光パルスのレベルをオンまたはオフさせることで、スイッチ出力された光パルスを受信する受信局を判別し、各受信局の識別番号から、複数チャンネルが時間多重された光パルス列の中からどのタイミングの光パルスが所定チャンネルかを識別することを特徴とする付記1記載の光スイッチ装置。

【0217】

(付記10) 前記レベルモニタ部は、非線形光学効果によって光スイッチングされたスイッチ出力の全信号のトータルレベルを時間平均してモニタすることで、各チャンネルの光パルスのレベルをモニタすることを特徴とする付記1記載の光スイッチ装置。

【0218】

(付記11) 光信号をスイッチする光スイッチ方法において、

10

20

30

40

50

非線形光学効果を有する非線形光ファイバに、複数のチャンネルの光パルスが時間多重された信号光を入力させ、

前記信号光の偏光方向を制御し、

前記非線形光ファイバの出力段に、前記信号光の偏光方向と直交する偏光主軸を有する偏光子を設け、

前記偏光子から出力された光パルスのレベルをモニタし、モニタ値と目標値とを比較して、差分値を算出し、

前記信号光の波長とは異なる波長を有し、前記差分値がゼロに近づくように励起レベルを可変に設定した制御光パルスを生成し、

前記制御光パルスの偏光方向を、前記信号光の偏光方向に対して所定角度に設定し、

前記信号光のスイッチ出力対象の光パルスである、スイッチ対象光パルスに対して、前記制御光パルスを前記スイッチ対象光パルスと同一位相で、かつ前記所定角度を持たせて、前記非線形光ファイバへ入力することで、前記非線形光ファイバ内で偏光回転及びパラメトリック増幅を生じさせて、スイッチ出力後の光パルスのレベルが所望レベルに設定された光スイッチングを行うことを特徴とする光スイッチ方法。

#### 【0219】

(付記12) 前記非線形光ファイバ内でパラメトリック増幅を生じさせるのに必要なパワーの範囲内で前記制御光パルスの励起レベルを可変に設定し、かつ前記制御光パルスの励起レベルの設定をチャンネル単位に個別に行って、光スイッチング後の光パルスのすべてのチャンネルを同一レベルに設定、または光スイッチング後の光パルスをチャンネル毎に異なるレベルに設定することを特徴とする付記11記載の光スイッチ方法。

#### 【0220】

(付記13) 前記制御光パルスの励起レベルを設定する際は、レベル未設定のチャンネルのレベルをモニタして、未設定チャンネルのモニタ値と目標値との差分値を算出し、レベル設定済みのチャンネルに対応する制御光パルスのレベルはゼロにしなから、前記スイッチ対象光パルスに対しては、前記差分値がゼロに近づくような励起レベルを設定し、すべてのチャンネルのレベルが設定されるまでは運用を停止して、未設定チャンネルのレベルを順次設定していくことで、光スイッチング後の光パルスのレベルを所望レベルに設定することを特徴とする付記11記載の光スイッチ方法。

#### 【0221】

(付記14) 前記制御光パルスの励起レベルを設定する際は、レベル設定済みのチャンネルと未設定チャンネルの両方のレベルをモニタして、差分値として、未設定チャンネルのレベルの増加分を算出し、レベル設定済みのチャンネルに対応する制御光パルスは出力しなから、前記スイッチ対象光パルスに対しては、前記増加分がゼロに近づくような励起レベルを設定することで、レベル設定済みのチャンネルを運用状態にしなから、未設定チャンネルのレベルを順次設定していき、光スイッチング後の光パルスのレベルを所望レベルに設定することを特徴とする付記11記載の光スイッチ方法。

#### 【0222】

(付記15) 前記制御光パルスの励起レベルを設定する際は、低周波信号を前記制御光パルスに重畳して強度変調を施した制御光パルスを生成して前記非線形光ファイバへ入力し、スイッチ出力された、強度変調を受けたパラメトリック増幅後の光パルスから低周波信号を抽出し、抽出した低周波信号の振幅をモニタして、抽出した低周波信号の振幅と、目標振幅との差分値を算出し、前記差分値がゼロに近づくように、制御光パルスの励起レベルを変えて変調度を補正して、光スイッチング後の光パルスのレベルを所望レベルに設定することを特徴とする付記11記載の光スイッチ方法。

#### 【0223】

(付記16) 前記制御光パルスの励起レベルを設定する際は、前記差分値がゼロに近づくように、励起レベルの可変設定に加えて、前記信号光の偏光方向に対する前記制御光パルスの偏光方向の前記所定角度も可変に設定して、光スイッチング後の光パルスのレベルを所望レベルに設定することを特徴とする付記11記載の光スイッチ方法。

## 【 0 2 2 4 】

(付記 17) 前記光パルスと前記制御光パルスとを同期させる際に、前記信号光からクロックパルスの抽出を行わない場合は、外部から与えられたチャンネル周期またはチャンネル間隔にもとづくクロックパルスを生成し、前記クロックパルスを移相させながら前記クロックパルスと同期する制御光パルスを前記非線形光ファイバに入力して、モニタ値が所定値となるタイミングで、前記クロックパルスの移相を固定して前記光パルスと前記制御光パルスとを同期させることを特徴とする付記 11 記載の光スイッチ方法。

## 【 0 2 2 5 】

(付記 18) 光パルスの所定チャンネルのレベルに対して、他チャンネルのレベルとの差異が認識可能な差分を持たせたチャンネル識別用光パルスを含む信号光が前記非線形光ファイバに入力し、前記光パルスと前記制御光パルスとの同期後に得られる前記チャンネル識別用光パルスのモニタ結果から、複数チャンネルが時間多重された光パルス列の中からどのタイミングの光パルスが所定チャンネルかを識別することを特徴とする付記 11 記載の光スイッチ方法。

10

## 【 0 2 2 6 】

(付記 19) 前記光パルスと前記制御光パルスとの同期後に、所定チャンネルに対応する制御光パルスのレベルをオンまたはオフさせることで、スイッチ出力された光パルスを受信する受信局を判別し、各受信局の識別番号から、複数チャンネルが時間多重された光パルス列の中からどのタイミングの光パルスが所定チャンネルかを識別することを特徴とする付記 11 記載の光スイッチ方法。

20

## 【 0 2 2 7 】

(付記 20) 非線形光学効果によって光スイッチングされたスイッチ出力の全信号のトータルレベルを時間平均してモニタすることで、各チャンネルの光パルスのレベルをモニタすることを特徴とする付記 11 記載の光スイッチ方法。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 2 2 8 】

【図 1】光スイッチ装置の原理図である。

【図 2】光スイッチ装置の動作概要を示す図である。

【図 3】光カースイッチを示す図である。

【図 4】偏光回転の様子を示す図である。

30

【図 5】パラメトリック増幅による光スイッチングの動作を説明するための図である。

【図 6】信号光と制御光パルスの偏光状態の様子を示す図である。

【図 7】第 1 の実施の形態の動作フローを示す図である。

【図 8】第 1 の実施の形態の動作フローを示す図である。

【図 9】第 2 の実施の形態の動作概要を示す図である。

【図 10】第 2 の実施の形態の動作概要を示す図である。

【図 11】第 2 の実施の形態の動作フローを示す図である。

【図 12】第 2 の実施の形態の動作フローを示す図である。

【図 13】第 3 の実施の形態の概要を示す図である。

【図 14】第 3 の実施の形態の動作フローを示す図である。

40

【図 15】第 3 の実施の形態の動作フローを示す図である。

【図 16】第 3 の実施の形態の動作フローを示す図である。

【図 17】第 3 の実施の形態の動作フローを示す図である。

【図 18】チャンネル周期とチャンネル間隔を示す図である。

【図 19】クロックパルス発生部の構成を示す図である。

【図 20】パラメトリック増幅を用いた光スイッチ動作の概要を示す図である。

【図 21】問題点を説明するための図である。

## 【 符号の説明 】

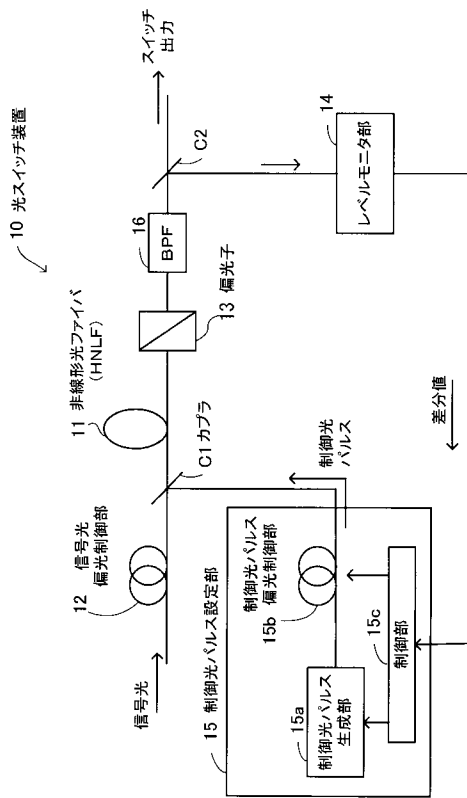
## 【 0 2 2 9 】

10 光スイッチ装置

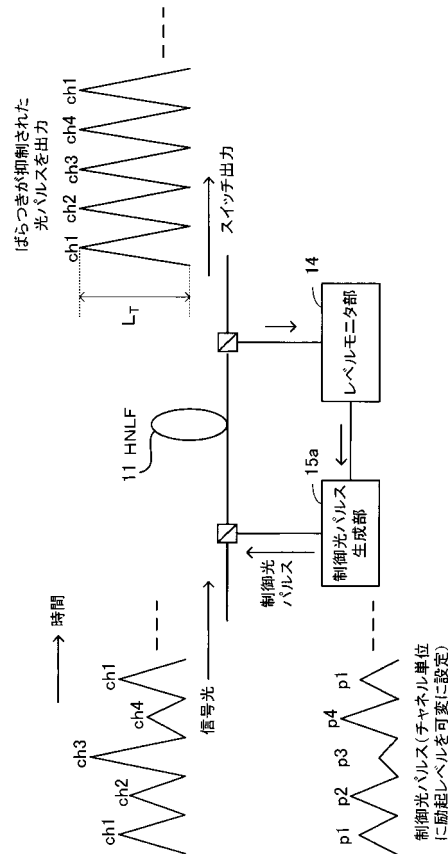
50

- 1 1 非線形光ファイバ
- 1 2 信号光偏光制御部
- 1 3 偏光子
- 1 4 レベルモニタ部
- 1 5 制御光パルス設定部
- 1 5 a 制御光パルス生成部
- 1 5 b 制御光パルス偏光制御部
- 1 5 c 制御部
- 1 6 フィルタ
- C 1、C 2 カプラ

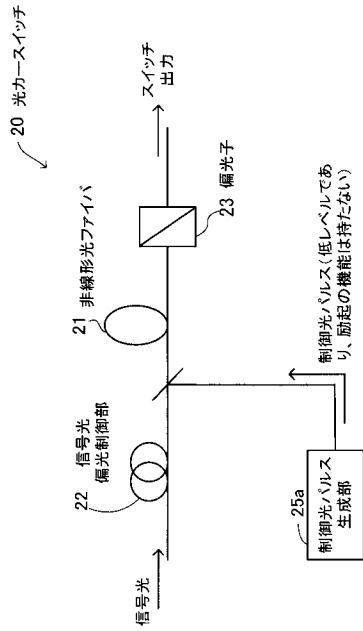
【図 1】



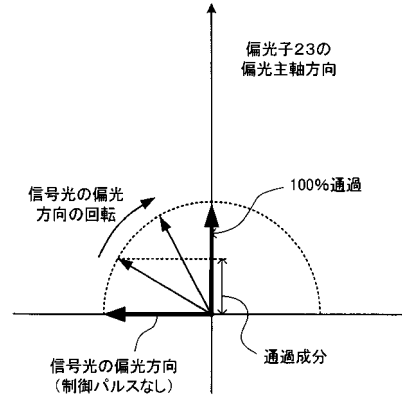
【図 2】



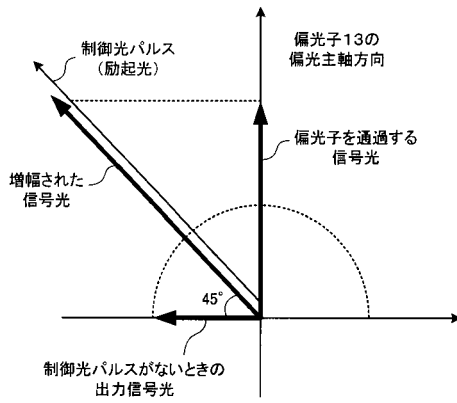
【 図 3 】



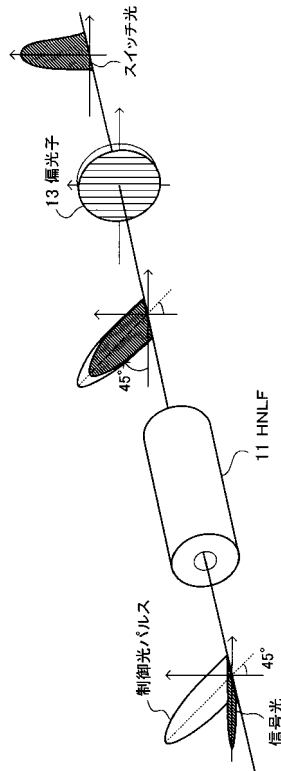
【 図 4 】



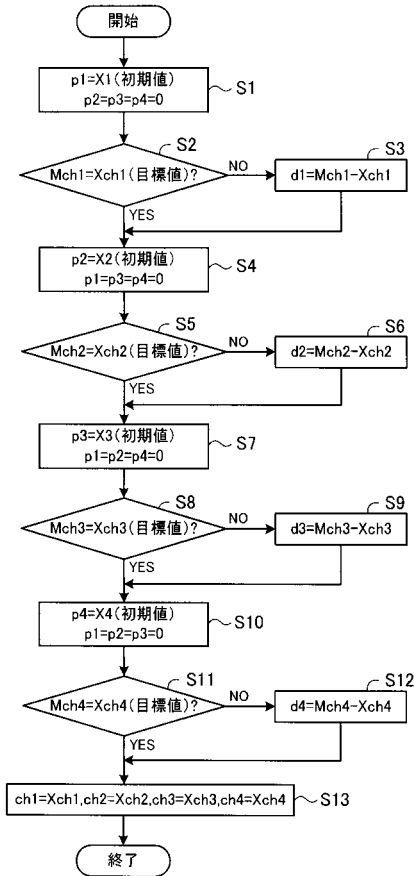
【 図 5 】



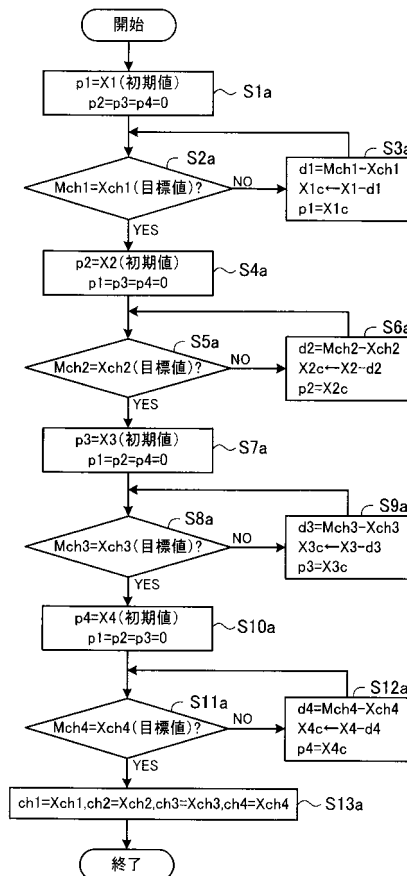
【 図 6 】



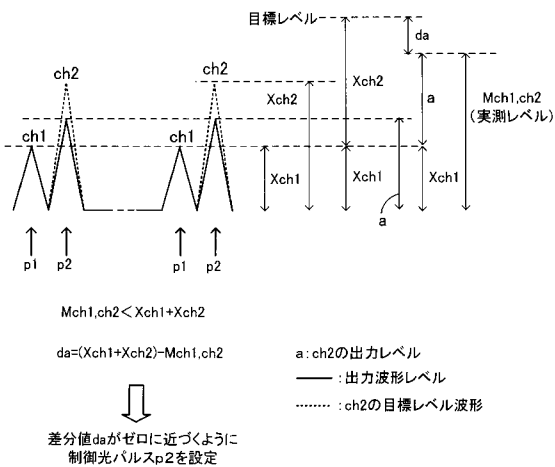
【図7】



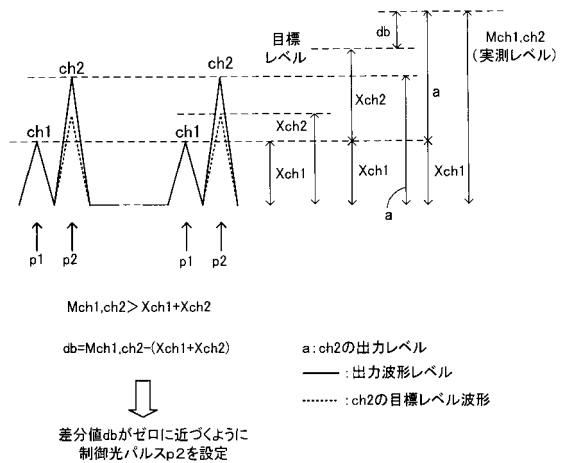
【図8】



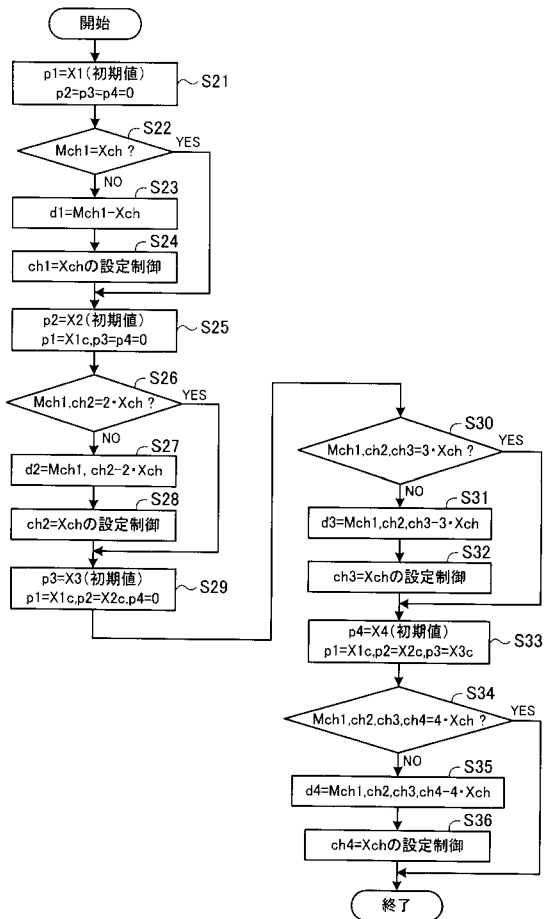
【図9】



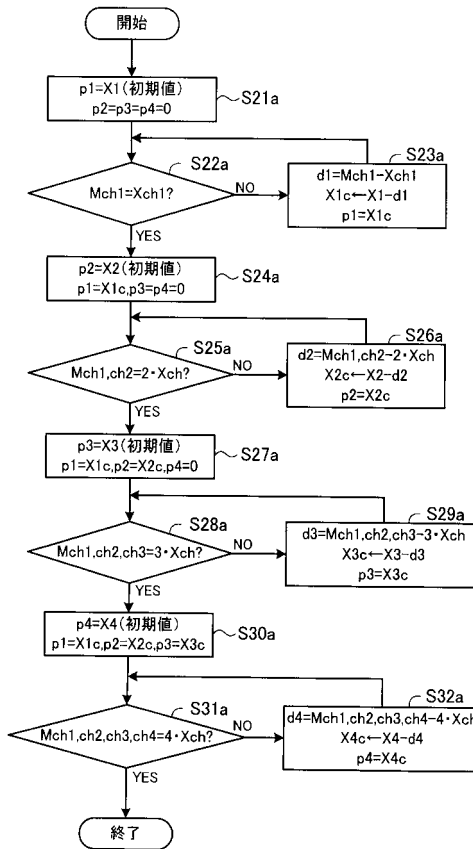
【図10】



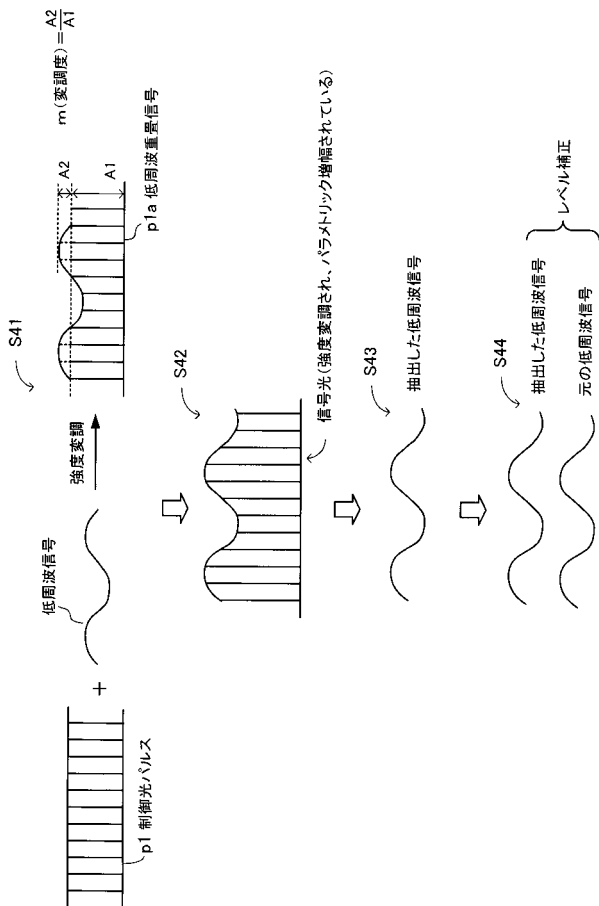
【図11】



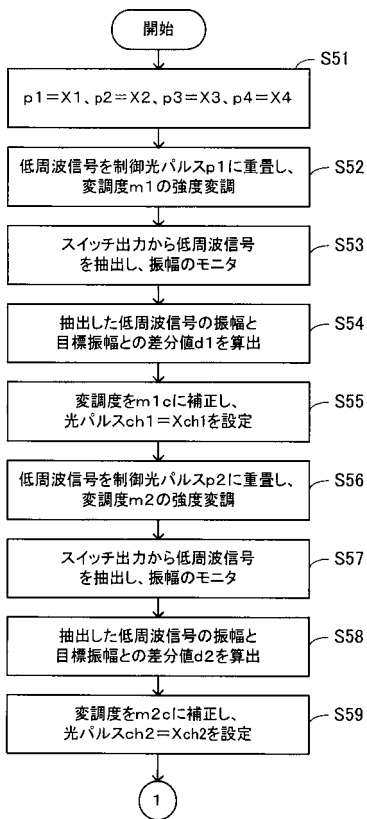
【図12】



【図13】



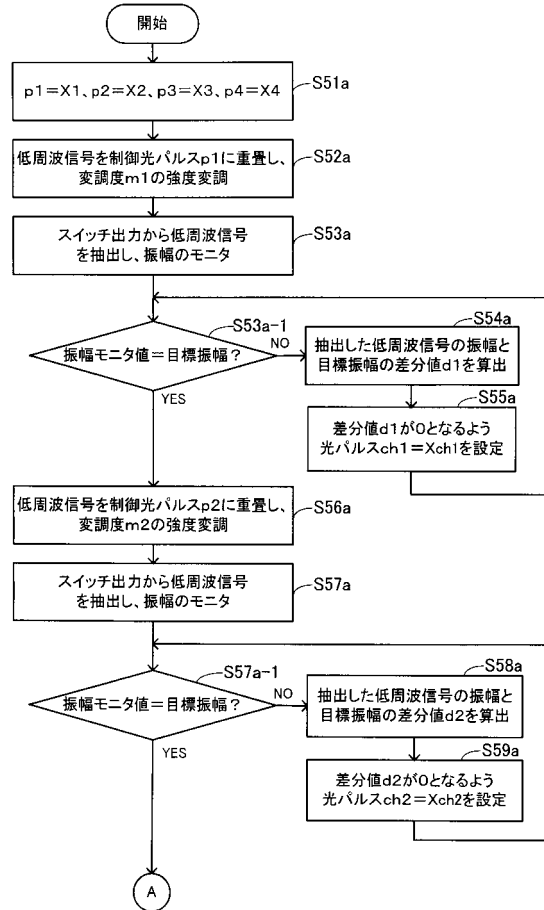
【図14】



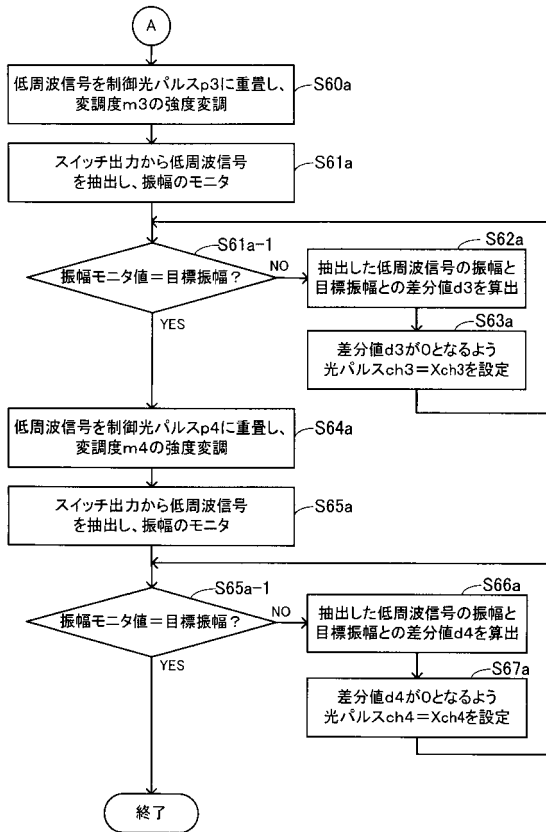
【図15】



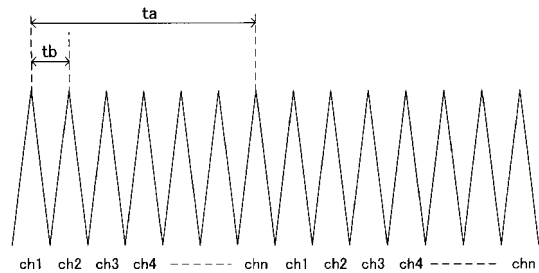
【図16】



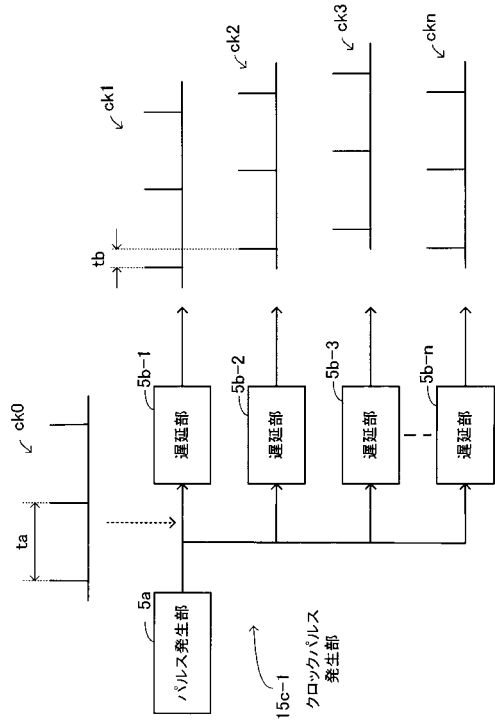
【図17】



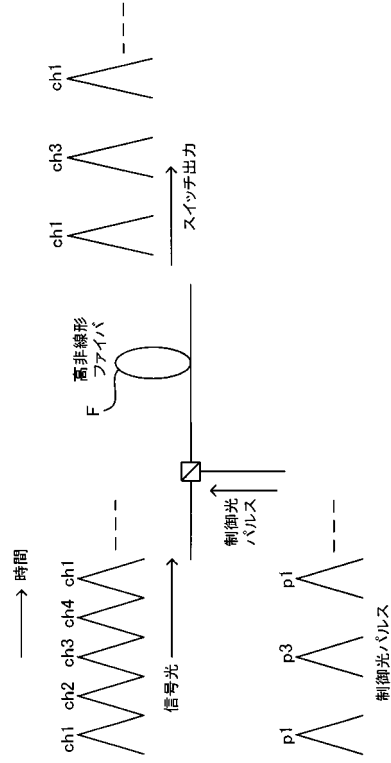
【図18】



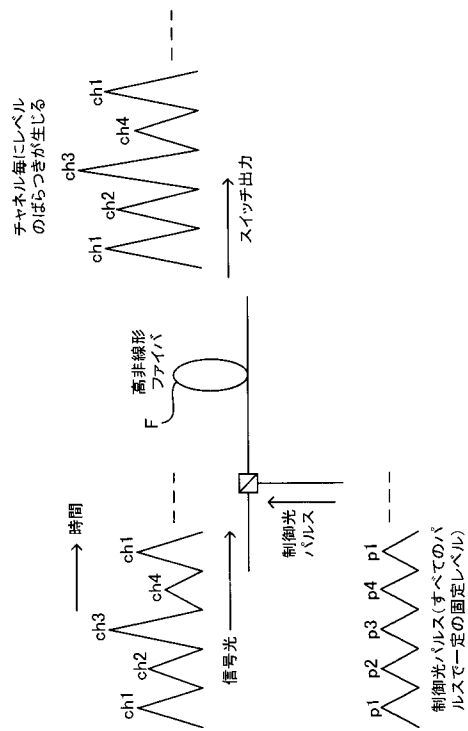
【図19】



【図20】



【図21】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開平06-045682(JP,A)

特開2002-090788(JP,A)

特開2004-341035(JP,A)

特開2001-213640(JP,A)

特開平01-182832(JP,A)

S. Watanabe, et al., "Novel fiber Kerr-switch with parametric gain: demonstration of optical demultiplexing and sampling up to 640 Gb/s", European Conference on Optical Communication, 30th, 2004年 9月, p.12-13

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02F 1/29 - 1/39

G02F 1/00 - 1/125

H04B 10/00