

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11)特許番号

特許第3391267号
(P3391267)

(45)発行日 平成15年3月31日(2003.3.31)

(24)登録日 平成15年1月24日(2003.1.24)

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

G 0 2 F 1/35

G 0 2 F 1/35

請求項の数22(全 17 頁)

(21)出願番号 特願平10-198744

(22)出願日 平成10年7月14日(1998.7.14)

(65)公開番号 特開2000-29081(P2000-29081A)

(43)公開日 平成12年1月28日(2000.1.28)

審査請求日 平成10年7月14日(1998.7.14)

前置審査

(73)特許権者 000004237
日本電気株式会社
東京都港区芝五丁目7番1号

(72)発明者 上野 芳康
東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74)代理人 100109313
弁理士 机 昌彦 (外2名)

審査官 三橋 健二

(56)参考文献 特開 平8-334796 (J P, A)
中村滋、他、対称マッハ・ツェンダー型全光スイッチの超高速・低エネルギー動作、電子情報通信学会技術研究報告 (O P E 95 73-86), V o l. 95, N o. 275, p p. 13-18

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 全光スイッチ及び波長変換器

1

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の波長を有する第1の入力光に同期して第2の波長を有する第2の入力光を透過・遮断して出力光として出力する全光スイッチであって、
第1及び第2のアームを有し且つ第1及び第2のアームの夫々の光路上に非線形半導体導波路を備えたマッハツェンダー型干渉計であって、前記第1のアームにおける前記非線形半導体導波路の入力側に対して前記第1及び前記第2の入力光が入力されると共に前記第2のアームにおける前記非線形半導体導波路の入力側に対して前記第1及び前記第2の入力光が入力されるマッハツェンダー型干渉計であって、さらに前記第1の入力光が前記第1と第2のアーム上の非線形半導体導波路に、第2の入力光を透過・遮断する時間に相当する時間差をもって入力されるマッハツェンダー型干渉計と、

2

前記第2の入力光の進行する光路と同じ光路上を進行するようにして前記干渉計に与えられる監視光であって第3の波長を有する監視光を出力する監視用レーザ光源と、
前記干渉計から出力された監視光が出力監視光として与えられ該出力監視光に応じて前記干渉計の位相バイアスを制御する制御手段と、を有する全光スイッチにおいて、
前記制御手段は、前記出力監視光をスペクトル成分分析してスペクトル成分分析結果を得るスペクトル成分分析器と、該スペクトル成分分析結果に応じて前記干渉計の位相バイアスを制御する帰還制御部とを有することを特徴とする全光スイッチ。

【請求項2】 請求項1に記載された全光スイッチにおいて、監視用レーザ光源は、前記第2の入力光の進行す

10

る光路と同じ光路上に対して、前記第 2 の入力光の進行方向と同じ方向に進むように、前記監視光を前記干渉計に対して与えるものである、ことを特徴とする全光スイッチ。

【請求項 3】 請求項 1 に記載された全光スイッチにおいて、前記第 2 の入力光の進行する光路の入力側及び出力側の夫々にサーキュレータを更に備えており、監視用レーザ光源は、前記第 2 の入力光の進行する光路と同じ光路上に対して、前記第 2 の入力光の進行方向とは逆方向に進むように、前記監視光を前記干渉計に対して与えるものである、ことを特徴とする全光スイッチ。

【請求項 4】 請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載された全光スイッチにおいて、前記スペクトル成分分析結果は前記出力監視光の波長成分強度を示すことを特徴とする全光スイッチ。

【請求項 5】 第 1 の波長を有する第 1 の入力光に同期して第 2 の波長を有する第 2 の入力光を透過・遮断して出力光として出力する全光スイッチであって、前記第 1 の入力光の光強度を調整して調整入力光とする調整手段と、

第 1 及び第 2 のアームを有し且つ該第 1 及び第 2 のアーム上の夫々に非線形半導体導波路を備えたマッハツェンダー型干渉計であって、前記第 1 のアーム上における前記非線形半導体導波路の入力側に対して前記第 1 の入力光及び前記第 2 の入力光が入力されると共に前記第 2 のアーム上における前記非線形半導体導波路の入力側に対して前記調整入力光及び前記第 2 の入力光が入力されるマッハツェンダー型干渉計であって、さらに前記第 1 の入力光が前記第 1 のアーム上の非線形半導体導波路に入力される時間と、前記調整光が前記第 2 のアーム上の非線形半導体導波路に入力される時間の間に、前記第 2 の

入力光を透過・遮断する時間に相当する時間差があるマッハツェンダー型干渉計と、

前記第 2 の入力光の進行する光路と同じ光路上を進行するようにして前記干渉計に与えられる監視光であって第 3 の波長を有する監視光を出力する監視用レーザ光源と、

前記干渉計から出力された監視光が出力監視光として与えられ該出力監視光のスペクトル成分分析結果に応じて前記干渉計の前記第 2 のアームに入力される前記調整入力光の光強度を調整するために、前記調整手段を制御する制御手段とを有することを特徴とする全光スイッチ。

【請求項 6】 請求項 5 に記載された全光スイッチにおいて、前記調整手段は減衰器であり、前記制御手段は前記出力監視光に応じて前記減衰器の減衰量を制御するようにしたことを特徴とする全光スイッチ。

【請求項 7】 請求項 5 又は 6 に記載された全光スイッチにおいて、前記制御手段は、前記出力監視光をスペクトル成分分析してスペクトル成分分析結果を得るスペクトル成分分析器と、該スペクトル成分分析結果に応じて

前記調整手段を制御する帰還制御部とを有することを特徴とする全光スイッチ。

【請求項 8】 請求項 7 に記載された全光スイッチにおいて、前記スペクトル成分分析結果は前記出力監視光の波長成分強度を示すことを特徴とする全光スイッチ。

【請求項 9】 第 1 の波長を有する第 1 の入力光に同期して第 2 の波長を有する第 2 の入力光を透過・遮断して出力光として出力する全光スイッチであって、前記第 2 の入力光が入力される第 1 の非対称マッハツェンダー型干渉計と、前記第 1 の入力光及び第 1 の非対称マッハツェンダー型干渉計から出力される光が入力される非線形半導体導波路と、該非線形半導体導波路を通過した光が入力され前記出力光を出力する第 2 の非対称マッハツェンダー型干渉計とを備えた偏光分離型全光スイッチにおいて、前記非線形半導体導波路に対して第 3 の波長を有する監視光を出力する監視レーザ光源と、前記第 2 の干渉計から出力された監視光を出力監視光として与えられ、該出力監視光をスペクトル成分分析してスペクトル成分分析結果を得るスペクトル成分分析器と、該スペクトル成分分析結果に応じて前記第 2 の干渉計の位相バイアスを制御する帰還制御部とを有することを特徴とする全光スイッチ。

【請求項 10】 請求項 9 に記載された全光スイッチにおいて、前記スペクトル成分分析結果は前記出力監視光の波長成分強度を示すことを特徴とする全光スイッチ。

【請求項 11】 請求項 1 乃至 10 のいずれかに記載された全光スイッチにおいて、前記監視光は連続光であることを特徴とする全光スイッチ。

【請求項 12】 請求項 11 に記載された全光スイッチにおいて、前記第 1 の入力光はクロック光パルス列であり、前記第 2 の入力光は信号光パルス列であることを特徴とする全光スイッチ。

【請求項 13】 請求項 1 乃至 12 のいずれかに記載された全光スイッチにおいて、前記非線形半導体導波路として半導体光増幅器を用いることを特徴とする全光スイッチ。

【請求項 14】 請求項 1 乃至 12 のいずれかに記載された全光スイッチにおいて、前記非線形半導体導波路として吸収型半導体導波路を用いることを特徴とする全光スイッチ。

【請求項 15】 請求項 1 乃至 10 のいずれかに記載された全光スイッチであって、前記第 2 の入力光の波長を前記第 1 の入力光の波長に変換して前記出力光として出力する波長変換器として使用することができる全光スイッチ。

【請求項 16】 請求項 1 乃至 10 のいずれかに記載された全光スイッチの構成要素の内、前記監視用レーザ光源を有せずに構成される波長変換器であって、前記第 1 の入

力光として信号光パルス列が入力されると共に前記第2の入力光として連続レーザ光が入力され、該連続レーザ光を前記省略した監視用レーザ光源からの監視光の代替えとして用いて、前記第1の入力光の波長を前記連続レーザ光の波長に変換する、ことを特徴とする波長変換器。

【請求項17】 請求項1乃至10のいずれかに記載の全光スイッチを波長変換器として使用する方法であって、前記第3の波長を有する監視光を用いずに、前記第1の入力光として連続レーザ光を入力すると共に前記第2の入力光として信号光パルス列を入力し、該連続レーザ光を前記監視光の代わりとして用いて、前記第2の入力光の波長を前記連続レーザ光の波長に変換する、ことを特徴とする方法。

【請求項18】 第1の波長を有する第1の入力光を第2の波長を有する出力光に変換する波長変換器であって、前記第1の入力光を入力する第1の入力ポートと、前記第2の波長を有する連続光を入力する第2の入力ポートと、前記第1の入力光及び前記連続光の合流する合流部と、該合流部の後段に設けられた非線形半導体導波路と、第1及び第2のアームを有し、該非線形半導体導波路の後段に設けられた非対称マッハツェンダー型干渉計と、該干渉計から出力された前記連続光を出力連続光として与えられ、該出力連続光をスペクトル成分分析してスペクトル成分分析結果を得るスペクトル成分分析器と、前記第2のアーム上に設けられ、前記スペクトル成分分析結果に応じて前記干渉計における位相バイアスを制御する帰還制御部とを備えたことを特徴とする波長変換器。

【請求項19】 請求項18に記載された波長変換器において、前記スペクトル成分分析結果は前記出力監視光の波長成分強度を示すことを特徴とする波長変換器。

【請求項20】 請求項18又は19に記載された波長変換器において、前記第2のアームは、前記第1のアームより短い光路長を有することを特徴とする波長変換器。

【請求項21】 請求項18乃至20のいずれかに記載された波長変換器において、前記非線形半導体導波路として半導体光増幅器を用いることを特徴とする波長変換器。

【請求項22】 請求項18乃至20のいずれかに記載された波長変換器において、前記非線形半導体導波路として吸収型半導体導波路を用いることを特徴とする波長変換器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信又は光情報処理に用いられる光スイッチ及び波長変換器に関し、特

に、超高速な時分割多重光通信において用いられる光スイッチに関する。

【0002】

【従来の技術】一般に、所謂全光式(all-optical)の光スイッチ及び波長変換器が知られており、これら光スイッチ及び波長変換器を用いると、極めて高速な光通信を行うことができる。

【0003】このような光スイッチとして、例えば、非線形半導体導波路とマッハツェンダー型干渉計とを組み合わせた対称マッハツェンダー型全光スイッチ(以下従来例1という)が知られている(例えば、特開平7-20510号公報及びJapanese Journal of Applied Physics誌、第32巻、L1746~1749頁、1993年)。この全光スイッチは、時間多重解除装置(Demultiplexer)を意図して提案されたものであるが、入力パルスと異なる波長を持つ光パルスを生成することもでき(Applied Physics Letters誌、第65巻、283~285頁、1994年)従って、波長変換器の機能を兼ね備えている。

【0004】さらに、上述の従来例1を改良した、安定性の高い偏光分離型全光スイッチ(以下従来例2という)が知られており(例えば、特開平8-179385号公報及びApplied Physics Letters誌、第67巻、3709~3711頁、1995年)、IEEE Photonics Technology Letters誌、第8巻、1695~1697頁、1996年にも、従来例2と同様のメカニズムで動作する偏光分離型全光スイッチが報告されている。そして、これら偏光分離型全光スイッチも波長変換器としての機能を兼ね備えている。

【0005】一方、Electronics Letters誌、第30巻、339~341頁、1994年には、マッハツェンダー型干渉計の代わりにSagnac型干渉計と半導体光増幅器とを組み合わせた全光スイッチ(以下従来例3という)が報告されている。この従来例3においては、動作原理が従来例1及び2とほぼ類似しており、従来例1及び2に近い高速動作が可能である。

【0006】さらに、特願平09-111633、及びIEEE Photonics Technology Letters誌、第10巻、346~348頁、1998年には、上記の従来例2の構造を簡素化したDISC型波長変換器(以下従来例4という)が報告されている。

【0007】前述の従来例1~3において、全光スイッチは、Return-to-Zero(RZ)光信号列から一定時間間隔毎に光信号を抽出しており(時分割多重解除装置)、その抽出のタイミングは、RZ信号列とともに全光スイッチに入力される制御光パルスによって制御される。これら全光スイッチでは、非線形半導体

導波路又は半導体光増幅器のキャリア寿命よりもはるかに短い信号間隔の超高速 R Z 光信号列を多重解除できる。一方、半導体のキャリア寿命は $100\text{ ps} \sim 10\text{ ns}$ と極めて長い。

【0008】従来例 1 ~ 3 に記載された全光スイッチを用いて、R Z 光信号の波長を変換する際には、全光スイッチの制御光パルス入力ポートに波長 λ_1 の R Z 光信号列を入力し、光信号入力ポートに波長 λ_2 の連続光を入力する。これによって、入力 R Z 光信号パルスの有無に応じて全光スイッチが開閉する。その結果、入力 R Z 光信号パルスの有無に応じて波長 λ_2 の連続光がオン・オフされ、波長 λ_2 の R Z 光信号となって出力される。なお、従来例 4 は、R Z 光信号の波長変換器としてのみ機能する。波長変換器として用いた場合には、非線形半導体導波路又は半導体光増幅器のキャリア寿命よりも短い光パルスを出力することができる。

【0009】ここで、従来の全光スイッチの一例として上述の従来例 1 について図面を参照して具体的に説明する。

【0010】図 1 を参照して、図示の全光スイッチは、半導体導波路 10 及び 11、制御光パルスを入力する第 1 入力ポート 12、信号光パルスを入力する第 2 入力ポート 18、及び信号出力ポート 22 及び 23 を備えている。

【0011】入力ポート 12 に入力された制御光パルス（波長 λ_1 ）は、分岐部 13 で $50 : 50$ に分割されて第 1 及び第 2 の制御光パルスとされる。第 1 の制御光パルスは合流部 16 を介して半導体導波路 10 に到達する。一方、第 2 の制御光パルスは合流部 17 を介して半導体導波路 11 に到達する。ここでは、分岐部 13 から半導体導波路 11 までの光路長は、分岐部 13 から半導体導波路 10 までの光路長より長く、このため、第 2 の制御光パルスが半導体導波路 11 に到達する時刻は第 1 の制御光パルスが半導体導波路 10 に到達する時刻より遅れことになる（ここでは、遅れ時間を t とする）。

【0012】半導体導波路 10 及び 11 がそれぞれ第 1 及び第 2 の制御光パルスを受けると、半導体導波路 10 及び 11 の屈折率が過度的に変化する（所謂非線形屈折率変化が発生する）。このような非線形屈折率変化は、半導体導波路内部のキャリア密度が変化するため発生する。つまり、キャリア密度が増加すると屈折率は減少し、キャリア密度が低下すると屈折率は増大する（バンドフィリング効果）。

【0013】半導体導波路 10 及び 11 が半導体光増幅器の場合には、屈折率は一定時間増加し、その後元に戻るようになる。屈折率が増加する時間は、制御光パルス

のパルス幅に概ね等しい。一方、屈折率の回復の時定数は、半導体光増幅器のキャリア寿命に等しい。

【0014】一方、半導体導波路が吸収型半導体導波路の場合には、屈折率は一定時間減少し、その後元に戻る。屈折率の減少する時間は制御光パルスのパルス幅に概ね等しく、回復の時定数は半導体導波路のキャリア寿命に等しい。

【0015】入力ポート 18 に入力された信号光パルス（波長 λ_2 ）は分岐部 19 で $50 : 50$ に分割され第 1 及び第 2 の信号光パルスとなる。第 1 の信号光パルスは合流部 16 及び半導体導波路 10 を通って合流部 20 に到達する。一方、第 2 の信号光パルスは合流部 17、半導体導波路 11、及び位相調整器 26 を通って合流部 20 に到達する。

【0016】第 1 及び第 2 の入力光パルスは合流部 20 で合流して干渉を起こすことになる。つまり、干渉光が発生する。この干渉光は分岐部 21 で $50 : 50$ に分割されて第 1 及び第 2 の干渉光となる。第 1 の干渉光は波長フィルター 24 を介して出力ポート 22 に到達する。一方、第 2 の干渉光は波長フィルター 25 を介して出力ポート 23 に到達する。

【0017】ところで、分岐部 19 から半導体導波路 10 を経て合流部 20 に至る光経路及び分岐部 19 から半導体導波路 11 及び位相調整器 26 を経て合流部 20 に至る光回路は、所謂マッハツェンダー型干渉計を構成する。この際、分岐部 19 から合流部 16 及び半導体導波路 10 を経て合流部 20 に至るアームの光路長が、分岐部 19 から合流部 17、半導体導波路 11、及び位相調整器 26 を経て合流部 20 に至るアームの光路長にほぼ等しくなるように、光路長が調整される。

【0018】前述のように、制御光パルスによって半導体導波路 10 及び 11 の屈折率が過度的に変化して、これによって、半導体導波路 10 及び 11 を通過する信号光パルスの位相が過度的に変化する（所謂非線形位相シフト）。ここで、図 2 (a) に、信号光パルスの位相変化の一例を示す。図 2 (a) において、制御光パルス幅を 2 ps 、 t を 25 ps 、スイッチ動作時間間隔（制御光パルス間隔）を 1 ns 、キャリア寿命を 10 ns とした。

【0019】ここで、入力信号光パルスの電界を $E_{in}(t)$ 、半導体導波路 10 を透過した信号光パルス（A 成分：第 1 の信号光パルス）の電界を $E_A(t)$ 、半導体導波路 11 を透過した信号光パルス（B 成分：第 2 の信号光パルス）の電界を $E_B(t)$ とすると、

【0020】

【数 1】

$$E_A(t) = \frac{1}{2} E_{IN}(t) \cdot \exp [i \Phi_A(t)] \tag{式1}$$

$$E_B(t) = \frac{1}{2} E_{IN}(t) \cdot \exp [i \Phi_B(t)] \tag{式2}$$

と表される。図 2 (a) の実線は A 成分の位相変化 $\Phi_A(t)$ 、破線は B 成分の位相変化 $\Phi_B(t)$ を示す (動作例 1)。なお、半導体導波路は半導体光増幅器とした。

【 0 0 2 1 】 信号光パルスが 1 つ到着して半導体光増幅器の屈折率が増加すると、信号光パルスの位相が増加する。B 成分の位相の増加量は A 成分の位相増加量に等しい。半導体光増幅器の屈折率が回復すると、信号光の位相も回復する。

$$\Phi_A(t) = \Phi_B(t + \Delta t) + \Phi_B \tag{式3}$$

が成り立つ。なお、半導体導波路 1 1 の非線形位相シフト量の大きさは半導体導波路 1 0 に等しいとした。ここでは、位相バイアス Φ_B は位相調整器 2 6 によって調整される。

【 0 0 2 3 】 A 成分と B 成分が合流部 2 0 で干渉して干渉光 (P 成分) は P 成分の補償成分、

$$E_P(t) = E_A(t) + E_B(t) \tag{式4}$$

に対して、出力ポート 2 3 に到達する干渉光 (Q 成分 : 第 2 の干渉光) は P 成分の補償成分、

$$E_Q(t) = E_A(t) + E_B(t) \cdot \exp [i \pi] = E_A(t) - E_B(t) \tag{式5}$$

となる。

【 0 0 2 6 】 式 1 ~ 5 により、

$$E_P(t) = \frac{1}{2} E_{IN}(t) \cdot (\exp [i \Phi_A(t)] + \exp [i \Phi_B(t)]) = \frac{1}{2} E_{IN}(t) \cdot \exp \left[i \frac{\Phi_A(t) + \Phi_B(t)}{2} \right] \cdot \left(\exp \left[i \frac{\Phi_A(t) - \Phi_B(t)}{2} \right] + \exp \left[-i \frac{\Phi_A(t) - \Phi_B(t)}{2} \right] \right) = E_{IN}(t) \cdot \exp \left[i \frac{\Phi_A(t) + \Phi_B(t)}{2} \right] \cdot \cos \frac{\Phi_A(t) - \Phi_B(t)}{2} \tag{式6}$$

となる。従って、全光スイッチの信号光に対する複素透過率は、

* 相も回復する。半導体光増幅器 1 1 の屈折率変化は半導体光増幅器 1 0 より t 遅れるから、第 2 の信号光パルス (B 成分) の位相変化は第 1 の信号光パルス (A 成分) より t 遅れることになる。つまり、

【 0 0 2 2 】

【 数 2 】

渉光となった後、出力ポート 2 2 に到達する干渉光 (P 成分 : 第 1 の干渉光) の電界、

【 0 0 2 4 】

【 数 3 】

【 0 0 2 5 】

【 数 4 】

【 0 0 2 7 】

【 数 5 】

【 0 0 2 8 】

【 数 6 】

$$T(t) \equiv \frac{E_P(t)}{E_{IN}(t)} = -\exp\left[i \frac{\Phi_A(t) + \Phi_B(t)}{2}\right] \cdot \cos \frac{\Phi_A(t) - \Phi_B(t)}{2} \tag{式7}$$

強度透過率は、
【0029】

$$|T(t)|^2 \equiv \cos^2 \frac{\Phi_A(t) - \Phi_B(t)}{2} \tag{式8}$$

である。

【0030】図示の例では、位相バイアス ϕ_b を、
【0031】
【数8】
 $\phi_b = \pi$ (式9)

と調整する(図2a)。位相差 $\Phi_A(t) - \Phi_B(t) - \phi_b = \pi$

$$|T(t)|^2 \equiv \cos^2 \frac{\Phi_A(t) - \Phi_B(t)}{2} = 0 \tag{式10}$$

である。従って、全光スイッチの透過率は、 $t_0 < t < t_0 + \tau$ を充たす間だけ0(ゼロ)でない有限の値をとる(図2c)。

【0033】全光スイッチが信号光パルス列から信号光パルスを抽出する様子を図3に模式的に示す。制御光パルスが全光スイッチに入る時刻を $t_1 = t/2$ とする(図3a)。全光スイッチは、 $t_1 = t/2$ から $t_1 + \tau/2$ の間だけ信号光パルスを透過する(図3b)。なお、信号光パルスのパルス幅は τ よりも狭いものとする。これによって、全光スイッチは、時刻 t_N ($N = -1, 0, 1, 2, \dots$) に入力される信号光パルス(図3c)のうち、時刻 t_1 の信号光パルスだけを透過し(図3d)、出力ポート22から出力する。一方、入力信号光パルスのうち時刻 t_1 の信号光パルスだけを取り除かれた信号光パルス列(図3e)が出力ポート23から出力される。

【0034】なお、半導体導波路として半導体光増幅器を用いる場合、制御光パルスが半導体光増幅器によって効率的に増幅されるように、制御光パルス波長を選ぶ必要がある。半導体光増幅器で増幅された制御光パルスはフィルタ24, 25により除去される。半導体光増幅器を通過する信号光による半導体光増幅器のキャリア数変化が、制御光パルスによるキャリア数変化に比べて無視できるほど小さいように、信号光パルスの強度や半導体光増幅器の活性層のバンドギャップを選ぶ。

【0035】一方、半導体導波路として吸収型半導体導波路を用いる場合には、制御光パルスが吸収型半導体導

波路に効率的に吸収されるように制御光パルス波長を選ぶ必要がある。また、吸収型半導体導波路を通過する信号光が吸収型半導体導波路に吸収されないように半導体導波路の活性層のバンドギャップを選ぶ必要がある。なお、吸収型半導体導波路を用いた場合、図2aの非線形位相変化の符号が半導体光増幅器の場合と反対となる。

【0032】
【数9】

$$\tag{式11}$$

波路に効率的に吸収されるように制御光パルス波長を選ぶ必要がある。また、吸収型半導体導波路を通過する信号光が吸収型半導体導波路に吸収されないように半導体導波路の活性層のバンドギャップを選ぶ必要がある。なお、吸収型半導体導波路を用いた場合、図2aの非線形位相変化の符号が半導体光増幅器の場合と反対となる。

【0036】

【発明が解決しようとする課題】ところで、図1に示す全光スイッチの場合、全光スイッチの動作時間間隔が短いと、つまり、制御光パルス間隔が短いと、消光比が低下する。ここで、60Gbpsの信号光パルス列から10Gbpsの信号光パルス列を抽出する全光スイッチ動作の1例を図4a~cに示す(動作例2)。ここでは、制御光パルス幅を2ps、 τ を16.6ps、スイッチ動作時間間隔(制御光パルス間隔)を100ps、キャリア寿命を500nsとした。なお、 τ は60Gbps信号間隔に、スイッチ動作時間間隔は10Gbps信号間隔に合わせている。

【0037】動作例2に示すように、動作時間間隔が短いと、式10と式11が成り立たなくなる。つまり、A成分が非線形位相シフトを起こす前($t < t_0$)及びB成分が非線形位相シフトを起こした後($t < t_0 + \tau$)における位相差 $\Phi_A(t) - \Phi_B(t)$ が π からずれてしまい(図4b)、 $t < t_0$ 及び $t < t_0 + \tau$ においても、信号光パルスに対する透過率が0とならない(図4c)。

【0038】動作例2の全光スイッチが信号光パルス列

から信号光パルスを抽出する様子を図5に模式的に示す。図5において、 $t < t_0$ 及び $t < t_0 + t$ においても信号光パルスに対する透過率が0とならないため(図5b)、不要な信号光パルス列が出力ポート22(図5c)や出力ポート23(図5d)から漏れ出してしまう(図5cに出力ポート22について、図5dに出力ポート23について示す)。このように、従来の全光スイッチでは、消光比の劣化が発生する。

【0039】ここで、図6a~cに、40Gbpsの信号光パルス列から2Gbpsの信号光パルス列を抽出する動作例を示す(動作例3)。ここでは、制御光パルス幅を2ps、 t を25ps、スイッチ動作時間間隔(制御光パルス間隔)を500ps、キャリア寿命を75psとした。

【0040】動作例3のように、キャリア寿命が短い場合においても、式10と式11が成り立たなくなる。つまり、B成分が非線形位相シフトを起こした後($t < t_0 + t$)における位相差 $A(t) - B(t)$ がからずれてしまい(図6b)、 $t < t_0 + t$ においても信号光パルスに対する透過率が0とならない(図6c)。

【0041】従って、動作例3の全光スイッチを使って信号光パルス列を抽出する場合においても、図5と同様に消光比劣化が発生する。

【0042】上述の説明から明らかなように、従来例1~3に記載された全光スイッチをを時分割多重解除器として用いた場合、スイッチ動作時間間隔及びキャリア寿命がスイッチオン時間幅に比べて極めて長ければ、消光比は殆ど劣化しない。ところが、スイッチ動作時間間隔(又はキャリア寿命)がスイッチオン時間幅に近づくと、消光比が次第に低下してしまう。

【0043】一方、従来例1~3に記載された全光スイッチを波長変換器として用いる場合、及び従来例4に記載された波長変換器の場合においても、光信号間隔及びキャリア寿命が光信号パルス幅に比べて極めて長ければ、消光比は殆ど劣化しない。ところが、光信号間隔(又はキャリア寿命)が光信号パルス幅に近づくと、消光比が次第に低下してしまう。

【0044】このように、全光スイッチのスイッチ動作時間間隔(又は全光スイッチの一部を構成する半導体導波路のキャリア寿命)が短い場合には、全光スイッチの消光比が劣化するという問題点があり、全光スイッチを用いて波長変換を行った際には、出力光信号の消光比が劣化するという問題点がある。

【0045】さらに、従来例1~4においては、全光スイッチが停止した状態で最適状態に調整しており、動作中の全光スイッチを調整することについて、何等考慮されていない。つまり、数十~数千時間という長時間に渡って動作を続けると、全光スイッチ内部の光導波路の屈折率のわずかな変化等が起因して最適動作条件がドリフトする。このため、動作中の全光スイッチの最適動作状

態を保持する必要がある。

【0046】本発明の目的は消光比を改善することのできる全光スイッチ及び波長変換器を提供することにある。

【0047】本発明の他の目的はスイッチ動作繰返し周波数限界を改善することのできる全光スイッチ及び波長変換器を提供することにある。

【0048】本発明のさらに他の目的は常に最適動作状態の保持することのできる全光スイッチ及び波長変換器を提供することにある。

【0049】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、第1の波長を有する第1の入力光に同期して第2の波長を有する第2の入力光を透過・遮断して出力光として出力する全光スイッチであって、非線形半導体導波路を備え前記第1及び前記第2の入力光が入力される光干渉計と、第3の波長を有する監視光を前記干渉計と与える監視用レーザ光源と、前記干渉計から出力された監視光が出力監視光として与えられ該出力監視光に応じて前記干渉計の位相バイアスを制御する制御手段とを有することを特徴とする全光スイッチが得られる。

【0050】さらに、本発明によれば、第1の波長を有する第1の入力光に同期して第2の波長を有する第2の入力光を透過・遮断して出力光として出力する全光スイッチであって、前記第1の入力光の光強度を調整して調整入力光とする調整手段と、非線形半導体導波路を備え前記調整入力光前記第2の入力光が入力される光干渉計と、第3の波長を有する監視光を前記干渉計と与える監視用レーザ光源と、前記干渉計から出力された監視光が出力監視光として与えられ該出力監視光に応じて前記調整手段を制御して前記第1の入力光の光強度を調整する制御手段とを有することを特徴とする全光スイッチが得られる。

【0051】また、第1の波長を有する入力光を第2の波長を有する出力光に変換する波長変換器であって、非線形半導体導波路を備え前記入力光が入力されるとともに前記第2の波長を有する監視光が入力される光干渉計と、前記干渉計から出力された監視光が出力監視光として与えられ該出力監視光に応じて前記干渉計の位相バイアスを制御する制御手段とを有することを特徴とする波長変換器が得られる。加えて、本発明によれば、第1の波長を有する入力光を第2の波長を有する出力光に変換する波長変換器であって、前記入力光の光強度を調整して調整入力光とする調整手段と、非線形半導体導波路を備え前記調整入力光が入力されるとともに前記第2の波長を有する監視光が入力される光干渉計と、前記干渉計から出力された監視光が出力監視光として与えられ該出力監視光に応じて前記調整手段を制御して前記第1の入力光の光強度を調整する制御手段とを有することを特徴とする波長変換器が得られる。

【0052】

【発明の実施の形態】以下本発明について図面を参照して説明する。

【0053】まず、図7を参照して、第1の実施の形態について説明する。

【0054】(第1の実施の形態)図示の全光スイッチにおいて、図1に示す構成要素と同一の構成要素については同一の参照番号を付す。図示の全光スイッチは、さらに、監視用レーザ光源31、スペクトル成分分析器、及び帰還制御システム(帰還制御部)39を備えている。スペクトル成分分析器は、分岐部34、波長フィルタ35及び37、及び受光器36及び38を有している。

【0055】監視用レーザ光源31からは監視光が出力され、この監視光は、波長λの連続光である。そして、監視用レーザ光源31は制御光パルス繰返し周波数よりも充分狭いスペクトル幅を有している。

【0056】波長フィルタ35の中心波長はλ、波長帯域幅は制御光パルス繰返し周波数程度とする。制御光パルス繰返し周波数が10GHz、λ=1.58μmの場合、2.5~25GHz(0.02~0.2nm)程度の帯域幅が望ましい。波長フィルタ37の波長帯域幅は比較的広いものとし、中心波長はλとする。

【0057】監視用レーザ光源31から出力された監視光は合流部32に与えられ、その後、分岐部21まで信号光パルスと同じ経路を辿る。つまり、干渉光中の監視光は分岐部21で分割(分岐)されて、それぞれ波長フィルタ24側及び波長フィルタ25側に与えられる、波長フィルタ25側に与えられた監視光は波長フィルタ25で除去される。一方、波長フィルタ24側に与えられた監視光は、分岐部33でさらに分岐され、一方の監視光は波長フィルタ24で除去される。他方の監視光は分岐部34でさらに分岐される(ここでは分岐部34で分岐された監視光のうち一方を第1の監視光と呼び、他方を第2の監視光と呼ぶことにする)。第1の監視光は波長フィルタ35を経て受光器36に達する。一方、第2の監視光は、波長フィルタ37を経て受光器38に達する。そして、第1及び第2の監視光は帰還制御システム39に与えられる。

【0058】上述のようにして、監視用レーザ光源31から監視用レーザ光(監視光)を全光スイッチに与えると、全光スイッチの信号光に対する透過率(スイッチオ

$$E_M(t) = E_A(t) + E_B(t)$$

$$\begin{aligned} &\propto \{ \exp [i \Phi_A(t)] + \exp [i \Phi_B(t)] \} \\ &= (\exp [i \{ \Phi_B(t + \Delta t) + \Phi_b \}] + \exp [i \Phi_B(t)]) \\ &= (-\exp [i \Phi_B(t + \Delta t)] + \exp [i \Phi_B(t)]) \end{aligned}$$

(式12)

である。監視光出力スペクトルは、

*ン状態)を監視することができる。前述のように、監視光は信号光パルスとほぼ同じ経路を進行するから、監視光は、全光スイッチの透過率が0ではないときだけ分岐部34(スペクトル成分分析器の入口)に到達することになる。

【0059】図7に示す全光スイッチでは、帰還制御システム39によって後述するようにして位相調整器26が制御される。

【0060】まず、位相調整器26によって上述の式9とは異なる位相バイアスが設定される。例えば、スペクトル成分分析器に到達する監視光のスペクトルが単峰スペクトルとなるように位相バイアスが設定される。帰還制御システム39では、波長フィルタ35を透過する監視光強度と波長フィルタ37を透過する監視光強度との比を受光器36及び38を介して監視して、単峰スペクトル状態であるか否かを判定する。そして、帰還制御システム39では、動作中の全光スイッチの位相バイアスを常時最適値に保持する。つまり、帰還制御システム39は、前述の監視光強度比を常時監視して、監視光強度比が最適値を保持するように位相調整器26に帰還信号を送る。

【0061】ここで、位相バイアスを適切に設定すると、全光スイッチの消光比が改善するメカニズムについて説明する。位相バイアスが最適値に設定された際に、透過監視光スペクトルが単峰となる。なお、以下の説明では、最適監視光強度比の求め方について併せて説明する。

【0062】消光比が劣化した際の全光スイッチの動作の一例として、前述の動作例2における全光スイッチに監視光を加えた際の透過監視光スペクトルを図4dに示す。ここでは、スペクトル軸を、波長差λとした。監視光出力スペクトルは離散的であり、スペクトル間隔は、制御光パルス繰返し周波数(10GHz=0.08nm@1.58μm)に等しい。

【0063】図4dに示すスペクトルでは、λ=λのスペクトル成分が0であり、λ<λの短波長成分とλ>λの長波長成分に分離している(双峰スペクトル)ことが分かる。この点について、以下に説明する。

【0064】監視光出力電界は、式3と式4から、

【0065】
【数10】

50 【0066】

【数 1 1】

$$F(\Delta\omega) = \left| \int E_H(t') \cdot \exp(i\Delta\omega t') dt' \right|^2 \tag{式13}$$

となる。従来の動作条件では式 9 に示したように

* 分は、

$$\left[\int_0^{\tau_c} \exp(i\Phi_B(t')) dt' \right]^2$$

である。この時、 $F(\Delta\omega=0) = \left| \int E_H(t') dt' \right|^2$ のスペクトル成分*

【数 1 2】

$$\begin{aligned} F(\Delta\omega=0) &= \left| \int E_H(t') dt' \right|^2 \\ &= \left| \int (-\exp[i\Phi_B(t'+\Delta t)] + \exp[i\Phi_B(t')]) dt' \right|^2 \\ &= \left| \int (-\exp[i\Phi_B(t'+\Delta t)]) dt' + \int \exp[i\Phi_B(t')] dt' \right|^2 \\ &= \left| \int (-\exp[i\Phi_B(t')]) dt' + \int \exp[i\Phi_B(t')] dt' \right|^2 \\ &= 0 \end{aligned}$$

(式14)

となる。

【0 0 6 9】全光スイッチの動作時間間隔が比較的短い

【0 0 6 8】一方、消光比劣化の原因は、透過率が 0 となるべき時間帯 ($t < t_0$ 又は $t < t_0 + \tau_c$) における位相差 $\Phi_A(t) - \Phi_B(t)$ が 0 からずれるためである (図 4 b)。

と、図 4 a から明らかなように、スイッチオフ時間帯 ($t < t_0$ と $t < t_0 + \tau_c$) において近似的に、

【0 0 7 0】

【数 1 3】

$$\Phi_A(t) - \Phi_B(t) \approx \Phi_b - \Delta\Phi_{NL} \cdot \frac{\Delta t}{t_R} \tag{式15}$$

が成り立つ。動作例 2 の場合には、 $\Phi_b = 0.49\pi$ 、 $t = 25 \text{ ps}$ 、 $t_R = 100 \text{ ps}$ である。式 15 から求めたスイッチオフ時間帯位相差 (0.88π) は、実際のスイッチオフ時間帯位相差 (0.8π)

7、図 4 b) とほぼ一致する。従って、スイッチオフ時間帯に消光条件

【0 0 7 1】

【数 1 4】

(式16)

を充たす位相バイアスの最適値は、式 9 の代わりに、

【数 1 5】

【0 0 7 2】

$$\Phi_b \approx \pi + \Delta\Phi_{NL} \cdot \frac{\Delta t}{t_R} \tag{式17}$$

である。動作例 2 の場合には、 $\Phi_b = \text{約 } 1.12\pi$ である。

$$\Delta t < t_R \ll \tau_c \tag{式18}$$

【0 0 7 3】動作例 2 の位相バイアス設定を $\Phi_b = 0.90\pi$ 、 1.10π 、 1.17π 、 1.25π に置き換えた動作例を、それぞれ図 8 ~ 11 に示す。

を充たす場合に、図 10 a に示すように、位相の回復曲線が直線状になるためである。非線形位相シフトを起こした後の直線状の位相回復曲線については、例えば、Journal of Optical Society of America 誌、第 14 巻、3204 ~ 3216 頁、1997 年に報告されている。

【0 0 7 4】この動作例では、 $\Phi_b = 1.17\pi$ と設定すると、スイッチオフ時間帯位相差が 0.8π となる (図 10 b)。その結果、消光比は 30 dB 以上と高い値に改善した (図 10 c)。この位相バイアス量は式 17 から算出した値にほぼ等しい。

【0 0 7 7】透過監視光スペクトルは、スイッチオフ時間帯位相差の変化をきわめてよく反映しながら双峰スペクトルから単峰スペクトルへ、さらに、単峰スペクトルから双峰スペクトルへと系統的な変化を示す。スイッチオフ時間帯位相差が 0.8π となる最適位相バイアス状態において、透過監視光スペクトルの包絡線が単峰スペクトル (図 10 d) となる。

【0 0 7 5】上述のように、位相バイアス設定を $\Phi_b = 0.90\pi$ から 1.17π へ置き換えると、消光比が改善されるが、この理由は、本動作例のように動作条件が

【0 0 7 6】

【数 1 6】

【0 0 7 8】全光スイッチの消光比が高いときに、透過監視光スペクトルが単峰スペクトルとなるメカニズム

は、モードロックレーザ光のスペクトルと類似している。モードロックレーザの場合には、パルス幅 T_0 、パルス間隔 T_1 の等間隔な孤立パルスのスペクトルは、スペクトル間隔 $1/T_1$ の滑らかな単峰な離散的スペクトルとなる。スペクトルの包絡線の幅はおおよそ $1/T_0$ となる。

【0079】全光スイッチの場合、消光比が改善して透過監視光が孤立パルスとなる際、そのスペクトルが滑らかな単峰スペクトルとなる。スペクトルの包絡線の幅はおおよそ $1/t$ のオーダーである。

【0080】波長フィルタ 35 の帯域幅を 10 GHz (0.08 nm)、波長フィルタ 37 の帯域幅を 1 nm とすると、図 10 d の単峰スペクトルをスペクトル成分分析して得られる監視光強度比 (受光器 36 の受光強度 ÷ 受光器 38 の受光強度) はおおよそ 0.2 である。つまり、この動作例における監視光強度比の最適値は 0.2 となる。

【0081】従って、帰還制御システム 39 は、監視光強度比が常に 0.2 となるように、位相調整器 26 を制御することになる。監視光強度比が 0.2 を上回るときは位相バイアス ϕ_b を減らし、監視光強度比が 0.2 を下回るときは位相バイアス ϕ_b を増やす。

【0082】次に、図 12 を参照して、第 2 の実施の形態について説明する

(第 2 の実施の形態) 図示の全光スイッチは図 7 に示す全光スイッチと同一の構成要素には同一の参照番号を付す。図 12 においては、さらに、光減衰器 42 が備えられており、この光減衰器 42 は帰還制御システム 39 によってその減衰量が制御される。

【0083】図示の全光スイッチでは、前述の動作例 3 における消光比を改善する。図示の例では、光減衰器 42 を用いて半導体導波路 11 の非線形位相シフト量を半導体導波路 10 の非線形位相シフト量と異なる値に設定する。この全光スイッチでは、まず、図 7 に示す全光スイッチと同様にしてスペクトル成分分析器に到達する透過監視光のスペクトルが単峰スペクトルとなるように光減衰器 42 の減衰量を設定して、半導体導波路 11 の非線形位相シフト量を最適値に設定する。

【0084】動作例 3 で説明したように、動作条件が

【0085】

【数 17】

$$\Delta t < \tau_c \ll \tau_R \tag{式 19}$$

を充たす場合、半導体導波路 11 の非線形位相シフト量を適切に設定することによって全光スイッチの消光比を改善することができる (例えば、Japanese Journal of Applied Physics 誌、第 32 巻、L1746 ~ 1749 頁、1993 年)。非線形位相シフト量を最適値に設定した際、図 7 に示す全光スイッチと同様に監視光スペクトルが単峰ス

ペクトルとなる。

【0086】なお、半導体光増幅器へ注入する電流注入量が大きくキャリア密度が高い場合、半導体を成長温度の低い結晶成長法で作成した場合、半導体に高濃度な不純物を混入した場合、又は量子線 (quantum wire) 半導体、量子箱 (quantum dot) 半導体、サブバンド間遷移 (inter-subband-transition) 半導体を用いた場合、半導体導波路のキャリア寿命が短くなって、式 19 の動作条件を充たしやすくなる。

10

【0087】以下、上述の動作例 3 を例として、全光スイッチの動作状態と監視光スペクトルの具体例を説明する。動作例 3 では、半導体導波路 10 の非線形位相シフト量 (ϕ_A) は、半導体導波路 11 の非線形位相シフト量 (ϕ_B) に等しく、 $\phi_B = \phi_A = 0.63$ であった (図 6 a)。この状態の全光スイッチに監視光を入力すると、透過監視光のスペクトルは双峰スペクトルとなる (図 6 d)。式 14 に従って、 $\phi_B = \phi_A$ のスペクトル成分は 0 である。

20

【0088】この例では、光減衰器 42 の減衰量を調整して、非線形位相シフト量 ϕ_B を変える。非線形位相シフト量の設定を $\phi_B = \phi_A$ から $\phi_B = 1.15 \phi_A$ 、 $0.85 \phi_A$ 、 $0.70 \phi_A$ 、 $0.55 \phi_A$ に置き換えた動作例を、それぞれ図 13 ~ 16 に示す。

【0089】この一連の動作例では、 $\phi_B = 0.70 \phi_A$ と設定すると、スイッチオフ時間帯位相差が一様となる (図 15 b)。その結果、消光比は 30 dB 以上と高い値に改善した (図 15 c)。

30

【0090】透過監視光スペクトルは、スイッチオフ時間帯位相差の変化をきわめてよく反映しながら系統的に変化する。スイッチオフ時間帯位相差が $\phi_B = \phi_A$ となる最適非線形位相シフト量 ($\phi_B = 0.70 \phi_A$) において、透過監視光スペクトルの包絡線が滑らかな単峰スペクトルとなる (図 15 d)。

【0091】図 7 に示す全光スイッチと同一の波長フィルタ 35 及び 37 を用いると、図 15 d における監視光強度比は約 0.07 である。つまり、この動作例における監視光強度比の最適値は 0.07 である。

40

【0092】従って、帰還制御システム 39 は、監視光強度比が常に 0.07 となるように、光減衰器 42 を制御することになる。監視光強度比が 0.07 を上回ったときは減衰量を減らして非線形位相シフト量 ϕ_B を増大し、監視光強度比が 0.07 を下回ったときは減衰量を増やして非線形位相シフト量 ϕ_B を減らす。

【0093】さらに、図 17 を参照して本発明による第 3 の実施の形態について説明する。

【0094】(第 3 の実施の形態) 図示の全光スイッチにおいて図 7 に示す全光スイッチと同一の構成要素については、同一の参照番号を付す。図 17 においては、図 7 に示す例と逆向きに監視光が入力されており、つま

50

り、信号光と逆向きに監視光が入出力されており、この関係上、図 1 7 に示す全光スイッチにはサーキュレータ 5 1 及び 5 2 が備えられている。図示の全光スイッチにおいて、監視用レーザ光源 3 1 から出力された監視光はサーキュレータ 5 1 を介してマッハツェンダー型干渉計に入力され、サーキュレータ 5 2 を経てスペクトル成分分析器へ到達する。

【0095】図示の例では、信号光と監視光との分離が容易となる。従って、監視光の波長が信号光の波長と同一であってもよい。

【0096】図 1 8 を参照して本発明による第 4 の実施の形態について説明する。

【0097】(第 4 の実施の形態) 図 1 8 に示す全光スイッチは、前述の従来例 2 (偏光分離型全光スイッチ) に対して本発明を適用したものである。図 1 8 において、入力ポート 6 2 から制御光パルスが入力され、この制御光パルスは合流部 6 4 を経て半導体導波路 6 1 に到達して半導体導波路の屈折率を変化させる。なお、図 1 8 において、図 7 に示す全光スイッチと同一の構成要素について同一の参照番号を付す。

【0098】一方、入力ポート 6 3 からは信号光パルスが入力され、この信号光パルスは偏光スプリッタ 6 6 で 2 つの直交偏光成分に分割される。一方の直交偏光成分 (U 成分) は、光回路 6 8、偏光スプリッタ 6 7、合流部 6 4、半導体導波路 6 1、偏光スプリッタ 7 0、及び光回路 7 2 を経て偏光スプリッタ 7 1 に到達する。他方の直交偏光成分 (V 成分) は、光回路 6 9、偏光スプリッタ 6 7、合流部 6 4、半導体導波路 6 1、偏光スプリッタ 7 0、及び位相調整器 2 6 を経て偏光スプリッタ 7 1 に到着し、U 成分と合波する。

【0099】光回路 6 9 の光路長は光回路 6 8 に比べて長く、信号光 (V 成分) に対して遅延時間 t を与える。一方、光回路 7 2 の光路長は、偏光スプリッタ 7 0 から位相調整器 2 6 を経て偏光スプリッタ 7 1 に至る光回路よりも長く、ここで、信号光 (U 成分) に与えられる遅延時間は t に殆ど等しい。従って、U 成分と V 成分とは偏光スプリッタ 7 1 にほぼ同時に到着することになる。

【0100】偏光スプリッタ 7 1 で合波された信号光は、分岐部 7 5、偏光子 7 3、及び波長フィルタ 7 4 を経て出力ポート 6 5 へ到着する。

【0101】監視レーザ光源 3 1 から合流部 6 4 に監視光が入力されており、この監視光は分岐部 7 5 で分割されて、スペクトル成分分析器へ到達する。前述のように、帰還制御システムはスペクトル成分分析器の出力に応じて位相調整器 2 6 を制御することになる。

【0102】なお、偏光成分を用いる点を除いて、従来例 2 の全光スイッチは従来例 1 と同じ動作原理に基づいて動作する。そして、図 1 8 に示す全光スイッチは、図 7 に示す全光スイッチと同様の動作原理に基づいて動作

する。

【0103】上述の第 1 乃至第 4 の実施の形態から明らかのように、本発明は、半導体のバンドフィリング効果に基づく非線形位相シフトを信号光の 2 つの成分に与え、さらにこれら 2 つの成分の間に時間差を与えた後、2 成分を干渉させる方式に基づく全ての全光スイッチに適用することができる。第 1 乃至第 4 の実施の形態では、従来例 1 及び 2 に適用した例を示したが、同様にして、従来例 3 にも本発明を適用することができる。

10 【0104】ところで、第 1 乃至第 4 の実施の形態で説明した全光スイッチは、波長変換器として動作させることもできる。速度変換器として用いる際には、例えば、波長 λ_1 の信号光パルス列を波長 λ_2 の信号光パルス列へ変換する際には、入力ポート 1 2 (図 1 8 においては、入力ポート 6 2) に波長 λ_1 の信号光パルス列を、入力ポート 1 8 (図 1 8 においては、入力ポート 6 3) に波長 λ_2 の連続レーザ光 (監視光) を入力する。波長 λ_2 の信号パルス列は、出力ポート 2 2 (図 1 8 においては、出力ポート 6 5) から取り出される。

20 【0105】このように第 1 乃至第 4 の実施の形態に記載された全光スイッチを波長変換器として動作させる際には、波長 λ_2 の連続レーザ光を監視光として用いることになる。従って、波長 λ_3 の監視光は不要となる。そして、スペクトル成分分析器の波長フィルタ 3 5 及び 3 7 の中心波長を λ_2 とする。

【0106】次に、図 1 9 を参照して、本発明による第 5 の実施の形態について説明する。

【0107】(第 5 の実施の形態) 図 1 9 に示す例は波長変換器の例であり、この例は、従来例 4 に本発明を適用したものである。

30 【0108】図示の例において、図 1 8 と同一の構成要素については同一の参照番号を付す。この例では、波長 λ_1 の信号光パルス列が第 1 入力ポート 6 2 に与えられ、波長 λ_2 の連続光が第 2 入力ポート 6 3 に入力される。信号光パルスは合流部 6 4 を経て半導体導波路 6 1 に到達する。連続光は合流部 6 4 及び半導体導波路 6 1 を経て分岐部 8 3 で 50 : 50 に分割される。一方の分岐成分 (B 成分) は光回路 8 1 を経て合流部 8 4 に到達し、他方の分岐成分 (A 成分) は光回路 8 1 及び位相調整器 2 6 を経て合流部 8 4 に到達して B 成分と合波する。B 成分は A 成分より t 遅れて合流部 6 4 に到達する。合流部 8 4 で合波した連続光は分岐部 7 5、偏光子 7 3、及び波長フィルタ 7 4 を経て出力ポート 6 5 に到達する。

【0109】分岐部 7 5 で分割された成分は、スペクトル成分分析器へ到達して、帰還制御システム 3 9 は、前述のようにして、スペクトル成分分析器の出力に応じて位相調整器 2 6 を制御する。

50 【0110】ところで、従来例 4 の動作メカニズムは、従来例 1 に記載された全光スイッチの動作メカニズムに

基づいている（例えば、特願平 9 - 1 1 1 6 3 3 公報及び IEEE Photonics Technology Letters 誌、第 10 巻、3 4 6 ~ 3 4 8 頁、1 9 9 8 年）。従って、図 1 9 に示す速度変換器は、図 7 に示す全光スイッチを波長変換器として動作させた際の原理に基づいて動作することになる。

【0 1 1 1】上述の第 1 乃至第 5 の実施の形態で説明した全光スイッチ及び波長変換器の動作条件は、式 1 8 又は式 1 9 に限るものではない。動作例 1 で示したような消光比劣化の起きにくい動作条件であっても本発明の全光スイッチは有効である。長時間にわたって全光スイッチを動作させると、半導体導波路の屈折率、利得、キャリア寿命等がわずかながら変化し、上述の位相バイアス又は非線形位相シフト量が最適値からずれていき、消光比の劣化が発生する可能性が高いが、本発明の全光スイッチは、このような消光比劣化を改善することができる。

【0 1 1 2】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、全光スイッチにおいて消光比を改善ことができ、特に、全光スイッチのスイッチ動作繰返し周波数が高い場合、全光スイッチに用いる半導体導波路のキャリア寿命が短い場合、そして、低温成長半導体又はサブバンド間遷移半導体を利用する場合等に生じる消光比劣化を改善することができる。同様に、本発明の全光スイッチを波長変換器として動作させる場合においても、出力光パルスの消光比を改善することができる。その結果、全光スイッチにおいて繰返し周波数の高いスイッチ動作を行うことができるという効果がある。

【0 1 1 3】さらに、本発明によれば、動作中の全光スイッチの最適動作状態を長時間にわたって保持することができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図 1】従来の全光スイッチの一例（従来例 1）の構成を示す図である。

【図 2】全光スイッチの動作の一例（動作例 1）を説明するための図である。

【図 3】全光スイッチの信号パルス抽出動作を示す模式図である。

【図 4】全光スイッチの動作の他の例（動作例 2）を説明するための図である。

【図 5】動作例 2 における信号パルス抽出動作を示す模式図である。

【図 6】全光スイッチの動作のさらに他の例（動作例 3）を説明するための図である。

【図 7】本発明による全光スイッチの第 1 の例を示す図

である。

【図 8】動作例 2 の位相バイアス設定を $b =$ から $b = 0.90$ に置き換えた際の動作状態を説明するための図である。

【図 9】動作例 2 の位相バイアス設定を $b = 1.10$ に置き換えた際の動作状態を説明するための図である。

【図 10】図 7 に示す全光スイッチの最適動作状態（動作例 2 の位相バイアス設定を $b = 1.17$ に置き換えた状態）を説明するための図である。

【図 11】動作例 2 の位相バイアス設定を $b = 1.25$ に置き換えた際の動作状態を説明するための図である。

【図 12】本発明による全光スイッチの第 2 の例を示す図である。

【図 13】動作例 3 の非線形位相シフト設定を $b =$ から $b = 1.15$ に置き換えた際の動作状態を説明するための図である。

【図 14】動作例 3 の非線形位相シフト設定を $b = 0.85$ に置き換えた際の動作状態を説明するための図である。

【図 15】図 12 に示す全光スイッチの最適動作状態（動作例 3 の非線形位相シフト設定を $b = 0.70$ に置き換えた状態）を説明するための図である。

【図 16】動作例 3 の非線形位相シフト設定を $b = 0.55$ に置き換えた際の動作状態を説明するための図である。

【図 17】本発明による全光スイッチの第 3 の例を示す図である。

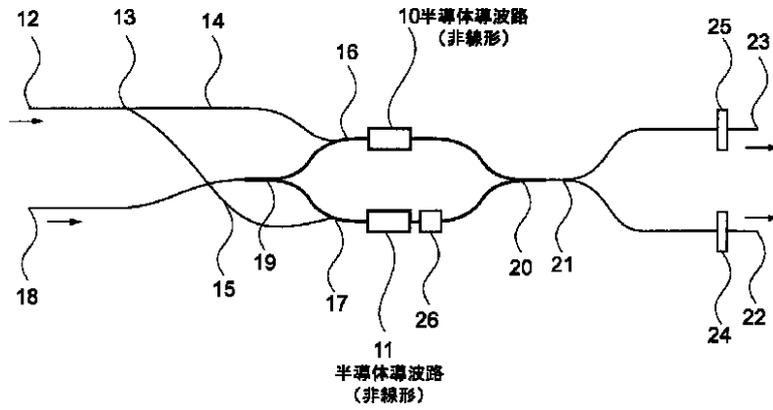
【図 18】本発明による全光スイッチの第 4 の例を示す図である。

【図 19】本発明による波長変換器の一例（第 5 の例）を示す図である。

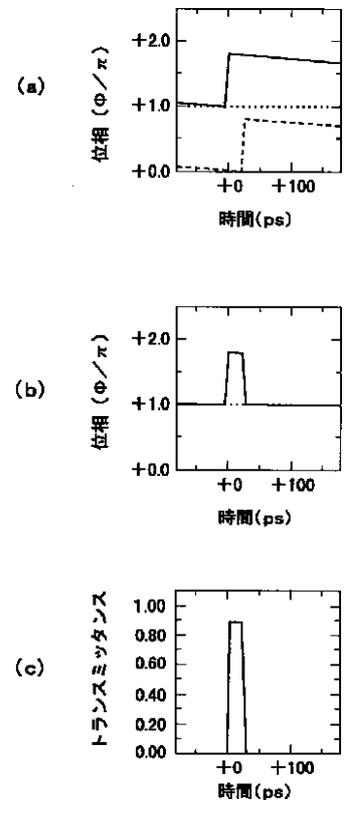
【符号の説明】

1 0 , 1 1 , 6 1 半導体導波路
 1 2 , 1 8 , 6 2 , 6 3 入力ポート
 2 2 , 2 3 , 6 5 出力ポート
 2 6 位相調整器
 3 1 監視レーザ光源
 3 9 帰還制御システム
 4 2 光減衰器
 5 1 , 5 2 サーキュレータ
 6 6 , 6 7 , 7 0 , 7 1 偏光スプリッタ
 7 3 , 7 6 偏光子
 7 4 波長フィルタ

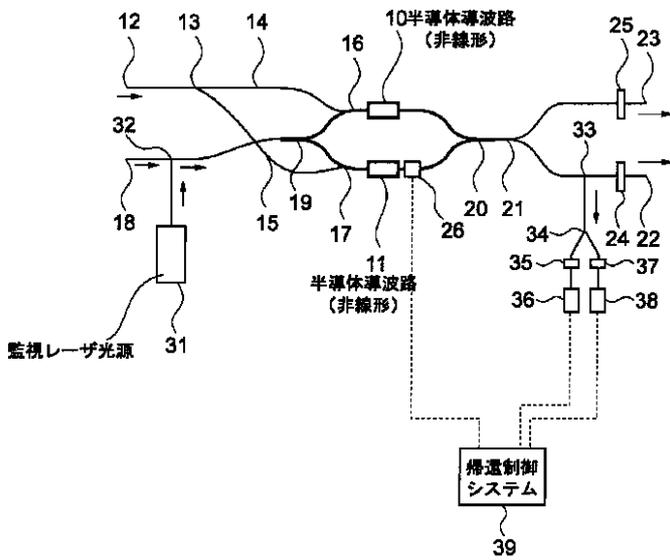
【図1】



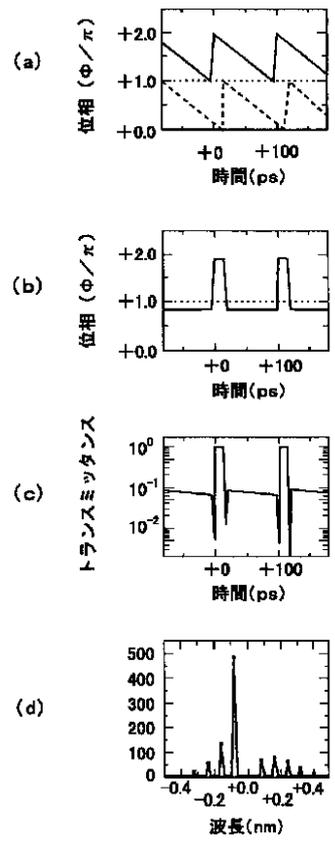
【図2】



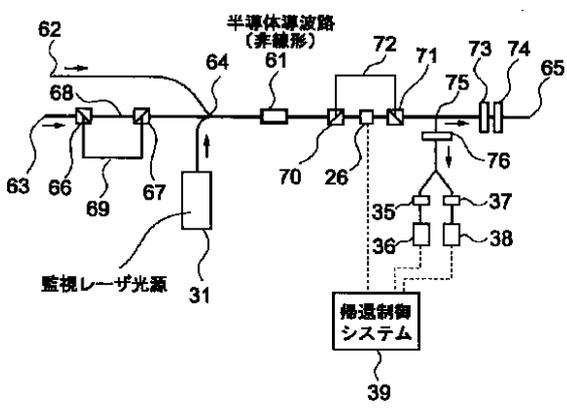
【図7】



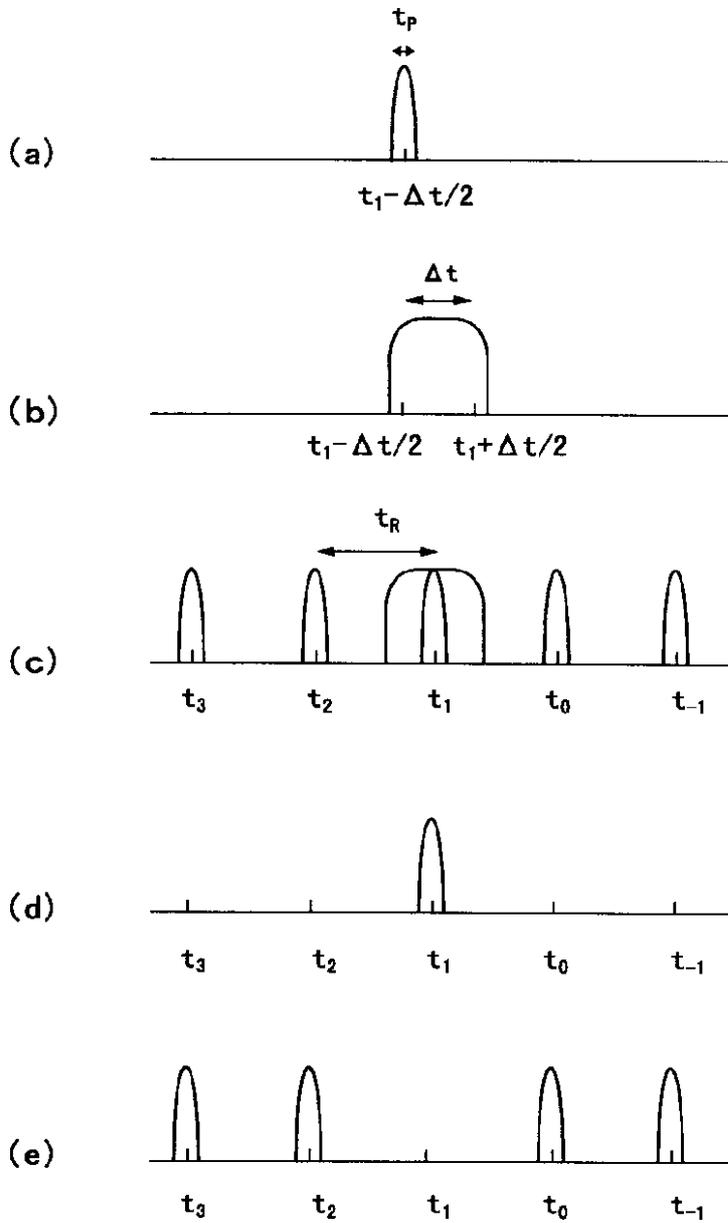
【図4】



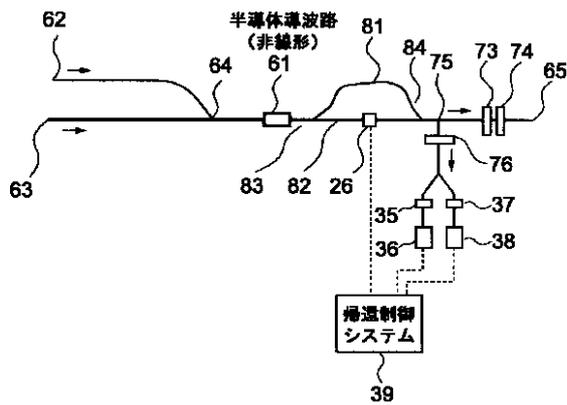
【図18】



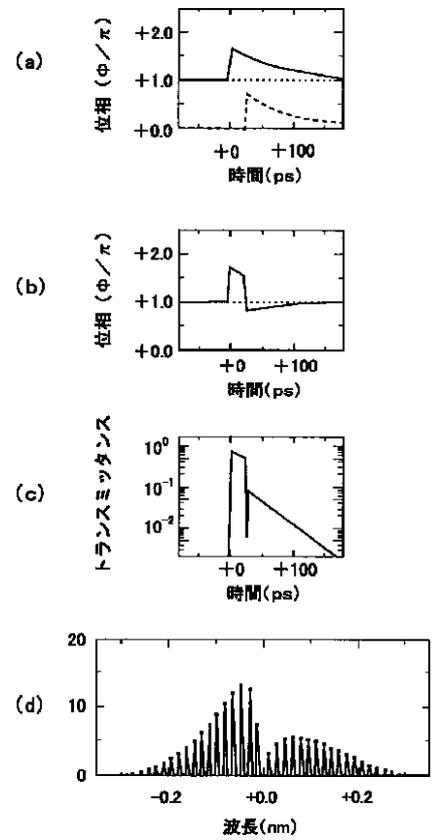
【図3】



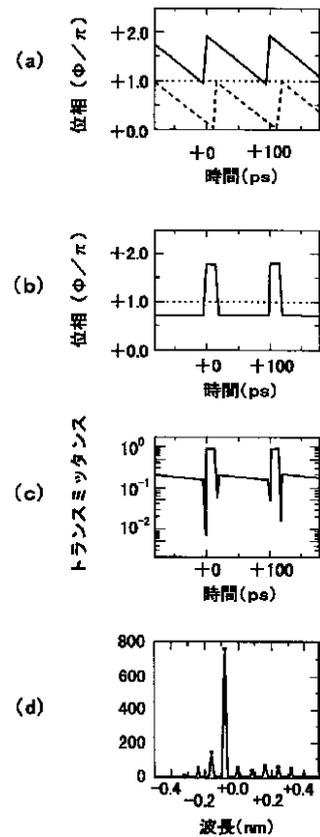
【図19】



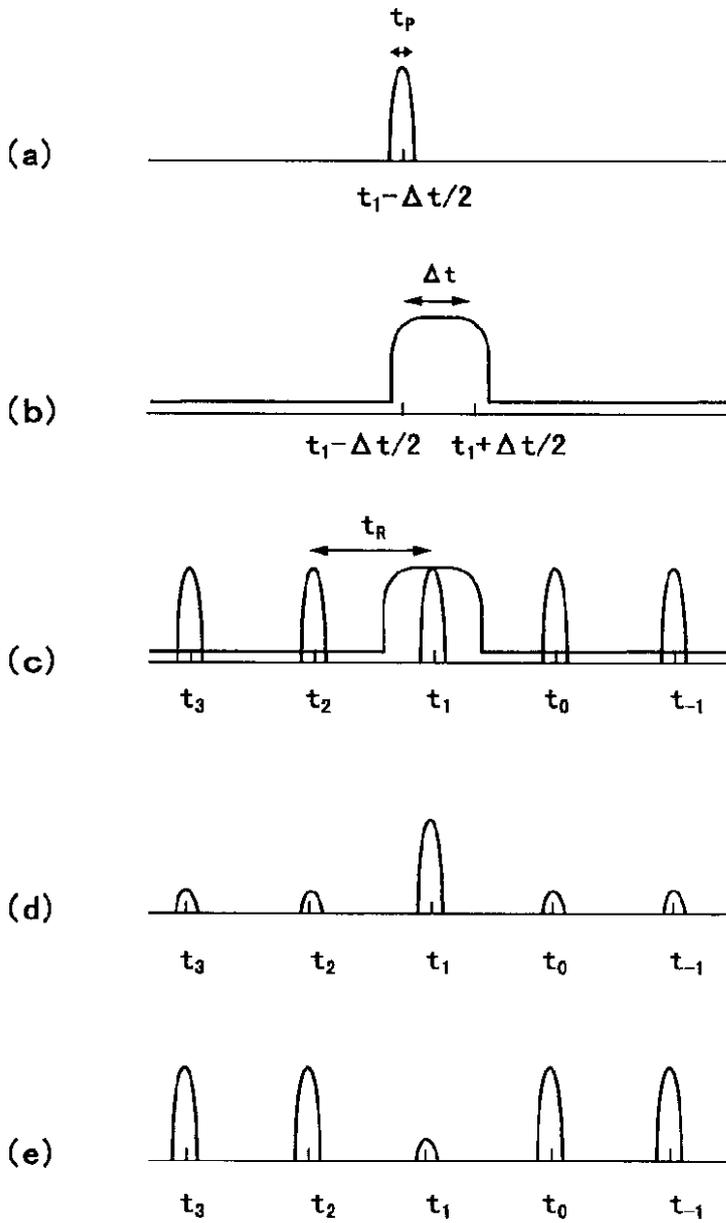
【図6】



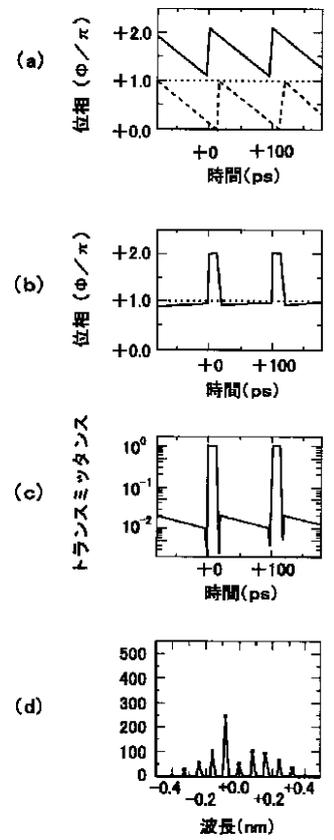
【図8】



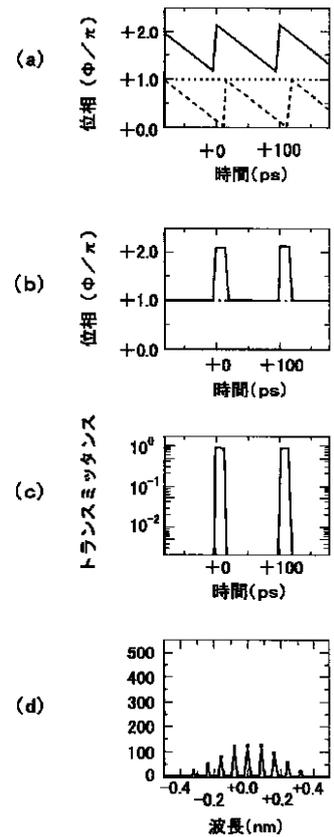
【図 5】



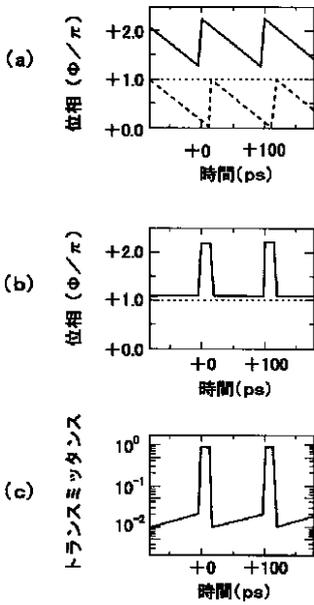
【図 9】



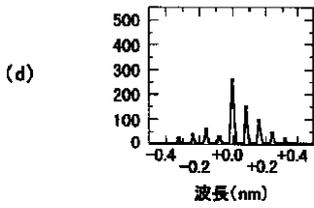
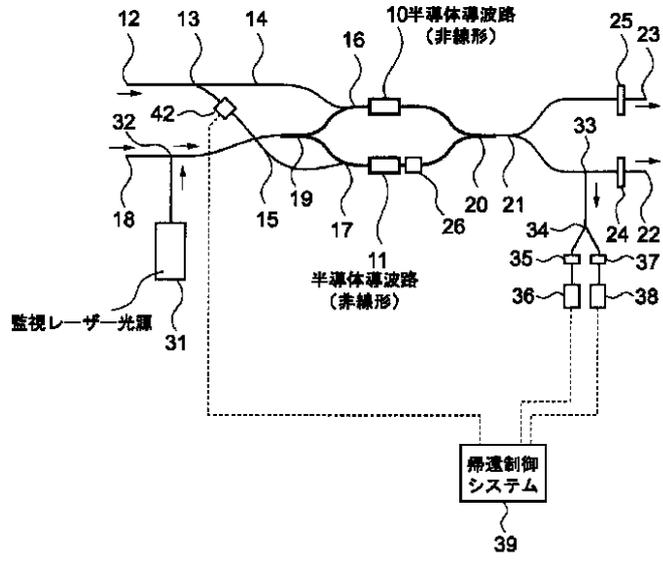
【図 10】



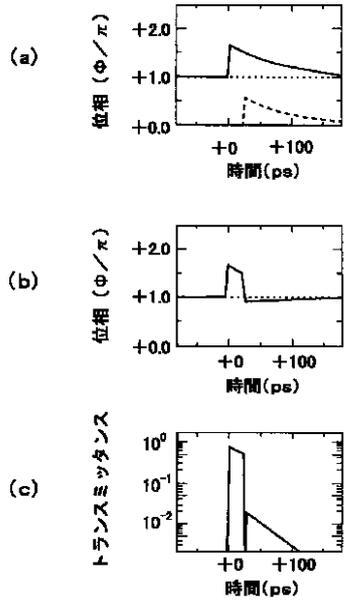
【図 1 1】



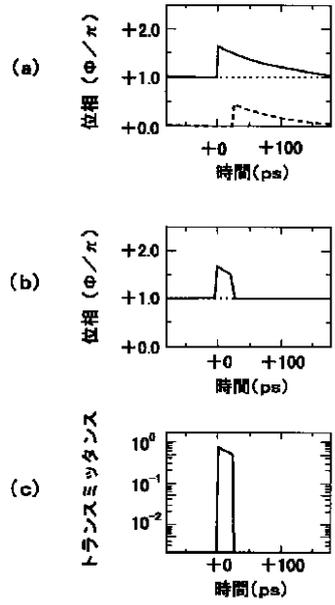
【図 1 2】



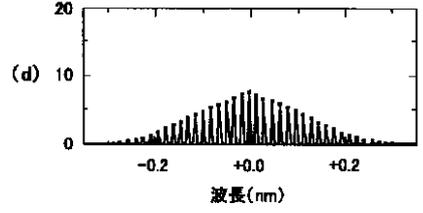
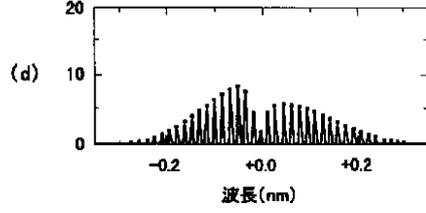
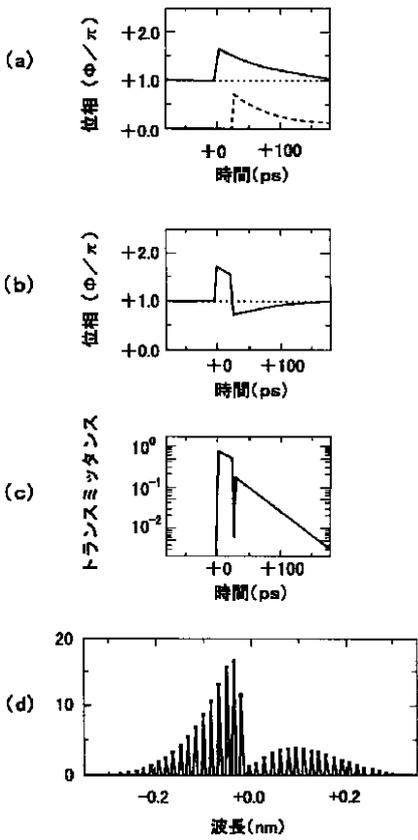
【図 1 4】



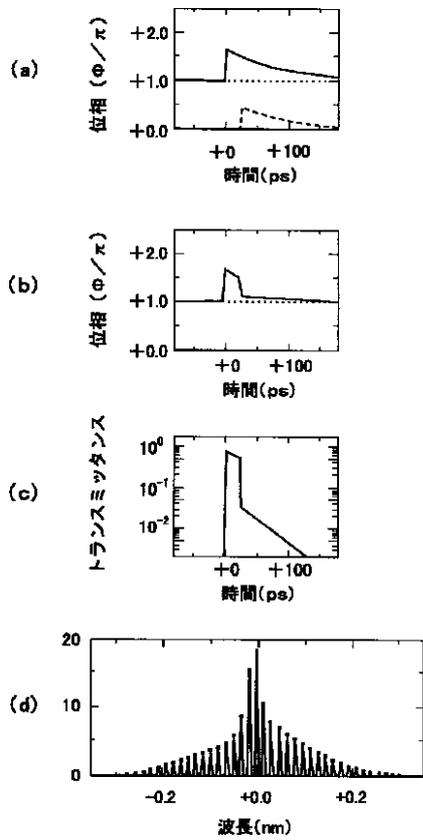
【図 1 5】



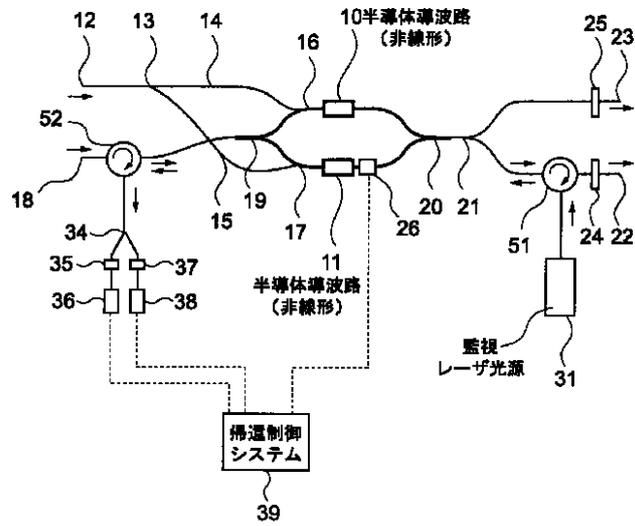
【図 1 3】



【図 16】



【図 17】



フロントページの続き

(58) 調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)
 G02F 1/35, 1/313, 1/035
 JICSTファイル(JOIS)
 INSPEC(DIALOG)