

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2005 年 9 月 9 日 (09.09.2005)

PCT

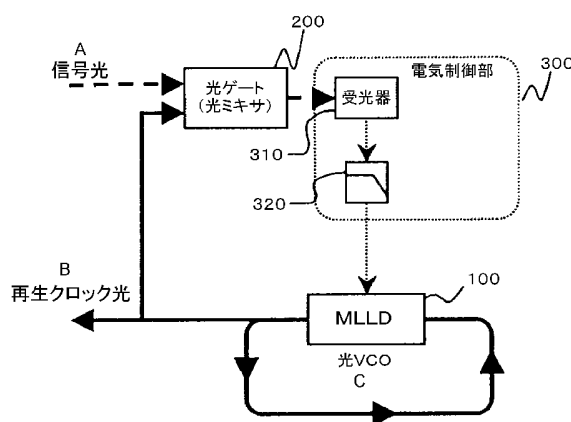
(10) 国際公開番号
WO 2005/083502 A1

- (51) 国際特許分類⁷: G02F 1/015, H01S 5/065, H04B 10/02
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2005/003292
- (22) 国際出願日: 2005 年 2 月 28 日 (28.02.2005)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2004-052912 2004 年 2 月 27 日 (27.02.2004) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日本電気株式会社 (NEC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 橋本 陽一 (HASHIMOTO, Yoichi) [JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 宮崎 昭夫, 外 (MIYAZAKI, Teruo et al.); 〒1070052 東京都港区赤坂 1 丁目 9 番 20 号 第 16 興和ビル 8 階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE,

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL CLOCK EXTRACTING DEVICE AND METHOD

(54) 発明の名称: 光クロック抽出装置及び方法



A... SIGNAL LIGHT
B... REPRODUCED CLOCK LIGHT
200... OPTICAL GATE (OPTICAL MIXER)
310... PHOTODETECTOR
300... ELECTRIC CONTROL SECTION
C... OPTICAL VCO

(57) Abstract: An optical clock extracting device for generating an optical pulse having an oscillation frequency synchronizing with the reference frequency of an incident signal light. The optical clock extracting device comprises a mode-locked semiconductor laser which has a saturable absorption region producing a phase modulation effect based on a control voltage applied to the saturable absorption region and a gain region and in which the oscillation frequency to generate an optical pulse can be varied, an optical mixer section for optically synchronously detecting the synchronization error between the reference frequency of the signal light and the oscillation frequency of the output optical pulse of the mode-locked semiconductor laser and thereby generating a phase error signal, and a phase-locked loop for negatively feed-backing the phase error signal to the saturable absorption region.

(57) 要約: 入射してくる信号光の基準周波数と同期した発振周波数を有する光パルスを得る光クロック抽出装置は、位相変調効果を持つ可飽和吸収領域と利得領域とを備え、可飽和吸収領域に印加する制御電圧に基づく位相変調効果により、光パルスを発生する発振周波数を変化させることができるモード同期半導体レーザと、信号光の基準周波数

[続葉有]



WO 2005/083502 A1



SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護
が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA,
SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ,
BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE,
BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

光クロック抽出装置及び方法

技術分野

- [0001] 本発明は、光通信、光計測、光情報信号処理などに用いられるクロック光を発生する装置に関する。特に本発明は、位相雑音が小さい光クロック基準信号を発生する装置及び方法、ならびに、光信号から光タイミングパルスを発生させる際に、光信号の偏光に無依存で、かつ、ジッタが小さく、相対強度雑音(RIN)が小さい光クロック基準信号を高安定に発生あるいは抽出する光クロック抽出装置及び方法に関する。

背景技術

- [0002] モード同期半導体レーザ(MLLD)は、比較的容易かつ安定して、10～160GHzといった超高速の繰り返し周波数で、パルス幅がピコ秒オーダのクロックパルス列を発生させることができることから、光通信用光源、光信号処理用光源、計測用光源などとして、産業上重要なクロックパルス光源である。
- [0003] MLLDをそのようなクロックパルス光源として用いる場合、光信号、電気信号などの外部基準信号源との同期を確立する手法とともに、外部基準信号源に依存せずにクロック光を安定化させるための技術や、同期したクロック信号における位相ノイズを小さくするための技術などが重要となる。
- [0004] MLLDにおいては、パルスの繰り返し周波数が、ランダムに揺らぐ現象が見られる。これをジッタと呼ぶ。ジッタは、MLLDにおいて出力光パルスの繰り返し周波数を決定している光共振器の長さがランダムに揺らいでいるために発生すると考えられる。もう少し詳細に見ると、MLLDにおいて光増幅作用をもつ領域で発生する雑音光が、MLLD内のキャリア密度や屈折率をランダムに揺らし、その結果として、実効的な光共振器長がランダムに変化するものと考えられる。
- [0005] これまで、MLLDから出力されるクロック光と、外部基準信号源、特に光信号との間で同期を確立する手法、及び光信号からクロック光を再生させる際の位相ノイズを小さくする手法として、(1)MLLDに直接に信号光を注入し、同期をとる光学的手法すなわち光注入同期による手法と、(2)光信号をいったん電気信号に変換してから同

期をとる手法、がよく知られている。前者の手法は、光信号のままで処理が行われるので、全光方式の手法であり、後者の手法は、電気信号に変換するので電気方式の手法である。

[0006] MLLDに信号光を直接注入して同期をとる光注入同期の手法を用いる構成は、例えば、特開平2-183236号公報に開示されている。図1Aは、光注入同期による構成の一例を示している。

[0007] 光注入同期は、受動的に光パルスを発生しているMLLD91に対して光信号を注入することにより、MLLDを構成する可飽和吸収領域や利得領域をその光信号で強制変調させて、出力パルス光における同期を取る手法である。図示したものでは、MLLD91の出力には、帯域通過フィルタ92が配置されている。この場合、MLLDから再生されるクロック抽出光の位相ノイズは、一般的に、入射してくる光信号の位相ノイズより良くなることはなく、また、外部信号源である光信号に強く依存する。さらに、MLLDは、それ自身が偏波依存性を持つため、光注入同期では、MLLDに入射する信号光の偏波状態にも位相ノイズが強く依存しまう。

[0008] 光信号を、一旦、電気信号に変換してから同期をとる手法の構成の一例が図1Bに示されている。この手法では、高速PINダイオードなどからなる高速受光器93を使用し、光信号を高速受光器93によって電気信号に変換し、その後、その電気信号に対して電氣的な位相同期ループ(PLL)を用いて同期を取るものである。

[0009] PLLは、高周波まで対応できる電氣的ミキサなどの位相比較器94と、ループフィルタ95と、高周波まで対応して電気信号として周波数信号を発生する電圧制御発振器(VCO)96とを備えている。位相比較器94は、入力した光信号を高速受光器93によって変換して得られた電気信号とVCO96からの信号との位相比較を行って周波数差を検知し、位相差に応じた信号を出力する。位相差に応じた信号は、ループフィルタ95によって平滑化されてVCO96に対して制御信号として供給される。VCO96の出力する電氣的な高周波信号は、位相比較器94にフィードバックされるとともに、高周波増幅器97を介してMLLD98に加えられ、MLLD98を直接変調することができるようになっている。この構成では、VCO96の出力周波数は、電気信号に変換された後の光信号の周波数に一致し、これにより、高速受光器93に入力する光信号とMLLD9

8からの出力クロック光との間での同期が確立する。またこの構成では、PLLを構成するループフィルタの設計によって、位相ノイズを小さくすることができる。高速受光器93、位相比較器94、ループフィルタ95、VCO96及び高周波増幅器97は、電気制御部99すなわち電氣的な高周波回路部分を構成している。

- [0010] 電気発振器やVCOなどの高周波回路を用いたPLL方式の光クロック抽出装置において、位相ノイズを小さくするための技術が、例えば、J. B. Georges et al., "Stable picosecond pulse generation at 46GHz by modelocking of a semiconductor laser operating in an optoelectronic phaselocked loop," Electronics Letters, Vol. 30, No. 1, pp. 69-71, 特開平8-340154号公報, H. Ono et al., "Low jitter pulse train generation using a regeneratively mode-locked laser diode," 10th International Workshop on Femtosecond Technology, TP-5, pp.154, Chiba, Japan, July 16-17, 2003に開示されている。

特許文献1:特開平2-183236号公報

特許文献2:特開平8-340154号公報

非特許文献1:J. B. Georges et al., "Stable picosecond pulse generation at 46GHz by modelocking of a semiconductor laser operating in an optoelectronic phaselocked loop," Electronics Letters, Vol. 30, No. 1, pp. 69-71

非特許文献2:H. Ono et al., "Low jitter pulse train generation using a regeneratively mode-locked laser diode," 10th International Workshop on Femtosecond Technology, TP-5, pp. 154, Chiba, Japan, July 16-17, 2003

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0011] 光注入同期によって信号光と出力クロック光との同期を確立する手法では、簡単な構成で同期をとることができるが、光信号の偏光状態によって同期状態が変動してしまうこと、また、得られるクロック光の位相ノイズが注入光信号の有する位相ノイズに依存してしまうという課題があった。その理由は、光注入同期がMLLDの可飽和吸収領域を光学的に変調するといった効果を利用しているため、MLLDの発振する光における偏波状態と入射する光における偏波状態が同じでないと変調効果が一定せ

ず、安定したクロック光を得ることができないからである。また、出力クロック光における周波数を安定される効果は、光注入同期自体は備えていない。

[0012] 光信号を電気信号にいったん変換する手法では、光信号の偏光状態による同期変動は生じず、PLLによって出力クロック光における周波数の安定化は図られるが、MLLDを電氣的に直接変調するために、高周波基準信号源であるとして電気回路によるVCOを用いているため、クロック周波数が例えば40GHz以上の光信号には追従することができなくなるという問題点がある。また、従来の電氣的PLL方式による光クロック抽出装置では、光クロック抽出装置自体を石英導波路やポリマー光導波路(PLC)などに集積化することが困難であるという問題点がある。その理由は、クロック基準信号が高周波数になるほど、PLLを構成する高周波基準信号源の価格、消費電力、及び発熱量が増加するとともに、クロック基準信号の周波数が例えば40GHz以上になると、効率のよい高周波配線を設けることが難しくなるためである。

[0013] 本発明の目的は、基準信号源である信号光の偏光に依存せず、電氣的の高周波回路を必要とせず、かつ位相ノイズが小さいクロック光を再生することが可能な光クロック抽出装置を提供することである。

[0014] 本発明の別の目的は、基準信号源である信号光の偏光に依存せず、電氣的の高周波回路を必要とせず、かつ位相ノイズが小さいクロック光を再生することが可能な光クロック抽出方法を提供することである。

課題を解決するための手段

[0015] 本発明の目的は、入射してくる信号光の基準周波数と同期した発振周波数を有する光パルスを得る光クロック抽出装置であって、位相変調効果を持つ可飽和吸収領域と利得領域とを備え、可飽和吸収領域に印加する制御電圧に基づく位相変調効果により、光パルスを発生する発振周波数を変化させることができるモード同期半導体レーザ(MLLD)と、信号光の基準周波数とMLLDの出力光パルスの発振周波数の同期ずれを光学的に同期検波して位相誤差信号を得る手段と、位相同期ループを形成するように、位相誤差信号を、可飽和吸収領域に負帰還させる手段と、を有し、MLLDの出力光パルスと信号光とを同期させる光クロック抽出装置によって達成される。

- [0016] このような本発明の光クロック抽出装置は、典型的には、MLLDからの一方の出力端面から出力する光パルスの少なくとも一部を、MLLDの他方の端面より直接光注入する光学的な自己フィードバックループを有する。本発明では、このような光学的な自己フィードバックループを設けることによって、MLLDを光VCOとして動作させるとともに、光VCO出力における位相ノイズの低減を図っている。
- [0017] 本発明の別の目的は、位相変調効果を持つ可飽和吸収領域と利得領域とを備え、可飽和吸収領域に印加する制御電圧による位相変調効果によって、光パルスを発生する発振周波数を変化させることができるMLLDからの出力光パルスの発振周波数を、入射してくる信号光の基準周波数と同期させる光クロック抽出方法であって、信号光の基準周波数と出力光パルスの発振周波数の同期ずれを光学的に同期検波して位相誤差信号を得る段階と、位相誤差信号を、位相変調効果をもつ領域に負帰還して位相同期ループを形成し、光パルスと入射信号光を同期させる段階と、を有する、光クロック抽出方法によって達成される。
- [0018] 本発明によれば、電氣的VCOなどの高周波電気回路を必要としない位相同期ループを構築することができ、その結果、小型化、高速化、低消費電力、高集積化、操作性が向上した光クロック抽出装置が提供される。
- [0019] 本発明によれば、信号光の速度や偏光状態に依存しないでクロック抽出を行うことができる。また、光3R中継器や光DEMUXといった他の信号処理を位相比較器である光ミキサに同時に担わせることができる。本発明では、光ミキサには、例えば、高速に動作可能な光ゲートスイッチを用いるが、この光ゲートスイッチとして、偏光無依存なSOAや偏光に依存しない構成で構築した光ファイバ型の光ゲートスイッチを用いることで、信号光の偏光状態に依存しない位相比較が可能になるためである。このとき、ループフィルタの特性を選択することによって位相同期ループの負帰還の同期保持範囲を適切に設計すれば、具体的には、光ミキサの偏光依存性による揺らぎよりも同期保持範囲を大きくすれば、より安定なクロック抽出を実現することができる。
- [0020] 光ミキサは高速光ゲートスイッチであるので、同期がいったん確立してしまえば、光ミキサにおいて、信号光とクロック光との最適なタイミングで信号処理を行うことができる。そのため、光ミキサを、誤差信号発生のほか、光3R再生処理や光DEMUX処

理のために同時に使用することができる。

[0021] さらに本発明によれば、多段でのPLL制御による光クロック抽出を行うことができる。

図面の簡単な説明

[0022] [図1A]光信号からそれに同期したクロック光を抽出する、光注入同期を用いた従来の光クロック抽出装置の構成を示すブロック図である。

[図1B]光信号からそれに同期したクロック光を抽出する、PLLを用いた従来の光クロック抽出装置の構成を示すブロック図である。

[図2]自己フィードバックループを有するMLLDによる光VCOを用い、パルス光における位相ノイズの低減を図る、本発明に基づく光クロック抽出手法を説明する図である。

[図3]本発明の実施例1の光クロック抽出装置を説明するブロック図である。

[図4]自己フィードバックループを有するMLLDを用いた光VCOにおける、位相ノイズ低減を図った光PLL動作におけるRFスペクトルと、自己フィードバックなしでPLL動作させた場合のRFスペクトルとを示すグラフである。

[図5]自己フィードバックループを有するMLLDを用いた光VCOにおける、位相ノイズ低減を図った光PLL動作でのサンプリングオシロスコープ波形と、自己フィードバックなしでPLL動作させた場合のサンプリングオシロスコープ波形を示す図である。

[図6]自己フィードバックループにより生じてしまうサイドバンドのRFスペクトルを示すグラフである。

[図7]サイドバンドスペクトルの抑制のために波長の異なる2つのMLLDを周回ループ内に設けた、実施例2の光クロック抽出装置を示すブロック図である。

[図8]実施例3のクロック抽出装置を示すブロック図である。

[図9A]CW(連続波)光による波長変換を用いてサイドバンドスペクトルを抑制する構成を示すブロック図である。

[図9B]光ファイバを用いたスーパーコンティニュームによってサイドバンドスペクトルを抑制する構成を示すブロック図である。

[図9C]光フィルタを周回ループ内に配置することによってサイドバンドスペクトルを抑

制する構成を示すブロック図である。

[図10]実施例4における、光3R中継器の光ゲート部に位相比較機能を持たせた構成を示すブロック図である。

[図11]実施例5における、位相比較部に電界吸収型変調器を用いた構成を示すブロック図である。

[図12]実施例6における、多段でPLL制御を施した場合の構成を示すブロック図である。

発明を実施するための最良の形態

[0023] 図2は、本発明に基づく光クロック抽出方法を説明する図である。本発明の光クロック抽出方法では、自己フィードバックのループ構成によるMLLDを用いることによって、光VCO周波数における位相ノイズの低減を図っている。

[0024] 本発明では、位相変調効果を持つ可飽和吸収領域と利得領域とを備え、可飽和吸収領域に印加する制御電圧による位相変調効果により、光パルスの発生する発振周波数を変化させることができるMLLD(モード同期半導体レーザダイオード)を使用する。そして、MLLDからの出力光パルスの発振周波数を、入射してくる信号光の基準周波数と同期させる際に、信号光の基準周波数と出力光パルスの発振周波数の同期ずれを光学的に同期検波して、これらの信号の位相誤差信号を得るとともに、位相誤差信号を、MLLDの可飽和吸収領域に負帰還させて位相同期ループを形成し、光パルスと入射信号光とを同期させてクロック抽出を行う。ここで出力光パルスの発振周波数とは、光パルス列としての繰り返し周波数に相当する。

[0025] 半導体中の光の屈折率は、一般にキャリア密度に依存するため、キャリア密度を介してMLLDの実効的な共振器長を制御することができる。これにより、MLLDの繰り返し周波数制御が可能となり、MLLDを、光信号を出力する電圧／電流制御発振器(VCO)として使用することができる。ただし、MLLDを光VCOとして使用するためには、MLLDからの出力クロック光における位相ノイズの低減、つまりジッタを小さくすることが重要である。そこで本発明では、電氣的な高周波発振器を必要せずにMLLDを光VCOとして使用するために、MLLDからのクロック光の位相ノイズの低減、つまり低ジッタ化の手法として、図2に示すように、MLLD100からのクロック光の一

部を取り出し、同じMLLD100に再度光注入するという光ループ系を構築し、クロック光を自己フィードバックさせる構成を採用する。図において、光信号部分は太線で示されており、電気信号部分は細線で示されている。

[0026] MLLD100からクロック光パルスが発生するタイミングと光ループを周回してMLLD100に戻ってきたクロック光パルスのタイミングとが同時になるよう光路長を調整することにより、MLLDを構成する可飽和吸収領域で生じる吸収飽和現象すなわちゲート動作が急峻なものとなり、吸収飽和のランダム性や利得飽和による利得領域での雑音光のランダム性などによって生じる位相ノイズが低減される。これにより、出力クロック光における位相ノイズを低減でき、電気的な高周波回路を印加して強制的に変調する手法をとらなくても、クロック光パルス列の周波数の確度を向上することができる。

[0027] さらに、本発明では、入力する信号光とを再生クロック光との同期を確立するために、外部信号光と、MLLD100を用いた光VCOからの再生クロック光とを、半導体光増幅器(SOA)などの非線形効果を利用した光ミキサ200に入射させ、外部信号光と光VCOの基準信号との位相比較を行っている。光ミキサ200で生じた光ビート信号は、外部信号光と再生クロック光との位相差に応じた信号であり、この信号は、PINダイオードなどからなる受光器310によって電気信号に変換され、ループフィルタ320によって平滑化され、MLLD100の可飽和領域に制御電圧として印加される。このように本実施形態では、位相同期ループの構成をとることで、外部信号光と同期したクロック光を得ることができる。

[0028] 本実施形態では、PLLの基本構成要素のうち、位相比較部(ミキサ)や電圧制御発振器(VCO)といった高速での処理が必要となる部分を光学的に構成し、一方、位相差検出部や誤差増幅、ループフィルタといったたかだかMHzオーダの低速な応答で十分な処理を実行する部分を、受光器310及びループフィルタ320からなる電気制御部300で電氣的に構成している。上述したように、MLLDの増幅された自然放出光(ASE)による周波数揺らぎを抑制するために、MLLDを光学的に自己フィードバックループする方式を導入し、格段の周波数確度を向上させている。

[0029] このようにして本実施形態によれば、偏光無依存なSOAなどを利用した光ミキサを

用いることで、外部信号光の偏光状態に依存しない光クロック抽出装置が実現できる。また、光ミキサ及び位相比較器を、SOA、光ファイバなどの非線形効果を利用した光スイッチとの組み合わせることにより、動作の高速化を測ることができる。さらに、光ミキサ部には、光識別信号処理の機能を同時に持たせることができるため、光位相比較の動作と、光3R再生、光DEMUXといった光信号処理との動作を同時に行うことができるようになり、さらに、それらの動作の最適化を図ることができる。

[0030] 本実施形態では、電氣的な制御部は、位相差に応じた信号をループフィルタで平滑化する部分のみであり、比較的低速なPINダイオード受光器と、MHzオーダの帯域を有する演算増幅器によるループフィルタとで構成することができる。電氣的制御部は、高周波回路であることを必要とせず、この部分は集積回路(IC)として構成することが可能である。したがって、電氣的制御部の、小型化、高集積化、低消費電力化を図ることができる。このように光クロック抽出装置は、MLLD、SOA、アイソレータ、PIN、IC回路といった部品をPLC上に容易に実装可能な構成であるため、小型化を図ることができる。

[0031] さらにこの光クロック抽出装置では、光ループ系により自己フィードバックさせる構成の中に配置された増幅器、減衰器などによって、光ループを周回してきたクロック光パルスの光強度を調整し、また、光ループ長を変化させてタイミングを調整することができる。それによって、MLLDから発生するクロック光パルス列の基本周波数を可変制御することができ、また、増幅器や減衰器などもPLL制御回路として制御できるため、多段構成のPLL制御回路を実現することができる。

[0032] 以下、本発明について、実施例に基づいてさらに詳しく説明する。

[0033] [実施例1]

図3は、自己フィードバックのループ構成によるMLLDを用いた光VCOを有し、光VCOの発振周波数における位相ノイズの低減を図った光クロック抽出装置を示している。図示される光クロック抽出装置は、光VCOとともに、光ミキサやループフィルタを備えており、光ミキサ、光VCO、ループフィルタによって、光PLLが構成されている。

[0034] 光VCOとして用いるMLLD1は、少なくとも利得領域2と可飽和吸収領域3とから構

成されている。利得領域2と可飽和吸収領域3とは電極分離されている。MLLD1の両方の端面のそれぞれには、レンズ4及びアイソレータ5が近接して配置されている。そして、MLLD1の一方の出力端面から出力する光パルスの一部を他方の端面よりMLLD1に直接光注入させる光学的な自己フィードバックループを構成するために、両方の端面間を外部接続する光導波路6が設けられており、光導波路6には、光遅延器7、光増幅器8及び光減衰器9が挿入されている。MLLD1が光パルスを発生するタイミングと、この光パルスが光導波路6を周回し、MLLD1のもう一方の端面に入射するタイミングとが同時になるように、光遅延器7は調整されている。この構成により、MLLD1を構成する可飽和吸収領域3で生じる吸収飽和現象つまり光ゲート動作が急峻なものとなされ、光パルス発生時の可飽和吸収領域3の吸収飽和のランダム性によって生じる位相ノイズが低減され、出力クロック光における位相ノイズが低減され、再生クロック光の周波数確度を高めることができる。

[0035] 外部信号光と、MLLD1からの出力クロック光すなわち再生クロック光との同期を確立するために、さらに、光ミキサ(MIX)10、光減衰器(ATT)9、バランスディテクタ11、誤差増幅器12、ループフィルタ13、電圧加算器14が設けられている。光ミキサ10には、MLLD1から取り出した再生クロック光の一部と外部信号光とが光ミキサ10に入射し、光ミキサ10の出力光は、光減衰器9を介してバランスディテクタ11の一方の受光器に入射するようになっており、バランスディテクタ11では、光VCOであるMLLD1の発振周波数と外部信号光の基準周波数との周波数差が検出される。位相差に応じた信号が、誤差増幅器12で増幅され、ループフィルタ13で平滑化されて、電圧加算器14により、光VCOであるMLLD1の可飽和領域3に制御電圧として印加される。これによって、外部信号光に同期した再生クロック光がMLLD1から得られることとなる。

[0036] 光ミキサ10では、外部信号光の基準周波数とMLLD1からのクロック光の発振周波数との位相差に応じた変調を、外部信号光とクロック光の両方に付加することができる。例えばSOAを用いた相互利得変調を用いれば、外部信号光とクロック光の両方に対し、それらの位相差に応じた強度変調を付加できる。この強度変調を受けたどちらか一方を、数MHzオーダの低速の周波数特性を有するバランスディテクタ11の

どちらか一方の受光部で電気信号に変換すると、高速な外部信号光とクロック光はDC電圧成分として出力され、強度変調成分は誤差信号成分として出力されるので、強度変調成分を分離することができる。

[0037] バランスディテクタ11のもう一方の受光器に対し、DC電圧成分がキャンセルされるようにクロック光もしくは外部信号光を入射すると、DC電圧成分は、キャンセルされ、誤差信号のみを取り出すことができる。この誤差信号を、誤差増幅器12で増幅し、ループフィルタ13によって誤差信号に含まれる高周波成分を完全に除去して平滑化して、MLLD1の位相変調領域である可飽和吸収領域3にバイアス源変調成分として印加する。このとき、電圧加算器14により、逆バイアスを可飽和吸収領域3に印加してMLLD1が受動的にパルス光を発生するようにしておくと、安定した光PLL動作が行える。

[0038] 図4は、自己フィードバックのループ構成によるMLLDを用いた光VCOにおいて、発振周波数における位相ノイズの低減を図った場合の光PLL動作のときのRFスペクトルと、自己フィードバックがない場合でPLL動作させた場合のRFスペクトルを示している。図4において、「自己フィードバック+光PLL」は、自己フィードバックを用いて光PLL動作させたときのスペクトルを示し、「光電PLLのみ」は、自己フィードバックを用いない場合のスペクトルを示している。自己フィードバックを用いることによってジッタ成分を小さくした場合には、急峻なスペクトルピークが得られ、自己フィードバックを用いないでジッタ成分が大きい場合には、スペクトルピークがブロードに広がる。このように、自己フィードバックを用いる場合の方が、周波数スペクトルにおける信号対ノイズ比(SNR)が向上し、かつ、ピークが急峻なものとなることが確認できる。図4にはさらに、電氣的に同期を確立した場合のRFスペクトルと、同期が確立していない状態でのRFスペクトルも描かれている。

[0039] 図5は、上述した自己フィードバックのループ構成によるMLLDを用いた光VCOからの再生クロック光のサンプリングオシロスコープによる観測波形を示している。上段の波形81は、非同期時すなわち光PLL動作していない状態のサンプリング波形であり、中段の波形82は、自己フィードバックがない場合でPLL動作させた場合のサンプリング波形であり、下段の波形83は、光PLLと自己フィードバックの両方動作させ

たとき、すなわち位相ノイズの低減を図るように光PLL動作させたときのサンプリング波形である。

[0040] 一般にサンプリング波形は、ジッタが大きいほど、波形が揺れて見えるが、自己フィードバックを行った場合のサンプリング波形83が一番小さい揺らぎになっている。これは、周波数スペクトルのSNR向上の効果が、ジッタ低減という形で観測されていることを意味する。

[0041] [実施例2: サイドバンドスペクトル抑制かつ2波長同期クロック光発生]

実施例1に示した構成では、光VCOであるMLLDに対して自己注入によって行われる自己フィードバックの効果が大きくなりすぎると、自己フィードバックループ長に依存したサイドバンドスペクトルが生じる可能性がある。図6は、そのようなサイドバンドのRFスペクトルの一例を示しており、自己フィードバックのループ構成により生じてしまうサイドバンドを示している。サイドバンドは、MLLDの周波数に対応する波長と、自己フィードバックループ長で決まる周波数に対応する波長とが同じ波長であるがために、複合共振器ができてしまうことから生じる。サイドバンドを除去するためには、MLLD1から出力される光パルスの波長と、光導波路6を周回する光パルスの波長とを異ならせることが重要となる。

[0042] 図7は、実施例2での光クロック抽出装置の構成を示しており、サイドバンドスペクトルの抑制のために、波長の異なる2つのMLLDを同一の周回ループ内に挿入した構成を示している。実施例2では、図7に示すように、光ループ内に、波長の異なる2つのMLLD1とMLLD100を備え、MLLD1を光PLLとして動作させ、その出力光パルスの一部を、もう一方のMLLD100に光注入する。MLLD1は偏波が揃った光パルスを出力するので、注入される側のMLLD100では、安定に光注入同期が生じる。この場合も上述と同様に、MLLD1からクロック光パルスが発生するタイミングと、光導波路を周回して各々のMLLDの可飽和吸収領域にクロック光パルスが達するタイミングとが同時になるよう光遅延器7を調整すると、吸収飽和現象(ゲート動作)が急峻なものとなり、吸収飽和のランダム性によって生じる位相ノイズが低減される。

[0043] このとき、各MLLDから発生する光パルスのみを透過する光フィルタ15、光フィルタ150を光導波路6内に挿入しておけば、MLLD1から出力される光パルスの波長と

、光導波路6を周回し、再びMLLD1に光注入される光パルスの波長が異なるために、サイドバンドスペクトルが生じることなく、同期がとれた光パルス周回を作ることができる。

[0044] この構成では、MLLD1、100から異なる波長のクロック光が出力する。このように異なる2波長のクロック光を同時に得ることができる構成は、光3R中継器など、2波長の同期したクロック光が必要な光信号処理に使用されるクロック光源としては、最適な構成である。

[0045] [実施例3:サイドバンドスペクトル抑制として、波長変換部を自己フィードバックループ内に入れた構成]

特定の波長の光パルスのみが強く共振しないように、MLLD1から出力される光パルスと光導波路6を周回する光パルスの波長とを異ならせる方法として、実施例2に示した方法のほかに、導波路6内に、波長変換部16を挿入する方法も考えられる。図8に示した光クロック抽出装置は図3に示したものと同様のものであるが、MLLD1の出射端面に近接して光フィルタ15が設けられるとともに、光導波路6内に波長変換部16が挿入されている点で異なっている。

[0046] 図9Aは、サイドモードスペクトルを抑制する波長変換部16として、MLLD1の発振波長と異なる波長で動作するCW(連続波)光源17と、MLLD1からの再生クロック光とCW光源17からの連続光とが入力する波長変換器18とを備えたものを示している。波長変換器18は、高速で動作するEA(電界吸収)変調器やSOAを使った光ゲートスイッチなどによって構成されており、光導波路6内に挿入される。

[0047] 図9Bは、光ファイバを用いたスーパーコンティニウムによる波長変換を用いた波長変換部16を示している。この構成では、光増幅器8と、光ファイバ、フォトニック結晶などのスーパーコンティニウム素子(SC)19との非線形効果により、MLLD1からのクロック光のスペクトルを広げ、その一部を光フィルタ15で切り抜くといった方法で波長変換を行っている。図においてSCスペクトルはスーパーコンティニウム素子19からの出力スペクトルであり、シード(seed)は、拡大前のクロック光のスペクトル位置に対応する。このとき、光フィルタ15の帯域を大きく取り、波長変換部16から出力される光パルスのパルス幅を短くするように圧縮する構成にすれば、MLLDの吸収飽

和現象(ゲート動作)をより急峻なものとすることができるため、吸収飽和のランダム性によって生じる位相ノイズをさらに低減することができる。

[0048] 図9Cは、一番簡易な構成として、MLLD1からのクロック光から、狭帯域な光フィルタ15で光スペクトルの一部を切り出すことにより、MLLD1の光パルスと、自己フィードバックループを周回する光パルスの中心波長や帯波長域を異なるようにした構成を召している、このような構成により、複合共振効果を抑制でき、波長を変化させた場合と同様の効果が得られる。

[0049] [実施例4: 光3R中継器の光ゲート部に位相比較機能を持たせた構成]

本発明においては、光ミキサには、SOAのほかに、たとえば偏光分離型対称マッハツエンダー干渉計(以下、PD-SMZと呼ぶ)、対称マッハツエンダー干渉計(以下、SMZと呼ぶ)、非線形光ループミラー(NOLM)、テラヘルツ光非対称デマルチプレクサ(TOAD)、透過型相互位相変調(T-XPM)などの高速な光スイッチを使うことができる。これと同時に、PD-SMZ、SMZ、NOLM、TOAD、T-XPMといった光ゲートスイッチは、光3R再生や光DEMUXといった光信号処理を同時に行うことが可能である。

[0050] 図10は、光3R中継器の光ゲート部に位相比較機能をもたせた場合の構成を示している。図10を参照し、PD-SMZ101を用いた光3R中継器に対して本発明に基づく光クロック抽出を適用する例を説明する。

[0051] 光クロック抽出部は、上記の実施例2で説明したものと同様の構成のものであり、波長が異なり位相ノイズが小さなクロック光を2つ発生する。PD-SMZ101は、偏波コントローラ20、カルサイト(偏光子)21、SOA(半導体光増幅器)22、光位相コントローラ23、光フィルタ15とを有する。MLLD1から出力されたクロック光は、偏波コントローラ20を通過し、第1のカルサイト21で時間遅延を受けて2つの偏光状態に分離され、SOA22に入射する。このとき、遅延時間内に収まるように信号光の光パルスがSOA22に入射するように調整すれば、SOA22に入射した2つに分離されたクロック光パルスのうち、時間遅延を受けたクロック光パルスのみが位相変調される。さらに、位相変調された光パルスと位相変調されない光パルスを第2のカルサイト21に通過させて、第1のカルサイト21による時間遅延をキャンセルさせる。このようにして2つの

クロック光間で干渉を生じさせることで、論理光ゲート動作されたクロック光が得られる。第2のカルサイト21の出力光は、光位相コントローラ23、偏波コントローラ20を経て光フィルタ15に到達する。

[0052] このときの正論理、負論理は、偏光コントローラ20の偏光面で制御される。正論理で動作させるには、位相変調が生じた場合にのみ、光ゲート動作されたクロック光だけが偏光コントローラ20を透過するように、PD-SMZ101の干渉条件を調整すればよい。

[0053] この場合、信号光とクロック光の同期が揃っていない状態では、遅延時間内に信号光パルスが入らなくなるため、十分な位相変調がなされず、干渉条件からずれることとなり、光ゲートされたクロック光は強い強度変調を受けることとなる。この強度変調信号を誤差信号として光PLLを動作させ、クロック抽出動作させると、信号光とクロック光が同期状態になる条件は、光ゲート動作の最適条件と同じになる。これにより、光PLLによるクロック抽出と光信号処理の最適な動作とを同時に実行することが可能になる。2段目以降では、この光ゲートされた光信号と、実施例2で示した波長の異なるクロック光とを、もうひとつのPD-SMZ102に入射させている。これによって、光3R中継器の信号処理を完成させることができる。

[0054] 図10では、光ゲート動作された信号光を誤差信号として利用した例を記述しているが、誤差信号としては、SOAから直接出力される信号光や、あるいは2つに分離されたクロック光を用いてもよく、そのようにしても同様の処理を実行させることができる。

[0055] [実施例5:EA変調器を位相比較として用いた光PLL回路]

図11は、位相比較部(光ミキサ部)に電界吸収型変調器(EA変調器)103を用いた構成を示している。EA変調器103の代わりに、可飽和吸収変調器を用いることもできる。

[0056] EA変調器103には、バイアスT回路140を介して、逆バイアス電圧が印加されている。バイアスT回路140のもう一方の端子から高速な周波数信号を取り出すことができる状態にしておくと、MLLD1から出力されたクロック光をEA変調器103に入射させた際に、クロック光の周波数成分である電気信号をバイアスT回路140のその端子から取り出すことができる。この状態で、EA変調器103に外部信号光を入射すると、

バイアスT回路140が出力する電気信号に誤差信号が重畳される。この誤差信号の周波数を低速な演算増幅器などで構成した誤差増幅器113で増幅すると、高周波成分はDC成分の信号として現れるので、誤差信号のみを分離して取り出すことができる。DC成分については、低速な受光器111などで信号光かクロック光を受光し、演算増幅器などからなる加算器112でバランスさせてやれば、キャンセルすることができる。このようにして抽出した誤差信号を、ループフィルタ13を通過させて平滑化させ、バイアスT回路140を介してMLLD1の可飽和吸収領域3にバイアス源として印加すれば、位相同期ループが構成されたことにより、信号光とクロック光との同期を取ることができる。

[0057] [実施例6]

上述した実施例1〜5では、MLLD1へ誤差信号をフィードバックするために、位相変調効果をもつ可飽和吸収領域へ誤差信号をフィードバックする手法を中心に説明してきた。位相同期ループを構築する方法としては、可飽和吸収領域へ誤差信号をフィードバックする以外の方法もある。例えば、(1) 自己フィードバックのループ長を誤差信号に応じて変化させる、(2) 自己フィードバックにおけるMLLDへの注入光強度を誤差信号に応じて変調する、(3) MLLDの利得領域2に印加する電流を誤差信号に応じて変調する、(4) MLLD内に新たに設けられた共振器長調整領域27(図12参照)に対する電圧印加によりPLL制御する、などの方法を用いることによって、多段構成のPLL制御によりMLLD1の発振周波数を変化させることができる。

[0058] MLLD1の自己フィードバックにおいては、MLLD1が光パルスを発振するタイミングと、光導波路を周回した光パルスを再びMLLDに注入するタイミングとが一致するように、時間遅延器7などでループ長を変化させると、周回ループ長で決まる周波数の整数倍のある周波数に、MLLD1の発振周波数は数100MHzオーダの範囲で引きずられる。これは、MLLD1が自励光パルス発振する上で可飽和吸収領域3を吸収飽和する共振器内の光パルス強度が重要な役割を果たしているが、光パルスを注入したことにより、注入された光パルスもMLLDの自励光パルス発振に大きな役割を果たすようになるからである。このため、自己フィードバックのループ長を変化させることで、PLL制御に必要な周波数変調を実現できる。

- [0059] MLLD1の発振周波数は、実効的な共振器長で制御することができる。実効的な共振器長は、MLLD1を構成する半導体中のキャリア密度によって光の屈折率を変化させることで可能である。つまり、ループ内の光増幅器8や光減衰器9で光注入される光パルス強度や、利得領域2の注入電流を変化させることで、半導体中のキャリア密度を制御し、周波数を変化させることが可能である。
- [0060] また、新たにDFB(分布フィードバック)構造やDBR(分布型ブラッグ反射器)のようなグレーティングを備える導波路や受動導波路による共振器長制御領域27を付加したMLLDを構築した場合も、その共振器長制御領域27での電圧制御によってMLLD内部の屈折率を変化させ、MLLDの発振周波数を制御することができる。
- [0061] 本発明者の実験によれば、制御方法ごとの周波数可変帯域幅の比較をすると、
可飽和吸収領域電圧制御<光強度制御<ループ長制御 $\leq$ 利得領域電流制御<共振器長調整領域電圧制御
であった。
- [0062] 図12に示すように、このような周波数可変範囲を有効に制御できるループフィルタ13、25、26、28、29を設計し、MLLD1に対して多段でPLL制御を実行することで、広範囲な周波数同期範囲ときめ細かい同期確立とを実現することができる。

請求の範囲

- [1] 入射してくる信号光の基準周波数と同期した発振周波数を有する光パルスを得る光クロック抽出装置であって、
- 位相変調効果を持つ可飽和吸収領域と利得領域とを備え、前記可飽和吸収領域に印加する制御電圧に基づく位相変調効果により、光パルスを発生する発振周波数を変化させることができるモード同期半導体レーザと、
- 前記信号光の基準周波数と前記モード同期半導体レーザの出力光パルスの発振周波数の同期ずれを光学的に同期検波して位相誤差信号を得る手段と、
- 位相同期ループを形成するように、前記位相誤差信号を、前記可飽和吸収領域に負帰還させる手段と、
- を有し、
- 前記モード同期半導体レーザの出力光パルスと前記信号光とを同期させる光クロック抽出装置。
- [2] 入射してくる信号光の基準周波数と同期した発振周波数を有する光パルスを得る光クロック抽出装置であって、
- 位相変調効果を持つ可飽和吸収領域と利得領域とを備え、前記可飽和吸収領域に印加する制御電圧に基づく位相変調効果により、光パルスを発生する発振周波数を変化させることができるモード同期半導体レーザと、
- 前記モード同期半導体レーザからの一方の出力端面から出力する光パルスの少なくとも一部を、前記モード同期半導体レーザの他方の端面より直接光注入する光学的な自己フィードバックループと、
- 前記モード同期半導体レーザから出力される出力光パルスの発振周波数と前記信号光の基準周波数との同期ずれを光学的に同期検波して位相誤差信号を得る手段と、
- 位相同期ループを形成するように、前記位相誤差信号を、前記可飽和吸収領域に負帰還させる手段と、
- を有し、
- 前記モード同期半導体レーザの出力光パルスと前記信号光とを同期させる光クロック

ク抽出装置。

- [3] 相互に電極分離された可飽和吸収領域と利得領域とを備え、光パルスを発生する発振周波数を制御電圧によって変化させることができるモード同期半導体レーザと、
前記モード同期半導体レーザの繰り返し周波数に近い周波数を基準信号として入射信号光を同期させる際に、前記入射信号光と前記光パルスの位相誤差を光学的に検知し、同期ずれ信号を光学的に発生する光ミキサ部と、
前記同期ずれ信号を、電圧信号である位相誤差信号に変換する受光部と、
前記位相誤差信号を負帰還するためのループフィルタと、
前記ループフィルタを介して負帰還される前記位相誤差信号に基づき、前記入射信号光の繰り返し周波数及び位相に対する前記モード同期半導体レーザからの出力光パルスの繰り返し周波数及び位相の同期ずれが最小となるように、前記モード同期半導体レーザの電極に印加される電圧を制御する位相同期ループと、
を有する光クロック抽出装置。
- [4] 相互に電極分離された可飽和吸収領域と利得領域とを備え、光パルスを発生する発振周波数を制御電圧によって変化させることができ、第1の波長の光パルスを発振する第1のモード同期半導体レーザと、
相互に電極分離された可飽和吸収領域と利得領域とを備え、前記第1のモード同期半導体レーザとは異なる第2の波長の光パルスを発振する第2のモード同期半導体レーザと、
前記第1のモード同期半導体レーザの一方の出力端面から出力する光パルスの少なくとも一部を前記第2のモード同期半導体レーザの一方の端面より直接光注入し、かつ、前記第2のモード同期半導体レーザの他方の端面より出力される光パルスを、前記第1のモード同期半導体レーザの他方の端面より直接光注入する光学的な自己フィードバックループと、
前記自己フィードバックループ内に設けられた光遅延器と、
前記第1のモード同期半導体レーザの繰り返し周波数に近い周波数を基準信号として入射信号光を同期させる際に、信号光と光パルスの位相誤差を光学的に検知し、同期ずれ信号を光学的に発生する光ミキサ部と、

前記同期ずれ信号を電圧信号である位相誤差信号に変換する受光部と、
前記位相誤差信号を負帰還するためのループフィルタと、
前記ループフィルタを介して負帰還される前記位相誤差信号に基づき、前記入射信号光の繰り返し周波数及び位相に対する前記第1のモード同期半導体レーザからの出力光パルスの繰り返し周波数及び位相の同期ずれが最小となるように、前記第1のモード同期半導体レーザの電極に印加される電圧を制御する位相同期ループと、
を有する光クロック抽出装置。

- [5] 相互に電極分離された可飽和吸収領域と利得領域とを備え、光パルスを発生する発振周波数を制御電圧によって変化させることができ、第1の波長の光パルスを発振するモード同期半導体レーザと、
前記第1の波長とは異なる第2の波長の連続光を発振する光源と、
前記第1の波長の光パルスを、前記第2の波長の連続光に転写して第2の波長のパルス光に変換する波長変換器と、
前記波長変換器で変換された第2の波長のパルス光を、前記第1のモード同期半導体レーザの他方の端面より直接光注入する光学的な自己フィードバックループと、
前記自己フィードバックループ内に設けられた光遅延器と、
前記モード同期半導体レーザの繰り返し周波数に近い周波数を基準信号として入射信号光を同期させる際に、前記入射信号光と第1の波長の光パルスの位相誤差を光学的に検知し、同期ずれ信号を光学的に発生する光ミキサ部と、
前記同期ずれ信号を電圧信号である位相誤差信号に変換する受光部と、
前記位相誤差信号を負帰還するためのループフィルタと、
前記ループフィルタを介して負帰還される前記位相誤差信号に基づき、前記入射信号光の繰り返し周波数及び位相に対する前記モード同期半導体レーザからの出力光パルスの繰り返し周波数及び位相の同期ずれが最小となるように、前記モード同期半導体レーザの電極に印加される電圧を制御する位相同期ループと、
を有する光クロック抽出装置。
- [6] 前記モード同期半導体レーザからの光パルスが入射し、非線形効果により前記入

射した光パルスのスペクトル帯域を広げる光ファイバと、前記光ファイバから出力される光パルスのスペクトル帯域の一部を切り取って前記モード同期半導体レーザとは異なる波長の光パルスを発生させるフィルタと、を有し、光パルスの時間幅を圧縮可能な波長変換器を備える、請求項1乃至3のいずれかに1項に記載の光クロック抽出装置。

[7] 前記モード同期半導体レーザからの光パルスのスペクトル帯域の一部を切り取る光フィルタを有し、前記モード同期半導体レーザと異なる波長の光パルスを発生する波長変換器を備える、請求項1乃至3のいずれか1項に記載の光クロック抽出装置。

[8] 前記光ミキサ部は光信号処理機能を有する、請求項3乃至5のいずれか1項に記載の光クロック抽出方法。

[9] 前記光信号処理機能は、光3R再生機能である、請求項8に記載の光クロック抽出方法。

[10] 位相変調効果を持つ可飽和吸収領域と利得領域とを備え、前記可飽和吸収領域に印加する制御電圧に基づく位相変調効果により、光パルスを発生する発振周波数を変化させることができるモード同期半導体レーザと、

光信号処理に用いられ、光信号を吸収して光電流を発生することが可能な光吸収型変調器と、

前記モード同期半導体レーザからの一方の出力端面から出力する光パルスの少なくとも一部を、前記モード同期半導体レーザの他方の端面より直接光注入する光学的な自己フィードバックループと、

前記モード同期半導体レーザから出力される出力光パルスの発振周波数を、入射してくる信号光の基準周波数と同期させる際に、前記光吸収型変調器に前記出力光パルスと前記信号光とを入射させ、光学的に同期ずれを光電流として検波して位相誤差信号を得る手段と、

位相同期ループを形成するように、前記位相誤差信号を、前記可飽和吸収領域に負帰還して、前記出力光パルスと前記信号光とを同期させる手段と、

を有する、光クロック抽出装置。

[11] 前記光吸収型変調器は、光3R再生機能を有する、請求項10に記載の光クロック

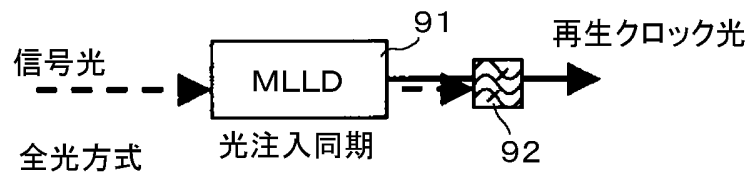
抽出方法。

- [12] 相互に電極分離された可飽和吸収領域、利得領域及び共振器調整領域を備え、前記各領域の電極に印加する電圧もしくは電流を制御することにより、光パルスを発生する発振周波数を変化させることができるモード同期半導体レーザと、
前記モード同期半導体レーザからの一方の出力端面から出力する光パルスの少なくとも一部を、前記モード同期半導体レーザの他方の端面より直接光注入する光学的な自己フィードバックループと、
前記自己フィードバックループ内に設けられたパルス遅延器と、
前記自己フィードバックループ内に設けられた光増幅器と、
前記自己フィードバックループ内に設けられた光減衰器と、
前記モード同期半導体レーザから出力される出力光パルスの発振周波数を、入射してくる信号光の基準周波数と同期させる際に、
前記モード同期半導体レーザから出力される出力光パルスの発振周波数と入射する信号光の基準周波数との同期ずれを光学的に同期検波して位相誤差信号を得る手段と、
位相同期ループ制御が行われるように、前記位相誤差信号を、前記利得領域、前記共振器調整領域、前記パルス遅延器、前記光増幅器及び前記光減衰器の少なくとも1つに負帰還させて前記出力光パルスと前記信号光の同期させる手段と、
を有する光クロック抽出装置。
- [13] 複数の位相同期ループを有する、請求項12に記載の光クロック抽出装置。
- [14] 位相変調効果を持つ可飽和吸収領域と利得領域とを備え、前記可飽和吸収領域に印加する制御電圧による位相変調効果によって、光パルスを発生する発振周波数を変化させることができるモード同期半導体レーザからの出力光パルスの発振周波数を、入射してくる信号光の基準周波数と同期させる光クロック抽出方法であって、
前記信号光の基準周波数と前記出力光パルスの発振周波数の同期ずれを光学的に同期検波して位相誤差信号を得る段階と、
前記位相誤差信号を、前記位相変調効果をもつ領域に負帰還して位相同期ループを形成し、前記光パルスと入射信号光を同期させる段階と、

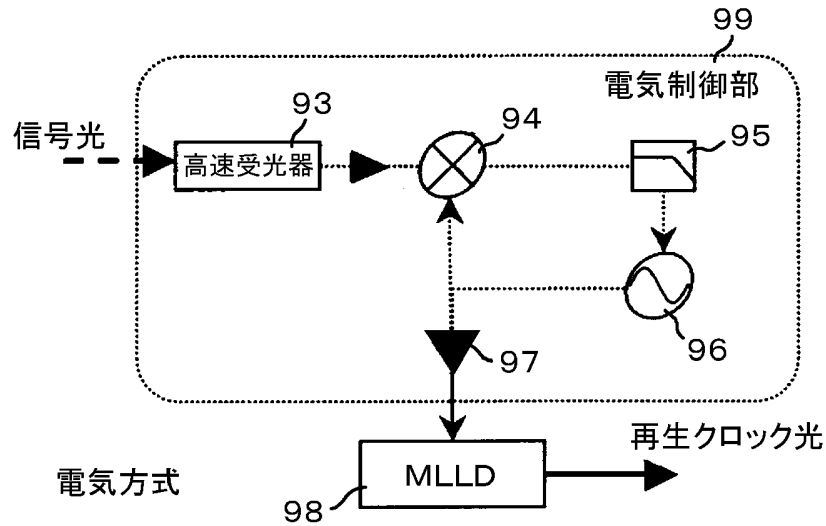
を有する、光クロック抽出方法。

- [15] 位相変調効果を持つ可飽和吸収領域と利得領域とを備え、前記可飽和吸収領域に印加する制御電圧による位相変調効果によって、光パルスを発生する発振周波数を変化させることができるモード同期半導体レーザからの出力光パルスの発振周波数を、入射してくる信号光の基準周波数と同期させる光クロック抽出方法であって、
前記モード同期半導体レーザの一方の出力端面から出力する光パルスの少なくとも一部を、前記モード同期半導体レーザの他方の端面より直接光注入する段階と、
前記モード同期半導体レーザからの前記出力光パルスの発振周波数を前記信号光の基準周波数と同期させる際に、前記信号光の基準周波数と前記出力光パルスの発振周波数の同期ずれを光学的に同期検波して位相誤差信号を得る段階と、
前記位相誤差信号を、前記可飽和吸収領域に負帰還して位相同期ループを形成し、前記出力光パルスと前記信号光とを同期させる段階と、
を有する光クロック抽出方法。
- [16] 前記同期ずれを光学的に同期検波する際に、同時に、光信号処理を実行する、請求項14または15に記載の光クロック抽出方法。

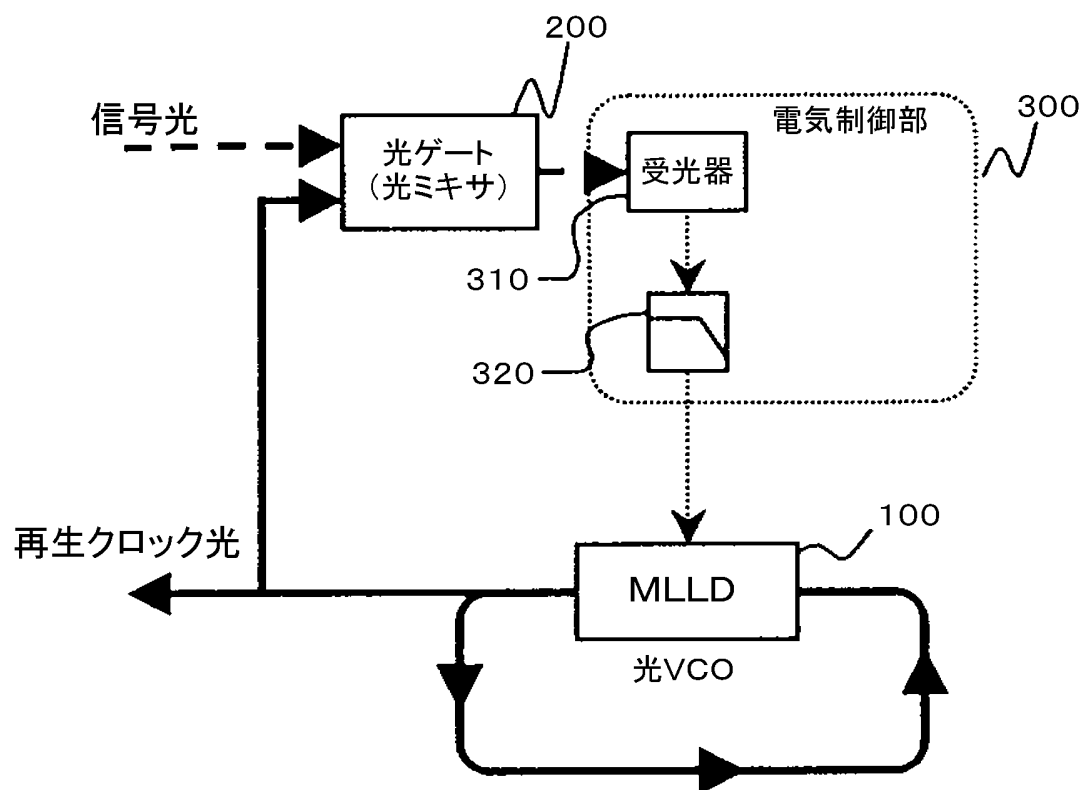
[図1A]



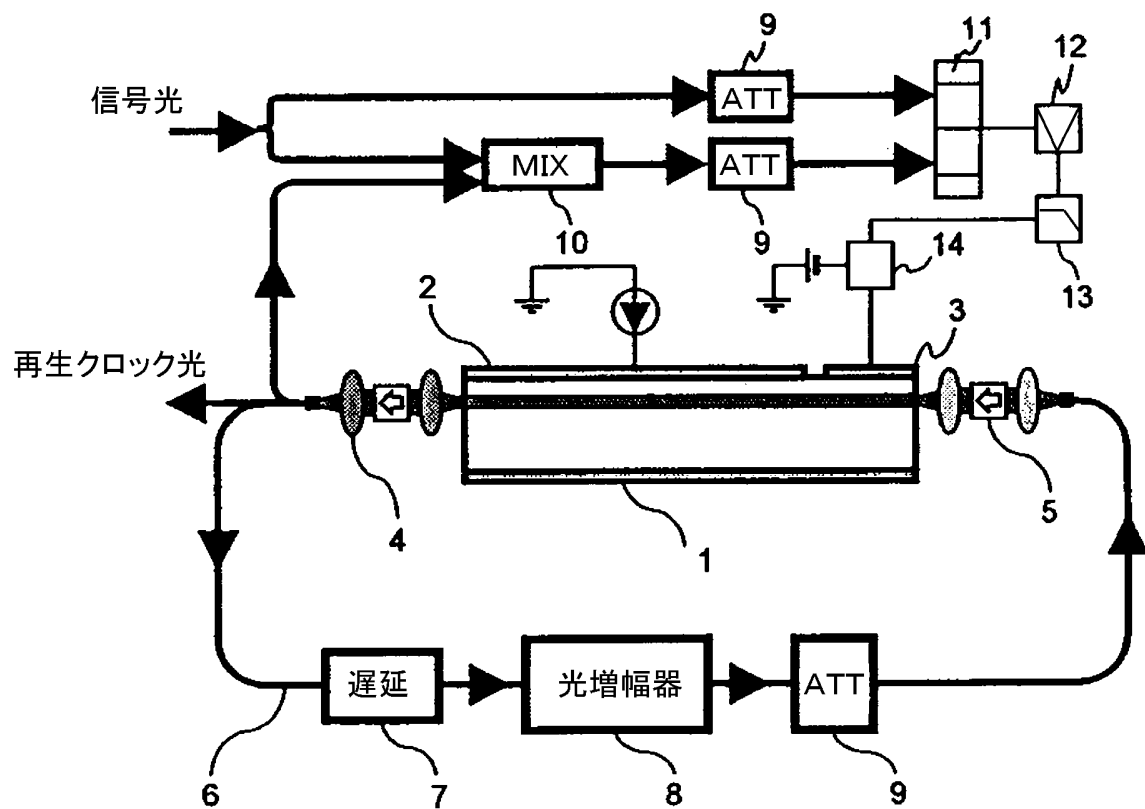
[図1B]



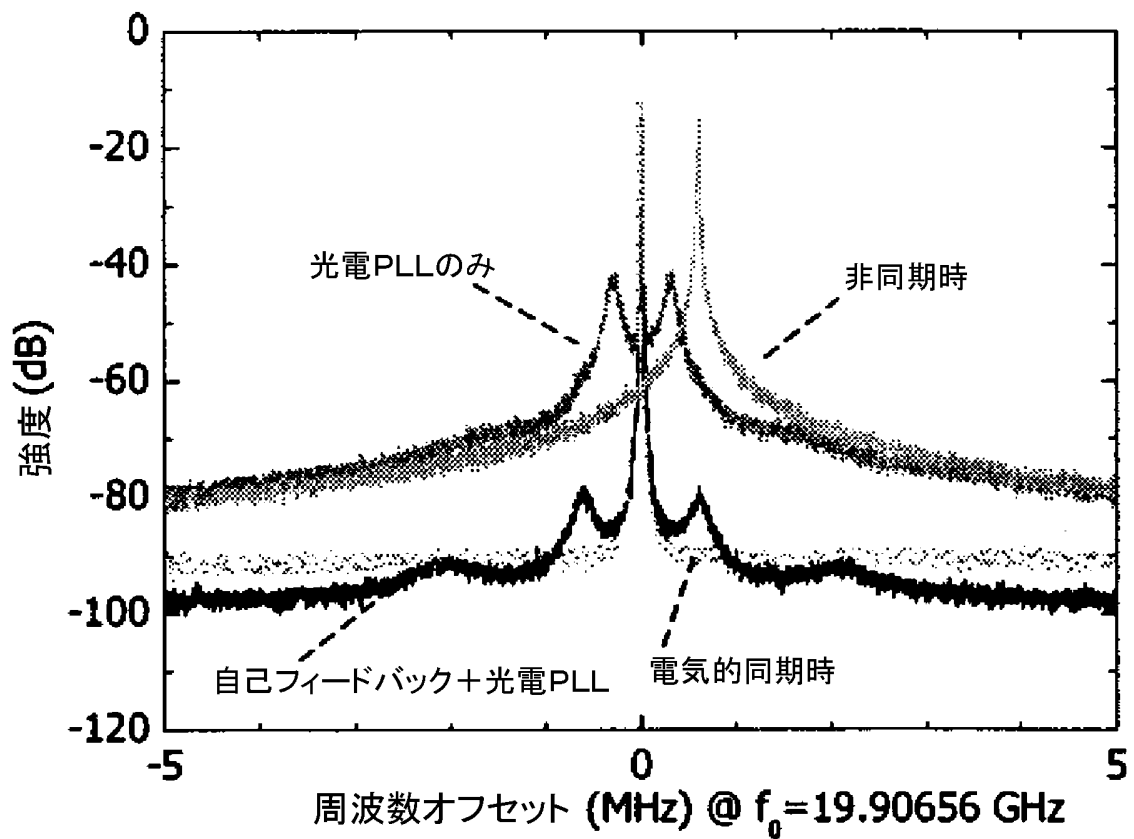
[図2]



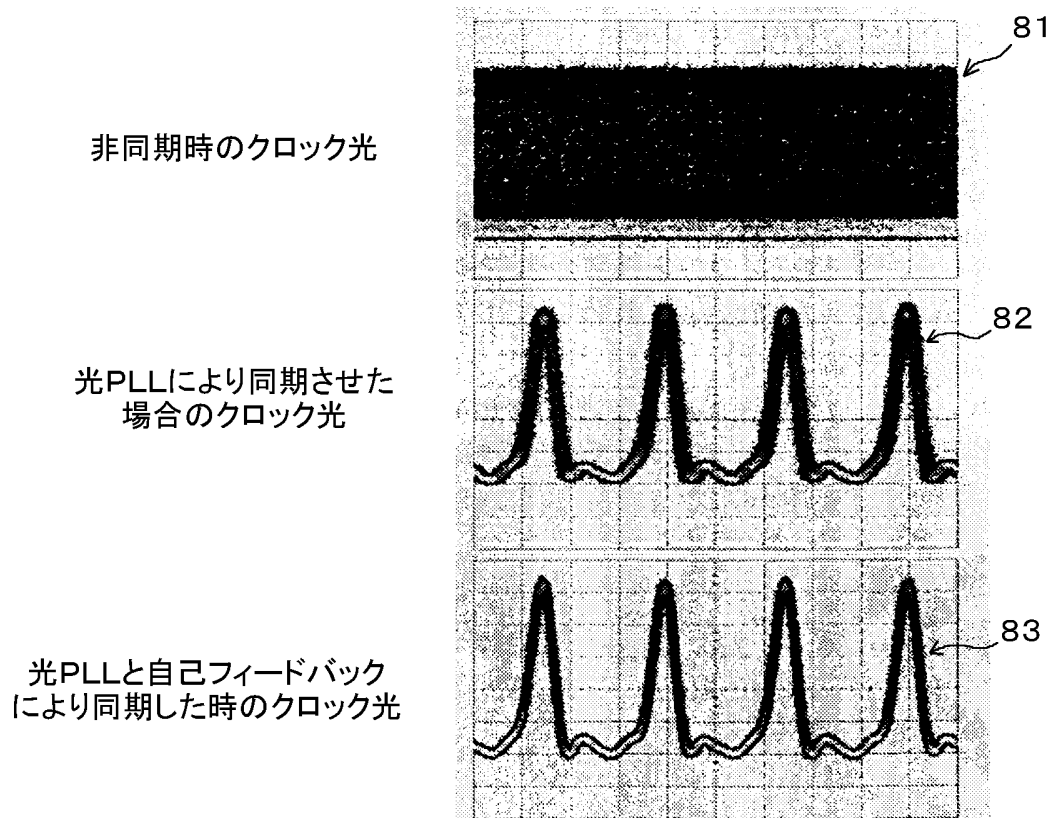
[図3]



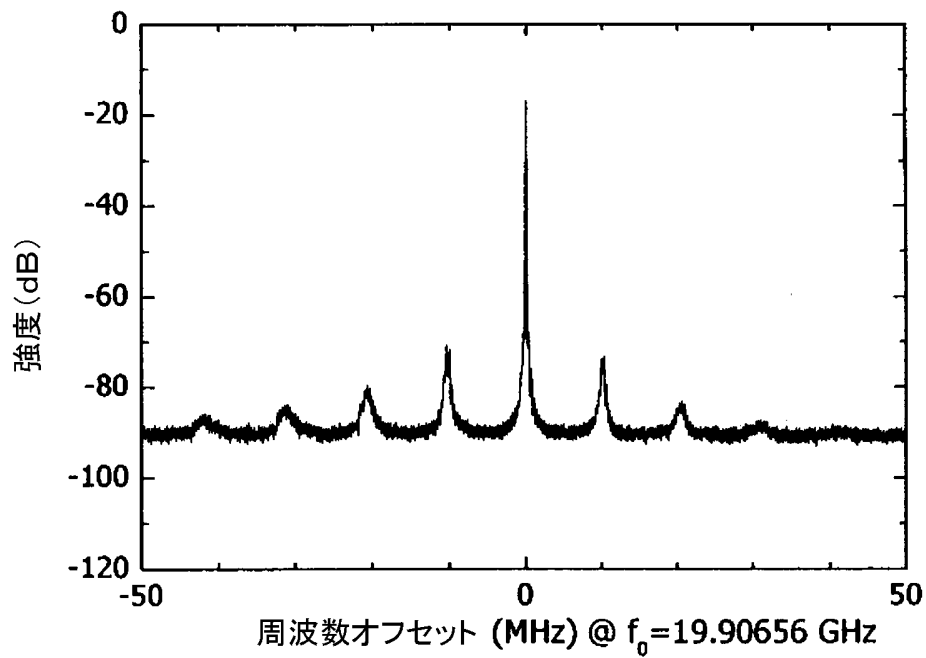
[図4]



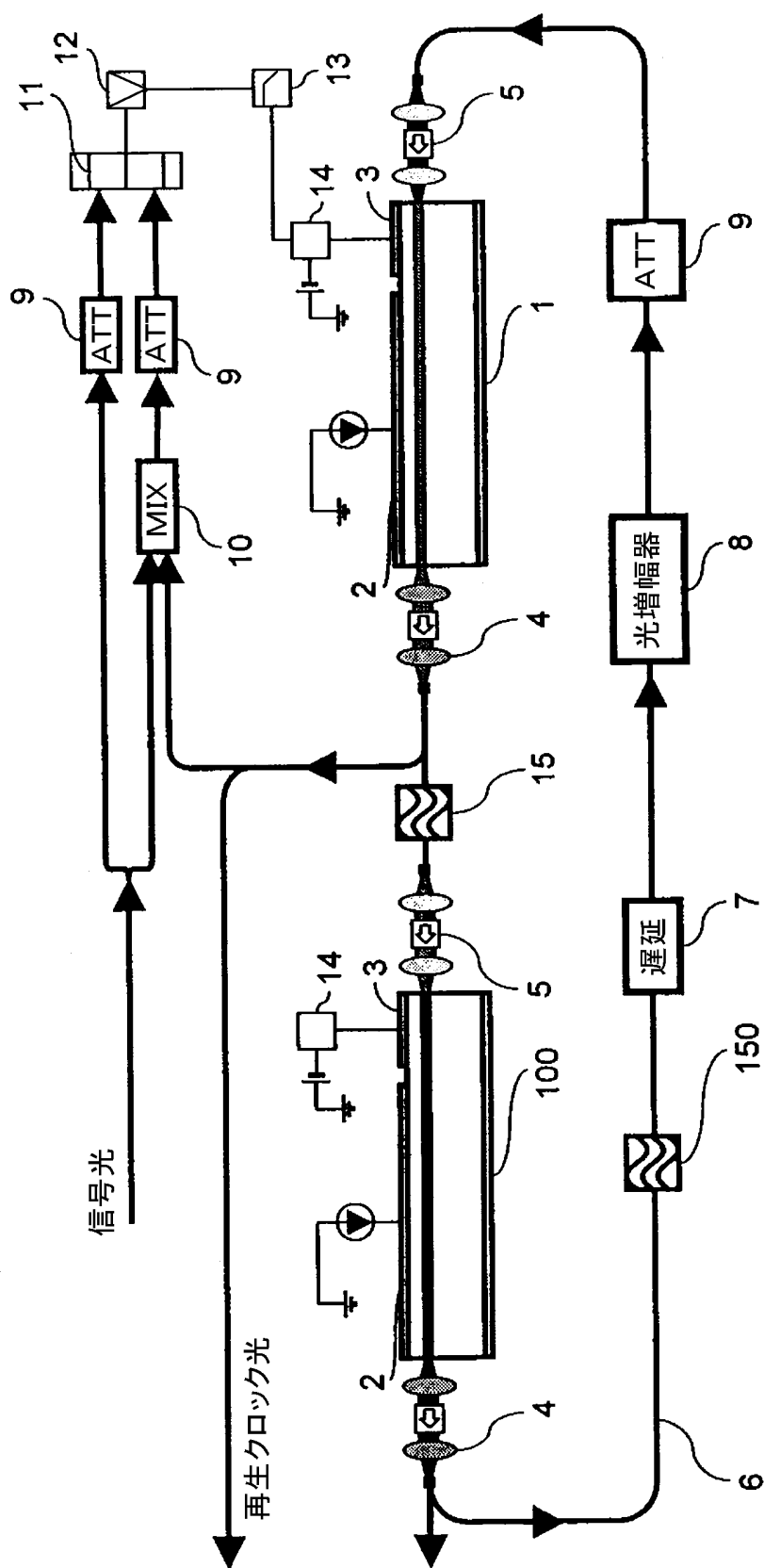
[図5]



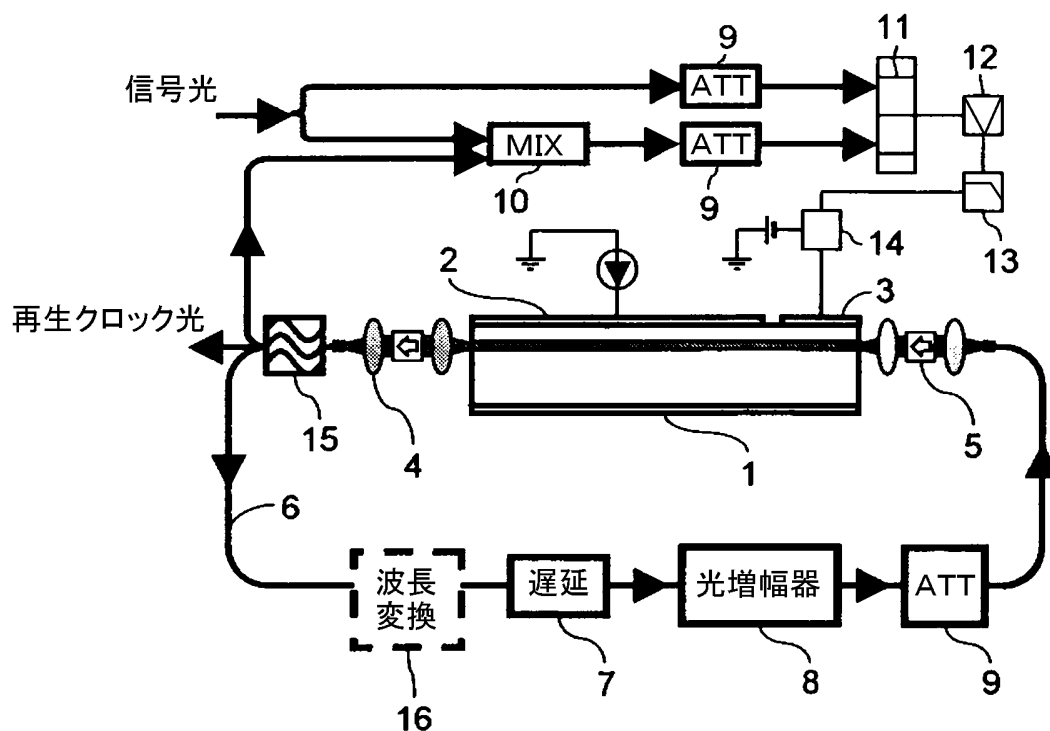
[図6]



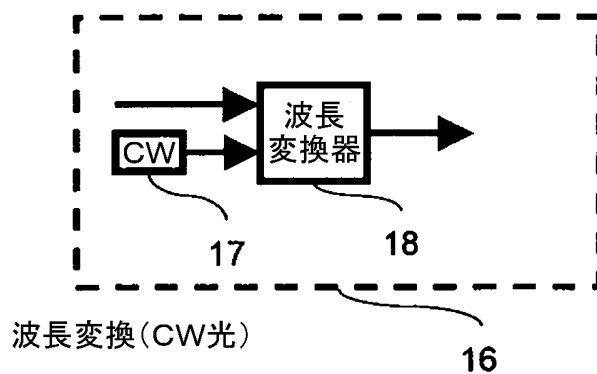
[図7]



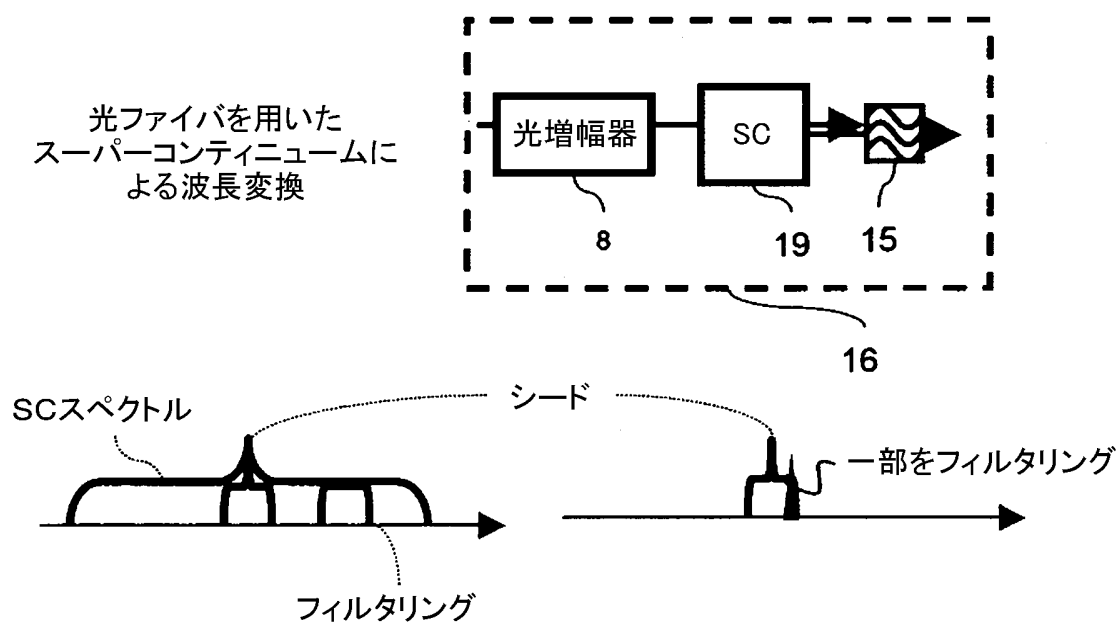
[図8]



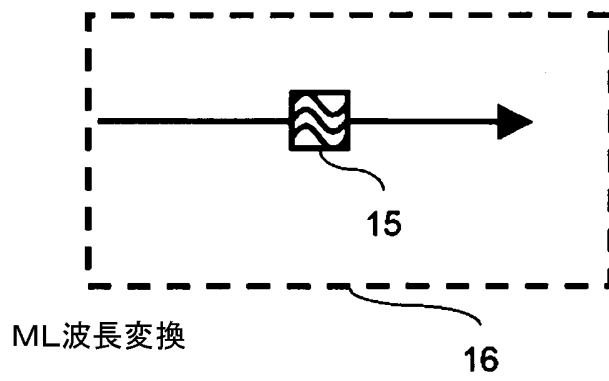
[図9A]



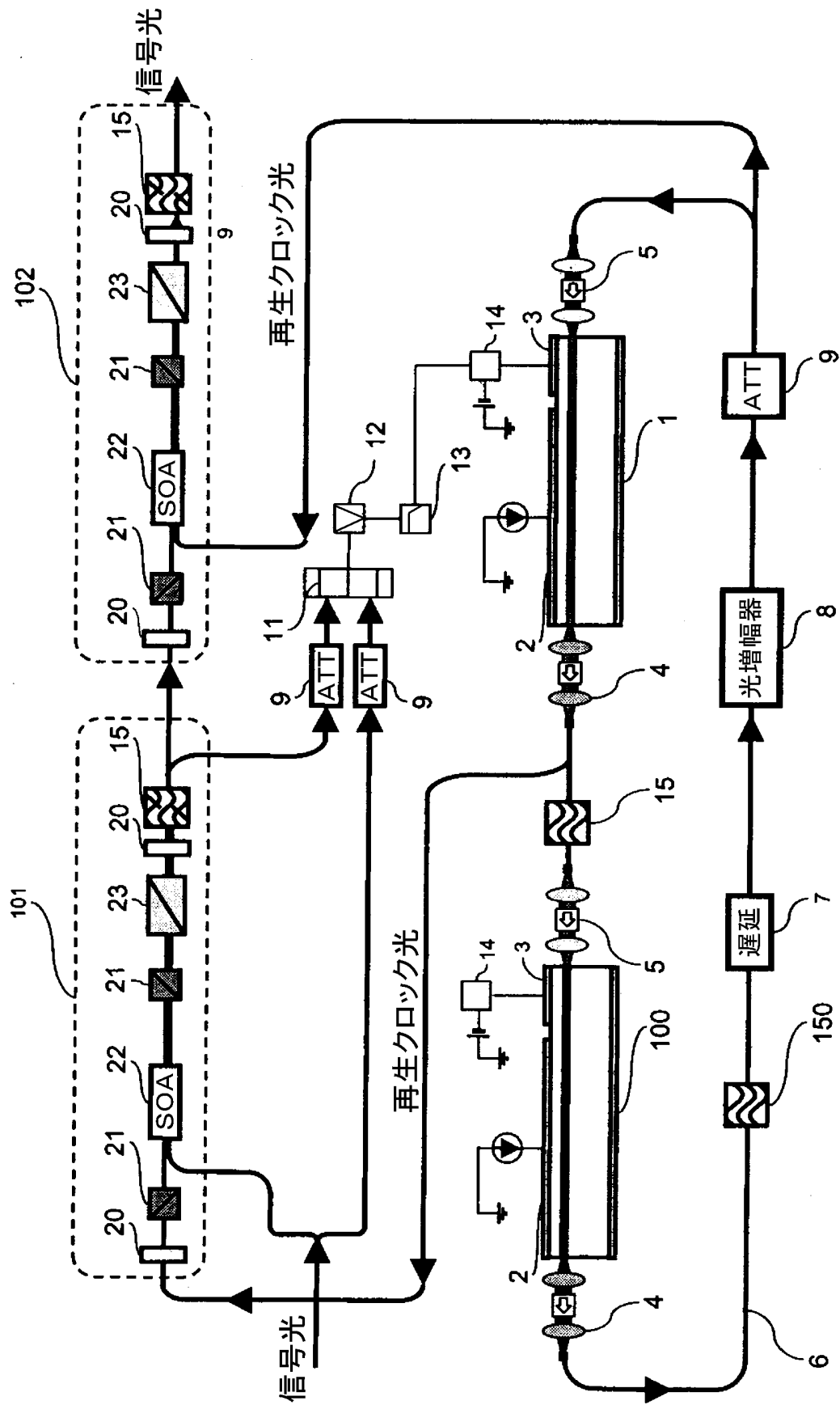
[図9B]



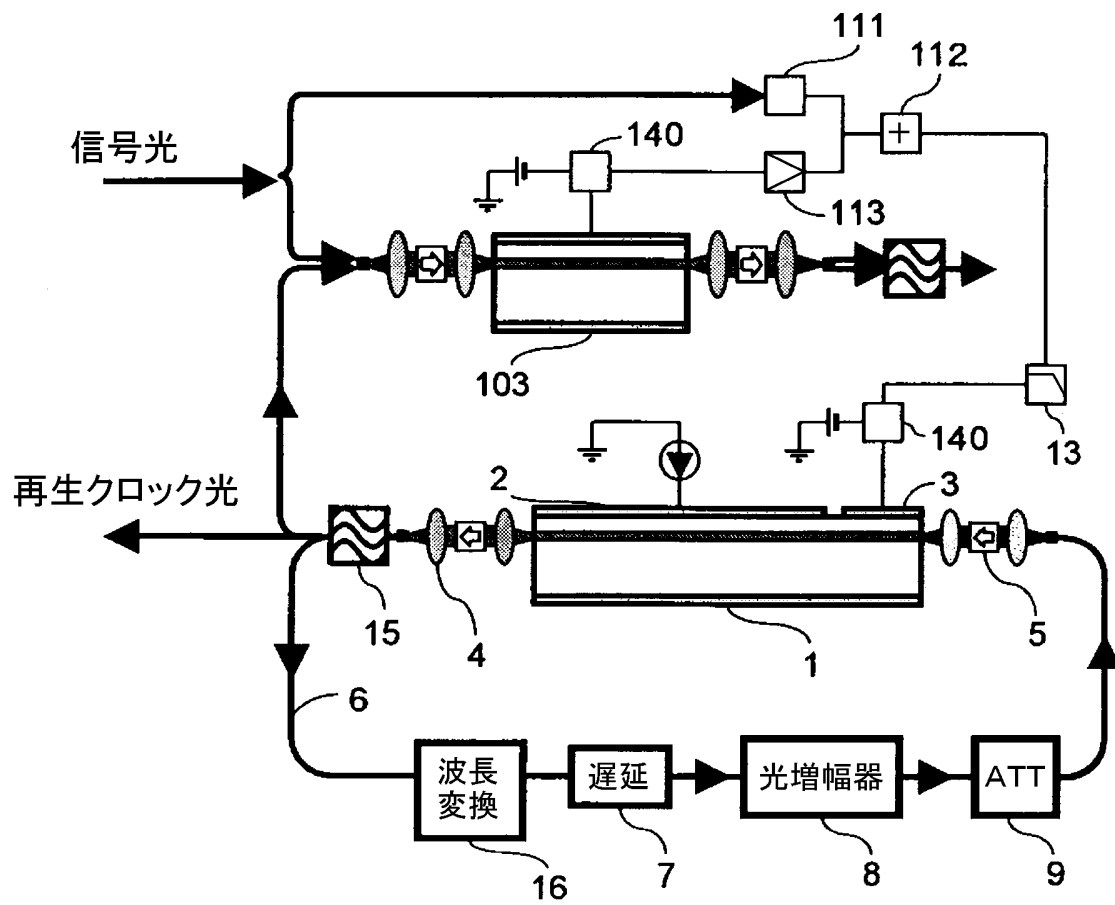
[図9C]



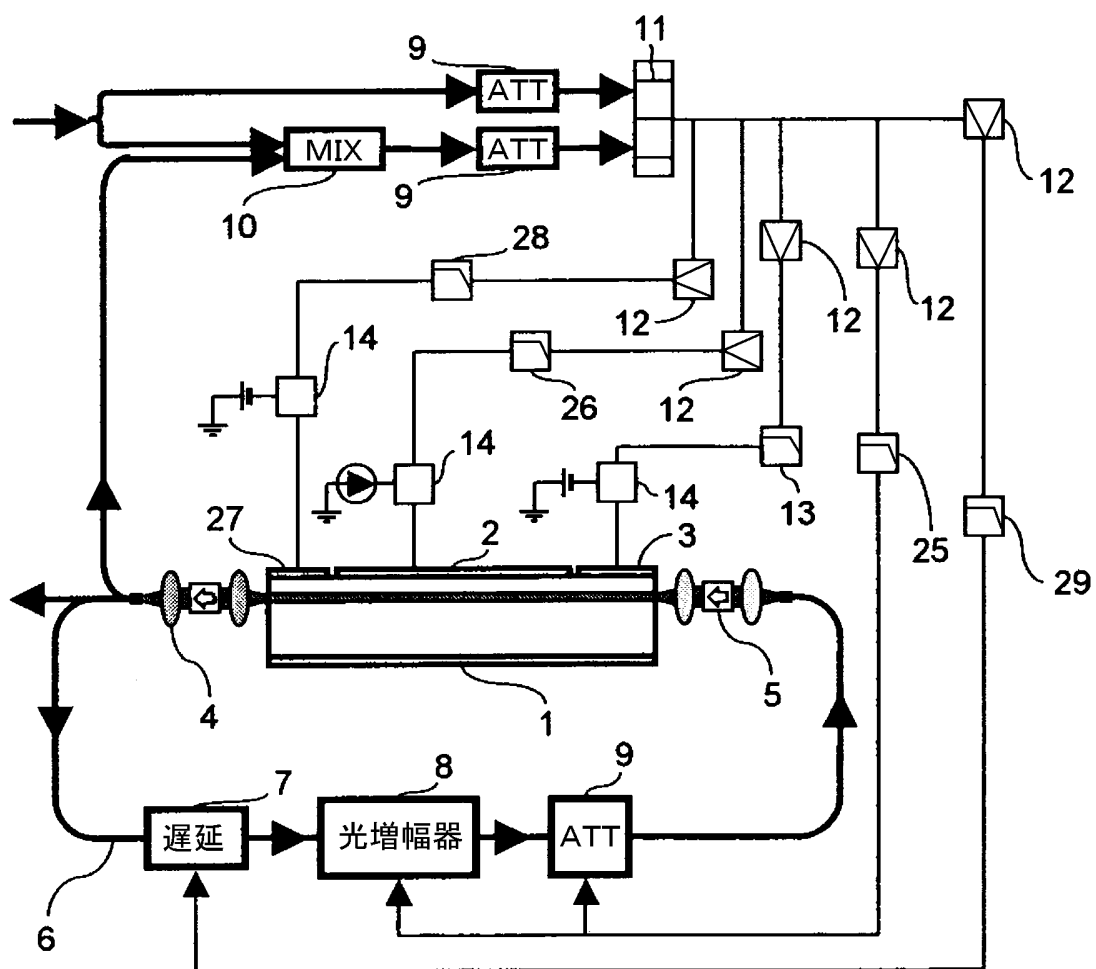
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/003292

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl. ⁷ G02F1/015, H01S5/065, H04B10/02				
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC				
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl. ⁷ G02F1/015, H01S5/065, H04B10/00				
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2005 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005				
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)				
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT				
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.		
Y A	YAMAMOTO T. et al., '40GHz optical clock extraction from 160Gbit/s data signals using PLL-based clock recovery', OFC 2002, TuN5, pages 86 to 87	1, 3, 8, 9, 14, 16 2, 4-7, 10, 13, 15		
Y A	GEORGES J.B. et al., 'Stable picosecond pulse generation at 46GHz by modelocking of a semiconductor laser operating in an optoelectronic phaselocked loop', Electronics Letters, Vol.30, No.1, 06 January, 1994 (06.01.94), pages 69 to 71	1, 3, 8, 9, 14, 16 2, 4-7, 10-13, 15		
Y A	JP 8-340154 A (NEC Corp.), 24 December, 1996 (24.12.96), Full text; all drawings (Family: none)	1, 3, 8, 9, 14, 16 2, 4-7, 10-13, 15		
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.				
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top; border: none;"> * Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top; border: none;"> "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family </td> </tr> </table>			* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family			
Date of the actual completion of the international search 31 May, 2005 (31.05.05)		Date of mailing of the international search report 14 June, 2005 (14.06.05)		
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer		
Facsimile No.		Telephone No.		

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/003292

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 7-287264 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 31 October, 1995 (31.10.95), Full text; all drawings & US 5574588 A1 & US 5706113 A1 & DE 19506380 A1	1-16
A	JP 2003-167281 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 13 June, 2003 (13.06.03), Full text; all drawings & US 2003/0118349 A1 & EP 1318627 A2	1-16
P,X	Yoichi HASHIMOTO et al., 'Scalable Hikari Network ni Muketa Zen Handotai Base no Hikari 3R Chuukeiki', 2004 Nen The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Sogo Taikai, 08 March, 2004 (08.03.04), C-3-61, page 234	1,3,14

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ G02F1/015, H01S5/065, H04B10/02

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ G02F1/015, H01S5/065, H04B10/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y A	YAMAMOTO T. et al. '40GHz optical clock extraction from 160Gbit/s data signals using PLL-based clock recovery', OFC 2002, TuN5, p.86-87	1, 3, 8, 9, 14, 16 2, 4-7, 10-13, 15
Y A	GEORGES J.B. et al. 'Stable picosecond pulse generation at 46GHz by modelocking of a semiconductor laser operating in an optoelectronic phaselocked loop', Electronics Letters, Vol. 30, No.1, 6 January 1994, p.69-71	1, 3, 8, 9, 14, 16 2, 4-7, 10-13, 15

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

31.05.2005

国際調査報告の発送日

14.6.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

河原 正

電話番号 03-3581-1101 内線 3294

2X

9017

C (続き). 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y A	J P 8-340154 A (日本電気株式会社) 1996. 12. 24, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1, 3, 8, 9, 14, 16 2, 4-7, 10-13, 15
A	J P 7-287264 A (日本電信電話株式会社) 1995. 10. 31, 全文, 全図 &US 5574588 A1 &US 5706113 A1 &DE 19506380 A1	1-16
A	J P 2003-167281 A (日本電信電話株式会社) 20 03. 06. 13, 全文, 全図 &US 2003/0118349 A1 &EP 1318627 A2	1-16
P, X	橋本 陽一 他, 'スケーラブル光ネットワークに向けた全半導体ベ ースの光3R中継器', 2004年電情報通信学会総合大会, 200 4. 03. 08, C-3-61, p. 234	1, 3, 14