

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02004/038492

発行日 平成18年2月23日 (2006. 2. 23)

(43) 国際公開日 平成16年5月6日 (2004. 5. 6)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
G02F 2/02 (2006.01)	G02F 2/02	2H079
G02F 1/025 (2006.01)	G02F 1/025	2K002
G02F 3/00 (2006.01)	G02F 3/00 501	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 53 頁)

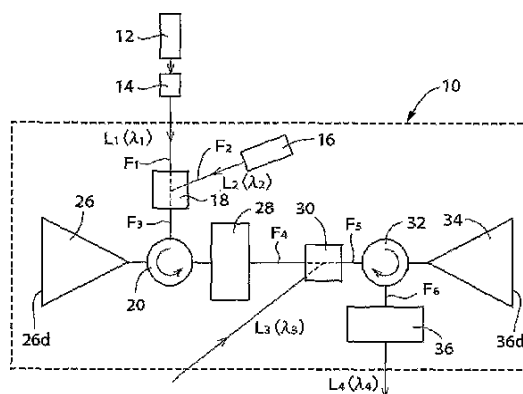
出願番号 特願2005-501565 (P2005-501565)	(71) 出願人 503360115
(21) 国際出願番号 PCT/JP2003/011961	独立行政法人科学技術振興機構
(22) 国際出願日 平成15年9月19日 (2003. 9. 19)	埼玉県川口市本町4丁目1番8号
(31) 優先権主張番号 特願2002-308946 (P2002-308946)	(74) 代理人 100085361
(32) 優先日 平成14年10月23日 (2002. 10. 23)	弁理士 池田 治幸
(33) 優先権主張国 日本国 (JP)	(72) 発明者 前田 佳伸
(31) 優先権主張番号 特願2003-59382 (P2003-59382)	三重県四日市市河原田町2220
(32) 優先日 平成15年3月6日 (2003. 3. 6)	Fターム(参考) 2H079 AA08 AA12 BA01 BA03 CA01
(33) 優先権主張国 日本国 (JP)	CA09 CA23 DA16 EA07 EB04
(31) 優先権主張番号 特願2003-287576 (P2003-287576)	GA01 KA07 KA08 KA14 KA18
(32) 優先日 平成15年8月6日 (2003. 8. 6)	2K002 AB09 AB12 AB23 AB24 BA01
(33) 優先権主張国 日本国 (JP)	CA13 HA13

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光信号増幅3端子装置、それを用いた光信号転送方法、光信号中継装置、および光信号記憶装置

(57) 【要約】

光信号増幅3端子装置10においては、第1波長 λ_1 の第1入力光 L_1 と第2波長 λ_2 の第2入力光 L_2 とが入力された第1光増幅素子26からの光から選択された第2波長 λ_2 の光と、第3波長 λ_3 の第3入力光(制御光) L_3 とが第2光増幅素子34へ入力させられるとき、その第2光増幅素子34から出された光から選択された第3波長 λ_3 の出力光 L_4 は、前記第1波長 λ_1 の第1入力光 L_1 および/または第3波長 λ_3 の第3入力光 L_3 の強度変化にตอบสนองして変調された光であって、前記第3波長 λ_3 の第3入力光(制御光) L_3 に対する信号増幅率が2以上の大きさの増幅信号となるので、光信号の増幅処理を制御入力光を用いて直接行うことができる光信号増幅3端子装置10を得ることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】

p n接合からなる活性層をそれぞれ備え、入力された光信号を増幅および波長変換して出力するための第1半導体光増幅素子および第2半導体光増幅素子と、

第1波長の第1入力光と第2波長の第2入力光とを前記第1半導体光増幅素子に入力させる第1光入力手段と、

前記第1半導体増幅素子からの光から前記第2波長の光を選択する第1波長選択素子と

、
該第1波長選択素子により選択された第2波長の光と第3波長の第3入力光とを前記第2半導体光増幅素子へ入力させる第2光入力手段と、

該第2半導体光増幅素子からの光から第3波長の出力光を選択する第2波長選択素子とを、含み、

前記第3波長の出力光は、前記第1波長の第1入力光および/または第3波長の第3入力光の強度変化に応答して変調され、且つ前記第3波長の第3入力光に対する信号増幅率が2以上であることを特徴とする光信号増幅3端子装置。

【請求項2】

前記第1波長の第1入力光は変調光であり、前記第2波長の第2入力光は連続光であり、前記第3波長の第3入力光は制御光であり、前記第3波長の出力光は、該制御光の入力区間において該第1入力光の変調信号が増幅された信号波形を備えたものである請求項1の光信号増幅3端子装置。

【請求項3】

前記第3波長は、前記第1波長と同じ波長である請求項1または2のいずれかの光信号増幅3端子装置。

【請求項4】

前記第3波長の出力光の前記第3波長の制御光に対する信号増幅率は、10以上である請求項1乃至3のいずれかの光信号増幅3端子装置。

【請求項5】

前記半導体光増幅素子の活性層は、量子井戸、歪み超格子、または量子ドットから構成されたものである請求項1乃至4のいずれかの光信号増幅3端子装置。

【請求項6】

前記半導体光増幅素子の活性層を通過した光を該半導体光増幅素子または他の半導体光増幅素子に向かって反射するための反射手段が、設けられたものである請求項1乃至5のいずれかの光信号増幅3端子装置。

【請求項7】

前記第1半導体光増幅素子および/または第2半導体光増幅素子は、選択的に光を反射するための反射手段をその一端面側に備え、該反射手段は、レンズを通して該第1半導体光増幅素子および/または第2半導体光増幅素子の端面と光学的に結合されたものである請求項1乃至6のいずれかの光信号増幅3端子装置。

【請求項8】

前記反射手段は、前記第1半導体光増幅素子からの光のうちの前記第1波長の第1入力光は反射しないが前記第2波長の光は第2半導体光増幅素子へ向かって反射する第1の波長選択性ミラーと、該第2半導体光増幅素子からの光のうちの前記第1波長の第2入力光は反射しないが前記第3波長の光は反射する第2の波長選択性ミラーである請求項6または7の光信号増幅3端子装置。

【請求項9】

前記第1半導体光増幅素子の一端面と光を反射するための反射手段との間には、前記第1波長の光は透過させないが前記第2波長の光は透過させる波長選択性フィルタが設けられ、前記第2半導体光増幅素子の一端面と光を反射するための反射手段との間には、前記第2波長の光は透過させないが前記制御光の波長は透過させる波長選択性フィルタが設けられたものである請求項6または7のいずれかの光信号増幅3端子装置。

10

20

30

40

50

【請求項 10】

前記反射手段は、前記第1波長選択素子および/または第2波長選択素子として機能し、該反射手段に対して入力光の入射角度および/または出力光の出射角度を変えることによって、所定の半導体光増幅素子からの出力光を他の半導体光増幅素子へ入力させるものである請求項6乃至9のいずれかの光信号増幅3端子装置。

【請求項 11】

前記第1半導体光増幅素子および第2半導体光増幅素子は、半導体基板の上に形成された光導波路においてそれぞれ複数組設けられ、それら複数組が1チップとして一体的に構成されたものである請求項1乃至6、8、9、10のいずれかの光信号増幅3端子装置。

【請求項 12】

前記半導体光増幅素子の一端面を通して前記半導体光増幅素子内に入力光を入力させ、該一端面を通して該半導体光増幅素子内から出力される光を該入力光とは異なる光路へ導く光サーキュレータまたは方向性結合素子が設けられたものである請求項1乃至9のいずれかの光信号増幅3端子装置。

10

【請求項 13】

前記第1波長選択素子または第2波長選択素子として機能する波長選択性ミラーまたは波長選択性フィルタは、光路内に設けられ、光伝播方向において屈折率が周期的に変化させられたグレーティングフィルタ、屈折率が異なる多数組の層が積層されて成る多層膜フィルタ、フォトリソバンドギャップを有するフォトリソクリスタルのいずれかから構成されたものである請求項1乃至12のいずれかの光信号増幅3端子装置。

20

【請求項 14】

前記光信号増幅3端子装置は、光NANDゲート、光NORゲート、光フリップフロップ回路、または光演算増幅器を構成するものである請求項1乃至13のいずれかの光信号増幅3端子装置。

【請求項 15】

前記第2波長選択素子は、前記第2半導体光増幅素子から出力される光のうちの前記制御光の波長に対応する第3波長の出力光を選択するとともに、該第3波長の出力光の波長に応じて複数の光伝送路へ分配する光分配装置である請求項1乃至14のいずれかの光信号増幅3端子装置。

【請求項 16】

所定の伝送路を介して伝送された一連の光信号を、複数の伝送路のうちの該光信号に含まれる行先情報に対応する伝送路へ転送する光信号転送方法であって、

30

前記行先情報が施された一連の光信号を前記光信号増幅3端子装置本体へ入力させる入力工程と、

前記行先情報を示す信号に対応する波長の制御光を前記光信号増幅3端子装置本体へ供給し、該光信号増幅3端子装置本体から該制御光の波長の光信号を出力させる波長変換工程と、

前記光信号増幅3端子装置本体から出力された光信号を光分配装置に入力させ、該光信号をその波長に応じて該光分配装置に接続された複数の光伝送路へ分配する光分配工程とを、含むことを特徴とする光信号転送方法。

40

【請求項 17】

前記波長変換工程は、前記光信号増幅3端子装置本体から出力される光信号に前記該制御光を用いて振幅変調を施すことにより、該光信号に新たな行先情報を再付与するものである請求項16の光信号転送方法。

【請求項 18】

前記一連の光信号は、90%以下の変調度で振幅変調されたものである請求項16または17の光信号転送方法。

【請求項 19】

光信号伝送ネットワーク間において、行先情報として振幅変調が施された一連の光信号を一方のネットワークから他方のネットワークの伝送路のうちの該光信号に含まれる行先情

50

報に対応する伝送路へ転送するための光信号中継装置であって、

前記一連の光信号の振幅変調信号から、該振幅変調信号が示す行先に対応した波長の制御光を発生させる制御光発生装置と、

前記一連の光信号を前記制御光の波長の光信号に変換する光信号増幅3端子装置本体と

、
該光信号増幅3端子装置本体から出力された光信号をその波長に応じて複数の光伝送路へ分配する光分配装置と

を、含むことを特徴とする光信号中継装置。

【請求項20】

前記光信号に含まれる振幅変調信号に応じて、前記制御光発生装置から該振幅変調信号が示す行先情報に応じた波長の制御光を発生させる電子制御装置または全光学的制御装置を備えたものである請求項19の光信号中継装置。

10

【請求項21】

前記光信号の一部を分岐する光分波器と、

該光分波器により分岐された光信号を電気信号に変換して前記電子制御装置へ供給する光電信号変換器と、

前記光分波器よりも下流側に設けられ、該光分波器を通過して光信号増幅3端子装置本体に入力させる光信号を遅延させる光遅延素子とを備え、

前記電子制御装置は、前記光信号に含まれる振幅変調信号を抽出して、該振幅変調信号が示す行先情報に対応する波長の制御光を前記制御光発生装置から発生させるものである請求項20の光信号中継装置。

20

【請求項22】

前記光分配装置により分配された光信号を一時的に記憶するための光信号記憶素子と、該光信号記憶素子から出力された光信号を入力側へ帰還させるための光帰還伝送路とを備え

、
前記電子制御装置は、前記光信号が一時記憶すべき光パケット信号である場合には、該光パケット信号を予め設定した記憶用波長に変換させるための制御光信号を出力させ、

前記光分配装置は、該記憶用波長に変換された後の光パケット信号を前記光信号記憶素子へ分配してそこで一時的に記憶させるものである請求項20または21の光信号中継装置。

30

【請求項23】

前記光信号記憶素子は、光分配装置により分配された光信号を受けのために光学的伝播長さが異なる複数本の光ファイバを並列に備えたものであり、

前記電子制御装置は、前記一時記憶すべき光パケット信号に必要とされる記憶時間に応じて、該光パケット信号を予め設定した記憶用波長に変換させるための制御光信号を出力させ、

前記光分配装置は、該記憶用波長に変換された後の光パケット信号を前記光信号記憶素子の複数本の光ファイバのいずれかへ分配してそこで一時的に記憶させるものである請求項22の光信号中継装置。

【請求項24】

前記全光学的制御装置は、前記第1入力光の一部を分岐する光カプラと、前記制御光と同じ波長の連続光を発生する連続光源と、該連続光源からの連続光と該光カプラからの前記第1入力光の一部とを合波する光カプラと、該光カプラからの光を受けて、該第1入力光に含まれる変調信号を有する制御光を出力する、前記半導体光増幅素子よりも応答速度が遅い半導体光増幅素子を含むものである請求項20の光信号中継装置。

40

【請求項25】

前記光分配装置は、前記光信号増幅3端子装置本体から出力された出力光が入力されると、該入力された出力光を前記複数の光伝送路のうち前記制御光の波長に対応する光伝送路へ選択的に分配するものである請求項19乃至24のいずれかの光信号中継装置。

【請求項26】

50

前記光分配装置は、入力ポートに接続された第1スラブ導波路と、複数の出力ポートに接続された第2スラブ導波路と、それら第1スラブ導波路および第2スラブ導波路の間に設けられた長さの異なる複数のアレ導波路とを備え、該入力ポートに入力された入力光をその波長毎に前記複数の出力ポートへ分配するアレ導波路格子型分波器である請求項19乃至25のいずれかの光信号中継装置。

【請求項27】

入力光伝送路から入力された光信号を記憶するとともに任意の時間に取り出すことが可能な光信号記憶装置であって、

前記入力光伝送路から入力された光信号を該入力信号に含まれる伝送先に対応し且つ前記光信号と同じ又は異なる波長に変換するための制御光を発生する制御光発生装置と、

10

前記入力された光信号と制御光とを受け、該入力された光信号を該制御光の波長の光信号に変換して出力する光信号増幅3端子装置本体と、

該光信号増幅3端子装置本体から出力された光信号を該光信号の波長に応じて分配する光分配器と、

該光分配器により分配された記憶用波長の光信号を一時的に記憶する光バッファメモリ素子と、

該光バッファメモリ素子から出力された光信号を光信号増幅3端子装置本体へ再び入力させるために、該光信号を前記入力光伝送路へ帰還させる光帰還伝送路と、

前記光信号増幅3端子装置本体、光分配器、光バッファメモリ素子、および該光帰還伝送路を繰り返し周回させられる光信号を該光信号増幅3端子装置本体において出力用波長

20

に変換するための制御光を前記制御光発生装置から発生させる光信号記憶制御手段と

を、含むことを特徴とする光信号記憶装置。

【請求項28】

前記周回させられる光信号のゲインの増減を抑制するように、前記光帰還伝送路により帰還させられる光信号、または前記光信号増幅3端子装置本体に供給される制御光を制御する光信号ゲイン制御手段を、さらに含むものである請求項27の光信号記憶装置。

【請求項29】

前記光信号増幅3端子装置本体は、前記光信号をバイアス光の波長に変換して反転させる第1半導体光増幅素子と、該第1半導体光増幅素子により反転させられた光信号を前記制御光の波長に変換して反転させる第2半導体光増幅素子とを備えたものであり、

30

前記光信号ゲイン制御手段は、前記第2半導体光増幅素子からの出力光に含まれるバイアス光のゲインの増減に基づいて光帰還伝送路により帰還させられる光信号を制御するものである請求項28の光信号記憶装置。

【請求項30】

前記光信号ゲイン制御手段は、前記バイアス光と該バイアス光とは異なる波長の連続光であるゲイン制御光とを受けて該バイアス光のゲインの増加に伴ってゲインが減少するゲイン制御光を出力する第1ゲイン制御用光増幅素子と、該第1ゲイン制御用光増幅素子からの出力光と前記光帰還伝送路により帰還させられる光信号とを受けて該ゲイン制御光の減少に伴ってゲインが増加する光信号を出力する第2ゲイン制御用光増幅素子とを含むものである請求項28または29の光信号記憶装置。

40

【請求項31】

前記第1ゲイン制御用光増幅素子および/または第2ゲイン制御用光増幅素子は、希土類元素が添加された光ファイバ増幅素子または光導波路増幅素子から構成されたものである請求項30の光信号記憶装置。

【請求項32】

前記光信号ゲイン制御手段は、前記周回させられる光信号のゲインを一定に維持するように、前記光帰還伝送路により帰還させられる光信号のゲインの増減に基づいて、前記光信号増幅3端子装置本体に供給される制御光のゲインを制御する光学的演算制御装置を含むものである請求項28の光信号記憶装置。

【請求項33】

50

前記制御光発生装置を制御するための電子制御装置と、

前記光分波器により分岐された光信号を電気信号に変換して前記電子制御装置へ供給する光電信号変換器と、

該光分波器よりも下流側に設けられ、該光分波器を通過して前記光信号増幅3端子装置本体に入力させる光信号を遅延させる光遅延素子とを備え、

前記電子制御装置は、外部から供給されるか或いは前記光信号に含まれる記憶信号出力情報が示す出力時期に応答して、前記光信号を出力用波長に変換するための制御光を前記制御光発生装置から発生させるものである請求項27乃至30のいずれかの光信号記憶装置。

【請求項34】

外部から供給されるか或いは前記光信号に含まれる記憶信号出力情報が示す出力時期に応答して、前記光信号を出力用波長に変換するための制御光を前記制御光発生装置から発生させる全光学的演算制御装置を備えたものである請求項27乃至32のいずれかの光信号記憶装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

本発明は、(a)光信号を増幅、制御、或いはスイッチングする光信号増幅3端子装置、特に、高度情報処理が可能な光通信、光画像処理、光コンピュータ、光計測、光集積回路などの光エレクトロニクスに好適な光信号増幅装置、(b)光ファイバなどの所定の伝送路を介して伝播した光信号をその光信号に含まれる行先情報が示す他の伝送路へ転送するための光信号転送方法および光信号中継装置、(c)光ファイバなどの所定の伝送路を介して伝播した光信号を記憶すると共に任意の時間に取り出すことを可能とする光信号記憶装置に関するものである。

【背景技術】

広帯域且つ高速伝送が可能な光ファイバ通信を用いた動画像通信や映像の分配といった広帯域な新サービスの広範な展開が期待されている。しかしながら、たとえばエレクトロニクスで言えば3端子のトランジスタに相当するような機能(信号増幅作用)素子、すなわち光信号を他の光信号で直接制御して信号増幅するような光機能素子は、未だ、実現されていない。

このため、折角、高速で伝送した光信号を一旦電気信号に変換し、電子回路において情報処理が行われ、処理後の信号を再度光に変換して伝送するというのが実情である。したがって、光を光で直接制御することができないので、信号処理の高速性に限界があった。光信号のまま信号処理ができる場合には、並列処理が可能であると言われており、一層の処理時間の短縮化が期待できるのである。

これに対し、文献1或いは文献2に記載されている装置は、光をスイッチングする装置、マッハツェンダー型光干渉による波長変換などを利用したゲートスイッチング装置に過ぎず、これらは、温度変化、振動に弱く、設定が厳しいという不都合があった。このような従来技術は、電子回路におけるトランジスタのように、入力光を制御光を用いて信号増幅された出力光を得る機能を備えた光信号増幅3端子装置を構成する点については何ら開示されていない。

次に、広帯域、高速且つ高容量の信号伝送が可能な光通信の分野において、その光信号の通信、転送、分配がその広帯域、高速且つ高容量といった性質を損わないようにして行われることが期待されている。比較的近い将来に構築されることが予想されている波長分割多重(WDM)をベースとした光ネットワークでは、一方の光伝送路から伝送された波長の異なる複数種類のレーザ光である波長分割多重光信号を波長毎に所望の光伝送路へ転送する光信号の転送(光信号の中継)技術が重要となる。光ファイバなどの所定の伝送路(たとえば波長バス)を介して伝播した一連の光信号(たとえばパケット信号)を、その一連の光信号に付されているラベル或いはタグのような行先情報が示す他の伝送路へ転送するための光信号転送、たとえば光ネットワーク内或いは光ネットワーク間でルーティングするルーティングでは、大容量且つ高速であるという光信号伝送の特徴を損うものであ

10

20

30

40

50

ってはならず、ルータすなわち光信号中継（転送）装置においても高速で転送処理されること、信頼性が高く、小型であることなどが要求される。

これに対し、たとえば文献3に記載された光パスクロスコネクタ装置が提案されている。これによれば、波長多重伝送リンクの波長バスをG本ずつN個の波長群バスに分割する分波器と、その分波器によって分割された波長群毎にルーティング処理を実行するルーティング処理部とが備えられ、波長群毎にルーティング処理が行われるように構成されている。この光パスクロスコネクタ装置のルーティング処理部は、波長群毎に波長変換する波長変換器と、それにより波長変換された光を分配するためにコントローラによって制御される光マトリックススイッチとから構成されている。そして、この光マトリックススイッチは、マトリックス状光路の交点に配置されたメカニカル動作の反射鏡スイッチをコントローラによって択一的に動作させ、複数の波長群のうちその反射鏡スイッチにより反射された1つの波長群を所望の伝送路へ出力させるように構成されるか（段落0042、図10（1））、或いは、コントローラによって択一的に動作させられる光スイッチとメッシュ配線とが配置され、複数の波長群のうちその光スイッチにより通過させられた1つの波長群をメッシュ配線内の1つの伝送路へ出力させるように構成される（段落0043、図10（2））。

しかしながら、上記従来の光パスクロスコネクタ装置では、コントローラによって作動制御される反射鏡スイッチ或いは光スイッチによってルーティング処理されることから、コントローラにおいて電子的に処理された出力であるルーティング先（行先）を示すが指令信号に従って反射鏡スイッチ或いは光スイッチが切換動作させられる。このため、光信号の一部を電気信号に変換してその電気信号に含まれる行先情報たとえばパケットのラベルやタグに含まれる転送関連信号を抽出し、それに従って反射鏡スイッチ或いは光スイッチを電氣的に作動制御してから光信号を転送する必要があるため、応答速度が十分に得られなかった。また、転送先の伝送路（波長バス）の波長に合わせて波長を変換するために、上記ルーティング処理部の他に波長変換部が備えられており、そのような波長変換部がルーティング処理部に加えて設けられているので、装置が大型となるとともに、特にメカニカル作動の反射鏡スイッチが用いられる場合には信頼性が得られない場合があった。

さらに、広帯域、高速且つ高容量の信号伝送が可能な光通信の分野において、光信号（たとえばパケット信号などの光データ）の識別、多重や分離、スイッチング、ルーティング（転送、分配）がその広帯域、高速且つ高容量といった性質を損わないようにして行われることが期待されている。このような光の領域では、たとえばフォトニックルータシステムに代表される光信号を処理する光信号処理システムの全般において、光信号を一時的に記憶し且つ所望のタイミングで取り出すことができる光信号記憶装置が求められている。エレクトロニクス分野の信号処理においてメモリが必須であると同様に、光信号処理分野においても光メモリ、光バッファと称される光信号記憶装置が必要不可欠であるからである。

これに対し、たとえば特許文献1に記載されているような、光メモリ装置が提案されている。これによれば、複数種類の遅延時間を与えるために長さの異なる光ファイバからそれぞれ構成された複数の光導波手段105～108が用意されており、その光導波手段105～108のいずれかを通過させることでその光導波手段105～108のいずれかの伝播時間に対応する遅延時間だけ、光信号を記憶させることができるように構成されている。

しかしながら、上記従来の光メモリ装置では、光信号が伝播させられる光導波手段105～108のいずれかの伝播時間に対応する遅延時間だけ、その光信号の記憶時間が予め決定されるに過ぎず、任意のタイミングで光信号を取り出すことができないことから、光信号の処理の自由度が制限されて信号処理効率が低くなることが避けられなかった。

【文献1】

K. E. Stubkjaer, "Semiconductor optical amplifier-based all-optical gates for high-speed optical processing," IEEE J. Quantum

10

20

30

40

50

n Electron., vol. 6, no. 6, pp. 1428 - 1435, Nov. / Dec. 2000

【文献2】

T. Durhuus, C. Joergensen, B. Mikkelsen, R. J. S. Pedersen, and A. E. Stubkjaer. "All optical wavelength conversion by SOAs in a Mach-Zender configuration," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 6, pp. 53 - 55, Jan. 1994

【文献3】

特開2002 - 262319号公報

10

【文献4】

特開平8 - 204718号公報

本発明は以上の事情を背景として為されたものであり、その第1の目的とするところは、光信号の増幅処理を制御光を用いて直接行うことができる光信号増幅3端子装置を提供することにある。また、第2の目的とするところは、光信号のルーティングを高速で処理でき、或いは装置が小型となる光信号転送方法および光信号中継装置を提供することにある。また、第3の目的とするところは、光信号を記憶し且つ任意の時間にそれを取り出すことができる光信号記憶装置を提供することにある。

本発明者は、以上の事情を背景として種々の検討を重ねた結果、半導体光増幅素子や希土類元素添加ファイバアンプなどの光増幅素子において、所定波長 λ_1 の入力光の周囲波長の自然放出光が、その入力光の強度変化に応答して強度変化し、その変化は入力光の信号強度変化に対して逆の強度変化をする点、および、その自然放出光の波長域内すなわち入力光の周囲波長域内の他の波長 λ_2 のレーザ光を上記入力光に重畳させて入射させると、上記自然放出光の信号(振幅)変化は維持されつつ、全体の強度が急激に増加するという現象すなわちレーザ誘導光信号増強効果(Laser-induced signal enhancement effect)を見出した。また、本発明者は、この現象を、波長 λ_1 から λ_2 への波長変換機能としても把握し、その波長変換を2段接続するタンデム波長変換素子に基づく光3端子装置(All-Optical Triode Based on Tandem Wavelength Converter)を着想し、光信号増幅3端子装置を見いだした。本第1発明はかかる知見に基づいて為されたものである。

20

30

また、本発明者は、上記の光信号増幅3端子装置の光増幅素子が波長 λ_1 から λ_2 への波長変換機能を有するだけでなく、その波長変換機能とスイッチング機能とを備えた機能素子であることにも着眼し、行先情報を光信号に振幅変調して重畳させることによりその機能素子が波長多重信号のルーティング装置すなわち転送装置として好適に用いられることを見いだした。本第2発明および第3発明はかかる知見に基づいて為されたものである。

また、本発明者は、前記のような現象を有する光信号増幅3端子装置の光増幅素子を、波長 λ_1 から λ_2 への波長変換機能として機能させつつ、入力波長に応じて異なる出力伝送路へ分配する分波器と組み合わせて、光信号が周回する環状伝送路内に介そうすることにより、周回させられることにより記憶されている光信号を任意の時間に取り出すことが可能である点を見いだした。第4発明はかかる知見に基づいて為されたものである。

40

【発明の開示】

第1発明

すなわち、第1発明の光信号増幅3端子装置の要旨とするところは、(a)pn接合から構成される活性層を備え、入力された光信号を増幅および波長変換して出力するための第1半導体光増幅素子および第2半導体光増幅素子と、(b)第1波長の第1入力光と第2波長の第2入力光とを前記第1半導体光増幅素子に入力させる第1光入力手段と、(c)前記第1半導体増幅素子からの光から前記第2波長の光を選択する第1波長選択素子と、(d)その第1波長選択素子により選択された第2波長の光と第3波長の第3入力光と

50

を前記第2半導体光増幅素子へ入力させる第2光入力手段と、(e)その第2半導体光増幅素子からの光から第3波長の出力光を選択する第2波長選択素子とを、含み、(f)前記第3波長の出力光は、前記第1波長の第1入力光および/または第3波長の第3入力光の強度変化に 응답して変調され、且つ前記第3波長の第3入力光に対する信号増幅率が2以上であることにある。

このようにすれば、第1波長の第1入力光と第2波長の第2入力光とが入力された第1半導体光増幅素子からの光から選択された第2波長の光と、第3波長の第3入力光とが第2半導体光増幅素子へ入力させられるとき、その第2半導体光増幅素子から出された光から選択された第3波長の出力光は、前記第1波長の第1入力光および/または第3波長の第3入力光の強度変化に 응답して変調された光であって、前記第3波長の第3入力光に対する信号増幅率が2以上の大きさの増幅信号となるので、光信号の増幅処理を制御入力光を用いて直接行うことができる光信号増幅3端子装置を得ることができる。また、第1半導体光増幅素子および第2半導体光増幅素子はpn接合から構成される活性層を備えた光増幅素子であるので、光信号増幅3端子装置が小型化されるとともに、信号増幅率が一層高められる。

10

ここで、好適には、前記第1波長の第1入力光は変調光であり、前記第2波長の第2入力光は連続光であり、前記第3波長の第3入力光は制御光であり、前記第3波長の出力光は、その制御光の入力区間においてその第1入力光の変調信号が増幅された信号波形を備えたものである。このようにすれば、第3波長の出力光は、制御光の入力区間において前記第1波長の第1入力光の強度変化に 응답して変調された増幅光となるので、増幅された光信号のスイッチング処理を制御入力光を用いて直接行うことができる光信号増幅3端子装置を得ることができる。

20

また、好適には、前記第3波長は、前記第1波長と同じ波長である。このようにすれば、光信号増幅3端子装置の信号入力光としての第1入力光及び第3入力光と、出力光とが同じ波長となるので、共通の波長で複数の光信号増幅3端子装置を接続することが可能となり、複数個の光信号増幅3端子装置を用いて集積度の高い光回路を構成することができる。

また、好適には、前記第3波長の出力光の前記第3波長の制御光に対する信号増幅率は、10以上の値である。このようにすれば、光信号増幅3端子装置の信号増幅率が一層高められる。

30

また、好適には、前記半導体光増幅素子の活性層は、量子井戸または量子ドットから構成されたものである。このようにすれば、量子井戸または量子ドットから構成される活性層を備えた半導体光増幅素子が用いられるので、高速応答が可能となる。特に量子ドットを用いた場合には100GHz以上の応答速度が得られる。また、活性層として歪み超格子を用いると偏波依存性が小さくなる。

また、好適には、前記半導体光増幅素子は、前記活性層を通過した光を反射するための反射手段をその一端面に備え、他端面を通して入力光が入力され且つ出力光が取り出されるものである。このようにすれば、1端面に備えられた反射手段によって活性層における通過路が実質的に長くされるので、信号増幅率が一層高められる。また、フィードバック効果によって、出力信号の変調度が一層高められる。

40

また、好適には、前記第1半導体光増幅素子および/または第2半導体光増幅素子は、選択的に光を反射するための反射手段をその一端面側に備え、その反射手段は、レンズを通してその第1半導体光増幅素子および/または第2半導体光増幅素子の端面と光学的に結合されたものである。このようにすれば、この集光レンズにはマイクロレンズが好適に用いられ、入力光、出力光は光ファイバを介して伝送される。

また、好適には、前記反射手段は、前記第1半導体光増幅素子からの光のうちの前記第1波長の第1入力光は反射しないが前記第2波長の光は第2半導体光増幅素子へ向かって反射する波長選択性ミラーと、前記第2半導体光増幅素子からの光のうちの前記第2波長の第2入力光は反射しないが前記第3波長の光は反射する波長選択性ミラーである。このようにすれば、反射手段は、第1波長選択素子として機能する波長選択性ミラーと第2波

50

長選択素子として機能する波長選択性ミラーとにより構成される。

また、好適には、前記第1半導体光増幅素子の一端面と光を反射するための反射手段との間には、前記第1波長の光は透過しないが前記第2波長の光は透過させる第1波長選択性フィルタが設けられ、前記第2半導体光増幅素子の一端面と光を反射するための反射手段との間には、前記第2波長の光は透過しないが前記制御光の波長は透過させる第2波長選択性フィルタが設けられたものである。このようにすれば、前記第1波長選択素子および第2波長選択素子が第1波長選択性フィルタおよび第2波長選択性フィルタによって構成される。また、第1入力光すなわち信号光の波長である第1波長の光が第1波長選択性フィルタによって透過させられないので、一層よい特性が得られる。

また、好適には、前記反射手段は、前記第1波長選択素子および/または第2波長選択素子として機能し、その反射手段に対して入力光の入射角度および/または出力光の出射角度を変えることによって、所定の半導体光増幅素子から他の半導体光増幅素子へ入力させるものである。

また、好適には、前記第1半導体光増幅素子および第2半導体光増幅素子は、半導体基板の上に形成された光導波路においてそれぞれ複数組設けられ、それら複数組が1チップとして一体的に構成されたものである。このようにすれば、光信号増幅3端子装置が一層小さな集積化1チップのモノリシック構造となる。

また、好適には、前記半導体光増幅素子の他端面を通して前記半導体光増幅素子内に入力光を入力させ、その他端面を通してその半導体光増幅素子内から出力される光をその入力光とは異なる光路へ導く光サーキュレータまたは方向性結合素子が設けられたものである。このようにすれば、半導体光増幅素子の他端面から出た光はその他端面へ入力させる光を導く導波路に入ることがなく、専ら他の出力用導波路に導かれる。

また、好適には、前記第1波長選択素子または第2波長選択素子として機能する波長選択性ミラーまたは波長選択性フィルタは、導波路または光ファイバ内の光伝播方向において屈折率が周期的に変化させられたグレーティングフィルタ、屈折率が異なる多数組の層が積層されて成る多層膜フィルタ、フォトリソグラフィによって形成されるフォトリソグラフィによるフォトニックバンドギャップを有するフォトニッククリスタルのいずれかから構成されたものである。このようにすれば、第1半導体光増幅素子或いは第2半導体光増幅素子からの光から第2波長或いは第3波長が好適に抽出される。

また、好適には、前記光信号増幅3端子装置は、光NANDゲート、光NORゲート、光フリップフロップ回路、または光演算増幅器を構成するものである。このようにすれば、光デジタル回路、または光アナログ回路が前記光信号増幅3端子装置から好適に構成される。

また、前記光信号増幅3端子装置において、第1半導体光増幅素子および第2半導体光増幅素子、第1波長選択素子および第2波長選択素子、それらへ入力される光を合波する光カプラなどの構成部品は、光を導く光ファイバや、半導体基板またはガラス基板のような透光性物質製基板の上に形成された光導波路などにより結合されてもよい。

第2発明

次に、第2発明の要旨とするところは、所定の伝送路を介して伝送された一連の光信号を、複数の伝送路のうちその光信号に含まれる行先情報に対応する伝送路へ転送する光信号転送方法であって、(a)前記行先情報が施された一連の光信号を光信号増幅3端子装置本体へ入力させる入力工程と、(b)前記振幅変調信号に対応する波長の制御光を前記光信号増幅3端子装置本体へ供給し、その光信号増幅3端子装置本体からその制御光の波長の光信号を出力させる波長変換工程と、(c)前記光信号増幅3端子装置本体から出力された光信号を光分配装置に入力させ、その光信号をその波長に応じてその光分配装置に接続された複数の光伝送路へ分配する光分配工程とが、含まれる。その行先情報としてその一連の光信号に振幅変調信号を付与し、その振幅変調信号が示す行先へ転送するようにしたことにある。

このようにすれば、行先情報が施された一連の光信号が光信号増幅3端子装置本体へ入力され、その振幅変調信号に対応する波長の制御光がその光信号増幅3端子装置本体へ供

給されて、その光信号増幅3端子装置本体からその制御光の波長の光信号が光分配装置へ出力され、その出力された光信号はその波長に応じて光分配装置に接続された複数の光伝送路へ分配されることによってルーティングが行われる。このように、行先情報が光信号に付与されていることから、波長変換機能とスイッチング機能とを有する光信号増幅3端子装置本体が行先情報に対応した波長の光信号を出力して光分配装置による分配を可能とするので、高速かつ小型のルーティング装置すなわち光信号転送装置或いは光信号中継装置が可能となる。

ここで、上記行先情報とは、たとえばIPアドレス或いは送信元アドレス、あて先アドレス、ソースルーティングのようなルート情報、データリンク層のコネクション情報など、光信号の転送先の決定に関連する情報である。

10

好適には、前記一連の光信号は、90%以下の変調度で振幅変調されたものである。このようにすれば、光信号が損われず、且つ行先情報が光信号に確実に付与される。

また、好適には、前記一連の光信号はパケット信号であり、前記行先情報はそのパケット信号の先頭部に設けられたラベル情報或いはタグ情報である。このようにすれば、パケット信号を構成する一連の光信号の先頭部に設けられたラベル部或いはタグ部において、振幅変調によりラベル情報或いはタグ情報が付与される。

また、好適には、前記波長変換工程は、光信号増幅3端子装置本体から出力される光信号にその制御光を用いて振幅変調を施すことにより、その光信号に新たな行先情報を再付与するものである。このようにすれば、転送装置内において適宜転送先を付与できる。このため、たとえばリンクの状態、ノードの状態、ロタフィック状態に応じて転送ルートを決

20

第3発明

上記第2発明の光信号転送方法が好適に実施されるための光信号中継装置の要旨とするところは、光信号伝送ネットワーク間において、行先情報として振幅変調が施された一連の光信号を一方のネットワークから他方のネットワークの伝送路のうちのその光信号に含まれる行先情報に対応する伝送路へ転送するための光信号中継装置であって、(a)前記一連の光信号の振幅変調信号から、その振幅変調信号が示す行先に対応した波長の制御光を発生させる制御光発生装置と、(b)前記一連の光信号を前記制御光の波長の光信号に変換する光信号増幅3端子装置本体と、(c)その光信号増幅3端子装置本体から出力された光信号をその波長に応じて複数の光伝送路へ分配する光分配装置とを、含むことにある。

30

このようにすれば、行先情報として振幅変調信号が付与された一連の光信号が伝送されて来ると、制御光発生装置により、その一連の光信号の振幅変調信号からその振幅変調信号が示す行先に対応した波長の制御光が発生させられ、光信号増幅3端子装置本体により、その一連の光信号が前記制御光の波長の光信号に変換され、光分配装置により、その光信号増幅3端子装置本体から出力された光信号がその波長に応じて複数の光伝送路へ分配される。したがって、波長変換機能とスイッチング機能を有する光信号増幅3端子装置本体が行先情報に対応した波長の光信号を出力して光分配装置による分配を可能とするので、高速かつ小型のルーティング装置すなわち光信号転送装置或いは光信号中継装置が可能となる。

40

好適には、前記光信号に含まれる振幅変調信号に応じて、前記制御光発生装置からその振幅変調信号が示す行先情報に応じた波長の制御光を発生させる電子制御装置または全光学的制御装置を備えたものである。このようにすれば、電子制御装置または全光学的制御装置により、光信号に含まれる振幅変調信号が示す行先情報に応じた波長の制御光が発生するように制御光発生装置が制御されることから、波長変換機能とスイッチング機能を有する光信号増幅3端子装置本体が行先情報に対応した波長の光信号を出力して光分配装置による分配を可能とするので、高速かつ小型のルーティング装置すなわち光信号転送装置或いは光信号中継装置が可能となる。また、電子制御装置が、前記主光導波路から入力される光信号に含まれる振幅変調信号のみを光学的に抽出し、制御光発生装置からそのアドレス信号に対応する波長の制御光を発生させる全光学的制御装置である場合には、アドレ

50

ス信号以外の信号に対応する電磁波が発生しないので、光信号の秘匿性が確保される利点がある。

また、好適には、(a)前記光信号の一部を分岐する光分波器と、(b)その光分波器により分岐された光信号を電気信号に変換して前記電子制御装置へ供給する光電信号変換器と、(c)前記光分波器よりも下流側に設けられ、その光分波器を通過して光信号増幅3端子装置本体に入力させる光信号を遅延させる光遅延素子とが備えられ、上記電子制御装置は、前記光信号に含まれる振幅変調信号を抽出して、その振幅変調信号が示す行先情報に対応する波長の制御光を前記制御光発生装置から発生させるものである。このようにすれば、波長変換機能とスイッチング機能を有する光信号増幅3端子装置本体が行先情報に対応した波長の光信号を出力して光分配装置による分配を可能とするので、高速かつ小型のルーティング装置すなわち光信号転送装置或いは光信号中継装置が可能となる。

10

また、好適には、前記光分配装置により分配された光パケット信号を一時的に記憶する光信号記憶素子と、その光信号記憶素子から出力された光信号を入力側に帰還させる光帰還伝送路とを備え、前記電子制御装置は、前記光信号が一時記憶させるべきものである場合には、その光パケット信号を予め設定した記憶用波長に変換させるための制御光信号を出力させ、前記光分波器は、その記憶用波長に変換された後の光パケット信号を前記光信号記憶素子へ分配してそこで一時的に記憶させるものである。このようにすれば、中継処理された複数の光パケット信号が同じ伝送路へ出力されようとする場合には、一方の光パケット信号が予め設定した記憶用波長に変換され、光分波器は、その記憶用波長に変換された後の光パケット信号を前記光信号記憶素子へ分配してそこで一時的に記憶させてから

20

入力側に帰還させられ、改めて中継処理が実行される利点がある。

また、好適には、前記光信号記憶素子は、前記光分配装置により分配された光信号を受け取るために光学的伝播長さが異なる複数本の光ファイバを並列に備えたものであり、前記電子制御装置は、前記一時記憶すべき光パケット信号に必要なとされる記憶時間に応じて、その光パケット信号を予め設定した記憶用波長に変換させるための制御光信号を出力させ、前記光分配装置は、その記憶用波長に変換された後の光パケット信号を前記光信号記憶素子の複数本の光ファイバのいずれかへ分配してそこで一時的に記憶させるものである。このようにすれば、光パケット信号が並列配置された複数本の光ファイバのうちのそれに必要とされる記憶時間に応じた光ファイバ内で伝播させられる過程で一時的に記憶される。

また、好適には、前記全光学的制御装置は、前記第1入力光の一部を分岐する光カプラと、前記制御光と同じ波長の連続光を発生する連続光源と、その連続光源からの連続光とその光カプラからの前記第1入力光の一部とを合波する光カプラと、その光カプラからの光を受けて、上記第1入力光に含まれる変調信号を有する制御光を出力する、前記半導体光増幅素子よりも応答速度が遅い半導体光増幅素子を含むものである。このようにすれば、全光学的に制御装置が構成される。

30

また、好適には、前記光分配装置は、前記光信号増幅3端子装置から出力された出力光が入力されると、その入力された出力光を前記複数の光伝送路のうち前記制御光の波長に対応する光伝送路へ選択的に分配するものである。たとえば、その光分配装置は、入力ポートに接続された第1スラブ導波路と、複数の出力ポートに接続された第2スラブ導波路と、それら第1スラブ導波路および第2スラブ導波路の間に設けられた長さの異なる複数のアレー導波路とを備え、その入力ポートに入力された入力光をその波長毎に前記複数の出力ポートへ分配するアレー導波路格子型分波器である。或いは、波長毎に異なる回折格子またはプリズムの屈折角度を利用して入力光をアレイ状に配列された複数のアレー導波路へ選択的に分配する回折格子型またはプリズム型光分配器を含むものである。このようにすれば、前記光3端子装置から出力された制御光に対応する波長の出力光は、その波長毎に複数の分岐導波路のうちのいずれかへ選択的に分配される。

40

第4発明

第4発明の要旨とするところは、入力光伝送路から入力された光信号を記憶するとともに任意の時間に取り出すことが可能な光信号記憶装置であって、(a)前記入力光伝送路から入力された光信号をその入力信号に含まれる伝送先に対応し且つ前記光信号と同じ又

50

は異なる波長に変換するための制御光を発生する制御光発生装置と、(b)前記入力された光信号と制御光とを受け、その入力された光信号をその制御光の波長の光信号に変換して出力する光信号増幅3端子装置本体と、(c)その光信号増幅3端子装置本体から出力された光信号をその光信号の波長に応じて分配する光分配器と、(d)その光分配器により分配された記憶用波長の光信号を一時的に記憶する光バッファメモリ素子と、(e)その光バッファメモリ素子から出力された光信号を光信号増幅3端子装置本体へ再び入力させるために、その光信号を前記入力光伝送路へ帰還させる光帰還伝送路と、(f)前記光信号増幅3端子装置本体、光分配器、光バッファメモリ素子、およびその光帰還伝送路を繰り返し周回させられる光信号をその光信号増幅3端子装置本体において出力用波長に変換するための制御光を前記制御光発生装置から発生させる光信号記憶制御手段とを、含むことにある。 10

この第4発明によれば、前記光信号増幅3端子装置本体、光分配器、光バッファメモリ素子、およびその光帰還伝送路を繰り返し周回させられる光信号は、光信号取出制御手段により光信号増幅3端子装置本体において出力用波長に変換されると、分配器によりその出力用波長に基づいて取出用伝送路へ分配されることによって、任意のタイミング(取出し時刻)において時間光信号が取り出される。この取出用伝送路は、たとえば、取り出した光信号を合波処理(所謂光アド処理)或いは分波処理(所謂光ドロップ処理)するための用意されたものである。

ここで、上記第4発明において、好適には、上記光信号記憶制御手段は、前記光信号増幅3端子装置本体へ入力される光信号の波長を記憶用波長へ変換するための制御光を前記制御光発生装置から発生させる。このようにすれば、入力された光信号が光信号増幅3端子装置本体において記憶用波長に変換されることにより、光信号増幅3端子装置本体、光分配器、光バッファメモリ素子、および光帰還伝送路を繰り返し経由する周回伝送路において周回させられることにより、その光信号の記憶が開始される。 20

また、好適には、前記周回させられる光信号のゲインの増減例えば増加または減衰を抑制するように、前記光帰還伝送路により帰還させられる光信号、または前記光信号増幅3端子装置本体に供給される制御光を制御する光信号ゲイン制御手段が、さらに含まれる。このようにすれば、光信号の周回による減衰が防止されるので、その光信号のゲインが一定に維持される。

また、好適には、前記光信号増幅3端子装置本体は、前記光信号をバイアス光の波長に変換して反転させる第1半導体光増幅素子と、その第1半導体光増幅素子により反転させられた光信号を前記制御光の波長に変換して反転させる第2半導体光増幅素子とを備えたものであり、前記光信号ゲイン制御手段は、その第2半導体光増幅素子からの出力光に含まれるバイアス光のゲインの増減に基づいて光帰還伝送路により帰還させられる光信号を制御するものである。例えばバイアス光のゲインの増加または減少に基づいて光帰還伝送路により帰還させられる光信号を減衰または増幅する。このようにすれば、光帰還伝送路により帰還させられる光信号が光信号ゲイン制御手段により増幅されることによってその光信号の周回による減衰が防止されるので、その光信号のゲインが略一定に維持される。 30

また、好適には、前記光信号ゲイン制御手段は、前記バイアス光とそのバイアス光とは異なる波長の連続光であるゲイン制御光とを受けてそのバイアス光のゲインの増加に伴ってゲインが減少するゲイン制御光を出力する第1ゲイン制御用光増幅素子と、その第1ゲイン制御用光増幅素子からの出力光と前記光帰還伝送路により帰還させられる光信号とを受けてそのゲイン制御光の減少に伴ってゲインが増加する光信号を出力する第2ゲイン制御用光増幅素子とを含むものである。このようにすれば、全光学的処理により、記憶のために周回させられる光信号のゲインが一定に維持される。 40

また、好適には、上記第1ゲイン制御用光増幅素子および/または第2ゲイン制御用光増幅素子は、希土類元素がドーピングされることにより3準位系または4準位系のエネルギー準位が構成された光透過媒体から成る光増幅素子から構成される。このような光増幅素子は、相互利得変調の応答時間が遅いので、周回させられる光信号の信号成分が平滑化されてそのゲインの低下或いは上昇が容易に検出されるようになる。 50

また、好適には、前記光信号ゲイン制御手段は、前記周回させられる光信号のゲインを一定に維持するように、前記光帰還伝送路により帰還させられる光信号のゲインの増減に基づいて、前記光信号増幅3端子装置本体に供給される制御光のゲインを制御する光学的演算制御装置を含むものである。このようにすれば、光信号増幅3端子装置本体から出力される光信号が、帰還させられるその光信号のゲインの減少に基づいて全光学的演算制御装置により増幅されてその光信号の周回による減衰が防止されるので、その光信号のゲインがほぼ一定に維持される。

また、好適には、(a)前記制御光発生装置を制御するための電子制御装置と、(b)その光分波器により分岐された光信号を電気信号に変換して前記電子制御装置へ供給する光電信号変換器と、(c)前記光分波器よりも下流側に設けられ、その光分波器を通過して前記光信号増幅3端子装置本体に入力させる光信号を遅延させる光遅延素子とを備え、(d)前記電子制御装置は、外部から供給されるか或いは前記光信号に含まれる記憶信号出力情報が示す出力時期に应答して、前記光信号を出力用波長に変換するための制御光を前記制御光発生装置から発生させるものである。このようにすれば、電子処理により、外部から供給されるか或いは前記光信号に含まれる記憶信号出力情報が示す出力時期に应答して、周回により記憶されている光信号が出力させられる。

また、好適には、外部から供給されるか或いは前記光信号に含まれる記憶信号出力情報が示す出力時期に应答して、前記光信号を出力用波長に変換するための制御光を前記制御光発生装置から発生させる全光学的演算制御装置を備えたものである。このようにすれば、全光学的処理により、外部から供給されるか或いは前記光信号に含まれる記憶信号出力情報が示す出力時期に应答して、周回により記憶されている光信号が出力させられる。

【図面の簡単な説明】

図1は、本発明の一実施例の光信号増幅3端子装置の構成を説明するブロック図である。

図2は、図1の実施例における光増幅素子が半導体光増幅素子により構成された場合の外形を示す斜視図である。

図3は、図1の光信号増幅3端子装置の作動を説明するタイムチャートであり、上段は第1入力光の波形を示し、中段は制御光の波形を示し、下段は出力光の波形を示している。

図4は、図1の光信号増幅3端子装置の入出力特性を示す図である。

図5は、図1の光信号増幅3端子装置の出力信号の周波数特性を示す図である。

図6は、図1の光信号増幅3端子装置によって構成される光フリップフロップ回路を示す図であって、(a)は一对の光NANDゲードから構成される光フリップフロップ回路、(b)は一对の光NORゲードから構成される光フリップフロップ回路をそれぞれ示している。

図7は、図1の光信号増幅3端子装置によって構成される光演算増幅回路を示す図である。

図8は、光信号増幅3端子装置の他の実施例の構成を説明する図1に相当する図である。

図9は、光信号増幅3端子装置の他の実施例の構成を説明する図1に相当する図である。

図10は、図9の光信号増幅3端子装置をモノリシック構造とした場合の構成を説明する図である。

図11は、光信号増幅3端子装置の他の実施例であって、4端子型光サーキュレータを用いた構成を説明する図1に相当する図である。

図12は、図11の光信号増幅3端子装置をモノリシック構造とした場合の構成を説明する図である。

図13は、光信号増幅3端子装置の他の実施例であって、半導体基板の上にエピタキシャル成長させられたV字型光導波路を備えたモノリシック構造の構成を説明する図である。

10

20

30

40

50

図 1 4 は、光信号増幅 3 端子装置の他の実施例の構成を説明する図 1 に相当する図である。

図 1 5 は、光信号増幅 3 端子装置の他の実施例であって、半導体基板の上にエピタキシャル成長させられた V 字型光導波路を備えたモノリシック構造の構成を説明する図である。

図 1 6 は、光信号転送方法が適用される装置の一実施例である光信号中継装置の構成を説明する略図である。

図 1 7 は、図 1 6 の実施例の光信号中継装置の一部を構成する複数の中継器の 1 つの構成例を説明するブロック図である。

図 1 8 は、図 1 7 の中継器の構成を説明するブロック図である。

10

図 1 9 は、図 1 8 の制御光発生装置の構成例を説明するブロック図である。

図 2 0 は、図 1 8 の制御光発生装置の他の構成例を説明するブロック図である。

図 2 1 は、図 1 8 の制御光発生装置の他の構成例を説明するブロック図である。

図 2 2 は、図 1 8 の光信号増幅 3 端子装置の構成例を説明するブロック図である。

図 2 3 は、図 2 2 の光信号増幅 3 端子装置の作動を説明するタイムチャートであり、上段は入力光である信号光の波形を示し、中段は制御光の波形を示し、下段は出力光の波形を示している。

図 2 4 は、図 2 2 の光信号増幅 3 端子装置の周波数特性を示す図である。

図 2 5 は、図 2 2 の光分配装置の構成例を説明する図である。

図 2 6 は、図 2 3 の一連の入力光信号の構成例を説明する図である。

20

図 2 7 は、図 2 6 の一連の入力光信号を、それを構成する主信号と振幅変調信号とを用いて説明するタイムチャートである。

図 2 8 は、図 2 6 の一連の入力光信号について図 1 8 の中継器本体部の作動であって、行先情報を付与しない場合の作動を説明するタイムチャートである。

図 2 9 は、図 2 6 の一連の入力光信号について、図 1 8 の中継器本体部の作動であって、入力光信号とは異なる行先情報を付与する場合のを説明するタイムチャートである。

図 3 0 は、光信号増幅 3 端子装置の全光学式に制御光を発生させる他の実施例の構成を説明する図であって、図 2 2 に相当する図である。

図 3 1 は、図 3 0 の光信号増幅 3 端子装置の作動を説明するタイムチャートである。

図 3 2 は、図 3 0 の実施例の波長変換装置を含む光信号中継器の構成を説明する図であって、図 1 7 に相当する図である。

30

図 3 3 は、光信号中継装置の他の実施例における要部すなわち中継器を説明する図であって、図 1 8 に相当する図である。

図 3 4 は、光信号記憶装置の一実施例の構成を説明する略図である。

図 3 5 は、図 3 4 の光信号記憶装置とは異なる他の実施例の構成を説明する略図である。

図 3 6 は、図 3 5 の光信号記憶装置の光信号記憶作動を説明するタイムチャートである。

図 3 7 は、図 3 5 の光信号記憶装置において帰還光増幅装置が設けられない場合の光信号記憶作動を説明するタイムチャートである。

40

図 3 8 は、図 3 4、図 3 5 の光信号記憶装置とは異なる他の実施例の構成を説明する略図である。

【発明を実施するための最良の形態】

以下、本発明の実施例を図面を参照しつつ詳細に説明する。

図 1 乃至図 1 5 は、光信号増幅 3 端子装置に関連する実際例を示すものであって、図 1 はその一実施例の光信号増幅 3 端子装置 1 0 を示している。

図 1 において、第 1 レーザ光源 1 2 は、たとえば 1 5 5 5 n m の第 1 波長 λ_1 の第 1 レーザ光 (第 1 入力光) L_1 を出力し、第 1 光変調器 1 4 が設けられた光ファイバ F_1 を介して伝播させる。第 2 レーザ光源 1 6 は、たとえば 1 5 4 8 n m の第 2 波長 λ_2 の第 2 レーザ光 (第 2 入力光) L_2 を一定の強度で連続的に出し、第 2 光ファイバ F_2 を介して伝

50

播させる。上記第1レーザ光源12はたとえば可変波長半導体レーザが用いられるが、第2レーザ光源16はたとえば単一波長の半導体レーザが用いられる。上記第1光変調器14は、図示しない信号発生器からの電気信号或いは光信号に従って、たとえば図3の上段の波形に示すように、その電気信号或いは光信号の周波数のパルス信号となるように通過光である第1レーザ光 L_1 を強度変調する。第1光カプラ18は、第1光入力手段として機能するものであり、上記光ファイバ F_1 および光ファイバ F_2 を光ファイバ F_3 へ接続し、それら光ファイバ F_1 および光ファイバ F_2 を伝播してきた第1レーザ光 L_1 および第2レーザ光 L_2 を重畳(合波)し、第3光ファイバ F_3 および第1光サーキュレータ20を介して第1光増幅素子26へ入力させる。

上記第1光増幅素子26は、たとえば図2に示す半導体光増幅素子(SOA: semiconductor optical amplifier)から構成される。 10

図2において、化合物半導体たとえばインジウム燐(InP)やガリウム砒素(GaAs)から構成される半導体基板26aの上に形成された光導波路26bは、その半導体基板26aの上にエピタキシャル成長させられ且つホトリソグラフィにより所定の導波路パターンに形成されたたとえばInGaAsP、GaInNAs、AlGaInPなどのIII-V族混晶半導体の多層膜であり、たとえばホトリソグラフィを用いて所定幅のテーパー状突起となるように形成されている。この光導波路26bは、半導体基板26aよりも屈折率が高い物質で構成されているので、光を厚み方向に閉じ込めつつ伝播させる機能を備えている。上記光導波路26b内の多層膜内には、pn接合により構成された活性層26c、キャップ層などが含まれ、その上には上部電極26eが固着されている。この活性層26cは、半導体基板26aの下面に固着された下面電極26fと上記上部電極26eとの間に電圧が印加され且つ上記pn接合に励起電流が流されることによって電子・正孔対が形成され、その活性層26cを通過する光が誘導放射作用によって増幅されるようになっている。上記活性層26cは、多重量子井戸、歪み超格子、或いは量子ドットから構成されている。多重量子井戸である場合は、たとえば、InP半導体基板26aからエピタキシャル成長させられることにより格子整合されたInGaAs(100の厚み)とInGaAsP(100の厚み)との6対により構成され、その活性層26cの上には、組成(屈折率)が段階的に変化させられたグリーン(GRIN)構造のガイド層(2000)が順次設けられている。この活性層26cのデバイス長(光路長さ)は600 μ mであり、たとえば250mAの電流値によるエネルギー注入によって注入された電子が通過する光子による誘導放射によって価電子帯へ移動させられるときに光エネルギーを放出して通過光を増幅させると考えられている。この250mAの電流値によるエネルギー注入により、たとえば波長1555nmにおいて20dB程度の利得が得られる。 30

前記第1光増幅素子26の1端面には、金属或いは誘電体がスパッタリングされることによって光を反射する処理が施された金属膜或いは誘電体多層膜などの反射手段26dが備えられているため、その1端面とは反対側に位置する他端面を通して光入力或いは光出力が行われるようになっている。したがって、前記第1レーザ光 L_1 および第2レーザ光 L_2 の合波光は、上記他端面を通して第1光増幅素子26内に入力されるとともに、上記反射手段26dに反射された光は再びその他端面を通して出力される。この第1光増幅素子26の活性層26c内では、上記第1レーザ光 L_1 の入射によってその波長 λ_1 を中心とする周囲波長の自然光が発生し、その自然光は第1レーザ光 L_1 の強度変調に反比例して強度が増減する。この状態においてその自然光の波長範囲内にある第2波長 λ_2 の第2レーザ光 L_2 が通過させられると、その第2波長 λ_2 は、その自然光と同様の変化を受けつつ増強させられる。すなわち、第1レーザ光 L_1 の変調と同様ではあるが位相反転させられた変調を受けて増幅させられる。すなわち、第1光増幅素子26は、第2光増幅素子34とともにクロスゲイン変調特性すなわち相互利得変調特性を備えている。 40

第1光サーキュレータ20は、第1光増幅素子26から出力された光を、第3光ファイバ F_3 ではなく、第1波長選択素子28を備えた第4光ファイバ F_4 へ導く。第1波長選択素子28は、前記第1光増幅素子26に接続され、その第1光増幅素子26から出力された光のうちから第2波長 λ_2 である1548nmの光を抽出する。この第1波長選択素子 50

子28は、光フィルタ素子として機能するものであり、たとえば紫外線が局部的に照射されることにより、第4光ファイバF₄の一部が長手方向において屈折率が周期的に変化させられたファイバグレーティングフィルタであって、第2波長 λ_2 を中心波長とし且つ半値幅が1nmの光を選択して透過させるものである。なお、第1波長選択素子28は、屈折率が異なる多数組の層が積層されて成る多層膜フィルタ、フォトニックバンドギャップを有するフォトニッククリスタルのいずれかから構成されてもよい。

第2光カプラ30は、第2光入力手段として機能するものであり、上記第1波長選択素子28により第1光増幅素子26から出力された光のうちから選択された第2波長 λ_2 の光と、たとえば図3の中段の波形に示す第3波長 λ_3 の制御光である第3レーザ光L₃とを重畳(合波)し、第5光ファイバF₅および第2光サーキュレータ32を介して第1光増幅素子26と同様に構成された第2光増幅素子34へ入力させる。この第2光増幅素子34では、変調された第2波長 λ_2 は、その第2波長 λ_2 を中心とする自然光の波長範囲内の第3波長 λ_3 の制御光によってさらに変調を受け、第3波長 λ_3 に関しては、図3の下段に示す波形とされる。第2光サーキュレータ32は、第2光増幅素子34から出力された光を、第5光ファイバF₅へではなく、第2光フィルタ素子36を備えた第6光ファイバF₆へ導く。上記第2光フィルタ素子36は、第2光増幅素子34から出力された光のうちから第3波長 λ_3 の光を選択し、図3の下段に示す出力光L₄として出力する。図3において、中段の波形に示す制御光L₃の実線、1点鎖線、破線は、下段に示す出力光L₄の実線、1点鎖線、破線に対応しており、出力光L₄は制御光L₃に対して約30倍のゲイン(増幅率)を有している。

図4および図5は、上記のようにして構成された光信号増幅3端子装置10の相互利得変調型波長変換作用の特性を示している。図4は、第1入力光である第1レーザ光L₁の信号強度P_{IN}を示す横軸と出力光である第4レーザ光L₄の信号強度P_{OUT}を示す縦軸とからなる二次元座標において、制御光L₃の信号強度P_Cをパラメータとする第4レーザ光L₄の入出力特性図である。図から明らかなように、トランジスタなどのような3端子増幅素子と同様に、出力光である第4レーザ光L₄の信号強度P_{OUT}は、制御光L₃の信号強度P_Cの変化に応答し、且つその変化が増幅されて変調させられるとともに、第1入力光である第1レーザ光L₁の信号強度P_{IN}の変化に応答し、且つその変化が増幅されて変調させられる。また、図5は、第1入力光である第1レーザ光L₁の周波数を示す横軸と出力光である第4レーザ光L₄の信号変調度H(%)を示す縦軸とからなる二次元座標において、その第4レーザ光L₄の周波数特性を示している。図5によれば、5GHzまでは信号変調度Hの低下が見られなかった。上記信号変調度Hはたとえば次式(1)により表される。但し、I_{max}は光信号の最大値、I_{min}は光信号の最小値である。なお、前記活性層26cに量子ドットが用いられる場合には、100GHz以上の範囲において信号変調度Hの低下が見られない。

$$H = 100 \times (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min}) \cdots (1)$$

なお、本発明者の実験によれば、上記制御光L₃を第3波長 λ_3 から第1波長 λ_1 へ変更することにより、第1波長 λ_1 の出力光L₄が得られるとともに、上記と同様の光信号増幅効果結果が得られた。また、上記においては、第2レーザ光L₂の第2波長 λ_2 は第1レーザ光L₁よりも短波長であったが、その第2レーザ光L₂の第2波長 λ_2 を第1レーザ光L₁よりも長波長としても上記と同様の光信号増幅効果結果が得られただけでなく、たとえば図3の下段の波形の最低値が零に近づくというような、出力光L₄の基線が第1レーザ光L₁と同様に零に近接するという更なる効果が認められた。また、第1波長 λ_1 の第1入力光L₁を第2波長 λ_2 の第2レーザ光L₂と同様に連続光(バイアス光)として、第3波長 λ_3 の第3入力光L₃に信号変調をかけると、第3波長 λ_3 の出力光L₄は、その第3入力光L₃の信号が10以上の増幅率で増幅されたものとして出力された。

図6(a)は、上記光信号増幅3端子装置10が適用された2つの光NANDゲート40から構成されたフリップフロップ回路42を示し、図6(b)は2つの光NORゲート44から構成されたフリップフロップ回路46を示している。電子回路におけるNANDゲートおよびNORゲートはよく知られているように複数のトランジスタから構成されて

おり、そのトランジスタに替えて上記光信号増幅3端子装置10が光回路中に設けられることにより光NANDゲート40およびNORゲート44が構成され、それら1対の光NANDゲート40および1対の光NORゲート44からフリップフロップ回路42および46が構成される。このフリップフロップ回路42および46によれば、光により情報が記憶される。

図7は、前記光信号増幅3端子装置10が適用された光演算増幅器(光オペレーショナルアンプ)48を示している。電子回路における演算増幅器はよく知られているように複数のトランジスタから構成されており、そのトランジスタに替えて上記光信号増幅3端子装置10が光回路中に設けられることにより、光演算増幅器48が構成される。

以上のように構成された図1の光信号増幅3端子装置10においては、第1波長 λ_1 の第1入力光 L_1 と第2波長 λ_2 の第2入力光 L_2 とが入力された第1光増幅素子26からの光から選択された第2波長 λ_2 の光と、第3波長 λ_3 の第3入力光(制御光) L_3 とが第2光増幅素子34へ入力させられるとき、その第2光増幅素子34から出された光から選択された第3波長 λ_3 の出力光 L_4 は、前記第1波長 λ_1 の第1入力光 L_1 および/または第3波長 λ_3 の第3入力光 L_3 の強度変化に应答して変調された光であって、その第3波長 λ_3 の第3入力光(制御光) L_3 に対する信号増幅率が2以上の大きさの増幅信号となるので、光信号の増幅処理を制御入力光を用いて直接行うことができる光信号増幅3端子装置10を得ることができる。

また、本実施例の光信号増幅3端子装置10によれば、前記第1波長 λ_1 の第1入力光 L_1 は変調光であり、前記第2波長 λ_2 の第2入力光 L_2 は連続光であり、前記第3波長 λ_3 の第3入力光 L_3 は制御光であり、前記第3波長 λ_3 の出力光 L_4 は、その制御光 L_3 の入力区間においてその第1入力光 L_1 の変調信号が増幅された信号波形を備えたものであることから、第3波長 λ_3 の出力光 L_4 は、制御光 L_3 の入力区間において第1波長 λ_1 の第1入力光 L_1 の強度変化に应答して変調された増幅光となるので、増幅された光信号のスイッチング処理を制御入力光を用いて直接行うことができる光信号増幅3端子装置10を得ることができる。

また、本実施例では、前記第1波長 λ_1 と第3波長 λ_3 とは、同じ波長とすることもできるので、光信号増幅3端子装置10の信号入力光としての第1入力光 L_1 及び第3入力光 L_3 と、出力光 L_4 とが同じ波長となるので、共通の波長で複数の光信号増幅3端子装置10を接続することが可能となり、複数個の光信号増幅3端子装置10を用いて集積度の高い光回路を構成することができる。

また、本実施例では、前記第2波長 λ_2 は、前記第1波長 λ_1 よりも長波長とすることができるので、このような場合には、変調された第1入力光 L_1 の増幅光である出力光 L_3 が示す波形が、その第1入力光の波形の基線と同様に零レベルに近い基線となる利点がある。すなわち、変調度を大きくする利点がある。

また、本実施例では、第3波長 λ_3 の出力光 L_4 の第3波長 λ_3 の制御光 L_3 に対する信号増幅率は、10以上の値であるので、光信号増幅3端子装置の増幅機能が一層高められ、その応用範囲が拡大される。

また、本実施例では、第1光増幅素子26および第2光増幅素子34は、pn接合から構成される活性層26cを備えた半導体光増幅素子であることから、信号増幅率および応答速度が一層高められた光信号増幅3端子装置10が得られる。

また、本実施例では、第1光増幅素子26および第2光増幅素子34の活性層26cは、量子井戸または量子ドットから構成されたものであることから、一層高い信号増幅率および速い応答速度を備えた光信号増幅3端子装置10が得られる。特に量子ドットを用いた場合には100GHz以上の応答速度が得られる。また、活性層として歪み超格子を用いると偏波依存性が小さくなる。

また、本実施例では、第1光増幅素子26および第2光増幅素子34は、活性層26cを通過した光を反射するために金属蒸着などにより形成されたミラーなどの反射手段26dをその一端面に備え、他端面を通して入力光が入力され且つ出力光が取り出されるものであることから、1端面に備えられたミラーなどの反射手段26dによって活性層26c

における通過パスが実質的に長くされるので、信号増幅率が一層高められる。また、フィードバック効果によって一層変調度が高められる。

また、本実施例では、第1光増幅素子26および第2光増幅素子34の他端面を通してその中に入力光を入力させ、その他端面を通して出力される光をその入力光とは異なる光路へ導く光サーキュレータ20および32が設けられていることから、第1光増幅素子26および第2光増幅素子34の他端面から出た光はその他端面へ入力させる光を導く導波路に入ることがなく、専ら他の出力用導波路に導かれる。

また、本実施例では、第1波長選択素子28および/または第2波長選択素子36は、導波路または光ファイバ内の光伝播方向において屈折率が周期的に変化させられたグレーティングフィルタ、屈折率が異なる多数組の層が積層されて成る多層膜フィルタ、フォトリソニックバンドギャップを有するフォトリソニッククリスタルのいずれかから構成されたものであることから、第1光増幅素子26或いは第2光増幅素子34からの光から第2波長 λ_2 或いは第3波長 λ_3 が好適に抽出される。

また、前述の光信号増幅3端子装置10は、光NANDゲート40、その一对の光NANDゲート40から成る光フリップフロップ回路42、または光演算増幅器46を構成することができ、光集積回路の機能を高めることができる。

また、本実施例の第1光増幅素子26において、第2波長 λ_2 は第1波長 λ_1 の第1入力光 L_1 の周囲光の波長域内の波長であり、第2光増幅素子34において、第3波長 λ_3 は、第2波長 λ_2 の入力光の波長域内の波長であるので、第1光増幅素子26或いは第2増幅素子34からの出力光に含まれる第2波長 λ_2 或いは第3波長 λ_3 の信号が好適に増幅される。

また、第1光増幅素子26の一端面に設けられた反射手段26が、第1波長 λ_1 の光は透過させるが第2波長 λ_2 の光は反射する波長選択性反射膜から構成されている場合は、第1波長選択素子28が不要となる。第1光増幅素子26と同様に構成されている第2光増幅素子34の反射手段が、第2波長 λ_2 の光は透過させるが第3波長 λ_3 の光は反射する波長選択性反射膜(波長選択性ミラー)から構成されている場合は、第2波長選択素子36が不要となる。上記波長選択性反射膜は、たとえば屈折率が異なる誘電体層が交互に積層された誘電体多層膜から構成される。

次に、他の実施例を説明する。なお、以下の説明において前述の実施例と共通する部分には同一の符号を付して説明を省略する。

図8は、前述の光信号増幅3端子装置10の他の実施例の光信号増幅3端子装置50の構成例の要部を示している。本実施例の波長変換装置50は、第1光入力手段として機能するハーフミラー51および集光レンズ52を通して光信号 L_A が第1光増幅素子26の一方の端面に入力され、その第1光増幅素子26の他方の端面から集光レンズ53を通して出力された光のうち第1波長 λ_1 の光は透過させられるが、バイアス光 L_2 の波長 λ_b の光は第1波長選択素子として機能する波長選択型ミラー54により反射されて第1光増幅素子26に戻される。その第1光増幅素子26の一方の端面から出力された光は上記ハーフミラー51により反射されるとともに第2光入力手段として機能するハーフミラー55により制御光 L_c と合波され、集光レンズ56を通して第2光増幅素子34の一方の端面に入射される。この第2光増幅素子34の他方の端面から集光レンズ57を通して出力された光のうちのバイアス光 L_2 の波長 λ_b の光は透過させられるが、制御光 L_c と同じ波長成分は第2波長選択素子として機能する波長選択型ミラー58により反射されて第2光増幅素子34に戻される。その第2光増幅素子34の一方の端面から出された出力光 L_3 は、前述の光信号増幅3端子装置10と同様のものとなる。このように構成された波長変換装置50によれば、前述の光信号増幅3端子装置10と同様の相互利得変調型の波長変換作用および光増幅作用が得られる。上記波長選択型ミラー58および波長選択型ミラー54は、集光レンズ57および集光レンズ53を通して第2光増幅素子34の端面および第1光増幅素子26の端面と光学的に結合されている。上記集光レンズ52、53、56、57はたとえばマイクロレンズにより構成され、上記光信号 L_A や出力光 L_3 などは光ファイバにより伝送される。なお、ハーフミラー51および55は光カプラ又は光サー

10

20

30

40

50

キュレータにより置き替えられてもよい。

図9は、前記光信号増幅3端子装置10の他の実施例の光信号増幅3端子装置59の構成例の要部を示している。本実施例の光信号増幅3端子装置59は、直列に配設された第1光増幅素子26および第2光増幅素子34と、光信号 L_A およびバイアス光 L_b （波長 λ_b ）を第1光増幅素子26の内側端面に入射させる光カプラ60および61と、第1光増幅素子26の外側端面からの光のうち第1波長 λ_1 の光は透過させるが波長 λ_b の成分を反射して第1光増幅素子26内に戻す波長選択性の反射器62と、その第1光増幅素子26の内側端面から出射した光のうち波長 λ_b の成分を通過させて第2光増幅素子34の内側端面に入射させるフィルタ63と、その第2光増幅素子34の外側端面に制御光 L_c を入射させる光カプラ64と、その第2光増幅素子34の外側端面から出射した光のうち制御光 L_c と同じ波長成分の光を透過させ、出力光 L_3 として出力させるフィルタ65とを備えている。上記光カプラ60および61は第1光入力手段として機能し、上記光カプラ64が第2光入力手段として機能し、上記反射器62およびフィルタ65は第1波長選択素子および第2波長選択素子として機能している。このように構成された波長変換装置59によれば、前述の光信号増幅3端子装置10と同様の相互利得変調型の波長変換作用および光増幅作用が得られる。上記制御光 L_c の波長 λ_c の光信号はフィルタ63で反射され且つフィルタ65を透過して出力される。波長 λ_b の光成分はフィルタ65を透過しない。上記光カプラ60および61は、1個の光カプラから構成されてもよい。

10

図10は上記光信号増幅3端子装置59を、図2に示すモノリシック構造の第1光増幅素子26と同様のモノリシック構造すなわち1チップ構造で半導体基板26aの上に構成した例を示している。本実施例のモノリシック構造の光信号増幅3端子装置59では、第1光増幅素子26の外側位置、第1光増幅素子26と第2光増幅素子34との間の位置、第2光増幅素子34の外側位置には、屈折率が周期的に変化させられたグレーティングにより構成された反射器62、フィルタ63、フィルタ65が順次設けられている。なお、直線状の光導波路26bから分岐させられている一对の分岐導波路は、前記光カプラ60および61および光カプラ64に対応している。

20

図11は、前述の光信号増幅3端子装置10の他の実施例の光信号増幅3端子装置66の構成例の要部を示している。本実施例の波長変換装置66は、一对の反射型の第1光増幅素子26および第2光増幅素子34と、その一对の反射型の第1光増幅素子26および第2光増幅素子34に接続された第2端子67bおよび第3端子67cを含む4端子を備え、その4端子間において光を伝送するが所定の端子からの出射光とその端子への入射光とが異なる光路とする4端子型光サーキュレータ67と、光信号 L_A およびバイアス光 L_b （波長 λ_b ）を合波して4端子型光サーキュレータ67の第1端子（第1ポート）67aに入射させる光カプラ68と、反射型第1光増幅素子36から4端子型光サーキュレータ67の第2ポート67bに向かう波長 λ_b の光に制御光 L_c を合波して第2光増幅素子34に入射させる光カプラ69とを備え、4端子型光サーキュレータ67の第4ポート67dから制御光 L_c と同じ波長成分の光を透過させる。上記第1光増幅素子26の反射面には、第1波長 λ_1 の光は透過させるが第2波長 λ_b の光を選択的に反射する反射膜26dが設けられており、上記第2光増幅素子34の端面には、第2波長 λ_b の光は透過させるが制御光 L_c と同じ波長 λ_c 成分の光を反射する反射膜34dが設けられている。このように構成された光信号増幅3端子装置66によれば、前述の光信号増幅3端子装置10と同様の相互利得変調型の波長変換作用および光増幅作用が得られるとともに、4端子型光サーキュレータ67を通されるために出力光 L_3 の変調度が高められる。本実施例の光信号増幅3端子装置66は図1の光信号増幅3端子装置10に比較して構成が簡単となる利点がある。なお、上記光カプラ69は、4端子型光サーキュレータ67の第3ポート67cから第2光増幅素子34に向かう波長 λ_b の光に制御光 L_c を合波して第2光増幅素子34に入射させるものであってもよい。本実施例では、光カプラ68および光カプラ69が第1光入力手段および第2光入力手段として機能し、反射膜26dおよび34dが第1波長選択素子および第2波長選択素子として機能している。

30

40

図12は、上記光信号増幅3端子装置66がモノリシック構造とされた場合の例が示さ

50

れている。このモノリシック構造の光信号増幅3端子装置66も、前述の図6、図10に示すものと同様に、半導体基板26aの上に形成された光導波路26bを備えている。この光導波路26bは、4端子型光サーキュレータ67と同様の機能を出すためのZ字状の部分と、光カプラ68および69としての機能を出すためにその一部から分岐させられた分岐導波路とが設けられている。上記光導波路26bのZ字状の部分のうちの屈折点には、一对の反射型第1光増幅素子26および第2光増幅素子34が前述の図2、図10に示すものと同様に構成されている。なお、反射膜26dおよび34dは、それら反射型第1光増幅素子26および第2光増幅素子34の外端面に設けられている。

図13は、前述の光信号増幅3端子装置10の他の実施例の光信号増幅3端子装置70の構成例の要部を示している。本実施例の光信号増幅3端子装置70は、たとえばGaAs等の矩形半導体基板71上に成長させられたたとえばGaInNAsなどのpn接合層(活性層)を有する混晶半導体層がホトリソグラフィによりV字状に形成された第1光導波路72および第2光導波路73と、それら第1光導波路72および第2光導波路73に図示しない電極が設けられることによって設けられた第1光増幅素子26、第2光増幅素子34と、上記矩形半導体基板71の一端面であって上記第1光導波路72および第2光導波路73の交差部に設けられ、バイアス光 L_b の第2波長 λ_b の光および制御光 L_c は第2光導波路73へ向かって反射するが光信号 L_a 第1波長 λ_1 の光を選択的に透過させる波長選択性反射膜74と、矩形半導体基板71の一端面であって上記第2光導波路73の出力側に設けられ、第2波長 λ_b の光は反射するが制御光 L_c と同じ波長成分の光を透過させる波長選択性反射膜75とを備えている。光信号 L_a とバイアス光 L_b は光カプラ76によって合波されてから光導波路72の端面に入射され、制御光 L_c は、上記波長選択性反射膜75の外側に設けられた光カプラ77から第2光導波路156内に入射されるようになってい

このように構成された光信号増幅3端子装置70によれば、前述の光信号増幅3端子装置10と同様の相互利得変調型の波長変換作用および光増幅作用が得られる。また、本実施例の光信号増幅3端子装置70は、たとえばGaAs等の矩形半導体基板上に成長させられたGaInNAsなどのIII-V族混結晶半導体層から成るpn接合層(活性層)を有する混晶半導体層がホトリソグラフィによって処理され且つ電極が付与されることによって1チップ化されるので、極小のサイズに構成される利点がある。本実施例では、上記光カプラ76および77が第1および第2光入力手段として機能し、上記波長選択性反射膜74および波長選択性反射膜75が第1波長選択素子および第2波長選択素子として機能している。

図14は、前述の光信号増幅3端子装置10の他の実施例の光信号増幅3端子装置78の構成例の要部を示している。本実施例の光信号増幅3端子装置78は、合波素子として用いられる光カプラ79、光分波素子として用いられる光カプラ80、および集光レンズ52を通して光信号 L_a が第1光増幅素子26の一方の端面に入力され、その第1光増幅素子26の他方の端面から集光レンズ53を通して出力された光のうち上記光信号 L_a の波長 λ_1 は波長選択性フィルタ81により透過させられない(吸収される)がバイアス光の波長 λ_b の光はそのフィルタ81を透過し且つ全反射型ミラー82により反射されて第1光増幅素子26に戻される。その第1光増幅素子26の一方の端面から出力された光は上記光カプラ80から他の光カプラ83へ伝送され、そこで制御光 L_c と合波される。次いで、光カプラ84および集光レンズ56を通して第2光増幅素子34の一方の端面に入射される。この第2光増幅素子34の他方の端面から集光レンズ57を通して出力された光のうちバイアス光の波長 λ_b の光は波長選択性フィルタ85により透過させられない(吸収される)が制御光 L_c と同じ波長 λ_c の成分はその波長選択性フィルタ85を透過し且つ全反射型ミラー86により反射されて第2光増幅素子34に戻される。その第2光増幅素子34の一方の端面から出された出力光 L_3 は、光カプラ84によって外部たとえば後述の光分配装置150へ出力される。このように構成された光信号増幅3端子装置78によれば、前述の光信号増幅3端子装置10と同様の相互利得変調型の波長変換作用および光増幅作用が得られるだけでなく、光信号 L_a の波長 λ_1 は波長選択性フィルタ81により吸収されて透過させられないことにより第1光増幅素子26側へ戻される割合が極め

て少なくなり、特性が一層改善される利点がある。本実施例では、光カプラ79および光カプラ84が第1光入力手段および第2光入力手段として機能し、上記波長選択性フィルタ81および波長選択性フィルタ85が第1波長選択素子および第2波長選択素子として機能している。

図15は、前述の光信号増幅3端子装置10の他の実施例であって、1チップに複数個（本実施例では2個）の光信号増幅3端子装置88が集積化されたモノリシック構造の構成例の要部を示している。本実施例の複数組の光信号増幅3端子装置88は、たとえばGaAs等の矩形半導体基板89上に成長させられたたとえばGaInNAsなどのpn接合層（活性層）を有する混晶半導体層がホトリソグラフィにより一方の端面から他方の端面にわたって直線状に形成され、互いに隣接する1対でV字状を成す第1光導波路90、第2光導波路91、および第3光導波路92と、それら第1光導波路90、第2光導波路91、および第3光導波路92に図示しない電極が設けられることによって設けられた第1光増幅素子26、第2光増幅素子34、および第3光増幅素子93と、上記矩形半導体基板89の一端面であって上記第1光導波路90および第2光導波路91の交差部と上記第3光導波路92の出力側端面とにわたって設けられ、バイアス光 L_b の第2波長 λ_b の光および制御光 L_c は第2光導波路91へ向かって反射するが光信号 L_a の第1波長 λ_a の光および制御光 L_c を選択的に透過させる波長選択性反射膜（波長選択性ミラー）94と、矩形半導体基板89の一端面であって上記第2光導波路91の出力側端面に設けられ、第2波長 λ_b の光は透過するが制御光 L_c と同じ波長成分の光を第3光導波路92へ向かって反射する波長選択性反射膜（波長選択性ミラー）95とを、それぞれ備えている。光信号 L_a とバイアス光 L_b は光カプラ96によって合波されてから第1光導波路90の入力側の端面に入射され、制御光 L_c は、上記波長選択性反射膜94の外側から第2光導波路91内に入射されるようになっている。このように構成された光信号増幅3端子装置88によれば、前述の光信号増幅3端子装置10と同様の相互利得変調型の波長変換作用および光増幅作用が得られる。本実施例の光信号増幅3端子装置88は、たとえばGaAs等の矩形半導体基板上に成長させられたGaInNAsなどのIII-V族混結晶半導体層から成るpn接合層（活性層）を有する混晶半導体層がホトリソグラフィによって処理され且つ電極が付与されることによって1チップ化されるので、たとえば1.3 μ m波長帯の光信号の信号処理が可能な光信号増幅3端子装置10が極小のサイズに構成される利点がある。また、本実施例によれば、サーキュレータが不要となるとともに、3つの光増幅素子26、34、93により高出力が得られる。本実施例では、光カプラ96が第1光入力手段として機能し、波長選択性反射膜94が第2光入力手段および第1波長選択素子として機能し、波長選択性反射膜95が第2波長選択素子として機能している。

図16乃至図33は、光信号転送方法、その光信号転送方法を好適に実施するための光信号ルータすなわち光信号中継（転送）装置に関連する実施例を示すものであって、これらによれば、所定の伝送路を介して伝送された一連の光信号を、複数の伝送路のうちのその光信号に含まれる行先情報に対応する伝送路へ転送することにより、高度情報処理のための光通信が可能とされる。

図16は、一方の光ネットワークにおける複数本の伝送路である入力光ファイバ F_{A1} 乃至 F_{AM} と他方の光ネットワークにおける複数本の伝送路である出力光ファイバ F_{B1} 乃至 F_{BM} との間に配設されて、入力光ファイバ F_{A1} 乃至 F_{AM} のいずれかを介して伝送された波長多重の光信号（レーザ光） L_{A1} 乃至 L_{AM} を、その光信号に振幅変調により付与されている行先情報に基づいて決定された出力光ファイバ F_{B1} 乃至 F_{BM} のいずれか内の波長パスの1つへ転送するための光信号中継（転送）装置110を概略示す図である。この光信号中継装置110は光信号ルータとも称される。

図16において、上記入力光ファイバ F_{A1} 乃至 F_{AM} のいずれかにより伝送される光信号 L_{A1} 乃至 L_{AM} はそれぞれ波長分割多重（WDM）信号であり、予め設定された複数種類の波長の光信号が重畳されている。したがって、たとえば光信号 L_{A1} に含まれる所定波長の一連の波長 λ_1 の光信号 L_{A11} は、たとえばそのラベル部或いはタグ部において振幅変調が付与されることにより設けられた行先情報に従って、出力光ファイバ F_B

1 乃至 $F_{B M}$ のいずれか 1 つの光ファイバ F_B 内のいずれかの波長バスへ、すなわち予め設定された複数種類すなわち N 種類の波長 1 乃至 N のいずれかの波長で転送される。出力光ファイバ $F_{B 1}$ 乃至 $F_{B M}$ により、波長多重の光信号（レーザ光） $L_{B 1}$ 乃至 $L_{B M}$ がそれぞれ伝送される。

上記光信号中継装置 110 は、所定数すなわち M 本の入力光ファイバ $F_{A 1}$ 乃至 $F_{A M}$ から伝送された波長多重の光信号 $L_{A 1}$ 乃至 $L_{A M}$ を N 種類の波長 1 乃至 N 毎の一連の光信号（パケット）を波長毎の信号にそれぞれ分離、たとえば光信号 $L_{A 1}$ についてはそれを $L_{A 1 1}$ 乃至 $L_{A 1 N}$ にそれぞれ分離する M 個の光分波器（AWG: Arrayed Waveguide Grating） S_1 乃至 S_M と、波長 1 乃至 N 毎の一連の光信号（パケット） $L_{A 1 1}$ 乃至 $L_{A 1 N}$ をそれらに振幅変調により付与されている行先情報に従って波長変換するとともに従来の行先情報或いは新たな行先情報を振幅変調により付与する互いに同様に構成された M 個の第 1 中継器 R_1 乃至第 M 中継器 R_M と、それら第 1 中継器 R_1 乃至第 M 中継器 R_M から出力される光信号を合波して出力光ファイバ $F_{B 1}$ 乃至 $F_{B M}$ へ導くための M 個の合波器（AWG） T_1 乃至 T_M とを備えている。

図 17 は、上記互いに同様に構成された第 1 中継器 R_1 乃至第 M 中継器 R_M の構成を説明するために、たとえば入力光ファイバ $F_{A 1}$ と出力光ファイバ $F_{B 1}$ との間に対応する位置に設けられた第 1 中継器 R_1 を代表させてその構成を説明する図である。図 17 において、第 1 中継器 R_1 には、入力光ファイバ $F_{A 1}$ から伝送された波長多重の光信号 $L_{A 1}$ から光分波器 S_1 によって N 種類の波長 1 乃至 N 毎に分離されたの一連の光信号（パケット） $L_{A 1 1}$ 乃至 $L_{A 1 N}$ が光ファイバ $F_{A 1 1}$ 乃至 $F_{A 1 N}$ を介して入力されると、その光信号 $L_{A 1 1}$ 乃至 $L_{A 1 N}$ のラベル部或いはタグ部において振幅変調が付与されることにより設けられている行先情報に従って波長変換し且つそれまでと同じ行先情報か或いは新たな行先情報を示す振幅変調を施して出力する N 個の互いに同様に構成された第 1 中継器本体部 $R_{B 1 1}$ 乃至 $R_{B 1 N}$ が設けられている。第 1 中継器本体部 $R_{B 1 1}$ ・ ・ ・ 第 M 中継器本体部 $R_{B 1 N}$ からそれぞれ出力された N 種類の波長 1 乃至 N のいずれかの波長の出力信号は、その波長および行先情報に従って分岐された光信号を伝送するための $N \times M$ 本のクロスコネクタファイバ $F_{1 1 1}$ 乃至 $F_{1 N M}$ ・ ・ ・ $N \times M$ 本のクロスコネクタファイバ $F_{N 1 1}$ 乃至 $F_{N N M}$ をそれぞれ介して合波器 T_1 乃至 T_M と接続されている。これにより、第 1 中継器本体部 $R_{B 1 1}$ ・ ・ ・ 第 M 中継器本体部 $R_{B 1 N}$ の出力信号は、合波器 T_1 乃至 T_M を介して出力光ファイバ $F_{B 1}$ 乃至 $F_{B M}$ のうちの所望の出力光ファイバへ所望の波長で伝送されるようになっている。他の中継器 R_M を構成する中継器本体部 $R_{B M 1}$ 乃至 $R_{B M N}$ も、同様に、 $N \times M$ 本のクロスコネクタファイバ $F_{1 1 1}$ 乃至 $F_{1 N M}$ ・ ・ ・ $N \times M$ 本のクロスコネクタファイバ $F_{N 1 1}$ 乃至 $F_{N N M}$ をそれぞれ介して合波器 T_1 乃至 T_M と接続されている。なお、図 17 に示すように、同じ波長たとえば波長 1 の信号を伝送するクロスコネクタファイバ $F_{1 1 1}$ 、 $F_{2 1 1}$ 、 \dots 、 $F_{N 1 1}$ の出力端が結合され、ファイバ $F_{B 1 1}$ を介して合波器 T_1 に入力されている。波長 N の信号を伝送するクロスコネクタファイバ $F_{1 N 1}$ 、 $F_{2 N 1}$ 、 \dots 、 $F_{N N 1}$ の出力端が結合され、ファイバ $F_{B N 1}$ を介して合波器 T_1 に入力されている。

上記光分波器 S_1 は、たとえば、回折格子やプリズムなどの角度分散素子、誘電体多層膜の干渉フィルタなどの波長選択性反射/透過膜、或いは光導波路形分波回路などを利用して構成される光分波回路としてよく知られたものである。また、上記合波器 T_1 は、たとえば、マイクロレンズを主要な構成要素とする光方向性結合回路、複数本の並列配置された光ファイバの一部が局部的に結合された分布結合形光多重カプラ、四角管の内壁における多重反射或いは平板内における混合を利用した集中結合形光多重カプラなどから構成される。

また、上記第 1 中継器本体部 $R_{B 1 1}$ は、たとえば図 18 に示すように構成される。図 18 において、光分波器 S_1 から光ファイバ $F_{A 1 1}$ を介して入力された光信号 $L_{A 1 1}$ は、光分波合波器として機能する第 1 光カプラ 114、光遅延素子 116、および相互利得変調型の波長変換装置（光スイッチング装置、光信号増幅 3 端子装置本体）118 が順次接続されている。上記第 1 光カプラ 114 は、光ファイバを主体とした分岐回路、マイ

10

20

30

40

50

クレンズを主体とした分岐回路などから構成される。光ファイバを主体とした分岐回路では、たとえば一对の光ファイバの所定区間を相互に密着して並行した状態で或いは螺旋状に相互にひねった状態で相互に密着させたり、透過および反射可能な反射膜を光ファイバの分岐点に設けたりすることにより構成される。マイクロレンズを主体とした分岐回路では、たとえば集束性ロッドレンズで平行ビーム化された光をくさび型屈折面或いは反射面を用いて分岐させるように構成される。この第1光カプラ114は、双方向性すなわち可逆性を備えているので、反対向きに光信号が伝播させられるときには、光信号を合波して第1光ファイバ112内を反対向きに伝送させる合波器として機能する。

また、光遅延素子116は、上記光ファイバ F_{A11} 内を伝送される光信号を所定時間だけ遅延させるためのものであり、たとえば所定の長さの光ファイバを巻回して伝播距離を設けることよりその所定の伝播距離を伝播する伝播時間だけ遅延させるように構成される。この光遅延素子116の遅延時間は、波長変換装置118内において、そこで波長変換される光信号とその光信号の伝送先を示す制御光とが同期するように予め実験的に求められる。

上記第1光カプラ114により光ファイバ F_{A11} 内の光信号から分岐された分岐光信号は、光ファイバ120とこれに接続された光電信号変換器122とを介して電子制御装置124へ供給される。電子制御装置124は、たとえばCPUがRAMの一時記憶機能を利用しつつROMに予め記憶されたプログラムに従って入力信号を処理する所謂マイクロコンピュータにより構成される。この電子制御装置124は、光ファイバ120を介して伝送された光信号に含まれている振幅変調で示されるコード信号すなわち行先情報に基づいて、その光信号をルーティングするためにその行先情報に対応する波長指令信号を制御光発生装置126へ供給する。たとえば、電子制御装置124は、光ファイバ120から入力される光信号 L_{A11} に含まれる振幅変調信号のみを抽出し、制御光発生装置126からその振幅変調で示される行先情報に対応する波長に応じた制御光 L_C を発生させるものであることから、アドレス信号以外の信号に対応する電磁波が信号処理によって発生しない。

上記制御光発生装置126は、予め設定された複数種類の波長 c の制御光 L_C を出力する制御光源を有し、前記電子制御装置124からの指令信号、すなわち光信号 L_1 に含まれる分岐情報に応じて選択された波長指令信号に従って、その分岐情報に対応する波長 c を有する制御光 L_C を前記波長変換装置118に対して供給する。制御光発生装置126は、転送先の出力光ファイバ F_{B1} 乃至 F_{Bn} 内の波長バスの本数に対応する複数種類たとえばN種類の波長 c_1 、 c_2 、 c_3 、 \dots 、 c_n の制御光 L_C を択一的或いは選択的に発生させる。図19、図20、図21は、その制御光発生装置126の構成例をそれぞれ示している。

図19において、制御光発生装置126は、制御光源に対応する相互に波長が異なる単一波長の光を出力する複数のレーザ光源126 L_1 乃至126 L_n と、それらレーザ光源126 L_1 乃至126 L_n の出力側にそれぞれ設けられてそれらから出される出力光をそれぞれスイッチングするための複数(N個)の光変調器126 M_1 乃至126 M_n と、それら光変調器126 M_1 乃至126 M_n を通過した光を合波し、制御光として出力する単一の光合波器126 S とから構成され、電子制御装置124からの分岐指令信号に従ってレーザ光源126 L_1 乃至126 L_n および光変調器126 M_1 乃至126 M_n が作動させられることにより、光信号 L_{A11} に含まれる振幅変調信号が示す行先情報(分岐情報)に応じて選択された波長 c の制御光 L_C を出力する。上記複数のレーザ光源126 L_1 乃至126 L_n としては、たとえば半導体レーザダイオードが用いられる。図20において、制御光発生装置126は、制御光源に対応する相互に波長が異なる単一波長の光を出力する複数のレーザ光源126 L_1 乃至126 L_n とそれらレーザ光源126 L_1 乃至126 L_n から出力された光を1つの導波路に合波する単一の光合波器126 S と、その光合波器126 S の出力側に設けられてそれから出される出力光をスイッチングしてブランキング区間を遮断する単一の光変調器126 M とから構成され、電子制御装置124からの分岐指令信号に従ってレーザ光源126 L_1 乃至126 L_n および光変調器126 M

10

20

30

40

50

が作動させられることにより、光信号 L_{A11} に含まれる分岐情報に応じて選択された波長 λ_c の制御光 L_c を出力する。図 21 において、制御光発生装置 126 は、出力光の波長を変更することが可能な波長可変レーザ光源 126_{L_v} と、その波長可変レーザ光源 126_{L_v} の出力側に設けられてそれから出される出力光をスイッチングしてプランキング区間を遮断する単一の光変調器 126_M とから構成され、電子制御装置 124 からの分岐指令信号に従って波長可変レーザ光源 126_{L_v} および光変調器 126_M が作動させられることにより、光信号 L_1 に含まれる分岐情報に応じて選択された波長 λ_c の制御光 L_c を出力する。上記波長可変レーザ光源 126_{L_v} は、たとえば分布ブラッグ反射型レーザ、マイクロマシン面発光レーザ、温度同調 DFB レーザなどが用いられる。分布ブラッグ反射型レーザでは、その光共振器を構成する一对のミラーのうち的一方を構成する DBR 層（ブラッグ反射層）に電流を注入し、プラズマ効果によってその部分の屈折率を変化させることにより光共振波長が可変とされる。マイクロマシン面発光レーザでは、マイクロマシンによって光共振器長が変化されることにより光共振波長が可変とされる。温度同調 DFB レーザでは、温度による屈折率変化により光共振波長が可変とされる。なお、上記光変調器 126_{M1} 乃至 126_{Mn}、126_M は、たとえば駆動電流または駆動電圧が p n 接合部に加えられることによって透過光をオンオフさせる半導体型光変調器や、ニオブ酸リチウムなど単結晶のような電気光学効果を有する物質に外部から駆動電圧を印加することにより透過光をオンオフさせる外部変調型光変調器などから構成される。

上記図 18 の前記光波長変換装置 118 は、第 2 波長選択素子としても機能する光分配装置 150 と共に光信号増幅 3 端子装置 128 を構成するものであり、基本的には図 1、図 8 乃至図 15 に示す光信号増幅 3 端子装置 10、50、59、66、70、78、88 のいずれかと同様に構成される。本実施例の光波長変換装置 118 は、たとえば図 22 に示されるように、第 1 光ファイバ 112 を介して入力された光をクロスゲイン変調特性を利用して増幅および波長変換して出力する複数個の光増幅素子に対応する一对の第 1 光増幅素子 136 および第 2 光増幅素子 144 を直列に備え、上記第 1 光ファイバ 112 を介して入力された光信号を増幅するとともに、その光信号に含まれる分岐情報に対応する制御光 L_c の入力に同期してその制御光 L_c と同じ波長の光 L_3 を出力するように構成されている。すなわち、図 22 において、レーザ光源 130 は、たとえば単一波長の半導体レーザから構成され、光信号 L_1 （第 1 入力光）の波長 λ_1 たとえば 1555 nm よりも長い波長 λ_2 たとえば 1565 nm のレーザ光（第 2 入力光） L_2 を一定の強度で連続的に出力する。第 3 光カプラ 132 は、第 1 光入力手段として機能するものであり、振幅変調されて第 1 光ファイバ 112 内を伝送された上記光信号 L_1 と連続光である上記レーザ光 L_2 とを重畳（合波）し、第 1 光サーキュレータ 34 を介して第 1 光増幅素子 136 へ入力させる。

上記第 1 光増幅素子 136 および第 2 光増幅素子 144 も、図 2 に示す第 1 光増幅素子 26 と同様に、半導体光増幅素子（SOA）から構成される。上記第 1 光増幅素子 136 は、スパッタリングなどによって光を反射する端面処理が施された鏡などの反射手段 136d をその 1 端面に備えているため、その 1 端面とは反対側に位置する他端面を通して光入力或いは光出力が行われるようになっている。したがって、光信号 L_1 （第 1 入力光）およびそれよりも長い波長 λ_2 のレーザ光（第 2 入力光） L_2 の合波光は、上記他端面を通して第 1 光増幅素子 136 内に入力されるとともに、上記反射手段 136d に反射された光は再びその他端面を通して出力される。この第 1 光増幅素子 136 の活性層内では、図 2 に示す第 1 光増幅素子 26 と同様に、光信号 L_1 の変調と同様ではあるが位相反転させられた変調を受けて増幅され、第 1 光増幅素子 136 から出力される。すなわち、第 1 光増幅素子 136 は、第 2 光増幅素子 144 とともにクロスゲイン変調特性すなわち相互利得変調特性を備えている。

図 22 において、第 1 光サーキュレータ 134 は、上記第 1 光増幅素子 136 から出力された光を、第 3 光カプラ 132 へではなく、第 1 波長選択素子 138 へ導く。第 1 波長選択素子 138 は、前記第 1 光増幅素子 136 から出力された光のうちから第 2 波長 λ_2 である 1565 nm の光を抽出する。この第 1 波長選択素子 138 は、光フィルタ素子と

10

20

30

40

50

して機能するものであり、たとえば紫外線が局部的に照射されることにより、光ファイバの一部が長手方向において屈折率が周期的に変化させられたファイバグレーティングフィルタから構成されるものであって、第2波長 λ_2 を中心波長とし且つ半値幅がたとえば1乃至十数nmの光を選択して透過させるものである。なお、第1波長選択素子138は、屈折率が異なる多数組の層が積層されて成る多層膜フィルタ、フォトニックバンドギャップを有するフォトニッククリスタルのいずれかから構成されてもよい。

第4光カプラ140は、第2光入力手段として機能するものであり、上記第1波長選択素子138により第1光増幅素子136から出力された光のうちから選択された第2波長 λ_2 の光と、第3波長 λ_3 のレーザ光である制御光 L_c とを重畳(合波)し、第2光サーキュレータ142を介して第1光増幅素子136と同様に構成された第2光増幅素子144へ入力させる。第1光増幅素子136において変調された第2波長 λ_2 は、この第2光増幅素子144において、その第2波長 λ_2 を中心とする自然光の波長範囲内の第3波長 λ_3 の制御光 L_c によってさらに変調を受け且つ増幅され、波長 λ_2 の光と制御光 L_c の波長とされた変調光(出力光信号) L_3 との混合光が出力される。第2光サーキュレータ142は、第2光増幅素子144から出力された上記混合光(波長 λ_2 の光および変調光 L_3)を、第4光カプラ140へではなく、光分配装置150へ出力させる。

上記第2光増幅素子144から出力された光に含まれる変調光 L_3 は、制御光 L_c の波長と同じ第3波長 λ_3 の光であるので、制御光 L_c の波長がたとえば c_1 、 c_2 、 c_3 、 \dots 、 c_N に変化させられると、第2光増幅素子144からの光 L_3 の波長もたとえば c_1 、 c_2 、 c_3 、 \dots 、 c_N に変化させられる。図23は、実験的に、上記光信号 L_1 (第1入力光)をその上段に示す波形とし、制御光 L_c をその中段に示す波形としてそれぞれ入力させたときの光分配装置150の出力光 L_4 の波形を示している。制御光 L_c の強度変化は、下段に示す光分配装置150の出力光 L_4 の振幅変調に対応しており、その光分配装置150の出力光 L_4 は制御光 L_c に対して約2倍乃至30倍のゲイン(増幅率)を有する。また、出力光 L_4 の位相は上記光信号 L_1 (第1入力光)と同じであり、位相反転されていない。

図24は、上記のようにして構成されることにより光信号増幅3端子装置128として機能する波長変換装置118および光分配装置150において、第1光増幅素子136の活性層が量子ドットから構成された場合の特性を示している。図24において、第1入力光である信号光 L_{A11} の周波数を示す横軸と出力光である出力光 L_4 の信号変調度 H (%)を示す縦軸とからなる二次元座標において、その出力光 L_4 の周波数特性が示されている。この図24によれば、100GHz程度までは信号変調度 H の低下がそれ程見られなかった。上記信号変調度 H はたとえば前式(1)により表される。

図18に戻って、上記波長変換装置118からの光のうちの変調光 L_3 は、その波長すなわち制御光 L_c の波長 c (= c_1 、 c_2 、 \dots 、 c_n)毎に光分配装置150によって複数の導波路に対応するように予め定められたクロスコネクトファイバ F_{111} 乃至 F_{11M} 、 F_{121} 乃至 F_{12M} 、 \dots 、 F_{1N1} 乃至 F_{1NM} へそれぞれ選択的に分配される。また、波長変換装置118からの光のうちそれらの波長 c と異なる波長 λ_2 の光は分岐光ファイバ F_{B0} に分配される。この分岐光ファイバ F_{B0} の終端は後段に連結されておらず閉じられているので、波長 λ_2 の光の伝播がここで阻止される。このように、光分配装置150は、第2光増幅素子144からの光から第3波長 c の出力光を選択する第2波長選択素子としても機能しているのである。

上記光分配装置150において、たとえば、変調光 L_3 が制御光 L_c の波長 c のうちの1つである単色光である場合にはクロスコネクトファイバ F_{111} 乃至 F_{11M} 、 F_{121} 乃至 F_{12M} 、 \dots 、 F_{1N1} 乃至 F_{1NM} のうちの1つの群へ択一的に分配されるが、2種類の混合色である場合にはクロスコネクトファイバ F_{111} 乃至 F_{11M} 、 F_{121} 乃至 F_{12M} 、 \dots 、 F_{1N1} 乃至 F_{1NM} のうちのいずれか2つの群へ分配される。上記光分配装置150は、たとえば図25に示すように、入力ポート150aに接続された第1スラブ導波路150bと、複数の出力ポート150cに接続された第2スラブ導波路150dと、それら第1スラブ導波路150bおよび第2スラブ導波路150dの間

10

20

30

40

50

に設けられた長さの異なる複数のアレー導波路 150 e と、複数の出力ポート 150 c にそれぞれ接続されたクロスコネクファイバ F_{111} 乃至 F_{11M} 、 F_{121} 乃至 F_{12M} 、 \dots F_{1N1} 乃至 F_{1NM} とを備え、その入力ポート 150 a に入力された波長変換装置 118 からの変調 L_3 (入力光) をその波長毎に複数の出力ポート 150 c のいずれかすなわちクロスコネクファイバ F_{111} 乃至 F_{11M} 、 F_{121} 乃至 F_{12M} 、 \dots F_{1N1} 乃至 F_{1NM} のいずれかへ分配するアレー導波路格子型光分波器から構成されている。なお、上記光分配装置 150 には、クロスコネクファイバ F_{111} 乃至 F_{11M} 、 F_{121} 乃至 F_{12M} 、 \dots F_{1N1} 乃至 F_{1NM} の端面に分岐光を集光させるための集光レンズなどの光学系が必要に応じて備えられる。本実施例では、前記制御光発生装置 126、波長変換装置 118、および光分配装置 150 が、光信号中継器本体部 RB_1 の主要部を構成している。

10

図 26 は、入力光ファイバ F_{A1} を介して伝送され且つ分波器 S_1 により分離された波長 λ_1 の光信号 L_{A11} の概念的構成を示す図であり、図 27 は、その信号光 L_{A11} の振幅変調が付与された波形、およびそれに振幅変調を付与する工程を説明する図である。図 26 において、光信号 L_{A11} は、たとえばパケットと称される一連の信号であって、その先頭部或いは先端部分には、パケットのタイトル、日付、文書名、頁番号などのヘッダ情報を付与するヘッダ部 H 、送信元や送信先の IP アドレス、ソースルーティングのようなルート情報、データリンク層の接続情報などなどの行先情報を示す信号を付与するラベル部 (タグ部) LA が設けられている。光信号 L_{A11} は、図 27 に示すように、振幅変調が施されることによりヘッダ部 H やラベル部 LA のうちの少なくとも

20

上記行先情報が付与されている。この振幅変調は、たとえば図 22 に示す波長変換装置 118 や後述の図 30 に示すような振幅変調器を用いて、図 27 の上段部に示す主信号に第 2 段部に示す変調信号が重畳されることによって行われたものである。

図 28 は、以上のように構成された本実施例の光中継器 110 の作動を、たとえば図 18 に示す第 1 中継器本体部 RB_{11} を代表させて説明するタイムチャートである。第 1 中継器本体部 RB_{11} において、図 28 の上段部に示す光信号 L_{A11} が光遅延素子 116 を介して波長変換装置 118 へ入力される (入力工程) 一方で、第 1 光カプラ 114 によりその光信号 L_{A11} の一部が光電信号変換器 122 により電気信号に変換されて電子制御装置 124 へ供給され、その電子制御装置 124 により抽出された図 28 の第 2 段部に示す変調パルス信号 (行先情報) が制御光発生装置 126 へ供給され、その制御光発生装置 126 からはその変調パルス信号が示す行先情報に従って決定された波長 λ_c の制御光 L_c が図 28 の第 3 段部に示すように発生させられ、その発生に同期して波長変換装置 118 に入力されている光信号 L_{A11} が波長変換装置 118 において制御光 L_c の波長 λ_c に変換され出力される (波長変換工程)。上記光遅延素子 116 により、光電信号変換器 122 による光電変換後の電子制御装置 124 の演算動作時間などに対応した時間だけ光信号 L_{A11} が遅延させられることにより上記の同期が行われる。たとえば光信号 L_{A11} に含まれる振幅変調パルス P_1 が示す行先情報が波長 λ_1 の波長バスである場合は、波長 λ_1 の制御光 L_c が発生されて光信号 L_{A11} が図 28 の下から 2 段目に示すように波長 λ_1 に変換されて波長変換装置 118 から出力される。また、光信号 L_{A11} に含まれる振幅変調パルス P_1 が示す行先情報が波長 λ_2 の波長バスである場合は、波長 λ_2 の

30

40

50

図29は、前記光中継器110の他の作動すなわち波長変換と同時にラベリングして出力する作動を、たとえば図18に示す第1中継器本体部 RB_{11} を代表させて説明するタイムチャートである。第1中継器本体部 RB_{11} において、図29の上段部に示す光信号 L_{A11} が光遅延素子116を介して波長変換装置118へ入力される一方で、第1光カプラ114によりその光信号 L_{A11} の一部が光電信号変換器122により電気信号に変換されて電子制御装置124へ供給され、その電子制御装置124により抽出された図29の第2段部に示す変調パルス信号(行先情報)が制御光発生装置126へ供給される。制御光発生装置126では、その変調パルス信号が示す行先情報に従って決定された波長 λ_c の制御光 L_c が発生させられて、その発生に同期して波長変換装置118に入力されている光信号 L_{A11} が制御光 L_c の波長 λ_c に変換されて出力される。このときの変調パルス信号には、再付与するための行先情報が含まれているので、電子制御装置124はその行先情報を示すパルス信号を含むように図29の第3段部に示す振幅変調された制御光 L_c が発生させられる。たとえば光信号 L_{A11} に含まれる振幅変調パルス P_1 が示す行先情報が波長 λ_1 の波長バスである場合は、波長 λ_1 の制御光 L_c が発生されて光信号 L_{A11} が図29の下から2段目に示すように波長 λ_1 に変換されて波長変換装置118から出力される。また、光信号 L_{A11} に含まれる振幅変調パルス P_1 が示す行先情報が波長 λ_2 の波長バスである場合は、波長 λ_2 の制御光 L_c が発生されて光信号 L_{A11} が図29の下段部に示すように波長 λ_2 に変換されて波長変換装置118から出力される。

10

上述のように、本実施例によれば、行先情報としてその一連の光信号 L_{A11} に振幅変調信号が付与され、その光信号 L_{A11} は振幅変調信号が示す行先へ転送される。このため、相互利得変調型の波長変換装置118に振幅変調された一連の光信号が入力される場合には、その光信号 L_{A11} の振幅変調が示す行先情報に対応した波長の制御光 L_c がその相互利得変調型の波長変換装置118に供給されると、その制御光 L_c と同じ波長の出力光が出力されるので、たとえば光分配装置150によりその出力光がその波長に応じた伝送路へ分配されることによってルーティングが行われるので、高速かつ小型のルーティング装置すなわち光信号転送装置或いは光信号中継装置110を構成することが可能となる。

20

また、本実施例によれば、上記一連の光信号 L_{A11} に付与された振幅変調は、90%以下の変調度で施されたものであるので、光信号 L_{A11} が損なわれず、且つ行先情報が光信号に確実に付与される。また、上記一連の光信号 L_{A11} パケット信号であり、前記行先情報はそのパケット信号の先頭部に設けられたラベル情報或いはタグ情報であるので、そのラベル部 LA 或いはタグ部において、振幅変調によりラベル情報或いはタグ情報が付与される。

30

また、本実施例によれば、(a)行先情報として振幅変調が施された一連の光信号 L_{A11} を相互利得変調型の波長変換装置118へ入力させる入力工程と、(b)その光信号 L_{A11} とは異なり且つ振幅変調信号に対応する波長の制御光 L_c を上記相互利得変調型の波長変換装置118へ供給し、その相互利得変調型の波長変換装置118からその制御光 L_c の波長の光信号を出力させる波長変換工程と、(c)相互利得変調型の波長変換装置118から出力された光信号を光分配装置150に入力させ、その光信号をその波長に応じて光分配装置150に接続された複数の光伝送路へ分配する光分配工程とが、含まれるので、光信号 L_{A11} はその振幅変調信号が示す行先情報に応じた波長で光分配装置150に接続された複数の光伝送路へ分配される。

40

また、本実施例によれば、上記波長変換工程は、相互利得変調型の波長変換装置118から出力される光信号 L_{A11} に制御光 L_c を用いて振幅変調を施すことにより、その光信号 L_{A11} に新たな行先情報を再付与するものであることから、信号光中継(転送)装置110内において適宜転送先を再付与できるので、たとえばリンクの状態、ノードの状態、ロタフィック状態に応じて転送ルートを決める動的ルーティングが可能となる。

また、本実施例の光信号中継装置110によれば、行先情報として振幅変調信号が付与された一連の光信号 L_{A11} が伝送されて来ると、制御光発生装置126により、その一連の光信号 L_{A11} の振幅変調信号からその振幅変調信号が示す行先に対応し且つその光

50

信号 L_{A11} とは異なる波長の制御光 L_C が発生させられ、相互利得変調型の波長変換装置 118 により、その一連の光信号 L_{A11} がその制御光 L_C の波長の光信号に変換され、光分配装置 150 により、その相互利得変調型波長変換装置 118 から出力された光信号がその波長に応じて複数の光伝送路へ分配されるので。高速かつ小型のルーティング装置すなわち光信号転送装置或いは光信号中継装置 110 が提供可能となる。

また、本実施例では、光信号 L_{A11} に含まれる振幅変調信号に応じて、制御光発生装置 126 からその振幅変調信号が示す行先情報に応じた波長の制御光 L_C を発生させる電子制御装置 124 を備えたものであるので、波長変換機能とスイッチング機能を有する相互利得変調型波長変換装置 118 が行先情報に対応した波長の光信号を出力して光分配装置 150 による分配を可能とするので、高速かつ小型のルーティング装置すなわち光信号転送装置或いは光信号中継装置 110 が得られる。

また、本実施例では、(a) 光ファイバ 112 内を伝播する光信号 L_{A11} を分岐させて電子制御装置 124 へ供給するための第 1 光カプラ (光分波器) 114 と、(b) その第 1 光カプラ 114 により分岐された光信号を電気信号に変換して電子制御装置 124 へ供給する光電信号変換器 122 と、(c) その光ファイバ 112 においてその第 1 光カプラ 114 よりも下流側に設けられ、その第 1 光ファイバ 112 から波長変換装置 118 に入力させる光信号 L_1 を遅延させる光遅延素子 116 とが設けられ、上記電子制御装置 124 は上記光信号 L_{A11} に含まれる振幅変調信号を抽出して、その振幅変調信号が示す行先情報に対応する波長の制御光 L_C を制御光発生装置 126 から発生させるものであるので、波長変換機能とスイッチング機能を有する相互利得変調型波長変換装置 118 が行先情報に対応した波長の光信号を出力して光分配装置 150 による分配を可能とするので、高速かつ小型のルーティング装置すなわち光信号転送装置或いは光信号中継装置が可能となる。また、光信号 L_{A11} の一部が第 1 光カプラ 114 から分岐されて電子制御装置 124 へ供給される一方で、その光信号 L_{A11} の他の一部が光遅延素子 116 により遅延させられて波長変換装置 118 へ供給されるので、電子制御装置 124 における電子信号処理に用いられる遅れ時間にもかかわらず、制御光発生装置 126 から波長変換装置 118 へ供給される制御光 L_C がその波長変換装置 118 における光信号 L_1 と好適に同期させられる。

また、本実施例では、相互利得変調型の波長変換装置 118 は、(a) 入力された光をクロスゲイン変調特性を利用して増幅および波長変換して出力するための第 1 光増幅素子 136 および第 2 光増幅素子 144 と、(b) 光ファイバ 112 から入力された第 1 波長 λ_1 の信号光 L_{A11} と、その信号光 L_{A11} とは異なる波長 λ_2 の連続光であるレーザ光 (第 2 入力光) L_2 とを合波して第 1 光増幅素子 136 に入力させる第 3 光カプラ (第 1 光合波器) 132 と、(c) 第 1 光増幅素子 136 からの光から第 2 波長 λ_2 の光を選択する第 1 波長選択素子 138 と、(d) その第 1 波長選択素子 138 により選択された第 2 波長 λ_2 の光と第 3 波長 λ_3 の制御光 L_C とを合波して第 2 光増幅素子 144 へ入力させる第 4 光カプラ (第 2 光合波器) 140 とを、含み、第 3 波長 λ_3 の出力光 L_3 は、制御光 L_C と同じ波長の光であって、第 1 波長 λ_1 の信号光 L_1 および / または第 3 波長 λ_3 の制御光 L_C の強度変化に応答して変調されるものであることから、信号光 L_1 とレーザ光 (第 2 入力光) L_2 とが入力された第 1 光増幅素子 136 からの光から選択された第 2 波長 λ_2 の光と制御光 L_C とが第 2 光増幅素子 144 へ入力させられるとき、その第 2 光増幅素子 144 から出された光から選択された第 3 波長 λ_3 の変調光 L_3 或いは出力光 L_4 は、信号光 L_1 および / または制御光 L_C の強度変化に応答して変調された光であって、制御光 L_C に対する信号増幅率が少なくとも 2 以上の大きさの増幅信号となるので、光信号 L_1 の増幅処理を制御光 L_C を用いて直接行うことができる。

また、本実施例では、光分配装置 150 は、入力ポート 150 a に接続された第 1 スラブ導波路 150 b と、複数の出力ポート 150 c に接続された第 2 スラブ導波路 150 d と、それら第 1 スラブ導波路 150 b および第 2 スラブ導波路 150 d の間に設けられた長さの異なる複数のアレー導波路 50 e と、複数の出力ポート 50 c に接続された分岐光ファイバ F_{B1} 、 F_{B2} 、 F_{B3} 、 \dots F_{Bn} とを備え、その入力ポート 150 a に入

10

20

30

40

50

力された波長変換装置 118 からの出力光 L_3 (入力光) をその波長毎に複数の出力ポート 150c のいずれかすなわち分岐光ファイバ F_{B1} 、 F_{B2} 、 F_{B3} 、 \dots 、 F_{Bn} のいずれかへ分配するように構成されているので、波長変換装置 118 から出力された制御光 L_c と同じ波長の変調光 L_3 はその波長毎に複数の光ファイバ F_{B1} 、 F_{B2} 、 F_{B3} 、 \dots 、 F_{Bn} のうちのいずれかへ選択的に好適に分配される。

また、本実施例の光信号中継装置 110 によれば、予め設定された複数種類の波長の制御光を出力する複数の単一波長のレーザ光源 (制御光源) または波長可変レーザ光源を有し、前記光信号 L_1 に含まれる分岐情報に応じて選択された波長の制御光 L_c を波長変換装置 118 に対して供給する制御光発生装置 126 が備えられているので、複数の分岐光導波路に対応する光ファイバ F_{B1} 、 F_{B2} 、 F_{B3} 、 \dots 、 F_{Bn} のうちの上記制御光 L_c の波長に対して予め設定された所定の光ファイバへ光信号 L_1 が選択的に分配される。

10

また、本実施例の制御光発生装置 126 は、複数種類のレーザ光源 126_{L1} 乃至 126_{Ln} または波長可変レーザ光源 126_{Lv} から出力される制御光をスイッチングするための光変調器 126_M を備えたものである。制御光発生装置 126 から出力された相互に異なる波長の制御光 L_c の立上がりおよび立下がり急峻とされ、その応答性が高められる。

また、本実施例では、第 1 光ファイバ 112 から入力される光信号 L_1 に含まれる分岐情報に応じて、制御光発生装置 126 からその分岐情報に応じた波長を有する制御光 L_c を発生させる電子制御装置 124 を備えたものである。波長変換装置 118 から出力される変調光 L_3 の波長がその光信号 L_{A11} に含まれる行先 (分岐) 情報に応じて切り換えられて、その波長毎に複数の光ファイバ F_{B1} 、 F_{B2} 、 F_{B3} 、 \dots 、 F_{Bn} のうちのいずれかへ選択的に分配される。

20

また、本実施例では、電子制御装置 124 は、光ファイバ 112 から入力される光信号 L_{A11} に含まれる行先情報 (アドレス信号) のみを抽出し、前記制御光発生装置 126 からそのアドレス信号に対応する波長の制御光 L_c を発生させるものであることから、アドレス信号以外の信号に対応する電磁波が信号処理によって発生しないので、光信号 L_1 の秘匿性が確保される利点がある。

次に、他の実施例を説明する。なお、以下の説明において前述の実施例と共通する部分には同一の符号を付して説明を省略する。

30

図 30 は、前述の図 18 および図 22 に示す第 1 中継器本体部 RB_{11} が全光学的に構成された実施例を示している。図 30 において、波長変換装置 118 の第 3 光カプラ 132 に入力される入力光信号 L_{A11} の一部が光カプラ (光分波 / 合波素子 或いは光合波器 / 光合波器) 164 によって分岐され、次いで、光カプラ 166 によって連続光である所定波長たとえば波長 λ_1 乃至 λ_N のいずれかの波長の連続光であるレーザ光 L と合波されて、図 22 に示す第 1 光増幅素子 136 と同様に構成されることによりクロスゲイン変調特性すなわち相互利得変調特性を備えた半導体光増幅素子 (SOA) 168 に入力される。上記連続光であるレーザ光 L は、たとえば図 19 或いは図 20 に示すレーザ光源 126_{L1} 乃至 126_{Ln} および光合波器 126_S、図 21 に示す可変レーザ光源 126_{Lv} と同様に構成されたレーザ光源 170 が用いられる。この半導体光増幅素子 168 は、前記第 1 半導体光増幅素子 136 や第 2 半導体光増幅素子 144 に比較して相対的に応答速度が遅くなる特性となるように構成される。たとえば、前述のように、第 1 半導体光増幅素子 136 や第 2 半導体光増幅素子 144 が量子井戸または量子ドットから構成された活性層を備える場合には、上記半導体光増幅素子 168 はバルクから構成された活性層を備えるように構成される。この半導体光増幅素子 168 は、その利得および / または偏波状態が調整設定されることにより、高速のスイッチングに応答しないようにされている。これにより、図 31 の上段に示される入力光信号 L_{A11} が入力されると、その入力光信号 L_{A11} の振幅変調信号に対応する波形の制御光信号 L_c (図 31 の第 2 段目または第 3 段目) が上記半導体光増幅素子 168 から第 4 光カプラ (第 2 光合波器) 140 へ入力されるので、図 31 の下から 2 段目または下段に示すように振幅変調された波長 λ_1 または

40

50

N の出力光信号 L_3 が光分配装置 150 へ出力される。この出力光信号 L_3 の振幅変調信号は、たとえば分岐情報を示している。本実施例では、上記光カプラ 164、光カプラ 166、半導体光増幅素子 (SOA) 168 レーザ光源 170 は、波長変換すべき波長および行先 (分岐) 情報を付与する上記制御光 L_c を出力するための全光学式制御装置 172 を構成している。

本実施例によれば、上記光カプラ 164、光カプラ 166、半導体光増幅素子 168 によって生成される上記光信号 L_c は、前述の図 18 の制御光 L_c と同様に、振幅変調によって一連の出力光の先頭部に入力光信号 L_{A11} に含まれるものと同じ行先情報をリアルタイムで付与するものである。このようなスイッチング作動については前述の実施例の電子制御装置 124 が不要となって全光学的に構成される利点がある。

また、本実施例では、光信号 L_{A11} に含まれる振幅変調信号に応じて、制御光発生装置 126 からその振幅変調信号が示す行先情報に応じた波長の制御光 L_c を発生させる全光学的制御装置を備えたものである。入力光信号 L_{A11} に含まれる振幅変調信号が示す行先情報に応じた信号の制御光が発生するように制御されることから、波長変換機能とスイッチング機能を有する相互利得変調型波長変換装置 118 が行先情報に対応した波長の光信号を出力して光分配装置による分配を可能とするので、高速かつ小型のルーティング装置すなわち光信号転送装置或いは光信号中継装置が可能となる。光学的信号処理によって電磁波が発生しないので、光信号の秘匿性が確保される利点がある。

図 32 は、上記図 30 の波長変換装置 118 の技術を利用して構成された、全光学式の光信号中継装置 180 を説明するための図 17 に相当する図である。光分波器 S_1 によって分波された複数の光のうち、波長 λ_1 の入力光信号 L_{A11} を代表させて説明すると、図 30 と同様に、波長変換装置 118 の第 3 光カプラ (第 1 光合波器) 132 に入力される入力光信号 L_{A11} の一部が光カプラ 164 によって分岐され、次いで、光カプラ 166 によって連続光である所定波長たとえば波長 λ_2 乃至 λ_N のいずれかの波長の連続光であるレーザ光 L と合波されて、第 1 光増幅素子 136 と同様に構成されることによりクロスゲイン変調特性すなわち相互利得変調特性を備えた半導体光増幅素子 (SOA) 168 に入力される。上記連続光であるレーザ光 L が光分波器 S_1 によって分波された他の波長 λ_2 乃至 λ_N のいずれかが用いられる点において図 30 の実施例と相違する。これにより、図 31 に示すように、その上段に示される入力光信号 L_{A11} が入力されると、その入力光信号 L_{A11} の振幅変調信号に対応する波形の光信号 L_c (図 31 の第 2 段目または第 3 段目) が上記半導体光増幅素子 168 から第 4 光カプラ (第 2 光合波器) 140 へ入力されるので、図 31 の下から 2 段目または下段に示す波長 λ_1 または λ_N の出力光信号 L_3 が光分配装置 150 へ出力される。本実施例によれば、一層全光学式に構成される利点がある。

次に、さらに他の実施例を説明する。

前述の実施例において、他の中継器本体部 RB_{MN} において入力光信号 L_{ANM} である光パケット信号を所定の波長に変換して所定のファイバ F_{BNM} へ出力する中継処理中に、入力光信号 L_{A11} である光パケット信号を中継処理する中継器本体部 RB_{11} からその所定のファイバ F_{BNM} へ同じ波長の光信号を重複的に出力させて光信号の重畳を発生させてしまう可能性がある。このような場合には、たとえば図 18 の実施例では、電子制御装置 124 は、先に中継処理をしている中継器本体部 RB_{MN} が光パケット信号の終端を確認する前に、入力光信号 L_{A11} である光パケット信号の先頭のヘッダ部 H に振幅変調信号により付されているヘッダ情報を検知した場合には、その光パケット信号に迂回を指示する情報を振幅変調により付与するように構成されている。たとえば、最終の行先情報は変更しないが、途中のアドレスを振幅変調により変更する。本実施例によれば、複数の光パケット信号が略同時に同じ伝送路である所定のファイバ F_{BNM} へ送信されようとするときの相互の衝突を回避することができる。

図 33 は、他の中継器本体部 RB_{MN} において入力光信号 L_{ANM} である光パケット信号を所定の波長に変換して所定のファイバ F_{BNM} へ出力する中継処理中は、それに周期的に重複して着信した入力光信号 L_{A11} である光パケット信号を一時的に記憶し、先に

10

20

30

40

50

上記所定の波長に変換している光パケット信号の中継処理が完了した後でその中継処理を可能とするようにした中継装置 110 の要部を示す図である。図 33 において、前記光分配装置 150 により分配された光パケット信号を一時的に記憶するために長さの異なる複数本の光ファイバが並列接続して成る複数の光信号記憶素子 174 と、その光信号記憶素子 174 から出力された光信号を入力側へ帰還させるための光帰還伝送路すなわち帰還用光ファイバ 178 と、帰還用光ファイバ 178 を介して入力側へ伝送された待機用波長 λ_{01} 乃至 λ_{03} のいずれかの光パケット信号を入力光信号 L_{A11} として第 1 カプラ 114 へ再び入力させるための光カプラ 176 とが備えられている。他の中継器本体部 RB_{MN} において入力光信号 L_{ANM} である光パケット信号を所定の波長に変換して所定のファイバ F_{BNM} へ出力する中継処理中に、光パケット信号の先頭のヘッダ部 H に振幅変調信号により付されているヘッダ情報にしたがって、本中継器本体部 RB_{11} が上記所定のファイバ F_{BNM} へ出力する行先情報を有する光パケット信号 L_{A11} を受けたと判定された場合は、電子制御装置 124 はその光パケット信号 L_{A11} は一時記憶させるべきものであると判定する。電子制御装置 124 は、上記他の中継器本体部 RB_{MN} の電子制御装置からの信号に応答して、上記光パケット信号 L_{A11} を予め設定された待機用波長 λ_{01} 乃至 λ_{03} のいずれかに変換するための制御信号 L_{C01} 乃至 L_{C03} を制御光発生装置 126 から出力させる。光分配装置 150 から出力された待機（一時記憶）用波長 λ_{01} 乃至 λ_{03} のいずれかの光信号は、その光分配装置 150 に接続された光信号記憶素子 174 のいずれかへ送られてそこで所定時間記憶された後、帰還用光ファイバ 178 を介して光カプラ 176 へ伝送され、そこから入力光信号 L_{A11} として第 1 カプラ 114 へ再び入力され、前述の中継処理が再び行われる。上記複数の光信号記憶素子 174 は、たとえば前述の光遅延素子 116 と同様に、それに記憶させる光パケット信号が必要とする記憶時間に対応する長さを備えるために、その記憶時間だけ伝播のために必要とする光学的長さの相互に異なる複数本の光ファイバをそれぞれ巻回してそれぞれ構成される。本実施例によれば、複数の光パケット信号が略同時に同じ伝送路である所定のファイバ F_{BNM} へ送信されようとするときの相互の衝突を回避することが可能となる。

また、前述の図 18 の実施例において、電子制御装置 124 は、入力光信号 L_{A11} 乃至 L_{A1} 、 L_{A21} 乃至 L_{A2N} 、 \dots 、 L_{AM1} 乃至 L_{AMN} について、たとえば所望の波長を所望の伝送路へ転送するように、その処理時間帯を波長群や伝送路群などで相互に相違させるように波長変換装置 118 に選択的に波長変換処理を実行させる制御光 L_C を発生するように構成されてもよい。

また、前述の波長変換装置 118 において、第 3 光カプラ 132 および第 4 光カプラ 140、第 1 光増幅素子 136 および第 2 光増幅素子 144、および第 1 波長選択素子 138 などの構成部品は、光ファイバにより連結されてもよいが、半導体基板またはガラス基板のような透光性物質製基板の上に形成された光導波路などにより結合されてもよい。

また、前述の光分配装置 150 は、入力ポート 150a に接続された第 1 スラブ導波路 150b と、複数の出力ポート 150c に接続された第 2 スラブ導波路 150d と、それら第 1 スラブ導波路 150b および第 2 スラブ導波路 150d の間に設けられた長さの異なる複数のアレー導波路 150e と、複数の出力ポート 150c に接続された分岐光ファイバ F_{B1} 、 F_{B2} 、 F_{B3} 、 \dots 、 F_{Bn} とを備え、その入力ポート 150a に入力された波長変換装置 118 からの出力光 L_3 （入力光）をその波長毎に複数の出力ポート 150c のいずれかすなわち分岐光ファイバ F_{B1} 、 F_{B2} 、 F_{B3} 、 \dots 、 F_{Bn} のいずれかへ分配するように構成されていたが、波長毎に異なる回折格子の回折角度を利用してその入力光である出力光 L_3 をアレイ状に配列された複数の分岐光ファイバ F_{B1} 、 F_{B2} 、 F_{B3} 、 \dots 、 F_{Bn} へ選択的に分配する回折格子型光合成成分波器から構成されたり、或いはその回折格子に替えてプリズムが利用されたプリズム光合成成分波器から構成されてもよい。この場合には、光分配装置 150 は、波長毎に異なるプリズムの屈折角度を利用して入力光をアレイ状に配列された複数のアレー導波路へ選択的に分配するプリズム型光分配器から構成される。光分配器 S_1 乃至 S_M や合波器 T_1 乃至 T_M も同様である。

また、前述の実施例の電子制御装置 124 に替えて、複数の光トライオードから成る演

10

20

30

40

50

算装置およびレーザ光源などから構成される光演算制御装置が用いられてもよい。電子制御装置 124 に替わる全光学的装置が用いられることにより、光信号中継装置 110 の全体が光学素子によって構成される。

また、前述の実施例では、光導波路として、第 1 光ファイバ 112、第 2 光ファイバ 120 などが用いられていたが、光回路の一部に設けられた、二次元方向において光を導く二次元光導波路や三次元方向において光を導く三次元光導波路が用いられてもよい。

また、前述の実施例では、図 19、図 20、図 21 に示される制御光発生装置 126 において、光変調器 126_{M1} 乃至 126_{Mn}、126_M が除去されても差し支えない。この場合、たとえば図 19、図 20 の光変調器 126 では、レーザ光源 126_{L1} 乃至 126_{Ln} が選択的にオンオフ駆動されることにより、波長の異なる制御光 L_C が選択的に出力される。また、図 21 の光変調器 126 では、可変波長レーザ光源 126_{Lv} の DBR 層に対する注入電流を段階的に変化させることにより、波長の異なる制御光 L_C が選択的に出力される。

図 34 乃至図 38 は、所望のタイミングで光信号を取り出すことが可能な光信号記憶装置が、高度情報処理のための光通信のための光合波/分波装置に適用された例を示すものである。

図 34 は、光信号記憶装置 210 の要部構成を説明するための図である。図 34 において、光ネットワークなどからの光パケット信号、光データ通信信号などの光信号 L_A を伝送する光ファイバ 212 には、光分波合波器として機能する第 1 光カプラ 214、光遅延素子 216、および相互利得変調型の波長変換装置（光スイッチング装置、光信号増幅 3 端子装置本体）218 が順次接続されている。

また、光遅延素子 216 は、上記光ファイバ 12 内を伝送される光信号を所定時間だけ遅延させるためのものであり、たとえば所定の長さの光ファイバを巻回して伝播距離を設けることよりその所定の伝播距離を伝播する伝播時間だけ遅延させるように構成される。この光遅延素子 216 の遅延時間は、波長変換装置 218 内において、そこで増幅される光信号とその光信号の伝送先を波長で示す制御光とが同期するように予め実験的に求められる。

上記第 1 光カプラ 214 により光ファイバ 212 内の光信号から分岐された分岐光信号は、光ファイバ 220 とこれに接続された光電信号変換器 222 とを介して電子制御装置 224 へ供給される。電子制御装置 224 は、たとえば CPU が RAM の一時記憶機能を利用しつつ ROM に予め記憶されたプログラムに従って入力信号を処理する所謂マイクロコンピュータにより構成される。この電子制御装置 224 は、光ファイバ 220 を介して伝送された光信号に含まれている振幅変調で示されるコード信号すなわち行先情報に基づいて、その光信号をルーティングするためにその行先情報に対応する波長指令信号を制御光発生装置 226 へ供給する。たとえば、電子制御装置 224 は、光ファイバ 220 から入力される光信号 L_A に含まれる行先情報を抽出し、制御光発生装置 226 からその行先情報に対応する波長に応じた制御光 L_C を発生させるものである。

上記制御光発生装置 226 は、予め設定された複数種類の波長 λ_c の制御光 L_C を出力する制御光源を有し、前記電子制御装置 224 からの指令信号、すなわち光信号 L₁ に含まれる分岐情報に応じて選択された波長指令信号に従って、その分岐情報に対応する波長 λ_c を有する制御光 L_C を前記波長変換装置 218 に対して供給する。制御光発生装置 226 は、転送先の出力光ファイバ F₁ 乃至 F_N に対応する複数種類たとえば N 種類の波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 \dots 、 λ_N の制御光 L_C を択一的或いは選択的に発生させる。前述の実施例の図 19、図 20、図 21 は、その制御光発生装置 226 の構成例をそれぞれ示している。なお、本実施例の光ファイバ 212、第 1 光カプラ 214、光遅延素子 216、波長変換装置 218、光ファイバ 220、光電信号変換器 222、電子制御装置 224、制御光発生装置 226、光信号分配装置 250 は、前述の実施例の光ファイバ 112、第 1 光カプラ 114、光遅延素子 116、波長変換装置 118、光ファイバ 120、光電信号変換器 122、電子制御装置 124、制御光発生装置 126、光信号分配装置 150 と同様に構成されたものであり、波長変換装置 218 および光信号分配装置 250 は前述の

10

20

30

40

50

光信号増幅3端子装置128と同様の光信号増幅3端子装置228を構成している。

図34に戻って、上記波長変換装置218からの出力光 L_3 は、その波長すなわち制御光 L_c の波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 \dots 、 λ_N 毎に光分配装置250によって複数の導波路に対応するように予め定められたクロスコネクファイバ F_1 、 F_2 、 F_3 、 \dots 、 F_N へそれぞれ選択的に分配される。また、それらと異なるバイアス光 L_2 と同じ波長 λ_b の光は分岐光ファイバ F_b に分配される。たとえば、出力光 L_3 が単色である場合にはクロスコネクファイバ F_1 、 F_2 、 F_3 、 \dots 、 F_N のうちの1つに分配されるが、2種類の混合色である場合にはクロスコネクファイバ F_1 、 F_2 、 F_3 、 \dots 、 F_N のうちのいずれか2つの群へ分配される。上記クロスコネクファイバ F_1 および F_2 は、光信号 L_A を合波処理するための光アド処理回路252および光信号 L_A を分波処理するための光ドロップ処理回路254に接続されており、クロスコネクファイバ F_3 乃至 F_N は光バッファメモリ素子 M_3 乃至 M_N に接続されている。上記光バッファメモリ素子 M_3 乃至 M_N は、たとえば所定長の光ファイバが巻回されたものであり、その所定長の光ファイバ内の伝播時間に対応する遅延時間だけ遅延させて光信号 L_A を出力する遅延素子である。

上記光バッファメモリ素子 M_3 乃至 M_N から出力された光信号 L_A は、光帰還伝送路を構成する帰還用光ファイバ256と第1光カプラ214と同様に構成された第5光カプラ(光合波器)258とを介して光信号 L_A が第1光カプラ214よりも上流側の光ファイバ212に帰還させられることにより、第1光カプラ214、光遅延素子216、波長変換装置218、光分配装置250、光バッファメモリ M_3 乃至 M_N のいずれか、帰還用光ファイバ256、第5光カプラ258から成る周回路で周回させられる。

以上のように構成された光信号記憶装置210において、光ファイバ212により伝送された光信号 L_A は、それに含まれる行先信号(ラベリング)が電子制御装置224により抽出され、その行先信号が示す伝送先へ分配されるように、その行先信号に対応する波長の制御光 L_c が出力されるように制御光発生装置226が電子制御装置224により制御される。波長変換装置218は、上記制御光 L_c の波長が λ_1 である場合には、それから出力される出力光 L_3 は、波長が λ_1 の光信号 L_A とされるので、光分配装置250において光アド処理回路252へ向かって分配すなわち合波或いは分岐される。また、上記制御光 L_c の波長が λ_2 である場合には、波長変換装置218から出力される出力光 L_3 は、波長が λ_2 の光信号 L_A とされるので、光分配装置250において光ドロップ処理回路254へ向かって分配すなわち合波或いは分岐される。

しかし、上記光信号 L_A を直ちに光アド処理回路252或いは光ドロップ処理回路254へ伝送させることが不相当である場合は、電子制御装置224の電子処理により、その光信号 L_A は外部からの読出タイミング信号 R の受信或いはその光信号 L_A に含まれる記憶時間の経過までの間記憶された後に取り出される。すなわち、制御光発生装置226から波長変換装置218へ出力される制御光 L_c の波長が λ_3 乃至 λ_N のいずれかたとえば λ_3 とされると、波長変換装置218から出力される出力光 L_3 (光信号 L_A)の波長が λ_3 とされるので、光分配装置250において光バッファメモリ M_3 へ向かって分配される。この光信号 L_A は、光バッファメモリ M_3 において一定時間記憶された後、帰還用光ファイバ256、第5光カプラ258、第1光カプラ214、光遅延素子216、波長変換装置218、光分配装置250、光バッファメモリ M_3 から成る周回路で繰り返し周回させられて記憶される。この周回中の光信号 L_A が波長変換装置218を通過する際には、制御光発生装置226から波長変換装置218へ出力される制御光 L_c の波長は λ_3 とされる。このような光信号 L_A の記憶中においてさらに他の光信号が入力され且つそれを記憶する場合には、上記波長 λ_3 とは異なる波長たとえば λ_4 に上記と同様に交換され且つ上記と同様に帰還用光ファイバ256、第5光カプラ258、第1光カプラ214、光遅延素子216、波長変換装置218、光分配装置250、光バッファメモリ M_4 から成る周回路で繰り返し周回させられることにより記憶される。

そして、たとえば光アド処理回路252へ取り出すための取出タイミング信号 R が外部から電子制御装置224へ供給されると、電子制御装置224は、帰還用光ファイバ256、第5光カプラ258、第1光カプラ214、光遅延素子216、波長変換装置218

10

20

30

40

50

、光分配装置 250、光バッファメモリ M_3 から成る周回路で繰り返し周回させられる光信号 L_A を相互利得変調型波長変換装置 218 において出力用波長 λ_1 に変換するための波長 λ_1 の制御光 L_C を、制御光発生装置 226 から発生させる。この結果、光信号 L_A は光分配装置 250 によって光アド処理回路 252 へ向かって分配されることによりその光アド処理回路 252 へ出力される。電子制御装置 224 は、そのような光信号記憶制御手段としても機能している。

上述のように、本実施例の光信号記憶装置 210 においては、光信号記憶制御手段として機能する電子制御装置 224 は、帰還用光ファイバ 256、第 5 光カプラ 258、第 1 光カプラ 214、光遅延素子 216、波長変換装置 218、光分配装置 250、光バッファメモリ M_3 から成る周回路で繰り返し周回させられる光信号 L_A を相互利得変調型波長変換装置 218 において出力用波長 λ_1 に変換するための波長 λ_1 の制御光 L_C を制御光発生装置 226 から発生させるので、その光信号 L_A は、任意の時間だけ記憶されるとともに、外部から供給されるか或いは光信号 L_A に含まれる記憶信号出力情報（読出タイミング信号 R ）が示す出力時期に应答して、任意のタイミング（取出し時刻）において光信号 L_A が取り出される。

また、本実施例において、光信号記憶制御手段として機能する電子制御装置 224 は、相互利得変調型波長変換装置 218 へ入力される光信号 L_A の波長を記憶用波長 λ_3 乃至 λ_N のいずれかへ変換するための制御光 L_C を制御光発生装置 226 から発生させるので、入力された光信号 L_A はその記憶用波長 λ_3 乃至 λ_N のいずれかに変換されることにより、相互利得変調型の波長変換装置 218、光分配器 250、光バッファメモリ素子 M_3 乃至 M_N のいずれか、光帰還伝送路 256、第 5 光カプラ 258、第 1 光カプラ 214、および光遅延素子 216、を繰り返し経由する周回伝送路において周回させられることにより、その光信号 L_A の記憶が開始される。

また、本実施例では、(a) 光ファイバ 212 内を伝播する光信号 L_A を分岐させて電子制御装置 224 へ供給するための第 1 光カプラ（光分波器）214 と、(b) その第 1 光カプラ 214 により分岐された光信号を電気信号に変換して電子制御装置 224 へ供給する光電信号変換器 222 と、(c) その光ファイバ 212 においてその第 1 光カプラ 214 よりも下流側に設けられ、その第 1 光ファイバ 212 から相互利得変調型の波長変換装置 218 に入力させる光信号 L_A を遅延させる光遅延素子 216 とが設けられ、上記電子制御装置 224 は上記光信号 L_A に含まれる行先情報に対応する波長の制御光 L_C を制御光発生装置 226 から発生させるものであるので、波長変換機能とスイッチング機能を有する相互利得変調型波長変換装置 218 が行先情報に対応した波長の光信号を出力して光分配装置 250 による分配を可能とするので、高速かつ小型のルーティング装置すなわち光信号転送装置或いは光信号中継装置が可能となる。また、光信号 L_A の一部が第 1 光カプラ 214 から分岐されて電子制御装置 224 へ供給される一方で、その光信号 L_A の他の一部が光遅延素子 216 により遅延させられて波長変換装置 218 へ供給されるので、電子制御装置 224 における電子信号処理に用いられる遅れ時間にもかかわらず、制御光発生装置 226 から波長変換装置 218 へ供給される制御光 L_C がその波長変換装置 218 における光信号 L_A と好適に同期させられる。

また、本実施例では、相互利得変調型の波長変換装置 218 は、(a) 入力された光をクロスゲイン変調特性を利用して増幅および波長変換して出力するための第 1 光増幅素子 236 および第 2 光増幅素子 244 と、(b) 光ファイバ 212 から入力された第 1 波長 λ_1 の信号光 L_A と、その信号光 L_A とは異なる波長 λ_b の連続光であるレーザ光（第 2 入力光、バイアス光） L_2 とを合波して第 1 光増幅素子 236 に入力させる第 3 光カプラ（第 1 光合波器）232 と、(c) 第 1 光増幅素子 236 からの光から第 2 波長 λ_2 の光を選択する第 1 波長選択素子 238 と、(d) その第 1 波長選択素子 238 により選択された第 2 波長 λ_2 の光と第 3 波長 λ_3 の制御光 L_C とを合波して第 2 光増幅素子 244 へ入力させる第 4 光カプラ（第 2 光合波器）240 とを、含み、第 3 波長 λ_3 の出力光 L_3 は、制御光 L_C と同じ波長の光であって、第 1 波長 λ_1 の信号光 L_1 および / または第 3 波長 λ_3 の制御光 L_C の強度変化に应答して変調されるものであることから、信号光 L_A

とレーザ光（第2入力光） L_2 とが入力された第1光増幅素子236からの光から選択された第2波長 λ_2 の光と制御光 L_C とが第2光増幅素子244へ入力させられるとき、その第2光増幅素子244から出された光から選択された第3波長 λ_3 の変調光 L_3 或いは出力光 L_4 は、信号光 L_1 および/または制御光 L_C の強度変化にตอบสนองして変調された光であって、制御光 L_C に対する信号増幅率が少なくとも2以上の大きさの増幅信号となるので、光信号 L_1 の増幅処理を制御光 L_C を用いて直接行うことができる。

次に、光信号記憶装置210の他の実施例を説明する。

前述の電子制御装置224は、相互利得変調型波長変換装置218、光分配器250、光バッファメモリ素子 M_3 乃至 M_N のいずれか、光帰還伝送路256、第5光カプラ258、第1光カプラ214、および光遅延素子216を繰り返し経由する周回伝送路において周回させられることにより記憶される光信号 L_C のゲインの増減を抑制するように、その周回させられる信号光 L_A 、あるいは相互利得変調型波長変換装置218に供給される制御光 L_C を制御する光信号ゲイン制御手段を、さらに含むものであってもよい。すなわち、電子制御装置224は、あらかじめ記憶されたプログラムにしたがって第1光カプラ214および光電信号変換器222を介して入力される周回させられる信号光 L_A のゲインが一定となるように制御光 L_C を制御する。たとえば信号光 L_A のゲインが低下すると、相互利得変調型波長変換装置218においてその信号光 L_A が増幅されるように制御光 L_C のゲインを大きくし、信号光 L_A のゲインが増加すると、相互利得変調型波長変換装置218においてその信号光 L_A が減少されるように制御光 L_C のゲインを小さくする。

図35は、さらに他の実施例の光信号記憶装置270を示している。本実施例の光信号記憶装置270は、前述の実施例の光信号記憶装置210に対して、周回させられる光信号 L_A の記憶時間（周回数）に伴う強度変動たとえば発振的な増加あるいは減衰を抑制するための帰還光増幅装置272が帰還用光ファイバ256に介せられた点、電子制御装置224は上記の機能のうち、周回させられることにより記憶される光信号 L_C のゲインが一定となるように相互利得変調型波長変換装置218に供給される制御光 L_C を制御する光信号ゲイン制御機能が設けられていない点が相違し、他は同様に構成されている。また、本実施例では、第1ゲイン制御用光増幅素子276および第2ゲイン制御用光増幅素子280の応答時間（応答特性）が第1光増幅素子236および第2光増幅素子244よりも長く（遅く）設定されている。たとえば、第1ゲイン制御用光増幅素子276および/または第2ゲイン制御用光増幅素子280は、たとえばエルビウム元素などの希土類元素が光ファイバや光導波路内にドーブされることにより、3準位系または4準位系のエネルギー準位がその光透過媒体内に構成された光増幅素子など、相互利得変調の応答時間が遅い光増幅素子から構成される。応答時間が遅い光増幅素子から構成されることにより、周回させられる光信号 L_A の信号成分が平滑化されてその信号ゲインの変化が容易に検出される。

上記帰還光増幅装置272は、光信号ゲイン制御手段に対応するものであり、波長変換装置218の第2光増幅素子244からの出力光に含まれるバイアス光 L_2 と同じ波長 λ_b の光のゲインの減少に基づいて帰還用光ファイバ256により帰還させられる光信号 L_A を増幅するものである。すなわち、帰還光増幅装置272は、波長 λ_p の一定のレーザ光を出力するレーザ光源274と、前記光分配装置250からファイバ F_b を介して出力されるバイアス光 L_2 と同じ波長 λ_b の光と上記波長 λ_p のレーザ光とを受けてそのバイアス光 L_2 と同じ波長 λ_b の光のゲインの増加に伴ってゲインが減少する波長 λ_p のゲイン制御光 L_5 を出力する第1ゲイン制御用光増幅素子276と、その第1ゲイン制御用光増幅素子276の出力光から波長 λ_p の光を通過させるフィルタ278と、そのフィルタ278を通過した波長 λ_p の光と帰還させられる光信号 L_A とを受けてそのゲイン制御光 L_5 の減少に伴ってゲインが増加する光信号 L_A を出力する第2ゲイン制御用光増幅素子280と、その第2ゲイン制御用光増幅素子280からの出力光から波長 λ_3 乃至 λ_N のいずれかの波長である光信号 L_A を通過させ又は波長 λ_5 の光だけ通過させないフィルタ282とを備えている。上記第2ゲイン制御用光増幅素子280により、周回させられる光信号 L_A のゲインの増減とは反対のバイアス光 L_2 と同じ波長 λ_b の光のゲインの減増

10

20

30

40

50

に応じて、帰還させられる光信号 L_A のゲインが増減させられることにより、その光信号 L_A の周回毎のゲインの増加や低下が抑制され、略一定のゲインに維持される。本実施例によれば、前述の実施例と同様の効果が得られるのに加えて、速い応答信号はそのままであるが、遅い減衰の変化が抑制されるので、記憶のために周回させられる光信号 L_A のゲインの増加や低下が抑制されて略一定のゲインに維持される利点がある。

図 3 6 は、上記光信号記憶装置 2 7 0 の作動を説明するタイムチャートである。光信号 L_A が記憶すべき信号である場合には、入力されたその光信号 L_A は、波長変換装置 2 1 8 において制御光 L_C (λ_3) に従って記憶用波長たとえば λ_1 に変換されるとともに光分配装置 2 5 0 によって光バッファメモリ M_3 に分配され、以後はその光バッファメモリ M_3 、帰還用光ファイバ 2 5 6、帰還光増幅装置 2 7 2、帰還用光ファイバ 2 5 6、第 5 光カプラ 2 5 8、波長変換装置 2 1 8、光分配装置 2 5 0 からなる周回路に沿って光信号 L_A が周回させられる。このとき、帰還光増幅装置 2 7 2 によって周回させられる光信号 L_A のゲインの減衰が抑制されて一定に保持されるので、図 3 6 の最上段が入力された光信号 L_A であるとする、周回させられる光信号 L_A はその下段に示す状態となる。このような周回によって記憶されている光信号 L_A が取り出される場合には、任意のタイミングで任意の区間だけ波長変換装置 2 1 8 において制御光 L_C (λ_1) に従って出力用波長たとえば λ_1 に変換されると、光分配装置 2 5 0 によって光アド処理回路 2 5 2 へ出力される。図 3 6 の下から 3 段目に示す波形はその光信号 L_A の出力波形を示している。また、図 3 6 の下から 2 段目は上記の出力によって残された他の出力波形を示している。

ちなみに、図 3 7 は、上記帰還光増幅装置 2 7 2 が設けられず、周回させられる光信号 L_A のゲインの減衰が抑制されない場合の信号波形を示している。たとえば、上記光信号記憶装置 2 7 0 において帰還光増幅装置 2 7 2 が備えられない場合や電子制御装置 2 2 4 に光信号ゲイン制御手段が備えられない場合の図 3 4 の光信号記憶装置 2 1 0 の場合の信号波形である。この図 3 7 の上段および下段は、図 3 6 の最上段およびその下の段に対応している。

図 3 8 は、本発明の他の実施例の光信号記憶装置 2 9 0 を示している。本実施例の光信号記憶装置 2 9 0 は、前述の実施例の光信号記憶装置 2 1 0 に対して、光遅延素子 2 1 6 及び第 1 光カプラ 2 1 4 が省略された点、電子制御装置 2 2 4 に替えて全光学的演算制御装置 2 9 2 が設けられている点、帰還用光ファイバ 2 5 6 により帰還させられる光信号 L_A の一部を分岐して全光学的演算制御装置 2 9 2 に入力させるための第 1 光カプラ 2 1 4 と同様の光カプラ 2 9 4 が設けられている点、その全光学的演算制御装置 2 9 2 が周回させられる光信号 L_A の記憶時間（周回数）に伴う減衰に基づいてその減衰を抑制する光信号ゲイン制御手段として機能する点が相違し、他は同様に構成されている。

上記全光学的演算制御装置 2 9 2 は、たとえば、波長 λ_3 の連続光を出力するレーザ光源と、その波長 λ_3 のレーザ光と外部からの読出タイミング信号 R とを合波する光カプラと、その光カプラにより合波された光を受け入れて、読出タイミング信号 R の読み出し区間だけ波長 λ_3 の制御光 L_C を出力させる前記相互利得変調型波長変換装置 1 8 と同様の波長変換装置とから成る 1 組の光制御回路を N 組備えることにより、任意のタイミングで供給される読出タイミング信号 R に応答して、周回により記憶されている光信号 L_A が取り出されるようにする。また、上記全光学的演算制御装置 2 9 2 は、上記光カプラ 2 9 4 から供給される周回中の光信号 L_A を受けてそのゲインの減衰を示す包絡線を形成する低応答性の光遅延素子を備え、その光遅延素子から出力される波長 λ_3 の減衰曲線を示す光を制御光 L_C として前記相互利得変調型の波長変換装置 2 1 8 に供給するように構成される。これにより、相互利得変調型の波長変換装置 2 1 8 から出力される波長 λ_3 の光信号 L_A の周回による減衰が抑制される。本実施例によれば、前述の図 3 5 の実施例と同様の効果が得られる。

また、前述の光分配装置 2 5 0 は、干渉膜型光分配装置であってもよい。干渉膜に分類される多層フィルタは SiO_2 の薄膜と TiO_2 の薄膜とが交互に数十層積層されることにより特定の波長を反射させるように構成される。

また、前述の実施例の電子制御装置 2 2 4 に替えて、複数の光トライオードから成る演

10

20

30

40

50

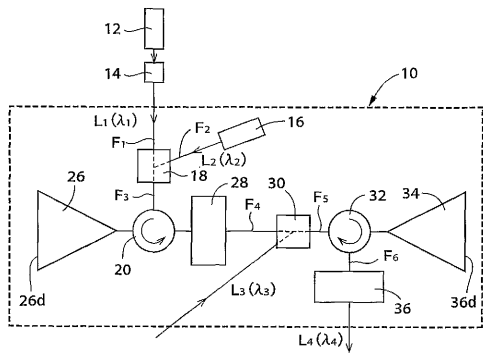
算装置およびレーザ光源などから構成される光演算制御装置が用いられてもよい。電子制御装置 224 に替わる全光学的装置が用いられることにより、光信号記憶装置 210 の全体が光学素子によって構成される。

また、前述の実施例の光信号記憶装置 210 において、光アド処理回路 252、光ドロップ処理回路 254、光バッファメモリ M_3 乃至 M_N の数は種々変更され得るものであり、それらの一部が除去或いは追加されても差し支えない。

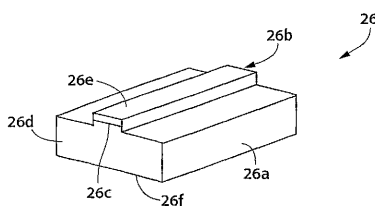
また、たとえば相互利得変調型波長変換装置 218 において、制御光 L_c の波長 λ_c は信号光 L_A の波長 λ_1 と同じとされてもよい。この場合には、相互利得変調型波長変換装置 18 からの出力光 L_3 の波長は、信号光 L_A の波長 λ_1 と同じとされる。

なお、上述したのはあくまでも本発明の一実施例であり、本発明はその主旨を逸脱しない範囲において種々変更が加えられ得るものである。

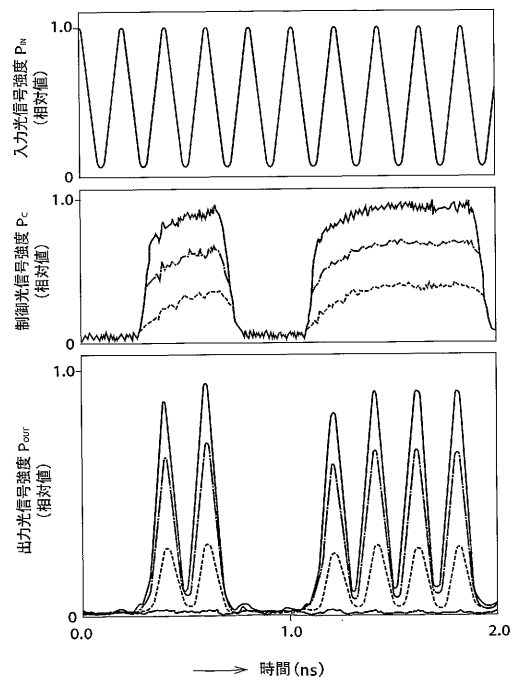
【図 1】
図 1



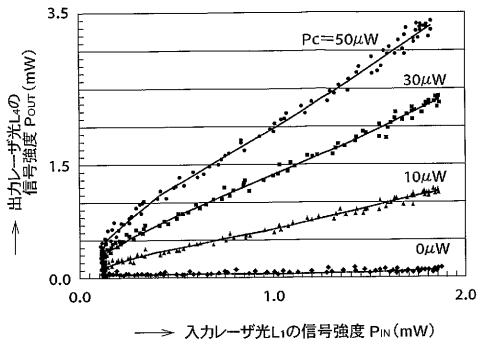
【図 2】
図 2



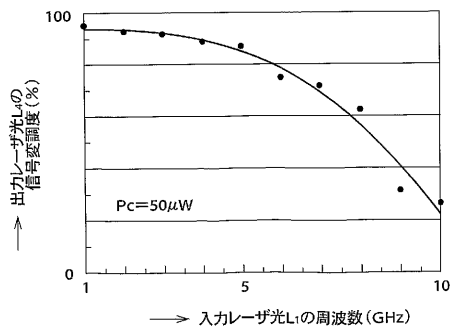
【図 3】
図 3



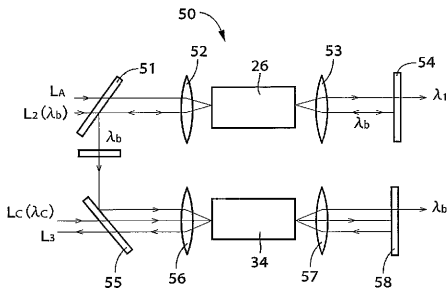
【図4】
4



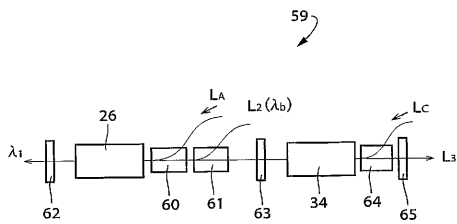
【図5】
5



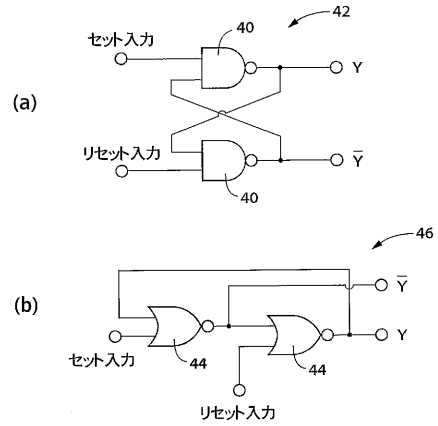
【図8】
8



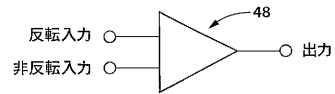
【図9】
9



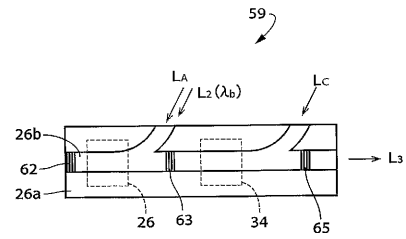
【図6】
6



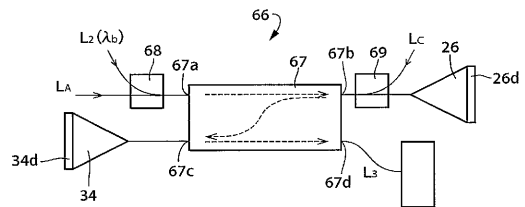
【図7】
7



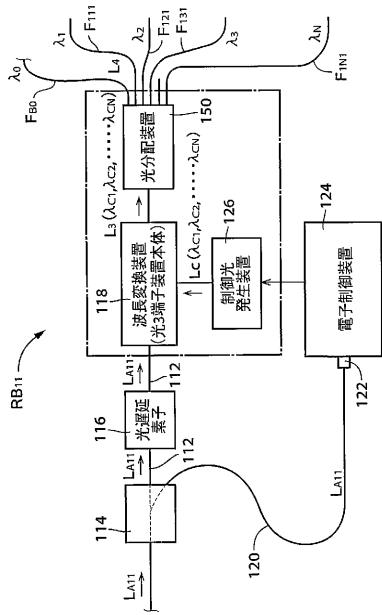
【図10】
10



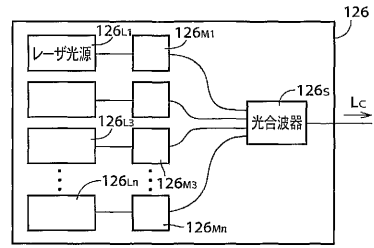
【図11】
11



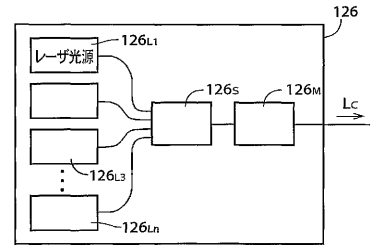
【図 18】
図 18



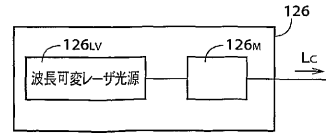
【図 19】
図 19



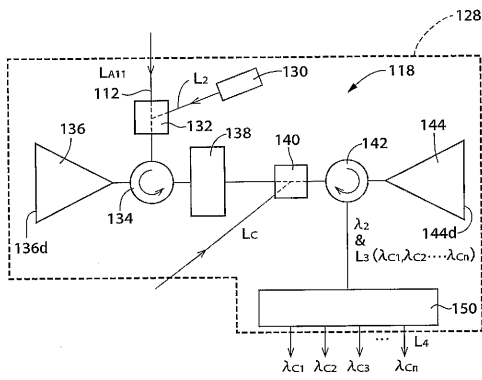
【図 20】
図 20



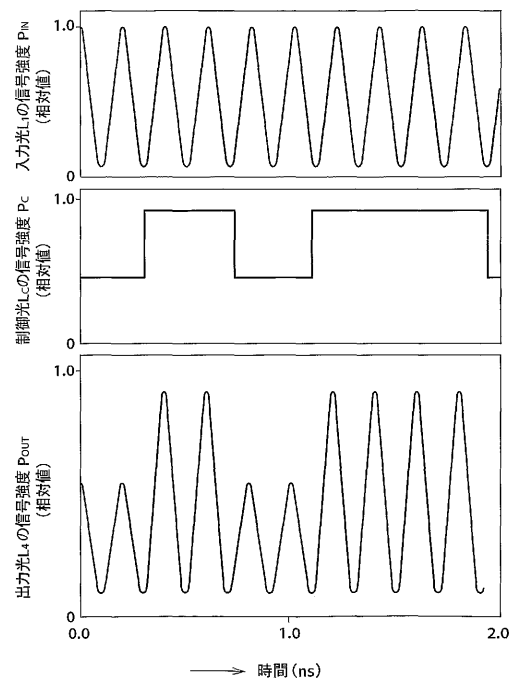
【図 21】
図 21



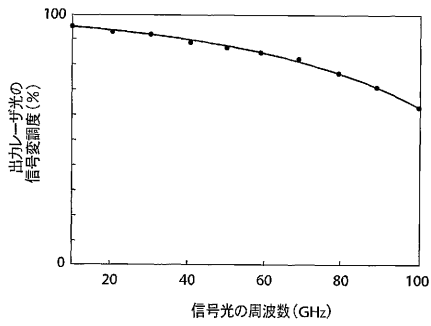
【図 22】
図 22



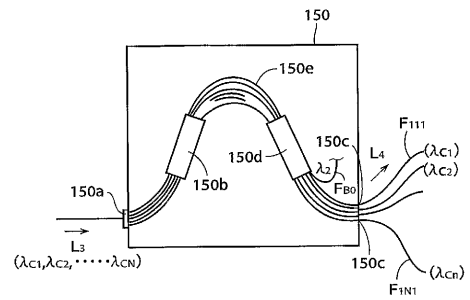
【図 23】
図 23



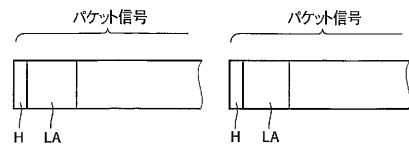
【図 24】
図 24



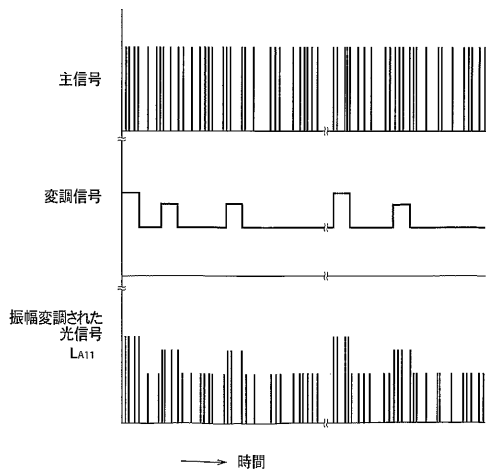
【図 25】
図 25



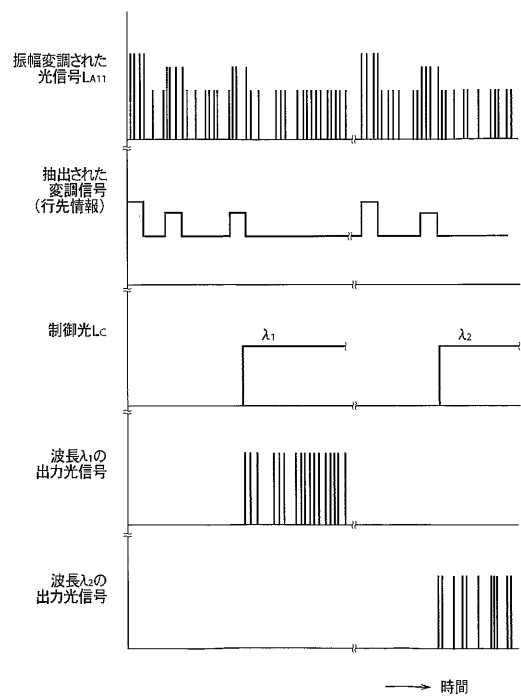
【図 26】
図 26



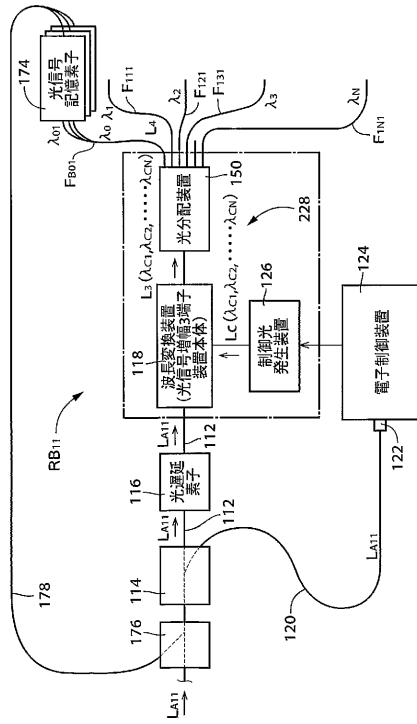
【図 27】
図 27



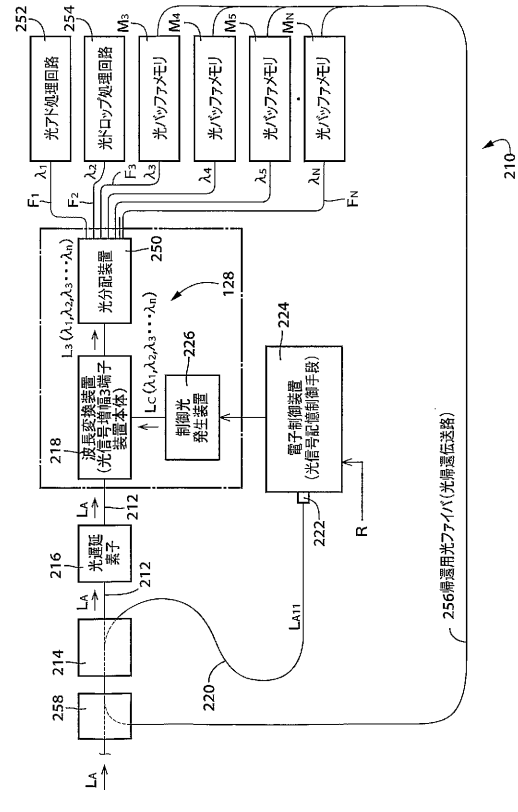
【図 28】
図 28



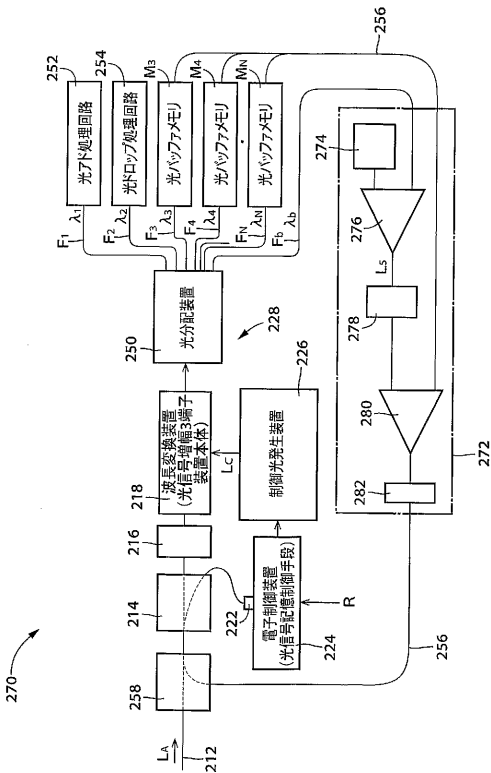
【図 3 3】
図 33



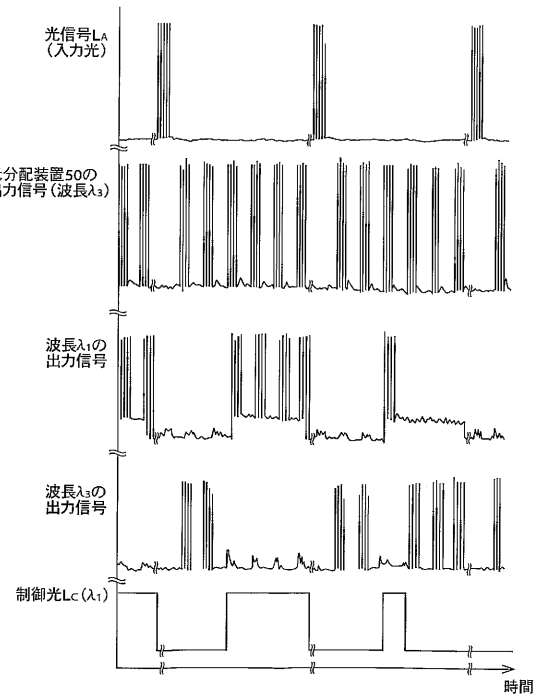
【図 3 4】
図 34



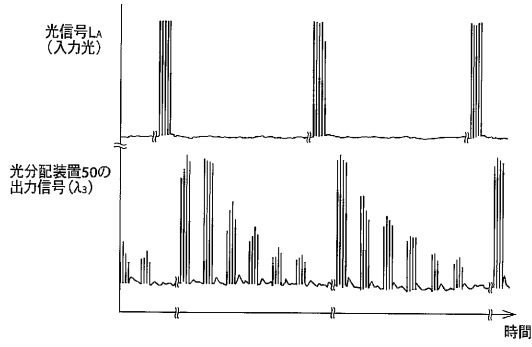
【図 3 5】
図 35



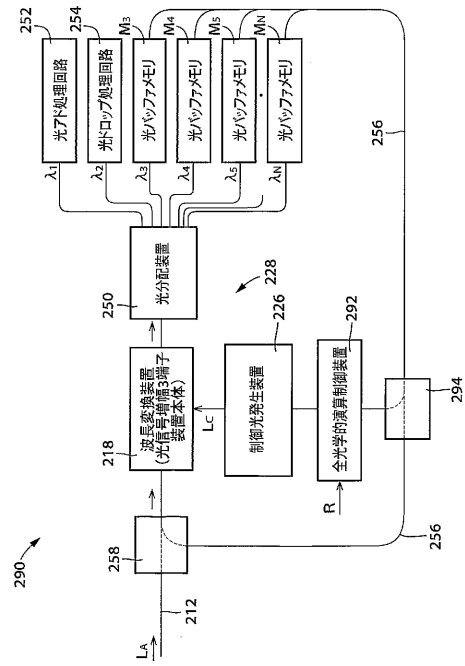
【図 3 6】
図 36



【 図 37 】
37



【 図 38 】
38



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/11961

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl ⁷ G02F1/01, G02F3/00, H01S5/50, H01S3/10, H01S3/00		
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 G02F1/01, G02F1/35-G02F3/00, H01S3/00, H01S5/00, 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 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) INSPEC, JICST, Esp@cenet, USPTO Web Patent Database		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 5264960 A (AT&T BELL LABORATORIES), 23 November, 1993 (23.11.93)	1-34
Y	Celles, S. et al., Extinction Ratio of Cross-Gain Modulated Mutistage Wavelength Converters: Model and Experiments, IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, Vol.9, No.6, June 1997, pages 758 to 760	1-34
P, X P, Y	Maeda, Y. et al., All-Optical Based on a Tandem Wavelength Converter Using Reflective Semiconductor Optical Amplifiers, IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, Vol.15, No.2, February 2003, pages 257 to 259	1-15 16-34
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* 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 document 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	"I" 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 16 January, 2004 (16.01.04)	Date of mailing of the international search report 03 February, 2004 (03.02.04)	
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer	
Facsimile No.	Telephone No.	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/11961

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Maeda, Y., All-Optical Triode Using Dual-Stage	1-15
Y	Wavelength Converter in Erbium-Doped Fiber Amlifiers, Jpn.J.Appl.Phys., Vol.41, Part 1, No.7B, July 2002, pages 4828 to 4830	16-34
P,Y	US 2002/0181831 A1 (ALL OPTICAL NETWORKS INC.), 05 December, 2002 (05.12.02), Fig. 15	1-34
P,Y	JP 2003-005240 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 08 January, 2003 (08.01.03), (Family: none)	16-34
Y	JP 2001-262319 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 26 September, 2001 (26.09.01), (Family: none)	16-34
Y	JP 2001-264825 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 26 September, 2001 (26.09.01), (Family: none)	27-34

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No. PCT/JP03/11961

Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The technical feature common to claims 1-15 and claims 16-34 is "an optical signal amplifying three-terminal device which converts an input optical signal into an optical signal of the wavelength of a control light (third input light) and outputs the optical signal. However, the international search has revealed that this technical feature is not novel since it is disclosed in the document below. Consequently, the common feature is not a special technical feature within the meaning of PCT Rule 13.2, second sentence, since it makes no contribution over the prior art. Therefore, there is no feature common to all the claims. Consequently, it appears that the claims 1-34 do not satisfy the requirement of unity of invention. (Continued to extra sheet)

1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
 No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

ECT/JP03/11961

Continuation of Box No. II of continuation of first sheet(1)

Document: Jpn.J.Appl.Phys., Vol.41, part 1, No.7B, July 2002, pages 4828
to 4830

国際調査報告		国際出願番号 PCT/JPO3/11961
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))		
Int. Cl ⁷ G02F1/01, G02F3/00, H01S5/50, H01S3/10, H01S3/00		
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 G02F1/01, G02F1/35-G02F3/00, H01S3/00, H01S5/00, 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 1971-2003年 日本国登録実用新案公報 1994-2003年 日本国実用新案登録公報 1996-2003年		
国際調査で使用了電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
INSPEC JICST Esp@cenet USPTO Web Patent Database		
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	US 5264960 A(AT&T BELL LABORATORIES)1993.11.23	1-34
Y	Chelles, S. et al. Extinction Ratio of Cross-Gain Modulated Mutistage Wavelength Converters:Model and Experiments, IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, Vol. 9, No. 6, June 1997, p. 758-760	1-34
PX	Maeda, Y. et al. All-Optical Based on a Tandem Wavelength Converter Using Reflective Semiconductor Optical Amplifiers,	1-15
PY	IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, Vol. 15, No. 2, February 2003, p. 257-259	16-34
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> 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		「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
「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		「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
「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)		「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
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献		「&」 同一パテントファミリー文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願		
国際調査を完了した日	16.01.04	国際調査報告の発送日
		03.2.2004
国際調査機関の名称及びあて先	特許庁審査官 (権限のある職員)	2X .9316
日本国特許庁 (ISA/IP)	佐藤 宙子	
郵便番号100-8915		
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	電話番号 03-3581-1101 内線 3293	

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JPO3/11961

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
A	Maeda, Y. All-Optical Triode Using Dual-Stage Wavelength Converter in Erbium-Doped Fiber Amplifiers, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 41, Part 1, No. 7B, July 2002, p. 4828-4830	1-15
Y		16-34
PY	US 2002/0181831 A1 (ALL OPTICAL NETWORKS INC.) 2002. 12. 05, Fig. 15	1-34
PY	JP 2003-005240 A (日本電信電話株式会社) 2003. 01. 08 (ファミリーなし)	16-34
Y	JP 2001-262319 A (日本電信電話株式会社) 2001. 09. 26 (ファミリーなし)	16-34
Y	JP 2001-264825 A (日本電信電話株式会社) 2001. 09. 26 (ファミリーなし)	27-34

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JPO3/11961

第I欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項 (PCT17条(2)(a))の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. 請求の範囲 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第II欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

請求の範囲1-15、及び請求の範囲16-34に共通の事項「入力された光信号を制御光(第3入力光)の波長の光信号に変換して出力する光信号増幅3端子装置」については、調査の結果、下記文献に開示されているから、新規ではないことが明らかになった。結果として、該事項は先行技術の域を出ないから、PCT規則13.2の第2文の意味において、この共通事項は特別な技術的特徴ではなく、請求の範囲全てに共通の事項はない。よって、請求の範囲1-34は発明の単一性の要件を満たしていないことが明らかである。

文献: Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 41, Part 1, No. 7B, July 2002, p. 4828-4830

1. 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。

フロントページの続き

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT, BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HU,IE,IT,LU,MC,NL,PT,RO,SE,SI,SK,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA, GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ, EC,EE,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,M W,MX,MZ,NI,NO,NZ,OM,PG,PH,PL,PT,RO,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SY,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,YU,ZA ,ZM,ZW

(注)この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。