

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-191624

(P2004-191624A)

(43) 公開日 平成16年7月8日(2004.7.8)

(51) Int. Cl.⁷

G02F 1/313
H04B 10/02
H04J 14/00
H04J 14/02

F I

G02F 1/313
H04B 9/00
H04B 9/00

T
E

テーマコード(参考)

2K002
5K102

審査請求 未請求 請求項の数 19 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2002-359373 (P2002-359373)
(22) 出願日 平成14年12月11日(2002.12.11)

(71) 出願人 503360115
独立行政法人 科学技術振興機構
埼玉県川口市本町4丁目1番8号
(72) 発明者 前田 佳伸
三重県四日市市河原田町2220
Fターム(参考) 2K002 AA02 AB04 AB12 BA04
5K102 AD01 MA04 MB02 MB07 MC03
MD02 MD03 MD07 MH05 MH12
NA03 NA06 NA07 NA08 PB13
PC01 PC03 PC05 PC12 PH13
PH15 PH41 PH47 PH48 RB12

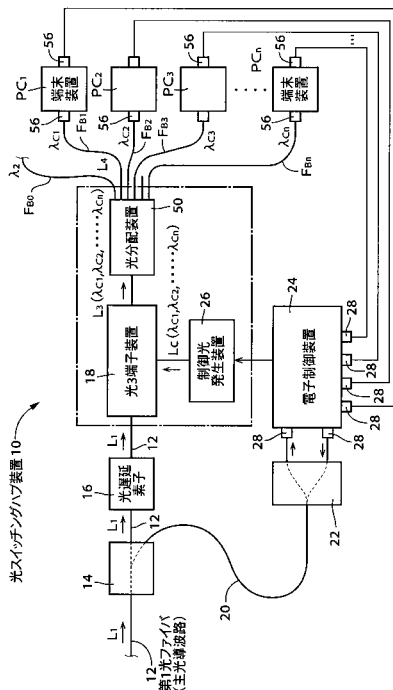
(54) 【発明の名称】 光スイッチングハブ装置

(57) 【要約】

【課題】 光信号の分配処理を制御光を用いて直接行うことができる光スイッチングハブ装置を提供する。

【解決手段】 光スイッチングハブ装置10によれば、主光導波路に対応する第1光ファイバ12を介して伝送された光信号L₁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の波長と同じ波長の光が光3端子装置18から光分配装置50へ出力されると、その光分配装置50により、その光3端子装置18から入力された光が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}、・・・F_{Bn}のうち光3端子装置18から入力された変調光L₃すなわち制御光L_Cの波長に対応する光ファイバF_{B1}、F_{B2}、F_{B3}、・・・またはF_{Bn}へ選択的に分配されることから、光信号のままでその分配処理を制御光L_Cを用いて直接行うことができるようになる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

主光導波路と複数の分岐光導波路とを備え、該主光導波路から入力される光信号を、該複数の分岐光導波路のうち該光信号に含まれる分岐情報に応じた分岐光導波路へ選択的に伝送する光スイッチングハブ装置であって、

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の光増幅素子を直列に備え、前記光信号に含まれる分岐情報に対応する制御光が入力されると、その制御光と同じ波長の信号を出力する光 3 端子装置と、

前記光 3 端子装置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分岐光導波路のうち前記制御光の波長に対応する光導波路へ選択的に分配する光分配装置と

10

を、含むことを特徴とする光スイッチングハブ装置。

【請求項 2】

予め設定された複数種類の波長の制御光を出力する制御光源を有し、前記光信号に含まれる分岐情報に応じて選択された波長の制御光を前記光 3 端子装置に対して供給する制御光発生装置を備えたものである請求項 1 の光スイッチングハブ装置。

【請求項 3】

前記制御光発生装置に備えられた制御光源は、相互に波長が異なる単一波長の光を出力する複数種類のレーザ光源、または波長可変レーザ光源から成るものである請求項 2 の光スイッチングハブ装置。

20

【請求項 4】

前記制御光発生装置は、前記複数種類のレーザ光源または波長可変レーザ光源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を備えたものである請求項 3 の光スイッチングハブ装置。

【請求項 5】

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ー導波路とを備え、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ー導波路格子型分波器である請求項 1 乃至 4 のいずれかの光スイッチングハブ装置。

30

【請求項 6】

前記主光導波路から入力される光信号に含まれる分岐情報に応じて、前記制御光発生装置から該光信号に含まれるアドレス信号に応じた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 3 乃至 5 のいずれかの光スイッチングハブ装置。

【請求項 7】

前記主光導波路内を伝播する光信号を分岐して前記電子制御装置へ供給する光分波器と、該主光導波路において該光分波器よりも下流側に設けられ、該主光導波路から前記光 3 端子装置に入力させる光信号を遅延させる光遅延素子と

を、さらに含むものである請求項 6 の光スイッチングハブ装置。

40

【請求項 8】

前記電子制御装置は、前記主光導波路から入力される光信号に含まれるアドレス信号のみを抽出し、前記制御光発生装置から該アドレス信号に対応する波長に応じた制御光を発生させるものである請求項 7 の光スイッチングハブ装置。

【請求項 9】

前記複数の分岐光導波路に分配された光信号は、複数の端末装置に供給され、前記電子制御装置は、前記複数の端末装置のうちのいずれかの端末装置からの信号に該複数の端末装置のうちの他の端末装置のアドレス信号が含まれている場合は、該他の端末装置へ該いずれかの端末装置からの信号を伝送するものである請求項 6 乃至 8 のいずれかの光スイッチングハブ装置。

50

【請求項 10】

前記端末装置は、それに分配された光信号を電気信号に変換する光電信号変換器を備えて該光電信号変換器により変換された電気信号を処理し、出力信号を前記電子制御装置へ出力するものであり、

該電子制御信号は、前記主光導波路へ返送するために、該端末装置から供給された信号を出力するものである請求項 9 の光スイッチングハブ装置。

【請求項 11】

前記端末装置は、電気信号を光信号に変換する光電信号変換器を備え、該光電信号変換器により変換した光信号を前記電子制御装置へ出力するものであり、

前記電子制御装置は、該端末装置からの光信号を電気信号に変換する光電信号変換器と、電気信号を光信号に変換する光電信号変換器とを備え、該光電信号変換器を介して、該端末装置からの光信号を前記主光導波路へ返送するものである請求項 10 の光スイッチングハブ装置。

10

【請求項 12】

前記光 3 端子装置は、

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 光増幅素子および第 2 光増幅素子と、

前記主導波路から入力された第 1 波長の第 1 入力光と、該第 1 波長と異なる第 2 波長の連続光である第 2 入力光とを合波して前記第 1 光増幅素子に入力させる第 1 光合波器と、

前記第 1 光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、

20

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 波長の制御光とを合波して前記第 2 光増幅素子へ入力させる第 2 光合波器とを、含み、

前記第 2 光増幅素子は、前記制御光と同じ波長の光を出力することを特徴とする請求項 1 乃至 11 のいずれかの光スイッチングハブ装置。

【請求項 13】

前記第 1 光増幅素子において、前記第 2 波長は前記第 1 波長の第 1 入力光の周囲光の波長域内の波長であり、前記第 2 光増幅素子において、前記第 3 波長は、前記第 2 波長光の入力光の周囲光の波長域内の波長である請求項 12 の光スイッチングハブ装置。

【請求項 14】

前記第 1 光増幅素子および第 2 光増幅素子は、pn 接合から構成される活性層を備えた半導体光増幅素子である請求項 12 または 13 のいずれかの光スイッチングハブ装置。

30

【請求項 15】

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 14 の光スイッチングハブ装置。

【請求項 16】

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請求項 14 または 15 の光スイッチングハブ装置。

【請求項 17】

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、該他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 14 乃至 16 のいずれかの光スイッチングハブ装置。

40

【請求項 18】

前記第 1 波長選択素子は、導波路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ギャップを有するフォトリソグラフィ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 12 乃至 17 のいずれかの光スイッチングハブ装置。

【請求項 19】

前記第 1 光増幅素子および第 2 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

50

子から構成されたものである請求項 1 2 または 1 3 のいずれかの光スイッチングハブ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】

本発明は、光ファイバなどを介して伝播した光信号をそのままスイッチングし分配する光スイッチングハブ装置、特に、高度情報処理が可能な光通信などの光エレクトロニクスに好適な光スイッチングハブ装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

広帯域且つ高速伝送が可能な光ファイバを用いた光信号の通信や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マルチプレクサに相当するような光機能素子、すなわち伝送された光信号をその制御光で直接制御して分配可能とするような光スイッチングハブ装置は、未だ、実現されていない。

【0003】

たとえば、非特許文献 1 或いは非特許文献 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すら何ら開示されていない。

【0004】

【非特許文献 1】K. E. Stubkjaer, "Semiconductor optical amplifier-based all-optical gates for high-speed optical processing," IEEE J. Quantum Electron., vol. 6, no. 6, pp. 1428 - 1435, Nov. / Dec. 2000

【非特許文献 2】T. Durhuus, C. Joergensen, B. Mikkelson, 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

【0005】

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、電子回路においてマルチプレクサによる分配処理が行われ、分配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るだけでなく、装置の大型化およびコスト増加が避けられなかった。

【0006】

特に、ルーティング、スイッチングなどのネットワーク転送を光技術で行うフォトニックネットワークを構築することが提案されるようになって来た。このようなフォトニックネットワークでは、各ノードにおいて波長多重 (WDM: wavelength division multiplexing) 信号はプロトコルによらず光のまま処理され、必要に応じて O/E 変換部に転送処理される光アドドロップと称される分野では、制御光を用いて光信号を光のまま直接分配処理を行うことができる光スイッチングハブ装置部が求められている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

本発明は以上の事情を背景として為されたものであり、その目的とするところは、光信号の分配処理を制御光を用いて直接行うことができる光スイッチングハブ装置を提供するこ

10

20

30

40

50

とにある。

【0008】

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ตอบสนอง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(クロスゲイン変調特性)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)を見い出した。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3端子装置(光トライオード)を見いだした。また、その光3端子装置を利用すれば、光信号の分配処理を制御光を用いて直接行うことができる光スイッチングハブ装置を構成できることを案出した。本発明はかかる知見に基づいて為されたものである。

10

【0009】

【課題を解決するための手段】

すなわち、本発明の要旨とするところは、主光導波路と複数の分岐光導波路とを備え、その主光導波路から入力される光信号を、その複数の分岐光導波路のうちその光信号に含まれる分岐情報に応じた分岐光導波路へ選択的に伝送する光スイッチングハブであって、(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複数の光増幅素子を直列に備え、前記光信号に含まれる分岐情報に対応する制御光が入力されると、その制御光と同じ波長の信号を出力する光3端子装置と、(b) 前記光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分岐光導波路のうち前記制御光の波長に対応する光導波路へ選択的に分配する光分配装置とを、含むことにある。

20

【0010】

【発明の効果】

このようにすれば、主光導波路を介して伝送された光信号に含まれる分岐情報に対応する制御光の入力に同期してその制御光の波長と同じ波長の光が光3端子装置から光分配装置へ出力されると、その光分配装置により、その光3端子装置から入力された光が前記複数の分岐光導波路のうち前記制御光の波長に対応する光導波路へ選択的に分配されることから、光信号のままでその分配処理を制御光を用いて直接行うことができる光スイッチングハブ装置が得られるようになる。

30

【0011】

【発明の他の態様】

ここで、好適には、予め設定された複数種類の波長の制御光を出力する制御光源を有し、前記光信号に含まれる分岐情報に応じて選択された波長の制御光を前記光3端子装置に対して供給する制御光発生装置が備えられるものである。このようにすれば、前記複数の分岐光導波路のうちの所定の波長に対応して予め設定された所定の分岐光導波路へ該所定の波長の光信号光が選択的に分配される。

40

【0012】

また、好適には、前記制御光発生装置に備えられた制御光源は、相互に波長が異なる単一波長の光を出力する複数種類の単色レーザ光源、または波長可変レーザ光源から成るものである。このようにすれば、主光導波路を介して伝送された光信号に含まれる分岐情報にตอบสนองして、複数種類のレーザ光源のいずれかの単色レーザ光源が作動されるか、或いは波長可変レーザ光源の出力波長が変更されることにより、上記光信号に含まれる分岐情報に対応する波長の制御光が発生させられる。

50

【 0 0 1 3 】

また、好適には、前記制御光発生装置は、前記複数種類のレーザ光源または波長可変レーザ光源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を備えたものである。このようにすれば、制御光発生装置から出力された相互に異なる波長の制御光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。

【 0 0 1 4 】

また、好適には、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ー導波路とを備え、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ー導波路格子型光分波器を含むものである。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。

10

【 0 0 1 5 】

また、好適には、前記主光導波路から入力される光信号に含まれる分岐情報に応じて、前記制御光発生装置からその分岐情報に応じた波長を有する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、その電子制御装置または全光学的制御装置が、主光導波路から入力される光信号に含まれる分岐情報に応じて制御光発生装置から発生させる制御光の波長を切り換えるので、光3端子装置から出力される出力光の波長がその光信号に含まれる分岐情報に応じて切り換えられて、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。

20

【 0 0 1 6 】

また、好適には、(a) 前記主光導波路内を伝播する光信号を分岐して前記電子制御装置へ供給する光分波器と、(b) その主光導波路においてその光分波器よりも下流側に設けられ、その主光導波路から前記光3端子装置に入力させる光信号を遅延させる光遅延素子とを、さらに含むものである。このようにすれば、主光導波路内を伝播する光信号の一部が光分波器から分岐されて電子制御装置へ供給される一方で、光信号の他の一部が光遅延素子により遅延させられて前記光3端子装置へ供給されるので、電子制御装置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、制御光発生装置から光3端子装置へ供給される制御光がその光3端子装置における光信号と好適に同期させられる。

30

【 0 0 1 7 】

また、好適には、前記電子制御装置は、前記主光導波路から入力される光信号に含まれるアドレス信号のみを抽出し、前記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ものである。このようにすれば、アドレ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。

【 0 0 1 8 】

また、好適には、前記複数の分岐光導波路に分配された光信号は、複数の端末装置に供給され、前記電子制御装置は、前記複数の端末装置のうちのいずれかの端末装置からの信号にその複数の端末装置のうちの他の端末装置のアドレス信号が含まれている場合は、その他の端末装置へそのいずれかの端末装置からの信号を送信するものである。このようにすれば、複数の分岐光導波路に分配された光信号が供給される複数の端末装置間において双方向通信が可能となる。

40

【 0 0 1 9 】

また、好適には、前記端末装置は、それに分配された光信号を電気信号に変換する光電信号変換器を備えてその光電信号変換器により変換された電気信号を処理し、出力信号を前記電子制御装置へ出力するものであり、その電子制御装置は、前記主光導波路へ返送するためにその端末装置から供給された信号を出力するものである。このようにすれば、上記複数の端末装置は、主光導波路を通して他の電子端末装置と相互通信が可能となる。

50

【0020】

また、好適には、前記端末装置は、電気信号を光信号に変換する光電信号変換器を備え、その光電信号変換器により変換した光信号を前記電子制御装置へ出力するものであり、その電子制御装置は、その端末装置からの光信号を電気信号に変換する光電信号変換器と、電気信号を光信号に変換する光電信号変換器とを備え、その光電信号変換器を介して、その端末装置からの光信号を前記主光導波路へ返送するものである。このようにすれば、端末装置と電子制御装置との間においても光導波路を介して相互通信可能となる。

【0021】

また、好適には、前記光3端子装置は、(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光増幅素子および第2光増幅素子と、(b) 前記主導波路から入力された第1波長の第1入力光と、その第1波長と異なる第2波長の連続光である第2入力光とを合波して前記第1光増幅素子に入力させる第1光合波器と、(c) 前記第1光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波長の制御光とを合波して前記第2光増幅素子へ入力させる第2光合波器とを、含み、前記第2光増幅素子は、前記制御光と同じ波長の光を出力するものである。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波長の制御光とが第2光増幅素子へ入力させられるとき、その第2光増幅素子から出された光から前記光分配装置を用いて分配された第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
20 応答して変調された光であって、前記第3波長の制御光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3端子装置を得ることができる。

【0022】

また、好適には、前記第1光増幅素子および第2光増幅素子は、pn接合から構成される活性層を備えた半導体光増幅素子である。このようにすれば、pn接合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、光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。

【0023】

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、光3端子装置の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。

【0024】

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、光3端子装置の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。

【0025】

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、光3端子装置において、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。

【0026】

また、好適には、前記第1波長選択素子は、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

10

20

30

40

50

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バンドギャップを有するフォトリソグラフィ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光増幅素子からの光から第2波長が好適に抽出される。

【0027】

また、好適には、前記第1光増幅素子および第2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から構成されたものである。このようにすれば、第1光増幅素子および/または第2光増幅素子が光ファイバから構成されるので、光を伝播させる光ファイバの途中に前記第1光増幅素子および/または第2光増幅素子が構成される利点がある。

【0028】

また、好適には、前記第1光増幅素子において、前記第2波長は前記第1波長光の周囲光の波長域内の波長であり、前記光増幅素子において、前記第3波長は、前記第2波長光の周囲光の波長域内の波長である。このようにすれば、第1光増幅素子或いは第2増幅素子からの出力光に含まれる第2波長或いは第3波長の信号が好適に増幅される。

【0029】

【発明の好適な実施の形態】

以下、本発明の一実施例の光スイッチングハブ装置10を図面に基づいて詳細に説明する。

【0030】

図1は、光スイッチングハブ装置10の構成の要部を説明する図である。図1において、主光導波路として機能する第1光ファイバ12には、光分波合波器として機能する第1光カプラ14、光遅延素子16、および光3端子装置18が順次接続されている。上記第1光カプラ14は、光ファイバを主体とした分岐回路、マイクロ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並行した状態で或いはひねった状態で平行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14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12内を反対向きに伝送させる合波器として機能する。

【0031】

また、光遅延素子16は、第1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、たとえばその光ファイバを所定距離巻回することによりその所定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16の遅延時間は、光3端子装置18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。

【0032】

上記第1光カプラ14により第1光ファイバ12内の光信号から分岐された分岐光信号は、第2光ファイバ20と、これに接続され且つ前記第1光カプラ14と同様に構成された第2光カプラ22とを介して電子制御装置24へ供給される。電子制御装置24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24は、上記第2光カプラ22との間で信号を授受するためにおよび後述の複数の端末装置PC₁、PC₂、PC₃、・・・PC_nとの間で信号を授受するために、光信号および電気信号のうち的一方から他方へ変換するための複数の光電信号変換器28を備えたとともに、第1光ファイバ12を介して伝送された光信号に含まれる分岐情報たとえば波長やコードで示されるアドレス情報に基づいて、その光信号を分岐制御するためにその分岐情報に対応する波長指令信号を制御光発生装置26へ供給する。たとえば、電子制御装置24は、第1光ファイバ(主光導波路)12から入力される光信号L₁に含まれるアドレス信号のみをその端部に設けられているアドレス識別コードに基づいて抽出し、

制御光発生装置 26 からそのアドレス信号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。

【0033】

上記制御光発生装置 26 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 24 からの分岐指令信号、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 を前記光 3 端子装置 18 に対して供給する。図 2、図 3、図 4 は、その制御光発生装置 26 の構成例をそれぞれ示している。

【0034】

図 2 において、制御光発生装置 26 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 26_{L_1} 乃至 26_{L_n} と、それらレーザ光源 26_{L_1} 乃至 26_{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の光変調器 26_{M_1} 乃至 26_{M_n} と、それら光変調器 26_{M_1} 乃至 26_{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 26_S とから構成され、電子制御装置 24 からの分岐指令信号に従ってレーザ光源 26_{L_1} 乃至 26_{L_n} および光変調器 26_{M_1} 乃至 26_{M_n} 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 c の制御光 L_c を出力する。上記複数のレーザ光源 26_{L_1} 乃至 26_{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 3 において、制御光発生装置 26 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 26_{L_1} 乃至 26_{L_n} とそれらレーザ光源 26_{L_1} 乃至 26_{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 26_S と、その光合波器 26_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 26_M とから構成され、電子制御装置 24 からの分岐指令信号に従ってレーザ光源 26_{L_1} 乃至 26_{L_n} および光変調器 26_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 c の制御光 L_c を出力する。図 4 において、制御光発生装置 26 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 26_{L_v} と、その波長可変レーザ光源 26_{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ブランキング区間を遮断する単一の光変調器 26_M とから構成され、電子制御装置 24 からの分岐指令信号に従って波長可変レーザ光源 26_{L_v} および光変調器 26_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 c の制御光 L_c を出力する。上記波長可変レーザ光源 26_{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対のミラーのうち一方を構成する 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 26_{M_1} 乃至 26_{M_n} 、 26_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り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。

【0035】

上記光 3 端子装置 18 は、たとえば図 5 に示されるように、第 1 光ファイバ 12 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の光増幅素子に対応する一対の第 1 光増幅素子 36 および第 2 光増幅素子 44 を直列に備え、上記第 1 光ファイバ 12 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 と同じの波長の光 L_3 を出力するように構成されている。

10

20

30

40

50

【0036】

すなわち、図5において、レーザ光源30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1555nmよりも長い波長 λ_2 たとえば1565nm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32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12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36へ入力させる。

【0037】

上記第1光増幅素子36は、たとえば図6に示す、半導体光増幅素子（SOA）から構成される。図6において、化合物半導体たとえばインジウム燐（InP）から構成される半導体基板36aの上に形成された光導波路36bは、その半導体基板36aの上にエピタキシャル成長させられた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36bは、半導体基板36a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36b内の多層膜には、pn接合により構成された活性層36c、キャップ層などが含まれ、その上には上部電極36eが固着されている。この活性層36cは、半導体基板36aの下面に固着された図示しない電極と上記上部電極36eとの間に電圧が印加され且つ上記pn接合に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36c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36c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36a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36c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36c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え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 $\lambda_1 = 1555$ nmにおいて20dB程度の利得が得られる。

【0038】

上記第1光増幅素子36は、スパッタリングなどによって光を反射する処理が施された鏡などの反射手段36d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36内に入力されるとともに、上記反射手段36d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36の活性層36c内では、上記光信号 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、その自然光は光信号 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波長 λ_2 のレーザ光 L_2 が通過させられると、その波長 λ_2 は、その自然光と同様の变化を受けつつ増強させられる。すなわち、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36から出力される。すなわち、第1光増幅素子36は、クロスゲイン変調特性を備えている。

【0039】

第1光サーキュレータ34は、上記第1光増幅素子36から出力された光を、第3光カプラ32へではなく、第1波長選択素子38へ導く。第1波長選択素子38は、前記第1光増幅素子36から出力された光のうちから第2波長 λ_2 である1565nmの光を抽出する。この第1波長選択素子38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、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38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てもよい。

【0040】

第4光カプラ40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38により第1光増幅素子36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42を介して第1光増幅素子36と同様に構成された第2光増幅素子44へ入力させる。第1光増幅素子36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44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42は、第2光増幅素子44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40へではなく、後述の光分配装置50へ出力させる。

10

【0041】

上記第2光増幅素子44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 λ_{c1} 、 λ_{c2} 、 λ_{c3} 、 \dots 、 λ_{cn} に変化させられると、第2光増幅素子44からの光 L_3 の波長もたとえば λ_{c1} 、 λ_{c2} 、 λ_{c3} 、 \dots 、 λ_{cn} に変化させられる。図7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50の出力光 L_4 の波形を示している。制御光 L_c の実線、1点鎖線、破線は、下段に示す光分配装置50の出力光 L_4 の実線、1点鎖線、破線に対応しており、その光分配装置50の出力光 L_4 は制御光 L_c に対して約30倍のゲイン(増幅率)を有している。

20

【0042】

図8および図9は、上記のようにして構成された光3端子装置18の特性を示している。図8は、第1入力光である信号光 L_1 の信号強度 P_{IN} を示す横軸と光分配装置50の出力光 L_4 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 L_c の信号強度 P_c をパラメータとする出力光 L_4 の入出力特性図である。図から明らかのように、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 L_4 の信号強度 P_{OUT} は、制御光 L_c の信号強度 P_c の変化にตอบสนองし、且つその変化が増幅されて変調させられるとともに、信号光 L_1 の信号強度 P_{IN} の変化にตอบสนองし、且つその変化が増幅されて変調させられる。また、図9は、信号光 L_1 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 の周波数特性を示している。図9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36c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。

30

40

【0043】

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

【0044】

図1に戻って、上記光3端子装置18からの変調光 L_3 は、その波長すなわち制御光 L_c の波長 λ_3 毎に光分配装置50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分岐光ファイバ F_{B1} 、 F_{B2} 、 F_{B3} 、 \dots 、 F_{Bn} へ選択的に分配される。また、それらと異なる波長 λ_2 の光は分岐光ファイバ F_{B0} に分配される。たとえば、変調光 L_3 が単色である場合には分岐光ファイバ F_{B1} 、 F_{B2} 、 F_{B3} 、 \dots 、 F_{Bn} の

50

うちの1つ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分岐光ファイバ F_{B1} 、 F_{B2} 、 F_{B3} 、 \dots 、 F_{Bn} のうちのいずれか2つへ分配される。上記光分配装置50は、たとえば図10に示すように、入力ポート50aに接続された第1スラブ導波路50bと、複数の出力ポート50cに接続された第2スラブ導波路50dと、それら第1スラブ導波路50bおよび第2スラブ導波路50dの間に設けられた長さの異なる複数のアレー導波路50eと、複数の出力ポート50c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50aに入力された光3端子装置18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50c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50には、分岐光ファイバ F_{B1} 、 F_{B2} 、 F_{B3} 、 \dots 、 F_{Bn} 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26、光3端子装置18、および光分配装置50が、光スイッチングハブ装置10の主要部を構成している。

10

【0045】

上記光分配装置50には、分岐光ファイバ F_{B1} 、 F_{B2} 、 F_{B3} 、 \dots 、 F_{Bn} を介して複数の端末装置 PC_1 、 PC_2 、 PC_3 、 \dots 、 PC_n が設けられており、上記光3端子装置18および光分配装置50の作動により、光3端子装置18の出力光 L_3 が、第1光ファイバ12内を伝播してきた入力信号 L_1 に含まれる分岐情報に対応する制御光 L_c の波長 λ_c に従って上記端末装置 PC_1 、 PC_2 、 PC_3 、 \dots 、 PC_n のいずれかへ選択的に供給される。

20

【0046】

上記端末装置 PC_1 、 PC_2 、 PC_3 、 \dots 、 PC_n は、たとえばマイクロコンピュータにより構成されており、それへの入力信号光を電気信号に変換し、或いは出力信号を出力信号光へ変換する一対の光電信号変換器56をそれぞれ備えている。各端末装置 PC_1 、 PC_2 、 PC_3 、 \dots 、 PC_n は、その出力信号を、通信回線（光ファイバ）を介して前記電子制御装置24へ伝送する。電子制御装置24は、双方向通信のために、各端末装置 PC_1 、 PC_2 、 PC_3 、 \dots 、 PC_n から伝送された信号に含まれるアドレス情報に基づいて、それらから受信した信号をその端末装置 PC_1 、 PC_2 、 PC_3 、 \dots 、 PC_n のいずれかへ出力するか、或いは第2カプラ22、第2光ファイバ20、第1光カプラ14、および第1光ファイバ12を介して、それに接続されている他の端末装置へ向けて伝送する。

30

【0047】

以上のように構成された本実施例の光スイッチングハブ装置10によれば、主光導波路に対応する第1光ファイバ12を介して伝送された光信号 L_1 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 の波長と同じ波長の光が光3端子装置18から光分配装置50へ出力されると、その光分配装置50により、その光3端子装置18から入力された光が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} のうち光3端子装置18から出力された変調光 L_3 の波長に対応する光ファイバ F_{B1} 、 F_{B2} 、 F_{B3} 、 \dots または F_{Bn} へ選択的に分配されることから、光信号 L_1 のままでその分配処理を制御光 L_c を用いて直接行うことができるようになる。図11は、光スイッチングハブ装置10の作動を説明するタイムチャートであり、その最上段は入力光である信号光 L_1 の波形を示し、第2段は制御光 L_c の波形を示し、第3段乃至最下段は各端末装置 PC_1 、 PC_2 、 PC_3 、 \dots 、 PC_n への分岐後の各波長 λ_{c1} の第1出力光 L_{41} 、波長 λ_{c2} の第2出力光 L_{42} 、波長 λ_{c3} の第3出力光 L_{43} 、 \dots 波長 λ_{cn} の第n出力光 L_{4n} の波形を示している。制御光 L_c は光ファイバ F_{B1} 、 F_{B2} 、 F_{B3} 、 \dots 、 F_{Bn} のうちの所定の光ファイバへ分岐が行われている間は連続的に維持される。

40

【0048】

また、本実施例の光スイッチングハブ装置10によれば、予め設定された複数種類の波長

50

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 を光3端子装置18に対して供給する制御光発生装置26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 の波長に対応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。

【0049】

また、本実施例制御光発生装置26は、複数種類のレーザ光源 26_{L1} 乃至 26_{Ln} または波長可変レーザ光源 26_{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 26_M を備えたものであるので、制御光発生装置26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。

10

【0050】

また、本実施例では、光分配装置50は、入力ポート50aに接続された第1スラブ導波路50bと、複数の出力ポート50cに接続された第2スラブ導波路50dと、それら第1スラブ導波路50bおよび第2スラブ導波路50dの間に設けられた長さの異なる複数のアレー導波路50eと、複数の出力ポート50c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50aに入力された光3端子装置18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50c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、光3端子装置18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。

20

【0051】

また、本実施例では、第1光ファイバ12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26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24を備えたものであるので、光3端子装置18から出力される変調光 L_3 の波長がその光信号 L_1 に含まれる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。

【0052】

また、本実施例では、(a) 第1光ファイバ（主光導波路）12内を伝播する光信号 L_1 を分岐させて電子制御装置24へ供給するための第1光カプラ（光分波器）14と、(b) その第1光ファイバ12においてその第1光カプラ14よりも下流側に設けられ、その第1光ファイバ12から光3端子装置18に入力させる光信号 L_1 を遅延させる光遅延素子16とが設けられていることから、第1光ファイバ12内を伝播する光信号 L_1 の一部が第1光カプラ14から分岐されて電子制御装置24へ供給される一方で、その光信号 L_1 の他の一部が光遅延素子16により遅延させられて光3端子装置18へ供給されるので、電子制御装置24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26から光3端子装置18へ供給される制御光 L_c がその光3端子装置18における光信号 L_1 と好適に同期させられる。

30

40

【0053】

また、本実施例では、電子制御装置24は、第1光ファイバ（主光導波路）12から入力される光信号 L_1 に含まれるアドレス信号のみを抽出し、前記制御光発生装置26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。

【0054】

また、本実施例では、複数の分岐光導波路に対応する複数の光ファイバ F_{B1} 、 F_{B2} 、 F_{B3} 、 \dots 、 F_{Bn} に分配された光信号（出力光 L_4 ）は、複数の端末装置 PC_1 、 PC_2 、 PC_3 、 \dots 、 PC_n に供給され、電子制御装置24は、その複数の端

50

末装置 PC_1 、 PC_2 、 PC_3 、 \dots 、 PC_n のうちのいずれかの端末装置からの信号にその複数の端末装置のうちの他の端末装置のアドレス信号が含まれている場合は、その他の端末装置へそのいずれかの端末装置からの信号を伝送するものであるので、複数の光ファイバ F_{B1} 、 F_{B2} 、 F_{B3} 、 \dots 、 F_{Bn} に接続されて出力光 L_4 が供給される複数の端末装置 PC_1 、 PC_2 、 PC_3 、 \dots 、 PC_n 間において双方向通信が可能となる。

【0055】

また、本実施例では、端末装置 PC_1 、 PC_2 、 PC_3 、 \dots 、 PC_n は、それに分配された光信号を電気信号に変換する光電信号変換器 56 を備えてその光電信号変換器 56 により変換された電気信号を処理し、出力信号を前記電子制御装置 24 へ出力するものであり、その電子制御装置 24 は、第 1 光ファイバ 12 へ返送するためにその端末装置 PC_1 、 PC_2 、 PC_3 、 \dots 、 PC_n のいずれかから供給された信号を出力するものである。上記複数の端末装置 PC_1 、 PC_2 、 PC_3 、 \dots 、 PC_n は、第 1 光ファイバ 12 介して接続された図示しない他の電子端末装置と相互通信が可能となる。

10

【0056】

また、本実施例では、端末装置 PC_1 、 PC_2 、 PC_3 、 \dots 、 PC_n は、電気信号を光信号に変換する光電信号変換器 56 を備え、その光電信号変換器 56 により変換した光信号を前記電子制御装置 24 へ出力するものであり、その電子制御装置 24 は、その端末装置 PC_1 、 PC_2 、 PC_3 、 \dots 、 PC_n からの光信号を電気信号に変換し、或いは電気信号を光信号に変換する光電信号変換器 28 を備え、その光電信号変換器 28 を介して、その端末装置からの光信号を第 1 光ファイバ 12 へ返送するものである。端末装置 PC_1 、 PC_2 、 PC_3 、 \dots 、 PC_n と電子制御装置 24 との間においても光導波路を介して相互通信可能となる。

20

【0057】

また、本実施例では、光 3 端子装置 18 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 36 および第 2 光増幅素子 44 と、(b) 第 1 光ファイバ (主導波路) 12 から入力された第 1 波長 λ_1 の信号光 (第 1 入力光) L_1 と、その信号光 L_1 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 36 に入力させる第 3 光カプラ (第 1 光合波器) 32 と、(c) 第 1 光増幅素子 36 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 38 と、(d) その第 1 波長選択素子 38 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 44 へ入力させる第 4 光カプラ (第 2 光合波器) 40 とを、含み、第 3 波長 λ_3 の出力光 L_3 は、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 36 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 44 へ入力させられるとき、その第 2 光増幅素子 44 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。

30

40

【0058】

また、本実施例では、第 1 光増幅素子 36 および第 2 光増幅素子 44 は、pn 接合から構成される活性層を備えた半導体光増幅素子から構成されるので、光 3 端子装置 18 が小型化されるとともに、その信号増幅率が一層高められる。

【0059】

また、本実施例では、第 1 光増幅素子 36 や第 2 光増幅素子 44 を構成する半導体光増幅素子の活性層 36c 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、光 3 端子装置 18 の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 100 GHz

50

z以上の応答速度が得られる。また、活性層36cとして歪み超格子を用いると偏波依存性が小さくなる。

【0060】

また、本実施例では、第1光増幅素子36や第2光増幅素子44を構成する半導体光増幅素子は、活性層36cを通過した光を反射するための反射手段36d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、光3端子装置18の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。

【0061】

また、本実施例では、第1光増幅素子36や第2光増幅素子44を構成する半導体光増幅素子の他端面を通してその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34、42が設けられたものであるので、光3端子装置18において、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。

【0062】

また、本実施例では、第1波長選択素子38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るバンドギャップを有するフォトリソグラフィクリスタルのいずれかから構成されることから、第1光増幅素子36からの光から第2波長 λ_2 の光或いは第3波長 λ_3 の光が好適に抽出される。

【0063】

また、本実施例では、第1光増幅素子38において、第2波長 λ_2 は第1波長光 λ_1 の周囲光の波長域内の波長であり、第2光増幅素子44において、第3波長 λ_3 は、第2波長 λ_2 の光の周囲光の波長域内の波長であるので、第1光増幅素子36或いは第2増幅素子44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。

【0064】

以上、本発明の一実施例を図面に基づいて説明したが、本発明はその他の態様においても適用される。

【0065】

たとえば、前述の実施例の第1光増幅素子36および/または第2光増幅素子44は、たとえば石英系或いは弗化物系ガラスなどの光透過媒体である光ファイバ内に、たとえばエルビウム元素などの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その光透過媒体内に構成された光増幅素子から構成されてもよい。このような光増幅素子は、エルビウム元素およびアルミニウムがドーピングされることにより1700ppm程度の比較的高濃度のエルビウムイオン Er^{3+} および10000ppm程度のアルミニウムイオン Al^{3+} を含む20m程度の長さのガラス製光ファイバから構成されているので、エルビウムドーピングファイバアンプ(EDFA)とも称される。また、エルビウム元素を含むガラス製光ファイバに替えて、プラセオジウムが添加(ドーピング)された光ファイバが用いられてもよい。この場合においては、光3端子装置18は、1.3 μm 帯の波長で利用可能となる。

【0066】

また、前述の光3端子装置18において、第3光カプラ32および第4光カプラ40、第1光増幅素子36および第2光増幅素子44、および第1波長選択素子38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。

【0067】

また、前述の光分配装置50は、入力ポート50aに接続された第1スラブ導波路50b

10

20

30

40

50

と、複数の出力ポート 50c に接続された第 2 スラブ導波路 50d と、それら第 1 スラブ導波路 50b および第 2 スラブ導波路 50d の間に設けられた長さの異なる複数のアレー導波路 50e と、複数の出力ポート 50c 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 50a に入力された光 3 端子装置 18 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 50c 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 50 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。

10

【0068】

また、前述の実施例では、電子制御装置 24 が用いられていたが、それに替えて、第 1 光ファイバ 12 内の信号光 L_1 の分岐情報 (アドレス信号) に対応する波長の制御光 L_c を発生させて光 3 端子装置 18 の第 4 光カプラ 40 へ供給する光学装置が用いられてもよい。この場合の光学装置は、複数の光トライオードから成る演算装置およびレーザ光源などから構成されるので、電子制御装置 24 および制御光発生装置 26 に替わる全光学的装置から構成され、光スイッチングハブ装置 10 の全体が光学素子によって構成される。

20

【0069】

また、前述の実施例では、端末装置 PC_1 、 PC_2 、 PC_3 、 \dots 、 PC_n と電子制御装置 24 との間が光ファイバを介して接続されていたが、電気信号を伝送する電線を介して接続されていてもよい。

【0070】

また、前述の実施例では、光導波路として、第 1 光ファイバ 12、第 2 光ファイバ 20 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。

【0071】

また、前述の実施例では、図 2、図 3、図 4 に示される制御光発生装置 26 において、光変調器 26_{M1} 乃至 26_{Mn} 、 26_M が除去されても差し支えない。この場合、たとえば図 2、図 3 の光変調器 26 では、レーザ光源 26_{L1} 乃至 26_{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 4 の光変調器 26 では、可変波長レーザ光源 26_{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。

30

【0072】

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。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の一実施例の光スイッチングハブ装置の光回路構成を説明するブロック図である。

40

【図 2】図 1 の実施例において用いられている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 3】図 1 の実施例において用いられている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 4】図 1 の実施例において用いられている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 5】図 1 の実施例において用いられている光 3 端子装置の構成を説明するブロック図である。

【図 6】図 5 の光 3 端子装置内に設けられ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。

50

【図 7】図 5 の光 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 8】図 5 の光 3 端子装置の入出力特性を示す図である。

【図 9】図 5 の光 3 端子装置の出力信号の周波数特性を示す図である。

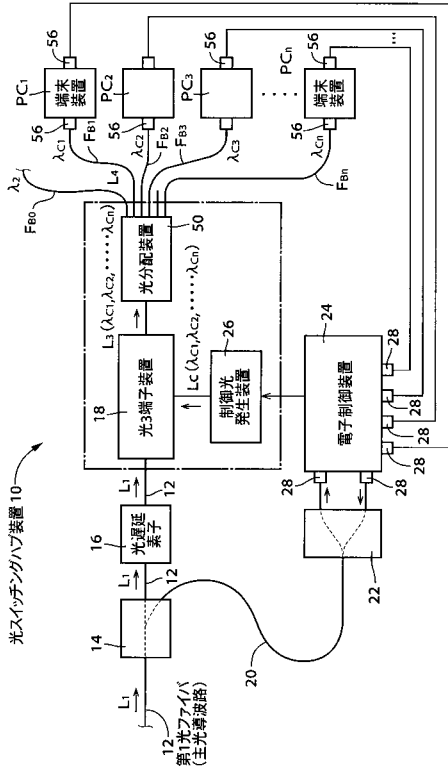
【図 10】図 1 の光分配装置の構成例を説明する図である。

【図 11】図 1 の光スイッチングハブ装置の作動を説明するタイムチャートであり、最上段は入力光である信号光の波形を示し、第 2 段は制御光の波形を示し、第 3 段乃至最下段は分岐後の各信号光の波形を示している。

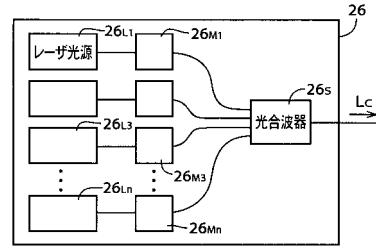
【符号の説明】

10 : 光スイッチングハブ装置	10
12 : 第 1 光ファイバ (主光導波路)	
14 : 第 1 カブラ (光分波合波器)	
16 : 光遅延素子	
18 : 光 3 端子装置	
22 : 第 2 カブラ (光分波合波器)	
24 : 電子制御装置	
26 : 制御光発生装置	
26 _{L1} 乃至 26 _{Ln} : レーザ光源	
26 _{M1} 乃至 26 _{Mn} 、26 _M : 光変調器	
26 _{Lv} : 可変波長レーザ光源	20
28 : 光電信号変換器	
32 : 第 3 光カブラ (第 1 光合波器)	
34 : 光サーキュレータ	
36 : 第 1 光増幅素子	
36c : 活性層	
36d : 反射手段	
38 : 第 1 波長選択素子	
40 : 第 4 光カブラ (第 2 光合波器)	
42 : 光サーキュレータ	
44 : 第 2 光増幅素子	30
50 : 光分配装置	
56 : 光電信号変換器	
F _{B1} 、F _{B2} 、F _{B3} 、・・・F _{Bn} : 分岐光ファイバ (分岐光導波路)	
P _{C1} 、P _{C2} 、P _{C3} 、・・・P _{Cn} : 端末装置	

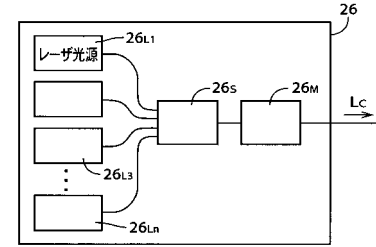
【 図 1 】



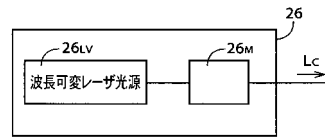
【 図 2 】



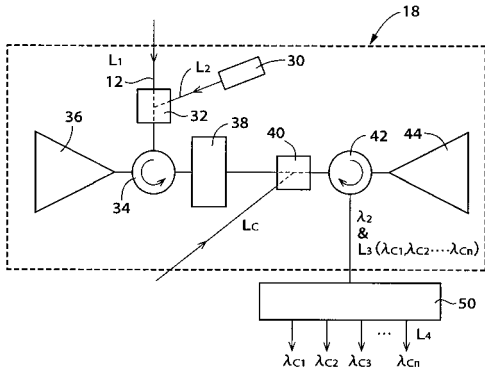
【 図 3 】



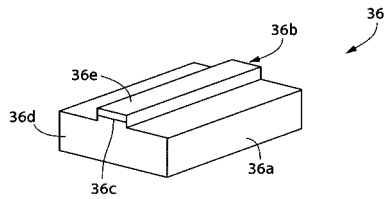
【 図 4 】



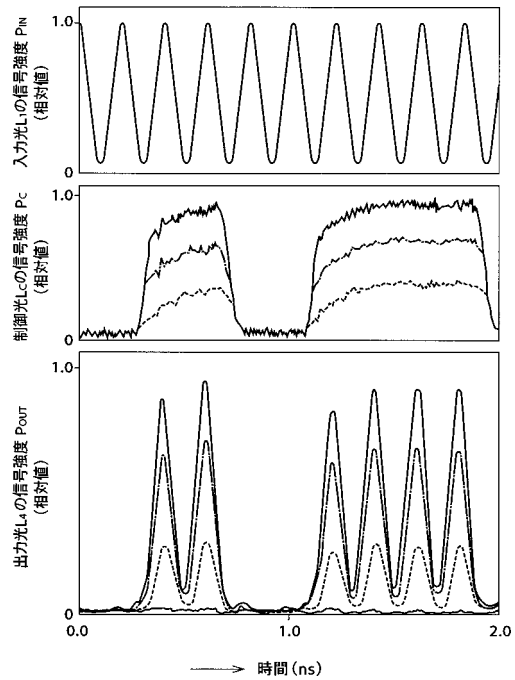
【 図 5 】



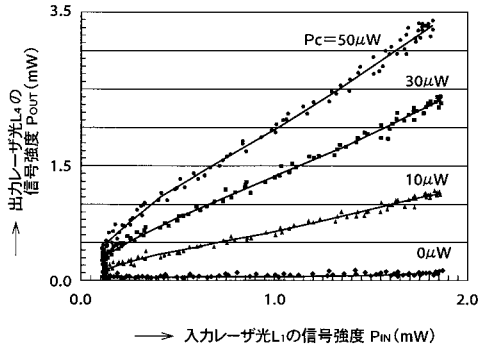
【 図 6 】



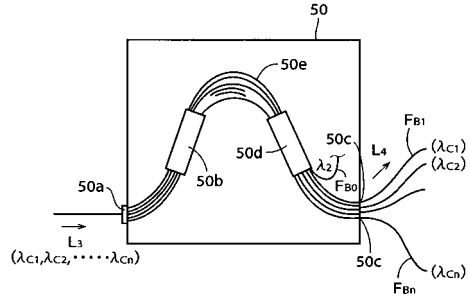
【 図 7 】



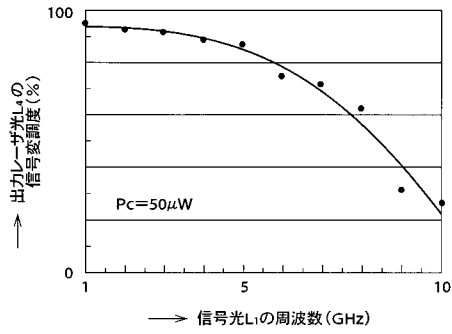
【 図 8 】



【 図 10 】



【 図 9 】



【 図 11 】

