

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7299552号
(P7299552)

(45)発行日 令和5年6月28日(2023.6.28)

(24)登録日 令和5年6月20日(2023.6.20)

(51)国際特許分類	F I		
H 0 4 B 10/278 (2013.01)	H 0 4 B	10/278	
H 0 4 J 14/02 (2006.01)	H 0 4 J	14/02	1 0 1
H 0 4 B 10/071 (2013.01)	H 0 4 B	10/071	

請求項の数 7 (全18頁)

(21)出願番号	特願2022-504829(P2022-504829)	(73)特許権者	000004226 日本電信電話株式会社 東京都千代田区大手町一丁目5番1号
(86)(22)出願日	令和2年3月4日(2020.3.4)	(74)代理人	110001634 弁理士法人志賀国際特許事務所
(86)国際出願番号	PCT/JP2020/009025	(72)発明者	五十嵐 稜 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
(87)国際公開番号	WO2021/176578	(72)発明者	藤原 正満 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
(87)国際公開日	令和3年9月10日(2021.9.10)	(72)発明者	原 一貴 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
審査請求日	令和4年6月24日(2022.6.24)	(72)発明者	金井 拓也

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光通信システム及び光通信方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

局側装置と複数の加入者側装置とがバス型のネットワークポロジで構成された光通信システムであって、

局側に設置された光増幅部と、
光信号及び励起光を分岐させるドロップ部と、

を備え、

前記光増幅部は、

下り信号を増幅する増幅器と、

上り信号を増幅させるための前記励起光を通信路へ出力する励起光出力部と、

を備え、

前記ドロップ部は、幹線ファイバに対する前記励起光の伝送損失を低減させるように、前記光信号の波長に応じて分岐比率を変化させる

光通信システム。

【請求項2】

前記光信号が複数の波長からなるWDM信号である場合において、

前記ドロップ部は、

前記WDM信号の波長に応じて周期的に透過率が変化するWDM光カプラ

を備える

請求項1に記載の光通信システム。

【請求項 3】

加入者側に設置されたミラー部
をさらに備え、
前記光増幅部は、
監視光を通信路へ出力する監視光出力部と、
前記ミラー部によって反射した前記監視光の強度を検出する強度モニタ部と、
前記強度モニタ部によって検出された前記強度に基づいて前記励起光の波長を決定し、
決定された前記波長の前記励起光を出力させるように前記励起光出力部を制御する解析部
と、
をさらに備える
請求項 1 に記載の光通信システム。

10

【請求項 4】

前記解析部は、前記強度モニタ部によって検出された前記監視光の前記強度が最大になる
ように前記波長を決定する
請求項 3 に記載の光通信システム。

【請求項 5】

前記励起光出力部は、前記通信路へ出力される前記励起光の波長をスイープさせ、
前記解析部は、前記励起光の前記波長のスイープに応じて変化する前記監視光の前記強
度が最大になるように前記波長を決定する
請求項 4 に記載の光通信システム。

20

【請求項 6】

前記励起光の波長が複数存在する場合において、
前記励起光出力部は、前記ドロップ部における幹線ファイバへの透過率が高い波長の光
を励起光として用いる
請求項 1 又は請求項 2 に記載の光通信システム。

【請求項 7】

局側装置と複数の加入者側装置とがバス型のネットワークポロジで構成された光通
信システムによる光通信方法であって、
光信号及び励起光を分岐させる分岐ステップと、
局側に設置された増幅器によって下り信号を増幅する下り信号増幅ステップと、
上り信号を増幅させるための前記励起光を通信路へ出力する励起光出力ステップと、
前記分岐ステップにおいて、幹線ファイバに対する前記励起光の伝送損失を低減させる
ように、前記光信号の波長に応じて分岐比率を変化させる分岐比率変化ステップと、
を有する光通信方法。

30

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、光通信システム及び光通信方法に関する。

【背景技術】**【0002】**

PON (Passive Optical Network) 方式による光アクセス技術が、IEEE (The I
nstitute of Electrical and Electronics Engineers) 及びITU-T (International
Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector) によっ
て標準化されている。PON方式による光アクセス技術は、昨今の光アクセスネットワ
ークにおいて広く用いられている。

40

【0003】

図1は、PON方式による光アクセスネットワーク5 (以下、「PONシステム5」と
いう。)の構成を示す概略図である。図1に示されるように、PONシステム5では、1
つのOLT (Optical Line Terminal) 10と、複数のONU (Optical Network Unit
) 20とが光ファイバ15によって接続され、両者の間で互いに通信が行われる。OLT

50

10は局舎側に設置される光回線終端装置であり、ONU20は加入者側に設置される光回線終端装置である。PON方式では、OLT10に接続された光ファイバ15は、光スプリッタ30(光カブラ)によって複数の通信経路に分岐される。分岐された光ファイバ15は、複数のONU20の一つひとつにそれぞれ接続される。

なお、図1は、一例としてONU20が3つ存在する場合について示したものであるが、ONU20の個数は任意である。

【0004】

下り通信では、OLT10から送信された光信号(下り信号)を、各ONU20がそれぞれ受信する。PONシステム5における下り通信では、各々のONU20は、予め自装置に割り当てられた時間スロットの下り信号のみを選択して受信する。また、上り通信では、各ONU20から送信された光信号(上り信号)を、OLT10が受信する。PONシステム5における上り通信では、各々のONU20は、予め自装置に割り当てられた時間スロットにのみ上り信号を送信する。このようにして、自己のONU20において送受信される光信号と他のONU20において送受信される光信号との衝突が回避される。

【0005】

このように、PONシステム5では、複数のONU20(すなわち、複数の加入者)によって、1つのOLT10及び1本の光ファイバ15が共有される。これにより、PONシステム5では、設備コストの増大が抑制され、経済的な高速光アクセスサービスの提供が可能になる。

【0006】

従来、PONシステムにおいては、主にダブルスター型のネットワークポロジの検討が進められてきた。ダブルスター型のネットワークポロジは、例えばFTTH(Fiber To The Home)のように、密集して存在するユーザを効率的に収容することが要求される場合において特に有効なネットワーク構成である。しかしながら、昨今、IoT(Internet of Things)及びモバイルネットワーク等を光アクセスネットワークで収容することが検討されている。この場合、状況に応じてネットワークポロジを柔軟に選択することが重要となる。例えば、このような光アクセスネットワークにおいて、バス型のネットワークポロジを適用することが考えられる。以下、バス型のネットワークポロジが適用された光アクセスネットワークを「バス型光アクセスネットワーク」という。

【0007】

図2は、バス型光アクセスネットワーク6の構成を示す概略図である。図2に示されるように、バス型光アクセスネットワーク6では、光ファイバ15は、1本の幹線ファイバ16と複数のブランチファイバ17とによって構成される。1本の幹線ファイバ16と複数のブランチファイバ17とによって、OLT10と複数のONU20とがそれぞれ接続される。図2に示されるように、ブランチファイバ17は、ONU20と、幹線ファイバ16上に設置されたドロップ点31とを接続する。

【0008】

OLT10から送信された下り信号の通信経路は、ドロップ点31において幹線ファイバ16とブランチファイバ17との2つの通信経路に分岐される。ここで、ドロップ点31が等分岐のパワースプリッタである場合には、これら2つの通信経路へそれぞれ同じ強度の光信号(下り信号)が出力される。この場合、主信号はそれぞれ3[dB](50[%])のドロップ損失を受ける。

【0009】

バス型光アクセスネットワーク6においては、OLT10から送信された下り信号が、近隣のエリアに存在するONU20に到達する場合には、通信経路において通過するドロップ点31の個数は相対的に少ない。一方、バス型光アクセスネットワーク6においては、OLT10から送信された下り信号が、遠方のエリアに存在するONU20に到達する場合には、通信経路において通過するドロップ点31の個数が相対的に多い。そのため、より遠方のエリアに存在するONU20へ光信号が伝送される場合であるほど、より多くのドロップ点31を通過することになるため、累積するドロップ損失がより増大する。こ

10

20

30

40

50

れに伴い、光信号の最大伝送距離が減少する場合があるという課題がある。

【 0 0 1 0 】

従来、このような課題を解決するため、ドロップ点 3 1 として、光信号の分岐比率が最適化された光スプリッタである不等分岐光スプリッタを用いる手法が提案されている（例えば、非特許文献 1）。不等分岐光スプリッタとは、各出力ポートにおける透過率が非対称に設定された光スプリッタである。

【 0 0 1 1 】

図 3 は、不等分岐光スプリッタ 3 2 を用いたバス型光アクセスネットワーク 7 の構成を示す概略図である。図 2 に示されるバス型光アクセスネットワーク 6 と比べて、図 3 に示される不等分岐光スプリッタを用いたバス型光アクセスネットワーク 7 では、不等分岐光スプリッタ 3 2（ドロップ点）において、ブランチファイバ 1 7 への透過率が減少され、幹線ファイバ 1 6 への透過率が增大される。

10

【 0 0 1 2 】

これにより、図 2 に示されるバス型光アクセスネットワーク 6 と比べて、図 3 に示される不等分岐光スプリッタを用いたバス型光アクセスネットワーク 7 では、OLT 1 0 と遠方のエリアに存在する ONU 2 0 とを結ぶ通信経路において、複数のドロップ点を通過することによって累積するドロップ損失がより低減される。これにより、不等分岐光スプリッタ 3 2 を用いたバス型光アクセスネットワーク 7 は、光信号の最大伝送距離を拡大させることができる。

【 0 0 1 3 】

なお、不等分岐光スプリッタ 3 2 を用いたバス型光アクセスネットワーク 7 では、近隣のエリアに存在する ONU 2 0 への通信経路にある不等分岐光スプリッタ 3 2（ドロップ点）におけるドロップ損失を増大させ過ぎると、符号誤り率がエラーフリーではなくなる恐れがある。したがって、各不等分岐光スプリッタ 3 2 における光信号の分岐比率をそれぞれ最適化することが重要になる（非特許文献 1 参照）。例えば、前述の通り ONU 2 0 が局舎側（OLT 1 0 側）に近い位置に存在するほど伝送距離が短く、通信経路において通過する不等分岐光スプリッタ 3 2（ドロップ点）の個数が少ない。そのため、この場合には通信経路において累積するドロップ損失は小さく、当該 ONU 2 0 に直接接続された不等分岐光スプリッタ 3 2（ドロップ点）において、より大きなドロップ損失を許容することができる。

20

30

【 0 0 1 4 】

なお、各不等分岐光スプリッタ 3 2 における光信号の分岐比率をそれぞれ最適化することが重要であることは、上り通信の場合においても同様である。

【 0 0 1 5 】

ところで、光アクセスネットワークにおいて光信号の伝送距離を拡大する技術の一つとして、光増幅技術がある。光増幅技術は、長距離通信によって低下した光信号の信号強度を、受信器が識別できる信号強度にまで増幅させることによって伝送距離を拡大させる技術である。光増幅器による伝送距離の拡大効果は、当該光増幅器が設置される位置によって異なる。これは、光増幅器が設置される位置によって、受信器に入る光雑音の大きさが異なるためである。

40

【 0 0 1 6 】

例えば、送信器側に光増幅器が設置される場合、光増幅器が放出する光雑音は伝送損失によって減衰する。そのため、受信器に到達する時点では光雑音の強度が小さく、受信特性の劣化が生じにくい。一方、受信器側に光増幅器が設置される場合、光増幅器が放出する光雑音は伝送損失を受けずに高い強度で受信器に入る。そのため、受信特性の劣化が生じやすい。以上のことから、光アクセスネットワークにおける光信号の伝送距離の拡大において高い効果を得るためには、送信器側に光増幅器を設置することが重要である。

【 0 0 1 7 】

また、光アクセスネットワークでは、ONU 2 0 から OLT 1 0 へ送信される上り信号と、OLT 1 0 から ONU 2 0 へ送信される下り信号とが、同一の光ファイバによって伝

50

送される。したがって、伝送距離の拡大を図るためには、上り信号と下り信号とをそれぞれ増幅する必要がある。

【 0 0 1 8 】

前述の通り、光アクセスネットワークでは、複数の加入者が1つのOLT 10及び1つの光ファイバ15を共有する。これにより、設備コストの増大が抑制され、経済的な高速光アクセスサービスの提供が可能になる。したがって、光増幅器による伝送距離の拡大を経済的に行うためには、光増幅器の機能をOLT 10側に集約して、当該増幅器の機能を複数のユーザによって共有する構成にすることが重要になる。

【 0 0 1 9 】

図4は、OLT 10側に光増幅器40が設置された光アクセスネットワーク8の構成を示す概略図である。図4に示されるように、光アクセスネットワーク8では、2つのWDM (Wavelength Division Multiplexing) 光カプラ33によって、上り信号の波長帯が通る通信経路と下り信号の波長帯が通る通信経路とに通信経路が分離され、分離された当該通信経路が再び結合される。WDM光カプラ33は、1つの入力信号を波長ごとに分離し、複数の出力ポートに分岐させることができる

10

【 0 0 2 0 】

図4に示されるように、集中増幅型の光増幅器40が、上り信号の波長帯が通る通信経路と下り信号の波長帯が通る通信経路とにそれぞれ設置される。集中増幅型の光増幅器40とは、通信路の一点において光信号を集中的に増幅する光増幅器である。図4に示されるように、2つの光増幅器40は、いずれもOLT 40側に設置される。

20

【 0 0 2 1 】

図4に示されるように、光アクセスネットワーク8では、下り通信においては、送信器側(OLT 10側)に光増幅器40が存在することになる。したがって、下り通信においては、前述の通りASE (Amplified Spontaneous Emission) 雑音が増幅により受信器側(ONU 20側)に到達した時点において減少する。そのため、下り通信においては、伝送距離の拡大において高い効果が見込まれる。一方、上り通信においては、受信器側(OLT 10側)に光増幅器40が存在することになる。そのため、上り通信においては、受信器側(OLT 10側)に入る光雑音が相対的に大きくなる。そのため、上り通信においては、伝送距離の拡大効果が制限される。

【 0 0 2 2 】

30

このように、光アクセスネットワークの伝送距離を拡大させるためには、特に上り通信において雑音を減少させる光増幅技術がOLT 10側に備えられる必要がある。昨今、このような光増幅技術として、分布ラマン増幅技術の検討が進められている。分布ラマン増幅技術とは、通信路へ励起光と呼ばれる高いパワーを持つ光を入射させ、非線形光学効果の一つである誘導ラマン散乱の効果によって光信号を増幅させる技術である。分布ラマン増幅技術は、雑音特性が良好な光増幅技術として一般的に知られている。分布ラマン増幅技術においては、励起光の波長は、増幅される光信号の波長に応じて適切に設定される必要がある。

【 0 0 2 3 】

図5は、集中型光増幅器と分布ラマン増幅技術とが用いられた光アクセスネットワーク9aの構成を示す概略図である。また、図6は、光アクセスネットワーク9aにおける伝送距離に対する信号強度の変化を示す図である。なお、図6において、一点鎖線は、分布ラマン増幅技術が用いられない場合の信号強度を示したものである。

40

【 0 0 2 4 】

下り信号は、OLT 10から送信された直後に、集中型光増幅器41によって増幅される。その後、増幅された下り信号は、通信路を通過し、ONU 20(受信器)に入る。一方、上り信号は、ONU 20から送信された直後から伝送損失によって減衰していく。但し、減衰した上り信号は、通信路において励起光の強度が高い領域に入ると、分布ラマン増幅の効果によって徐々に増幅される。分布ラマン増幅では、前述の集中型光増幅器41による増幅とは異なり、通信路が増幅媒体となる。このように、上り信号は、通信路内を

50

伝搬するとともに徐々に増幅利得を得る。このとき、分布ラマン増幅によって発生する光雑音も伝送損失を受けるため、受信器側（OLT10）に到達した時点での光雑音の量も低減される。これにより、良好な雑音特性が得られる。

【0025】

このように、OLT10側に光増幅機能が集約された経済的な構成を有する光アクセスネットワークであっても、上り通信において分布ラマン増幅技術が用いられることによって、光雑音の影響を低減させることができる。これにより、伝送距離を拡大することが可能になる。

【先行技術文献】

【非特許文献】

10

【0026】

【文献】P.Lafata, J.Vodrazka, "Perspective Application of Passive Optical Network with Optimized Bus Topology", Journal of Applied Research and Technology, Vol.10 No.3, June 2012

岩淵昌広, 岩崎とも子, 今村哲夫, "ファイバ型WDM光カプラ", 沖テクニカルレビュー, 第190号 Vol.69 No.2, 2002年4月

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0027】

図7は、集中型光増幅器41と分布ラマン増幅技術とが用いられたバス型光アクセスネットワーク9bの構成を示す概略図である。また、図8は、バス型光アクセスネットワーク9bにおける伝送距離に対する励起光強度の変化を示す図である。図7に示されるように、バス型光アクセスネットワーク9bはドロップ点31を有する。バス型光アクセスネットワーク9bにおいて、ドロップ点31は等分岐光スプリッタである。この場合、通信経路においてより多くのドロップ点31を通過して光信号が到達する遠方のエリアにおいては、図8に示されるように励起光の強度が著しく低下するため、ラマン利得の減少が懸念される。このように、従来、バス型光アクセスネットワークにおいて、伝送距離の拡大が困難であるという課題がある。

20

【0028】

本発明は、上記の点を鑑みてなされたものであり、バス型光アクセスネットワークでの伝送距離を拡大することができる技術を提供することを目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0029】

本発明の一態様は、局側装置と複数の加入者側装置とがバス型のネットワークトポロジーで構成された光通信システムであって、局側に設置された光増幅部と、光信号及び励起光を分岐させるドロップ部と、を備え、前記光増幅部は、下り信号を増幅する増幅器と、上り信号を増幅させるための前記励起光を通信路へ出力する励起光出力部と、を備え、前記ドロップ部は、幹線ファイバに対する前記励起光の伝送損失を低減させるように、前記光信号の波長に応じて分岐比率を変化させる光通信システムである。

【0030】

40

また、本発明の一態様は、上記の光通信システムであって、前記光信号が複数の波長からなるWDM信号である場合において、前記ドロップ部は、前記WDM信号の波長に応じて周期的に透過率が変化するWDM光カプラを備える。

【0031】

また、本発明の一態様は、上記の光通信システムであって、加入者側に設置されたミラー部をさらに備え、前記光増幅部は、監視光を通信路へ出力する監視光出力部と、前記ミラー部によって反射した前記監視光の強度を検出する強度モニタ部と、前記強度モニタ部によって検出された前記強度に基づいて前記励起光の波長を決定し、決定された前記波長の前記励起光を出力させるように前記励起光出力部を制御する解析部と、をさらに備える。

【0032】

50

また、本発明の一態様は、上記の光通信システムであって、前記解析部は、前記強度モニタ部によって検出された前記監視光の前記強度が最大になるように前記波長を決定する。

【0033】

また、本発明の一態様は、上記の光通信システムであって、前記励起光出力部は、前記通信路へ出力される前記励起光の波長をスイープさせ、前記解析部は、前記励起光の前記波長のスイープに応じて変化する前記監視光の前記強度が最大になるように前記波長を決定する。

【0034】

また、本発明の一態様は、上記の光通信システムであって、前記励起光の波長が複数存在する場合において、前記励起光出力部は、前記ドロップ部における幹線ファイバへの透過率が高い波長の光を励起光として用いる。

10

【0035】

また、本発明の一態様は、局側装置と複数の加入者側装置とがバス型のネットワークポロジで構成された光通信システムによる光通信方法であって、光信号及び励起光を分岐させる分岐ステップと、局側に設置された増幅器によって下り信号を増幅する下り信号増幅ステップと、上り信号を増幅させるための前記励起光を通信路へ出力する励起光出力ステップと、前記分岐ステップにおいて、幹線ファイバに対する前記励起光の伝送損失を低減させるように、前記光信号の波長に応じて分岐比率を変化させる分岐比率変化ステップと、を有する光通信方法である。

【発明の効果】

20

【0036】

本発明により、バス型光アクセスネットワークでの伝送距離を拡大することができる。

【図面の簡単な説明】

【0037】

【図1】PON方式による光アクセスネットワーク5の構成を示す概略図。

【図2】バス型光アクセスネットワーク6の構成を示す概略図。

【図3】不等分岐光スプリッタ32を用いたバス型光アクセスネットワーク7の構成を示す概略図。

【図4】OLT10側に光増幅器が設置された光アクセスネットワーク8の構成を示す概略図。

30

【図5】集中型光増幅器と分布ラマン増幅技術とが用いられた光アクセスネットワーク9aの構成を示す概略図。

【図6】光アクセスネットワーク9aにおける伝送距離に対する信号強度の変化を示す図。

【図7】集中型光増幅器と分布ラマン増幅技術とが用いられたバス型光アクセスネットワーク9bの構成を示す概略図。

【図8】バス型光アクセスネットワーク9bにおける伝送距離に対する励起光強度の変化を示す図。

【図9】本発明の第1の実施形態におけるバス型光アクセスネットワーク1の構成を示す概略図。

【図10】本発明の第1の実施形態におけるバス型光アクセスネットワーク1のドロップ点31の構成を示す概略図。

40

【図11】本発明の第1の実施形態におけるバス型光アクセスネットワーク1のドロップ点31の透過特性の一例を示す図。

【図12】光信号の波長配置とWDM光カブラの透過率の変化の一例を示す図。

【図13】各ポートに対する透過率がWDM信号の波長間隔と同一の周期で変化する様子を示す図。

【図14】増幅利得が生じる様子を示す図。

【図15】励起光の波長を変化させた場合を示す図。

【図16】複数の励起光を用いて増幅を行う様子を示す図。

【図17】本発明の第3の実施形態におけるバス型光アクセスネットワーク2の構成を示

50

す概略図。

【図 18】比較的伝送損失の大きなドロップ点 31 が OLT 10 に近い位置に存在する場合の、伝送距離に対する励起光強度の変化を示す図。

【図 19】比較的伝送損失の大きなドロップ点 31 が ONU 20 に近い位置に存在する場合の、伝送距離に対する励起光強度の変化を示す図。

【図 20】波長をスweepすることによって励起光の波長を決定するバス型光アクセスネットワーク 3 の構成を示す概略図。

【発明を実施するための形態】

【0038】

< 第 1 の実施形態 >

以下、本発明の第 1 の実施形態について、図面を参照しながら説明する。

【0039】

図 9 は、本発明の第 1 の実施形態におけるバス型光アクセスネットワーク 1 の構成を示す概略図である。図 9 に示されるように、バス型光アクセスネットワーク 1 は、局側装置である OLT 10 と、加入者側装置である複数の ONU 20 とを備える。OLT 10 と複数の ONU 20 とは、バス型のネットワークトポロジーで配線された光ファイバ 15 によって構成された通信路により互いに接続される。

【0040】

図 9 に示されるように、OLT 10 と通信路との間には、光信号の増幅機能を担う光増幅装置が備えられる。バス型光アクセスネットワーク 1 では、通信経路が、2 つの WDM 光カプラ 33 によって、上り信号の波長帯が通る通信経路と下り信号の波長帯が通る通信経路とに分離され、分離された当該通信経路が再び結合される。

【0041】

図 9 に示されるように、下り通信においては、OLT 10 から送信された光信号（下り信号）が光増幅装置に入る。光増幅装置において下り信号は、WDM 光カプラ 33 により分離された通信経路のうち下り信号が通る通信経路を伝搬する。下り信号が通る通信経路には、集中型光増幅器 41 が設置されている。集中型光増幅器 41 は、下り信号を増幅する。増幅された下り信号は、通信路を伝搬し、各 ONU 20 によってそれぞれ受信される。

【0042】

一方、図 9 に示されるように、上り通信においては、各 ONU 20 から送信された光信号（上り信号）は、通信路を通過した後、光増幅装置に入る。光増幅装置において上り信号は、WDM 光カプラ 33 により分離された通信経路のうち上り信号が通る通信経路を伝搬する。上り信号は、光増幅装置を通過し、OLT 10 によって受信される。

【0043】

図 9 に示されるように、光増幅装置は、励起光出力部 50 を備える。励起光出力部 50 は、上り信号を増幅させるための励起光を通信路へ入射させる。これにより、上り信号は、通信路において励起光の強度が高い領域に入ると、分布ラマン増幅の効果によって徐々に増幅される。

【0044】

本実施形態におけるバス型光アクセスネットワーク 1 は、ドロップ点 31 において、励起光が受けるドロップ損失を低減させ、ラマン利得を最大化させる。本実施形態では、ドロップ点 31 として、WDM 光カプラが用いられる。ただし、ここで想定する WDM 光カプラは、1 つの入力信号を複数の出力ポートに分岐させることができるとともに、分岐比率を波長によって変化させることができるものとする。

【0045】

図 10 は、本発明の第 1 の実施形態におけるバス型光アクセスネットワーク 1 のドロップ点 31（WDM 光カプラ）の構成を示す概略図である。本実施形態では一例として、ドロップ点 31 は、溶融延伸による WDM 光カプラ（例えば非特許文献 2 を参照）であるものとする。

【0046】

10

20

30

40

50

ドロップ点31(WDM光カブラ)は、2本の光ファイバの一部を近接させた状態で融着することによって結合する。ドロップ点31は、一方の光ファイバを伝搬する光信号の一部を、もう一方のファイバに伝搬させる。これにより、入力ポートに入力された光信号を、複数の出力ポートに分配する。例えば、ポート1及びポート2に光信号が入力される場合には、ポート3及びポート4から出力される。また、例えば、ポート3及びポート4に光信号が入力される場合には、ポート1及びポート2から出力される。例えば、下り信号は、ポート1に入力され、ポート3及びポート4から出力される。また、例えば、上り信号は、ポート3及びポート4に入力され、ポート1及びポート2から出力される。

【0047】

もしドロップ点が等分岐光スプリッタであるならば、ポート1から入力された光信号の50[%]が、ポート3及びポート4へそれぞれ出力される。これに対し、本実施形態におけるドロップ点31(熔融延伸によるWDM光カブラ)では、光ファイバに熱が加えられて結合部分が引き延ばされることによって、各出力ポートへ光信号の分岐比率が制御される。

10

【0048】

図11は、本発明の第1の実施形態におけるバス型光アクセスネットワーク1のドロップ点31の透過特性の一例を示す図である。図11において、実線の波形は、ポート1からポート3、又はポート3からポート1に透過する割合を示したものである。また、図11において、破線の波形は、ポート1からポート4、又はポート4からポート1に透過する割合を示したものである。なお、ポート2は用いられないものとする。

20

【0049】

本実施形態では、一例として、ドロップ点31における光信号の分岐比率は、(幹線ファイバ方向):(ブランチファイバ方向)=80:20であるものとする。なお、幹線ファイバ方向とは、ポート1からポート3への方向、及びポート3からポート1への方向である。また、ブランチファイバ方向とは、ポート1からポート4への方向、及びポート4からポート1への方向である。

【0050】

一方、励起光は、ドロップ点31において、ブランチファイバ方向には透過せず、全て(100[%])幹線ファイバ方向に透過するように構成される。これにより、遠方のエリアに到達した時点における励起光の光強度が高く保たれるため、ラマン利得を最大化することができる。

30

【0051】

なお、本実施形態においては、一例として、ドロップ点31として熔融延伸によるWDM光カブラを用いる構成について説明したが、これに限られるものではない。例えば、PLCが用いられたり、マツハツェンダ型の導波路が用いられた場合であっても、波長に応じて分岐比率を変化させるドロップ点を実現することが可能である。

【0052】

<第2の実施形態>

以下、本発明の第2の実施形態について、図面を参照しながら説明する。本実施形態では、光信号は、複数の波長からなるWDM信号である。

40

【0053】

図12は、光信号の波長配置とWDM光カブラの透過率の変化の一例を示す図である。光信号が複数の波長からなるWDM信号である場合には、信号によって波長が異なる。そのため、信号によって透過率も変化することになるため、伝送距離にばらつきが生じる。これを解決する方法として、各ポートに対する透過率がWDM信号の波長間隔と同一の周期で周期的に変化するWDM光カブラを活用することが考えられる。

【0054】

図13は、各ポートに対する透過率が、WDM信号の波長間隔と同一の周期で変化する様子を示す図である。この場合、すべての信号の透過率を一定に保つことができる。励起光の波長は、前述の通り透過率が100[%]となるように設定される。

50

【 0 0 5 5 】

一般的に、励起光の波長は、増幅される光信号の波長に合わせて設定される。例えば、標準的なシングルモードファイバが用いられる場合、光信号から約 13 [THz] 程度高い周波数の光が励起光として用いられる。これは、1550 [nm] 帯において、100 [nm] の波長差となる。したがって、1500 [nm] の励起光が用いられる場合、1600 [nm] 付近に増幅利得が生じる。

【 0 0 5 6 】

図 14 は、増幅利得が生じる様子を示す図である。図 14 において、増幅帯域とは、最大の増幅利得が得られる領域を示す。増幅帯域が、分布ラマン増幅によって増幅する WDM 信号の帯域よりも十分に大きい場合、増幅する WDM 信号が増幅帯域内にあり、かつ、幹線ファイバの透過率が 100 [%] となる励起光の波長は複数存在し、励起光の波長はこれらのうち、どこに設定されてもよい。

10

【 0 0 5 7 】

図 15 は、励起光の波長を変化させた場合を示す図である。このように、励起光の波長を変化させた場合であっても、WDM 信号の波長帯を増幅帯域でカバーすることができる。

【 0 0 5 8 】

また、ラマン利得の改善に向けて、複数の励起光を用いて増幅を行うことが考えられる。

図 16 は、複数の励起光を用いて増幅を行う様子を示す図である。この場合、WDM 光カプラの幹線ファイバへの透過率が高い波長の光を励起光として用いればよい。例えば、WDM 光カプラの幹線ファイバへの透過率が 100 [%] となるように、それぞれの励起光の波長を設定することによって、ラマン利得を最大化することができる。

20

【 0 0 5 9 】

< 第 3 の実施形態 >

以下、本発明の第 3 の実施形態について、図面を参照しながら説明する。

図 17 は、本発明の第 3 の実施形態におけるバス型光アクセスネットワーク 2 の構成を示す概略図である。本実施形態におけるバス型光アクセスネットワーク 2 は、集中型光増幅器 41 と分布ラマン増幅技術とが用いられた光アクセスネットワークである。

【 0 0 6 0 】

図 17 に示されるように、バス型光アクセスネットワーク 2 は、ドロップ点 31 を有する。本実施形態において、ドロップ点 31 は、励起光の波長帯で幹線ファイバに対する透過率が 100 [%] となるように設計される。本実施形態において、ドロップ点 31 は、WDM 光カプラである。

30

【 0 0 6 1 】

しかしながら、厳密にはドロップ点の装置（例えば、WDM 光カプラ）の特性は個体によって異なる。そのため、ラマン利得の最大化に向けては、用いられるドロップ点の装置（例えば、WDM 光カプラ）に合わせて励起光の波長をそれぞれ最適化する必要がある。

【 0 0 6 2 】

ラマン利得の最大化に向けては、励起光の強度が高い区間を長く保つことが重要である。以下、各ドロップ点 31（WDM 光カプラ）の幹線ファイバに対する透過率がわずかに 100% よりも低い場合の、伝送距離に対する励起光強度の変化を示す。

40

図 18 は、ドロップ損失が比較的大きなドロップ点 31 が OLT 10 に近い位置に存在する場合の、伝送距離に対する励起光強度の変化を示す図である。また、図 19 は、ドロップ損失が比較的大きなドロップ点 31 が ONU 20 に近い位置に存在する場合の、伝送距離に対する励起光強度の変化を示す図である。

【 0 0 6 3 】

図 18 及び図 19 に示されるように、両者において、励起光がそれぞれの通信路で受ける伝送損失の合計は同じである。しかしながら、ドロップ損失が比較的大きなドロップ点 31 が ONU 20 側（加入者側）に存在する場合（図 19）のほうが、得られる利得はより大きくなる。これは、ドロップ損失が比較的大きなドロップ点 31 が ONU 20 側（加入者側）に存在する場合（図 19）のほうが、励起光の強度が高い状態でより長い区間を

50

通信できるためである。したがって、励起光の波長帯の決定においては、単にドロップ点 3 1 におけるドロップ損失が少ない波長帯に決定するのではなく、各ドロップ点 3 1 の位置を考慮して決定することが重要になる。

【 0 0 6 4 】

ラマン利得を最大化するための励起光の波長を決定する方法として、例えば、ラマン利得を監視しながら、励起光の波長をスイープする方法が考えられる。

図 2 0 は、波長をスイープすることによって励起光の波長を決定するバス型光アクセスネットワーク 3 の構成を示す概略図である。

【 0 0 6 5 】

図 2 0 に示されるように、バス型光アクセスネットワーク 3 は、集中型光増幅器 4 1 と分布ラマン増幅技術とが用いられた光アクセスネットワークである。図 2 0 に示されるように、バス型光アクセスネットワーク 3 は、ドロップ点 3 1 を有する。本実施形態において、ドロップ点 3 1 は、WDM 光カプラである。

【 0 0 6 6 】

バス型光アクセスネットワーク 3 が備える光増幅装置は、利得監視部と、励起光出力部 5 0 と、解析部 5 5 とを備える。また、利得監視部は、監視光出力部 5 1 と、サーキュレータ 5 2 と、強度モニタ部 5 4 と、解析部 5 5 とを備える。また、図 2 0 に示されるように、バス型光アクセスネットワーク 3 は、ミラー部を備える。ミラー部は、ミラー 5 3 を備える。ミラー 5 3 は、後述される監視光を反射する。

【 0 0 6 7 】

利得監視部は、ラマン利得を監視する。

監視光出力部 5 1 は、ラマン利得が得られる波長帯の光を、監視光として通信路に入射させる。監視光は、幹線ファイバを伝搬した後、幹線ファイバの末端に設置されたミラー部のミラー 5 3 によって反射する。反射した監視光は、再び幹線ファイバを伝搬した後、光増幅装置の強度モニタ部 5 4 によって受信される。この際、励起光出力 5 0 から出力される励起光がスイープされることによって、強度モニタ部 5 4 に入る監視光が受ける利得が変化する。

【 0 0 6 8 】

利得が最大となる励起光の波長を把握するためには、例えば前述の通り、励起光の波長をスイープする方法が有効である。利得を最大化するためには、励起光の波長をスイープして、強度モニタ部 5 4 によって検出される監視光の強度が最大となるような励起光の波長を検出すればよい。

【 0 0 6 9 】

解析部 5 5 は、励起光の波長をスイープすることによって変化する、強度モニタ部 5 4 によって検出される監視光の強度に基づいて、最適な励起光の波長を検出する。解析部 5 5 は、検出結果に基づいて、励起光出力部 5 0 から出力される励起光の波長を制御する。

【 0 0 7 0 】

なお、ドロップ点 3 1 において、幹線ファイバへの監視光の透過率が低い場合には、強度モニタ部 5 4 に入る監視光の強度が低くなる。これにより、測定精度が低下することが懸念される。この場合、前述の励起光の波長の設定が行われる前に、監視光の波長をスイープし、強度モニタ部 5 4 に入る監視光の強度を十分高く設定しておく必要がある。

【 0 0 7 1 】

以上説明したように、前述の各実施形態におけるバス型光アクセスネットワーク（光通信システム）は、局側装置である OLT 1 0 と加入者側装置である複数の ONU 2 0 とを含んで構成される。OLT 1 0 と複数の ONU 2 0 とは、バス型トポロジーで配線された光ファイバによってそれぞれ接続される。OLT 1 0 と通信路との間には、光信号の増幅機能を担う光増幅装置（光増幅部）が接続される。光増幅装置は、WDM 光カプラ 3 3 により、上り信号と下り信号とをそれぞれ別の通信経路に分離して、再び結合する。下り信号の通信経路には、集中型光増幅器 4 1 が設置される。集中型光増幅器 4 1 は、OLT 1 0 から送信された下り信号を増幅する。一方、ONU 2 0 から送信された上り信号は、通

10

20

30

40

50

信路を伝搬した後、光増幅装置を通過し、OLT 10によって受信される。また、通信路には、光増幅装置から上り信号を増幅させるための励起光が入射される。上り信号は、通信路において励起光の強度が高い領域に入ると、分布ラマン増幅の効果によって徐々に増幅される。さらに、ドロップ点31（ドロップ部）において励起光が受けるドロップ損失を低減させ、ラマン利得を最大化するためにWDM光カブラが用いられる。当該WDM光カブラは、1つの入力信号を複数の出力ポートに分岐させ、その分岐比率を光信号の波長に応じて変化させる。

【0072】

このような構成を備えることにより、本発明の各実施形態におけるバス型光アクセスネットワークは、遠方のエリア（すなわち、OLT 10からより遠く離れたエリア）においても励起光の強度を高く保つことができるため、ラマン利得を最大化することができる。これにより、本発明によれば、バス型光アクセスネットワークでの伝送距離を拡大することができる。

10

【0073】

上述した各実施形態における光アクセスネットワークの一部をコンピュータで実現するようにしてもよい。その場合、この機能を実現するためのプログラムをコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録して、この記録媒体に記録されたプログラムをコンピュータシステムに読み込ませ、実行することによって実現してもよい。なお、ここでいう「コンピュータシステム」とは、OSや周辺機器のハードウェアを含むものとする。また、「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、フレキシブルディスク、光磁気ディスク、ROM、CD-ROM等の可搬媒体、コンピュータシステムに内蔵されるハードディスク等の記録装置のことをいう。さらに「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、インターネット等のネットワークや電話回線等の通信回線を介してプログラムを送信する場合の通信線のように、短時間の間、動的にプログラムを保持するもの、その場合のサーバクライアントとなるコンピュータシステム内部の揮発性メモリのように、一定時間プログラムを保持しているものを含んでもよい。また上記プログラムは、前述した機能の一部を実現するためのものであってもよく、さらに前述した機能をコンピュータシステムにすでに記録されているプログラムとの組み合わせで実現できるものであってもよく、FPGA（Field Programmable Gate Array）等のプログラマブルロジックデバイスを用いて実現されるものであってもよい。

20

30

【0074】

以上、この発明の実施形態について図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施形態に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計等も含まれる。

【符号の説明】

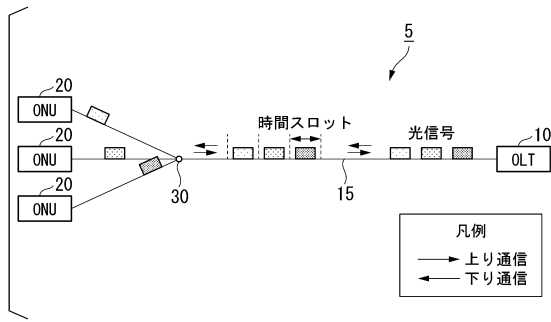
【0075】

10・・・OLT、15・・・光ファイバ、16・・・幹線ファイバ、17・・・ブランチファイバ、20・・・ONU、30・・・光スプリッタ、31・・・ドロップ点、32・・・不等分岐光スプリッタ、33・・・WDM光カブラ、40・・・光増幅器、41・・・集中型光増幅器、50・・・励起光出力部、51・・・監視光出力部、52・・・サーキュレータ、53・・・ミラー、54・・・強度モニタ部、55・・・解析部

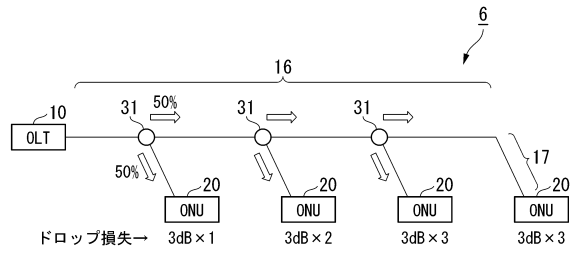
40

【図面】

【図 1】

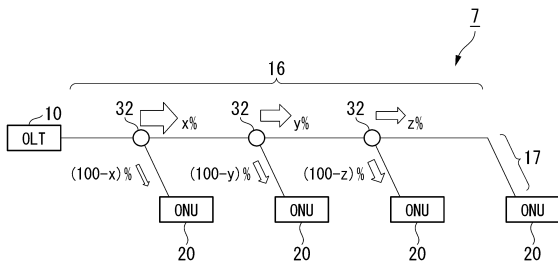


【図 2】

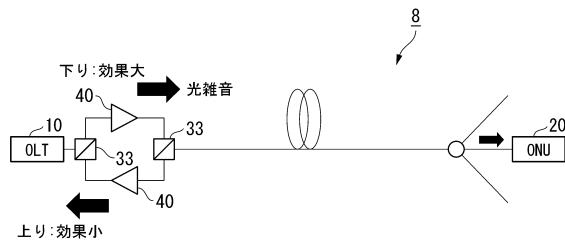


10

【図 3】

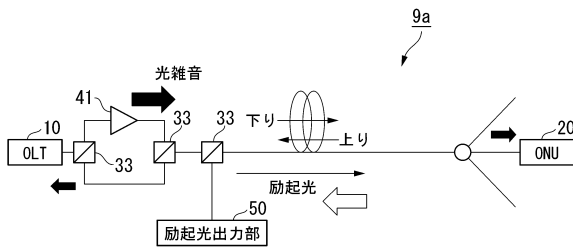


【図 4】

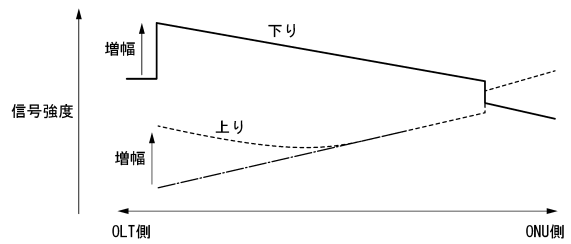


20

【図 5】



【図 6】

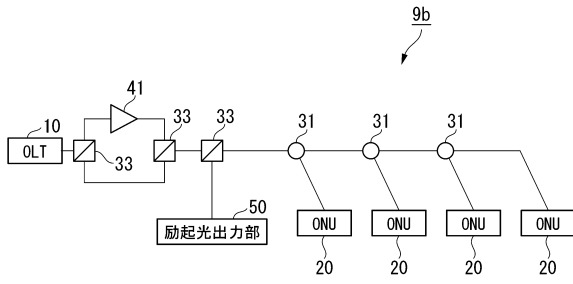


30

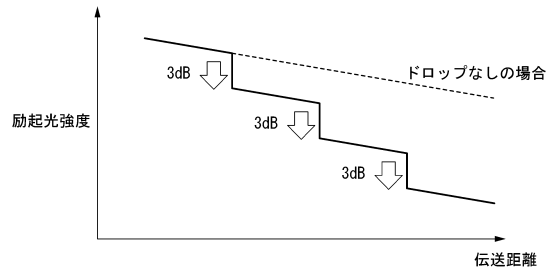
40

50

【図7】

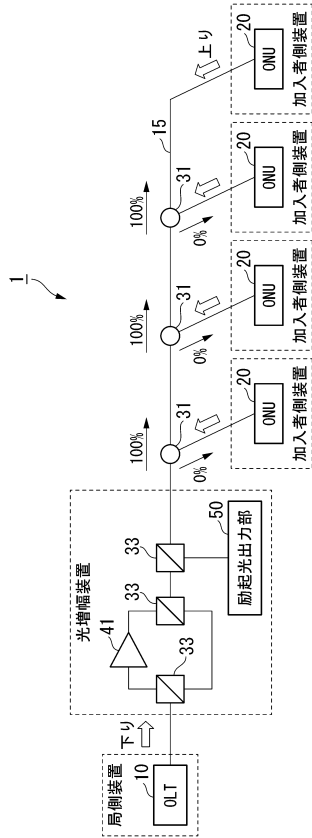


【図8】

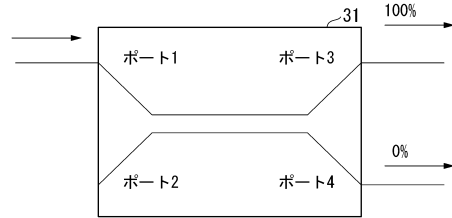


10

【図9】



【図10】



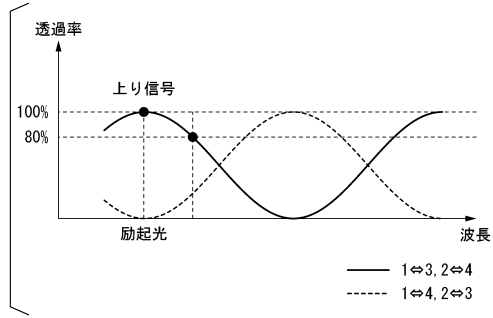
20

30

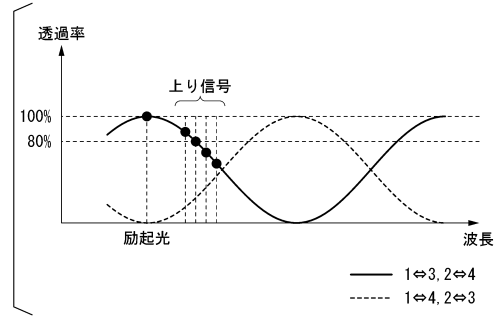
40

50

【図 1 1】

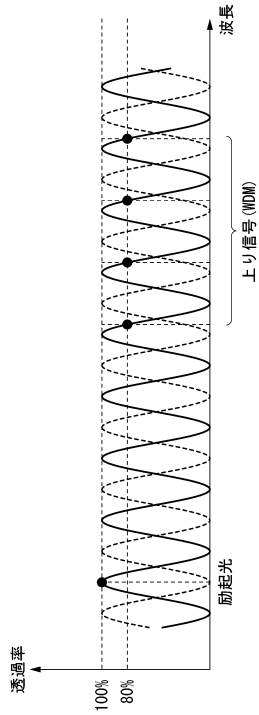


【図 1 2】

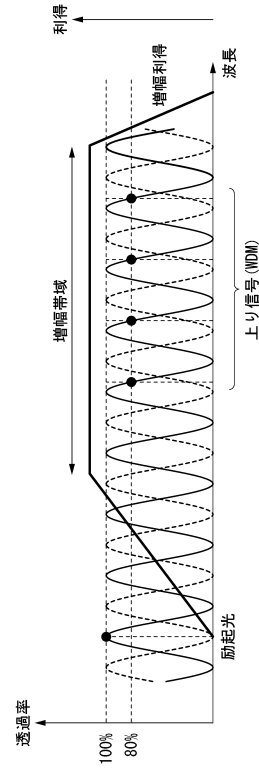


10

【図 1 3】



【図 1 4】



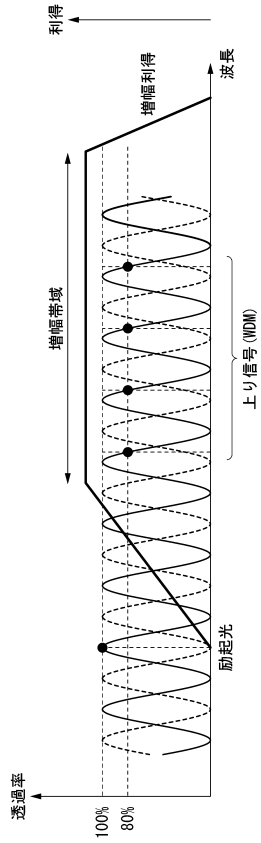
20

30

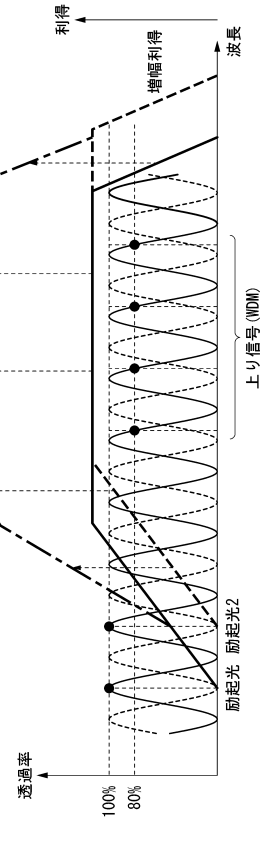
40

50

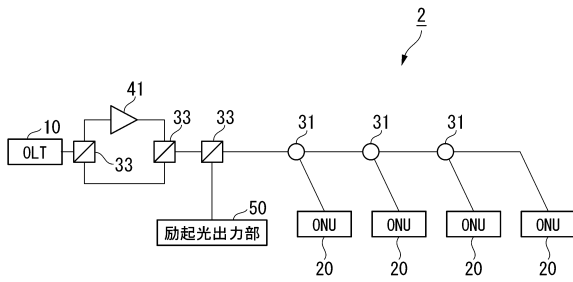
【図15】



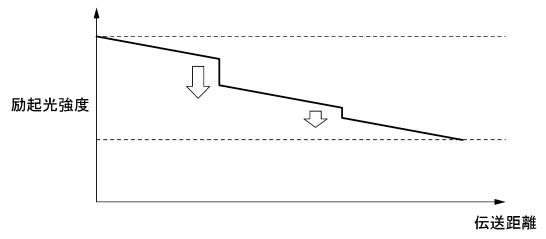
【図16】



【図17】



【図18】



10

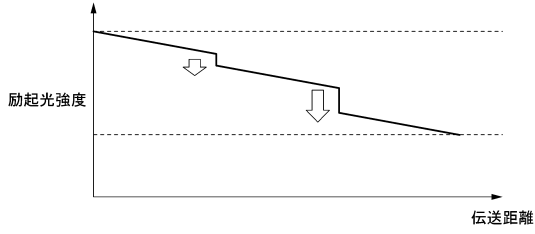
20

30

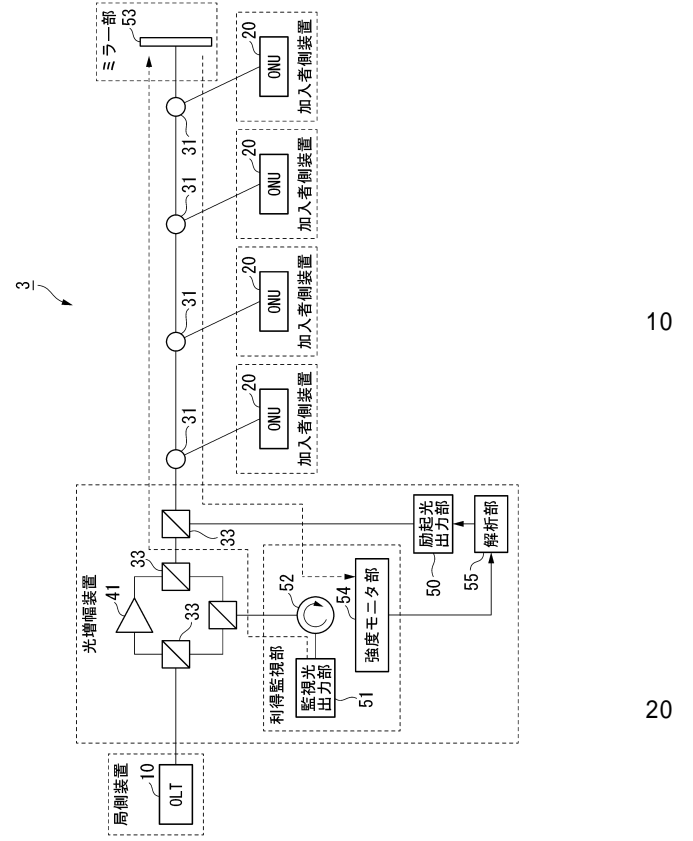
40

50

【図 19】



【図 20】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
(72)発明者 木村 康隆
東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
(72)発明者 河北 敦子
東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
審査官 後澤 瑞征
(56)参考文献 特開2002-176392(JP,A)
特開平8-51402(JP,A)
特表2014-530523(JP,A)
米国特許出願公開第2017/0272197(US,A1)
(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H04B 10/278
H04J 14/02
H04B 10/071