

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3799266号

(P3799266)

(45) 発行日 平成18年7月19日(2006.7.19)

(24) 登録日 平成18年4月28日(2006.4.28)

(51) Int. Cl. F I
HO 4 B 10/02 (2006.01) HO 4 B 9/00 M
HO 4 B 10/18 (2006.01)

請求項の数 5 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2001-349699 (P2001-349699)	(73) 特許権者	000005223
(22) 出願日	平成13年11月15日(2001.11.15)		富士通株式会社
(65) 公開番号	特開2003-152645 (P2003-152645A)		神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(43) 公開日	平成15年5月23日(2003.5.23)	(74) 代理人	100078330
審査請求日	平成16年5月24日(2004.5.24)		弁理士 笹島 富二雄
		(72) 発明者	大谷 俊博
			北海道札幌市北区北七条西四丁目3番地1
			富士通東日本デジタル・テクノロジー株式会社内
		審査官	望月 章俊
		(56) 参考文献	特開平07-199244 (JP, A)
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 誘導ブリリュアン散乱を利用した雑音光除去方法、雑音光除去装置および光伝送システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

閾値を超えるパワーの光が入力されると誘導ブリリュアン散乱による戻り光を発生する誘導ブリリュアン散乱発生媒体に対して、光増幅部により前記閾値を超えるパワーまで増幅した信号光を与え、当該誘導ブリリュアン散乱発生媒体で発生する戻り光を信号光として取り出すことにより、信号光に含まれる雑音光成分を除去する雑音光除去方法において、

前記閾値が、前記光増幅部の出力光パワーと、前記光増幅部の出力端および前記誘導ブリリュアン散乱発生媒体の入力端の間に配置された光部品の挿入損失とに基づいて設定されることを特徴とする雑音光除去方法。

【請求項2】

閾値を超えるパワーの光が入力されると誘導ブリリュアン散乱による戻り光を発生する誘導ブリリュアン散乱発生媒体と、

信号光を前記閾値を超えるパワーまで増幅する光増幅部と、

前記誘導ブリリュアン散乱発生媒体に対して前記光増幅部で増幅された信号光を与え、当該誘導ブリリュアン散乱発生媒体で発生する戻り光を信号光として取り出す光入出力部と、を備え、信号光に含まれる雑音光成分を除去する雑音光除去装置において、

前記閾値が、前記光増幅部の出力光パワーと、前記光増幅部の出力端および前記誘導ブリリュアン散乱発生媒体の入力端の間に配置された光部品の挿入損失とに基づいて設定されることを特徴とする雑音光除去装置。

10

20

【請求項 3】

請求項 2 に記載の雑音光除去装置であって、
前記誘導ブリリュアン散乱発生媒体で発生する戻り光のパワーを調整する調整部を備えたことを特徴とする雑音光除去装置。

【請求項 4】

請求項 2 に記載の雑音光除去装置であって、
前記誘導ブリリュアン散乱発生媒体は、光伝送路の形態を備えたことを特徴とする雑音光除去装置。

【請求項 5】

光送信装置から光伝送路に送信された信号光を、前記光伝送路上に配置された光中継器で増幅して光受信装置まで中継伝送する光伝送システムであって、

請求項 2 に記載の雑音光除去装置を前記光伝送路上に少なくとも 1 つ以上備えて構成されたことを特徴とする光伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光通信の分野において信号光に含まれる雑音光成分を除去する雑音光除去技術に関し、特に、誘導ブリリュアン散乱 (Stimulated Brillouin Scattering; S B S) を利用して光の状態のまま雑音光を除去する雑音光除去方法および装置、並びに、それを用いた光伝送システムに関する。

【0002】

【従来の技術】

最近の波長分割多重 (W D M) 伝送システムにおいては、例えば、エルビウムドープ光ファイバ増幅器 (E D F A) 等を用いて構成される光中継器の数を増やしたり、あるいは、ラマン増幅器の導入により中継距離を延ばしたりするなどした、一般にロングホールシステム (Long Haul System) と呼ばれる長距離の光伝送システムが登場してきている。具体的に、信号光の送信部から受信部までの最大距離は、従来のシステムでは 5 0 0 k m ~ 1 0 0 0 k m 程度であったが、ロングホールシステムでは 2 0 0 0 k m ~ 4 0 0 0 k m を超えるようになる。

【0003】

ところで、上記のようなロングホールシステムにおいては、E D F A で発生する自然放光による A S E (Amplified Spontaneous Emission) 雑音光や、ラマン増幅器で発生する励起光のラマン散乱による A S S (Amplified Spontaneous Scattering) 雑音光が光中継器ごとに蓄積される。このような雑音光の蓄積は、光 S N 比 (O S N R) を劣化させ、光受信器における信号光の識別特性を劣化させることになるため、システムの中継距離を延ばすことの制約となる。

【0004】

上記の A S E や A S S の雑音光成分は、主信号光の波長帯域で数 1 0 n m の幅で発生する。このような雑音光成分に対して現行のシステムは、所要の中継スパンおきに光を電気信号に変換した後に再度変調を行った信号光を生成し送信する手法や、W D M 信号光を各チャンネルの光信号に分離してから再度合波して送信する手法などを採用することにより、雑音光成分を除去して長距離化を図るようにしている。

【0005】

図 1 8 は、光 / 電気変換に基づく雑音光除去を行う従来の W D M 光伝送システムの概略構成を示すブロック図である。この従来システムでは、光送信装置 1 0 0 が複数の光送信器 (O S₁ ~ O S_N) 1 0 1 から出力される各波長の光信号を合波器 (M U X) 1 0 2 で波長多重して生成した W D M 信号光を光伝送路 1 0 3 に送信し、その W D M 信号光が光伝送路 1 0 3 上に所要の間隔で配置された複数の光中継器 1 0 4 で増幅されながら図示しない光受信装置に向けて中継伝送される。このとき、各光中継器で発生し蓄積された雑音光成分は、n 個の光中継器おきに配置された雑音光除去装置 3 0 0 により光 / 電気変換に基づい

10

20

30

40

50

て除去される。具体的に雑音光除去装置300では、n段目の光中継器104から出力される雑音光の蓄積したWDM信号光が、分波器(DMUX)301で各波長の光信号に分波されて各々に対応した光受信器(OR)302で電気信号に変換される。そして、各光受信器302から出力される電気信号に従って変調された各々の波長の光信号が光送信器(OS₁~OS_N)303から出力され、合波器(MUX)304で波長多重される。これにより、雑音光成分の除去されたWDM信号光が光伝送路103に出力されるようになる。

【0006】

また、図19は、WDM信号光の分波および合波に基づいて雑音光除去を行う従来のWDM光伝送システムの概略構成を示すブロック図である。この従来システムでも、各光中継器104で発生し蓄積された雑音光成分が、n個の光中継器104おきに配置された雑音光除去装置400により、WDM信号光の分波および合波に基づいて除去される。具体的に雑音光除去装置400では、n段目の光中継器104から出力される雑音光の蓄積したWDM信号光が、各チャンネルの中心波長に対応した狭い透過帯域を持つ分波器(DMUX)401によって分波され、透過帯域外の雑音光成分が除去された各チャンネルの光信号が、合波器(MUX)によって合波されて光伝送路103に出力されるようになる。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記のような従来のWDM光伝送システムにおける雑音光除去の手法については次のような問題点がある。まず、図18に示したような光/電気変換に基づく雑音光除去の場合には、雑音光除去装置300から出力されるWDM信号光の各波長光にパワーのばらつき(チルト)が発生する可能性があるため、このチルトを補正するための機能を雑音光除去装置300に具備させる必要がある。具体的には、雑音光除去装置300について、各チャンネルの信号光ごとにパワーを調整する可変光減衰器や、各波長の光信号パワーをモニタするためのスペクトラム測定ユニット(Spectrum Analyzer Unit; SAU)、また、それらに付随する電気回路等を設けることが必要となる。このような雑音光除去装置300の使用は、システム全体のコスト上昇を招いてしまうことになる。

【0008】

また、雑音光除去装置300が配置される中継スパンが長くなると、光/電気変換時に、光受信器302の入力光に含まれる雑音光成分が多くなりOSNRが劣化するため、光受信器302における信号識別処理でエラーが発生してしまう可能性もあり問題である。図19に示したようなWDM信号光の分波および合波に基づく雑音光除去の場合には、光/電気変換に基づく雑音光除去の場合に比べて、雑音光除去装置400に光受信器および光送信器を設ける必要がなくなるものの、前述したような各チャンネルの信号光についてのチルト補正は同様に必要となるため、可変光減衰器やSAU等を設けることで装置構成が複雑になり、システム全体のコスト上昇を招いてしまうことになる。

【0009】

また、WDM信号光をチャンネルごとに分波することによって、信号波長とは異なる波長の雑音光成分は除去できるが、信号波長と同じ波長の雑音光成分は除去することができない。このため、信号波長と同じ波長の雑音光成分は、そのまま信号光と共に雑音光除去装置400から光伝送路103に送られることになるので、中継数が多くなるとOSNRが劣化して伝送特性の著しい劣化が生じてしまうようになる。

【0010】

さらに、雑音光除去装置400については、前段の光中継器104から出力されたWDM信号光が、3~6dB程度の挿入損失を有する分波器401および合波器402や、数dB程度の挿入損失を有するチルト補正用の可変光減衰器などを通過して光伝送路103に送られることになるため、後段の光中継器104に入力される各波長の光信号パワーが、光中継器104に用いられる光増幅器の入力ダイナミックレンジを満足しないような小さなパワーになってしまう可能性もある。

【0011】

10

20

30

40

50

本発明は上記の点に着目してなされたもので、信号光に含まれる雑音光成分を、信号波長と同じ波長成分をも含めて光の状態のまま除去できる簡易な雑音光除去方法、雑音光除去装置および光伝送システムを提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】

上記の目的を達成するため本発明にかかる雑音光除去方法は、閾値を超えるパワーの光が入力されると誘導ブリリュアン散乱による戻り光を発生する誘導ブリリュアン散乱発生媒体に対して、光増幅部により前記閾値を超えるパワーまで増幅した信号光を与え、当該誘導ブリリュアン散乱発生媒体で発生する戻り光を信号光として取り出すことにより、信号光に含まれる雑音光成分を除去する雑音光除去方法において、前記閾値が、前記光増幅部の出力光パワーと、前記光増幅部の出力端および前記誘導ブリリュアン散乱発生媒体の入力端の間に配置された光部品の挿入損失とに基づいて設定されるようにしたものである。

10

【0013】

また、本発明にかかる雑音光除去装置は、閾値を超えるパワーの光が入力されると誘導ブリリュアン散乱による戻り光を発生する誘導ブリリュアン散乱発生媒体と、信号光を前記閾値を超えるパワーまで増幅する光増幅部と、前記誘導ブリリュアン散乱発生媒体に対して前記光増幅部で増幅された信号光を与え、当該誘導ブリリュアン散乱発生媒体で発生する戻り光を信号光として取り出す光入出力部と、を備え、信号光に含まれる雑音光成分を除去する雑音光除去装置において、前記閾値が、前記光増幅部の出力光パワーと、前記光増幅部の出力端および前記誘導ブリリュアン散乱発生媒体の入力端の間に配置された光部品の挿入損失とに基づいて設定されるものである。

20

【0014】

上記のような雑音光除去方法および装置によれば、光増幅部の出力光パワーと、光増幅部の出力端および誘導ブリリュアン散乱発生媒体の入力端の間に配置された光部品の挿入損失とに基づいて設定される閾値を超えるパワーで誘導ブリリュアン散乱発生媒体に入力された信号光は、誘導ブリリュアン散乱発生媒体で発生する戻り光として取り出される。一方、閾値に達するまでには増幅されていない、信号波長以外の雑音光成分および信号波長と同じ波長の雑音光成分は、誘導ブリリュアン散乱発生媒体に入力されても誘導ブリリュアン散乱を発生しないため戻り光としては取り出されない。これにより、入力時の信号光に含まれる雑音光成分が、従来の雑音光除去方式に比べて簡易な手法により光の状態まま除去されると共に、スペクトラム幅の狭い信号光を得ることができるようになる。

30

【0015】

また、上記の雑音光除去方法および装置については、誘導ブリリュアン散乱発生媒体で発生する戻り光のパワーを調整するようにしてもよい。これにより、雑音光除去後の信号光のレベルを所望の値に合わせることができるようになる。

本発明にかかる光伝送システムは、光送信装置から光伝送路に送信された信号光を、光伝送路上に配置された光中継器で増幅して光受信装置まで中継伝送する光伝送システムであって、前述したような本発明にかかる雑音光除去装置を光伝送路上に少なくとも1つ以上備えて構成されるものである。このような光伝送システムとすることにより、システム構成の小規模化および低コスト化を図ることが可能になる。

40

【0016】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。

図1は、本発明にかかる誘導ブリリュアン散乱（以下、SBSと略す）を利用した雑音除去方法が適用された光伝送システムの基本構成を示すブロック図である。なお、上述した従来の光伝送システムの構成と同様の部分には同一の符号が付してある。

【0017】

図1において、本光伝送システムは、光送信装置100から光伝送路103に送信されたWDM信号光が、光伝送路103上に所要の間隔で配置された複数の光中継器104で増

50

幅されながら光受信装置 105 に向けて中継伝送されるシステムについて、例えば、 n 個の中継スパンおきに設置される光中継器として高出力型の光増幅器を備えた光中継器 1 を設けると共に、その光中継器 1 の出力側に位置する光伝送路 103 上に雑音光除去ユニット 2 を挿入した基本構成を備える。

【0018】

光中継器 1 は、前段の光中継器 104 から光伝送路 103 を介して送られてくる WDM 信号光を、後述する雑音光除去ユニット 2 内のダミー伝送路 13 において S B S による戻り光が発生可能なパワーレベルになるように、高出力型光増幅器で増幅して出力する。この光中継器 1 に用いられる高出力型の光増幅器としては周知の光増幅器を使用することが可能であり、具体的には、例えば希土類元素ドープ光ファイバ増幅器、ラマン増幅器、半導体光増幅器およびそれらの組み合わせによる光増幅器などを利用することができる。

10

【0019】

雑音光除去ユニット 2 は、例えば、入力端子 10 と出力端子 16 の間に、光アイソレータ 11、光カプラ (CPL) 12、S B S 発生媒体としてのダミー伝送路 13、無反射終端器 (T) 14 およびレベル調整部 15 を備えて構成される。なお、ここでは光アイソレータ 11 および光カプラ 12 が光入出力部として機能する。また、図 1 には n 段目の雑音光除去ユニット 2 についてのみ具体的な構成を示したが、 $2n$ 段目の雑音光除去ユニット 2 の構成についても同様である。

【0020】

光アイソレータ 11 は、入力端子 10 と光カプラ 12 の間に配置され、入力端子 10 から光カプラ 12 に進む光を通過し、光カプラ 12 から入力端子 10 に進む光の通過を阻止する一般的な光部品である。

20

光カプラ 12 は、ここでは例えば 3 つのポートを有し、図 1 で左上側に位置する第 1 ポートに光アイソレータ 11 が接続され、図 1 で右側に位置する第 2 ポートにダミー伝送路 13 が接続され、図 1 で左下側に位置する第 3 ポートにレベル調整部 15 が接続される。この光カプラ 12 は、光アイソレータ 11 から第 1 ポートを介して入力される光を第 2 ポートを通してダミー伝送路 13 に伝達すると共に、ダミー伝送路 13 からの戻り光を第 2 ポートを介して入力して 2 分岐し、第 1 および第 3 ポートからそれぞれ出力する。このような光カプラ 12 の具体例としては、一般的な 4 つのポートを有する 3 dB カプラ等を用いることが可能である。4 ポートの 3 dB カプラを使用する場合には、ダミー伝送路 13 が接続されるポートと同じ側に位置するポートには無反射終端器などを接続して未使用ポートとし、上記のような光の伝達経路が構成されるようにする。

30

【0021】

ダミー伝送路 13 は、入力光のパワーが所要の閾値を超えると非線形光学現象の一種である S B S を発生する光伝送路である。このダミー伝送路 13 は、後述するように、カプラ 12 を介して一方の端部に与えられる WDM 信号光のうちで 1 チャンネル当たりの光パワーが閾値を超える成分 (信号光成分) について S B S による戻り光を発生し、その戻り光を一方の端部から光カプラ 12 に出力する。また、1 チャンネル当たりの光パワーが閾値よりも小さい成分 (一部の信号光成分および雑音光成分) については、S B S による戻り光を発生することなく他方の端部に向けて伝搬して無反射終端器 14 に出力する。

40

【0022】

上記のダミー伝送路 13 として、ここでは所要の長さの光ファイバ伝送路を用いるものとする。光ファイバ伝送路の長さは、S B S による戻り光を確実に得ることができるよう、使用する光ファイバの特性に応じて予め設計されており、具体的には、数 km ~ 20 km 程度とすることが可能である。ダミー伝送路 13 として用いる光ファイバの具体例としては、通常の光ファイバ伝送路として利用されている $1.3 \mu\text{m}$ 零分散単一モードファイバ (SMF) や分散シフトファイバ (DSF)、ノンゼロ分散シフトファイバ (NZ-DSF)、分散補償ファイバ (DCF) 等を使用することが可能である。特に、分散補償ファイバを使用すれば入力光のパワーが小さな値 (例えば 4 dBm / ch 程度) でも S B S が発生するため、光中継器 1 の出力レベルを抑えることが可能である。

50

【 0 0 2 3 】

なお、ここではダミー伝送路 1 3 として所要の長さの光ファイバ伝送路を使用するようにしたが、本発明における S B S 発生媒体は上記のような光ファイバを使用した伝送路に限られるものではなく、所要の長さに設計された光導波路を用いてもよい。また、S B S 発生媒体の形態は、光ファイバや光導波路等を用いたの伝送路に限定されるものではなく、入力光の S B S による戻り光を有効に得ることができる任意の形態とすることも可能である。

【 0 0 2 4 】

無反射終端器 1 4 は、ダミー伝送路 1 3 の光カプラ 1 2 が接続された一方の端部は異なる他方の端部に接続され、ダミー伝送路 1 3 の通過光を吸収して終端するものである。

10

レベル調整部 1 5 は、光カプラ 1 2 の第 3 ポートから出力される光、すなわち、ダミー伝送路 1 3 における S B S による戻り光の一部が入力され、その戻り光を増幅または減衰することにより所要のパワーレベルに調整した W D M 信号光を出力端子 1 6 に出力する。

【 0 0 2 5 】

光送信装置 1 0 0 と、各雑音光除去ユニット 2 の前段に位置する各光中継器 1 以外の他の光中継器 1 0 4 と、光受信装置 1 0 5 とは、従来 of 光伝送システムで用いられているもの同様である。具体的には、光送信装置 1 0 0 は、複数の光送信器 ($O S_1 \sim O S_N$) 1 0 1 および合波器 (M U X) 1 0 2 を有し、各光送信器 1 0 1 から出力される波長の異なる光信号を合波器 (M U X) 1 0 2 で波長多重して光伝送路 1 0 3 に送信する。

【 0 0 2 6 】

20

各光中継器 1 0 4 は、光伝送路 1 0 3 を伝送される W D M 信号光を所要のレベルまで増幅して中継伝送する。各光中継器 1 0 4 の出力光レベルは、光中継器 1 の出力光レベルに比べて十分に低く設定されていて、光伝送路 1 0 3 における非線形光学現象の発生が抑制されるようにしてある。

光受信装置 1 0 5 は、分波器 (D M U X) 1 0 6 および複数の光受信器 ($O R_1 \sim O R_N$) を有し、光伝送路 1 0 3 を伝搬してきた W D M 信号光を分波器 1 0 6 で各チャンネルの信号光ごとに分波し、各々の信号光を対応する光受信器 1 0 7 で受信処理する。

【 0 0 2 7 】

次に、上記のような基本構成を備えた光伝送システムの動作について説明する。

本光伝送システムにおいて、光送信装置 1 0 0 から光伝送路 1 0 3 に送信された W D M 信号光は、所要の中継間隔で配置された光中継器 1 0 4 で順次増幅されながら中継伝送されて、 n 段目の高出力型光増幅器を備えた光中継器 1 に到達する。この n 段目の光中継器 1 に入力される W D M 信号光は、 $1 \sim (n - 1)$ 段目の各光中継器 1 0 4 で発生する A S E や A S S などの雑音光成分が光増幅帯域全体に亘って蓄積した光となっている。光中継器 1 では、上記のような雑音光を含んだ W D M 信号光が、雑音光除去ユニット 2 のダミー伝送路 1 3 において S B S による戻り光が発生し得る光パワーレベルに達するまで増幅され、その増幅された W D M 信号光が雑音光除去ユニット 2 に送られる。

30

【 0 0 2 8 】

図 2 は、光中継器 1 から雑音光除去ユニット 2 に入力される W D M 信号光の波長 に対する光パワー $P_{I,N}$ の一例を示す図である。図 2 に示すように、光中継器 1 では、W D M 信号光に含まれる 1 チャンネル当たりの信号光パワーが予め設定したレベル P_1 に達するまで W D M 信号光全体が増幅される。この 1 チャンネル当たりの出力光パワー P_1 は、ダミー伝送路 1 3 で S B S が発生して有効な戻り光が得られるようになるダミー伝送路 1 3 への入力光パワーの閾値 P_{TH} と、光中継器 1 の出力端およびダミー伝送路 1 3 の入力端の間に配置される各光部品 (ここでは光アイソレータ 1 1 および光カプラ 1 2) の挿入損失とに基づいて設定される。なお、図 2 中の光パワー $P_{1,04}$ は、各段の光中継器 1 0 4 で増幅され出力される W D M 信号光の 1 チャンネル当たりのパワーを示したものである ($P_1 > P_{1,04}$)。

40

【 0 0 2 9 】

上記の設定について具体例を挙げておくと、ダミー伝送路 1 3 において S B S が発生可能

50

になって戻り光が得られるようになる入力光パワーの閾値 P_{TH} は、ダミー伝送路 13 として $1.3 \mu\text{m}$ 零分散 S M F を使用する場合には約 $10 \text{ dBm} / \text{ch}$ 以上に設定することが可能であり、D S F を使用する場合には約 $7 \text{ dBm} / \text{ch}$ 以上に設定することが可能であり、D C F を使用する場合には約 $4 \text{ dBm} / \text{ch}$ 以上に設定することが可能である。光アイソレータ 11 の挿入損失を 1 dB 、光カプラ 12 の挿入損失を 4 dB と見積もるようであれば、光中継器 1 の出力光パワー P_1 は、上記の各ダミー伝送路 13 に対応した各々の閾値に 5 dB を加えたレベル以上に設定することができる。なお、光中継器 1 の出力光パワー P_1 の設定は上記の一例に限られるものではない。

【0030】

光中継器 1 から雑音光除去ユニット 2 の入力端子 11 に与えられた W D M 信号光は、図 3 の太線矢印で示すように、光アイソレータ 11 および光カプラ 12 を順に通過してダミー伝送路 13 の一端に入力される。ダミー伝送路 13 では、入力光のうち上記閾値 P_{TH} を超えるパワーを持った成分について、S B S による戻り光が発生し、その戻り光が入力端から出力されて光カプラ 12 に再入力される。一方、ダミー伝送路 13 への入力光のうち閾値 P_{TH} よりも小さいパワーを持った成分については、ダミー伝送路 13 内を入力端とは反対側の端部に向けて伝搬して無反射終端器 14 によって吸収される。

【0031】

ここで、ダミー伝送路 13 において発生する S B S による戻り光について詳しく説明する。

非線形光学現象の一種である S B S は、高出力の狭帯域光信号を伝送路等に入力させた場合に、入力光とは逆方向に進む散乱光が増幅されて戻ってくる現象であり、その戻り光のパワーは、例えば図 4 に示すように、入力光パワー P_{IN} および変調ビットレートに応じて変化することが知られている。具体的には、入力光パワー P_{IN} が大きいほど戻り光のパワーも大きくなり、入力光パワー P_{IN} がある値以上になると入力光の大半が戻ってくるようになる。また、変調ビットレートが高いほど戻り光のパワーは小さくなる傾向を示す。

【0032】

このような特性を持つ S B S による戻り光を利用して、W D M 信号光に蓄積された雑音光を除去するための原理は、例えば図 5 に示すように、ダミー伝送路 13 に入力される各チャンネルの信号がすべて「1」になる発光状態と、すべて「0」になる消光状態とを考えることで容易に説明できる。

図 5 (A) の左側に示すように、ダミー伝送路 13 への入力光がすべて「1」になる場合、各チャンネルの信号光パワーは、S B S 発生閾値 P_{TH} を超えるレベルにまで増幅されているため、各々の信号光は S B S による戻り光としてダミー伝送路 13 の入力端に戻ってくる。これに対して、信号波長以外の成分、すなわち、各チャンネルの中心波長の中間に位置する累積された A S E や A S S 等の雑音光成分は、S B S が発生するパワーレベルに達していないため、戻り光としてダミー伝送路 13 の入力端に戻ってくることはなく、入力端とは反対側の端部に向けて伝搬する。これにより、図 5 (A) 右側の戻り光パワー P_{SBS} に示すように、各チャンネルの信号光成分 (実線部分) だけが取り出され、雑音光成分 (点線部分) が除去された W D M 信号光を得ることができるようになる。なお、図 5 (A) に例示した戻り光パワー P_{SBS} は、前述の図 4 に示したように信号光の入力パワーおよび変調ビットレートに応じてそのレベルが変化するものである。

【0033】

一方、図 5 (B) の左側に示すようにダミー伝送路 13 への入力光がすべて「0」になる場合には、信号波長以外に存在する A S E や A S S 等の雑音光成分は、S B S が発生するパワーレベルに達していないため、戻り光としてダミー伝送路 13 の入力端に戻ってくることはない。また、各チャンネルの中心波長付近には雑音光成分のみが存在することになるが、この雑音光成分も上記の場合と同様に S B S が発生するパワーレベルに達していないため、S B S による戻り光が得られることはない。これにより、図 5 (B) の右側に示すように、W D M 信号光の全波長帯域に存在する雑音光成分 (点線部分) を除去することが可能になる。

10

20

30

40

50

【0034】

このようにSBSによる戻り光を利用した雑音光の除去方式によれば、ダミー伝送路13に入力されるWDM信号光について、「1」を示す信号光成分のみが取り出され、信号波長以外の雑音光成分および信号光が「0」を示す場合の信号波長の雑音光成分の双方が確実に除去されるようになる。

さらに、SBSによる戻り光を利用した雑音光の除去方式によれば、戻り光として取り出した信号光のスペクトラムが細くなる(波長成分が少なくなる)という作用効果も生じる。具体的には、例えば図6の左側に示すように、信号光パワーがSBS発生の閾値 P_{TH} を超える波長領域は、信号波長の幅よりも狭くなるので、図6の右側に示すように、戻り光として取り出される信号光成分のスペクトラム幅は入力時よりも細くなる。このような作用効果は、例えば光伝送路103における波長分散の影響等が軽減されるため、WDM信号光の伝送に有利である。

10

【0035】

上記のようにしてダミー伝送路13で発生したSBSによる戻り光は、光カプラ12に再び入力されて2分岐され、光アイソレータ11およびレベル調整部15にそれぞれ接続する各ポートから出力される。光アイソレータ11側に出力された戻り光は、光アイソレータ11で通過が阻止されることによって、光中継器1の増幅動作に影響を及ぼすことが回避される。一方、レベル調整部15側に出力された戻り光は、レベル調整部15において、各チャンネルの信号光がそれぞれ増幅または減衰されることにより、例えば図7に示すように、所望のパワーレベル P_{OUT} に調整されたWDM信号光が出力端子16を介して光

20

【0036】

ここで、上述したような雑音光除去方式におけるSBS以外の他の非線形光学現象の影響について簡単に説明しておく。

本雑音光除去方式において、ダミー伝送路13内で入力光のパルスとSBSによる戻り光のパルスとがすれ違うときには、相手のパルスの立ち上がり部と立下り部により相互位相変調(XPM)が発生する場合がある。しかし、XPMにより生じる波長シフトの方向は入力光および戻り光で逆方向となるため、各方向の波長シフトはパルスがダミー伝送路13を往復することで結果的にキャンセルされることになる。従って、SBSによる戻り光

30

【0037】

また、光中継器1からの高出力の信号光がダミー伝送路13に入射し、SBSにより戻ってくるまでの間では、自己位相変調(SPM)や4光波混合(FWM)が発生する場合がある。しかし、それらにより発生した別波長の光はSBSを起こさないため、ダミー伝送路13の入力端に戻ってくることはない。従って、SBSによる戻り光に対するSPMおよびFWMの影響は残らないものと考えられる。

【0038】

上述したように本光伝送システムによれば、雑音光を除去するノード(中継区間)について、光中継器に設けられる光増幅器を高出力型のものに変更し、ダミー伝送路13および

数点のパッシブ部品からなる雑音光除去ユニット2を設けるだけで雑音光を確実に除去することができるようになるため、従来の光/電気変換や信号光の分波および合波に基づく雑音光除去方式に比べてシステム構成の小規模化および低コスト化を図ることが可能になる。また、SBSによる戻り光を利用することによって信号波長と同じ波長の雑音光成分を効果的に除去することができるため、光送信装置100から送信された時の状態に極めて近い状態のWDM信号光を作り出すことが可能になる。さらに、スペクトラム幅の狭い信号光が得られるため、光伝送路103における波長分散等の影響を軽減することもできる。

40

【0039】

なお、上述の図1に示した基本構成では、ダミー伝送路13に対する信号光の入力および

50

戻り光の取り出しを行う光入出力部として光アイソレータ 1 1 および光カプラ 1 2 を設けるようにしたが、本発明における光入出力部の構成はこれに限られるものではない。例えば図 8 に示すように、光アイソレータ 1 1 および光カプラ 1 2 に代えて光サーキュレータ 1 7 を設けるようにしてもよい。この光サーキュレータ 1 7 は、第 1 ポートに光アイソレータ 1 1 が接続され、第 2 ポートにダミー伝送路 1 3 が接続され、第 3 ポートにレベル調整部 1 5 が接続されて、第 1 ポートから第 2 ポートへの方向および第 2 ポートから第 3 ポートへの方向に進む光を伝達することが可能な光デバイスである。このような光サーキュレータ 1 7 を使用することによって、雑音光除去ユニット 2 の構成をより簡略なものにできる。

【 0 0 4 0 】

次に、上述したような基本構成を備えた光伝送システムの具体的な実施形態について説明する。

図 9 は、第 1 実施形態による光伝送システムの要部構成を示すブロック図である。なお、上述の図 1 に示した基本構成と同様の部分には同一の符号を付してその説明を省略し、以下、他の実施形態においても同様とする。

【 0 0 4 1 】

図 9 において、第 1 実施形態の光伝送システムは、例えば図 1 の基本構成について、雑音光除去ユニット 2 のレベル調整部 1 5 として、SBS による戻り光を光増幅器により所要のレベルまで増幅する具体的な構成を適用したものである。上記以外の雑音光除去ユニット 2 の他の部分の構成および光伝送システム全体の構成は、図 1 の基本構成の場合と同様である。

【 0 0 4 2 】

具体的にレベル調整部 1 5 に相当する構成は、例えば、光増幅器 2 0、光カプラ (CPL) 2 1、受光器 (PD) 2 2、ADコンバータ 2 3 および制御回路 2 4 を含んでなる。光増幅器 2 0 は、光カプラ 1 2 の第 3 ポートと雑音光除去ユニット 2 の出力端子 1 6 との間の光路上に配置され、光カプラ 1 2 で取り出された SBS による戻り光を制御回路 2 4 からの出力信号に従った利得で増幅して出力する。この光増幅器 2 0 としては、例えば希土類元素ドープ光ファイバ増幅器や半導体光増幅器などの公知の光増幅器を使用することが可能である。

【 0 0 4 3 】

光カプラ 2 1 は、光増幅器 2 0 から出力端子 1 6 に出力される WDM 信号光の一部を分岐して受光器 2 2 に送るものである。受光器 2 2 は、光カプラ 2 1 からの分岐光を受光し、パワーに応じた電気信号を発生して ADコンバータ 2 3 に出力する。ADコンバータ 2 3 は、受光器 2 2 からのアナログの電気信号をデジタルに変換して制御回路 2 4 に送る。

【 0 0 4 4 】

制御回路 2 4 は、ADコンバータ 2 3 からの出力信号および光中継器 1 からの伝送情報に基づいて、光増幅器 2 0 から出力される WDM 信号光のパワーが目標値になるように、光増幅器 2 0 の増幅動作を制御するための制御信号を生成する。この制御回路 2 4 の具体例としては、FPGA (Field Programmable Gate Array) 等の集積回路を用いることが可能である。

【 0 0 4 5 】

上記のような構成の雑音光除去ユニット 2 では、ダミー伝送路 1 3 において発生した SBS による戻り光が光カプラ 1 2 によって取り出され、光増幅器 2 0 で増幅されて出力端子 1 6 に出力される。このとき光増幅器 2 0 からの出力光の一部が光カプラ 2 1 によって分岐され、トータルパワーが受光器 2 2 によってモニタされて、そのモニタ結果が ADコンバータ 2 3 を介して制御回路 2 4 に伝えられる。制御回路 2 4 では、光中継器 1 から伝えられるチャンネル数や出力レベル目標値等の伝送情報に従い、ADコンバータ 2 3 から伝えられるモニタされたトータルパワーをチャンネル数で割り算した値を基に、光増幅器 2 0 から出力される WDM 信号光の 1 チャンネル当たりの光パワーが求められ、その結果が目標値に一致するように光増幅器 2 0 の増幅動作を制御する制御信号が生成される。そし

10

20

30

40

50

て、この制御信号に従って光増幅器20の利得が調整されることで、前述の図7に示したような各チャンネルの信号光パワーが所望のレベルで揃ったWDM信号光が、出力端子16を介して光伝送路103に出力されるようになる。なお、SBSによる戻り光を光増幅器20で増幅することによりASE等の雑音光が発生することになるが、この光増幅器20で発生する雑音光は1～n段目で発生し蓄積した雑音光に比べて僅かであるため、ダミー伝送路13における雑音光除去の効果は十分に得られることになる。

【0046】

このように第1実施形態の光伝送システムによれば、雑音光除去ユニット2のダミー伝送路13で発生するSBSによる戻り光のレベルが、例えば信号光の変調ビットレートが高い場合などのように小さくなるようなときでも、後段の光増幅器20によって所望のレベルまで増幅したWDM信号光を安定して出力することが可能になる。

10

【0047】

次に、第2実施形態による光伝送システムについて説明する。

図10は、第2実施形態による光伝送システムの要部構成を示すブロック図である。

図10において、第2実施形態の光伝送システムは、前述の図9に示した第1実施形態の変形例であって、SBSによる戻り光をラマン増幅によって所要のレベルまで増幅するようにしたものである。具体的には、雑音光除去ユニット2のレベル調整部15に相当する構成として、ラマン増幅用の励起光源(LD)30、WDMカプラ31、ADコンバータ32、制御回路33およびメモリ34を含んでなる。

【0048】

ラマン増幅用の励起光源30は、伝送されるWDM信号光の波長帯域に対応して予め設定された波長帯の励起光を発生し、その励起光をWDMカプラ31および出力端子16を介して受信側の光伝送路103に供給することで、その光伝送路103を伝搬するWDM信号光のラマン増幅を可能にする。ADコンバータ32は、励起光源30の駆動状態を示す電気信号をAD変換して制御回路33に出力する。

20

【0049】

制御回路33は、ADコンバータ32からの出力信号、光中継器1からの伝送情報およびメモリ34の記憶情報に基づいて、光伝送路103を伝搬して次段(n+1段目)の光中継器104に入力されるWDM信号光のパワーが所望のレベルとなるように励起光源30の駆動状態を制御するための制御信号を生成する。この制御回路24としては、FPGA等の集積回路を用いることが可能である。また、メモリ34には、予め調べておいた励起光源の出力光パワーとラマン増幅利得との関係や、次段の光中継器104までの伝送距離(=減衰量)などに関する情報が記憶されているものとする。

30

【0050】

上記のような構成の雑音光除去ユニット2においては、ダミー伝送路13において発生したSBSによる戻り光が光カプラ12によって取り出され、WDMカプラ31を通過して出力端子16に接続された光伝送路103に出力される。この光伝送路103には、制御回路33によって駆動状態が制御された励起光源30から出力される励起光がWDMカプラ31を介して供給されていて、光伝送路103を伝搬するWDM信号光(戻り光)がラマン増幅されながら次段の光中継器104に送られる。これにより、所望のレベルにラマン増幅されたWDM信号光が次段の光中継器104に入力されるようになる。なお、SBSによる戻り光を後段の光伝送路103でラマン増幅することによりASS雑音光が発生することになるが、このASS雑音光は1～n段目で発生し蓄積した雑音光に比べて僅かであるため、ダミー伝送路13における雑音光除去の効果は十分に得られることになる。

40

【0051】

このように第2実施形態の光伝送システムによれば、雑音光除去ユニット2のダミー伝送路13で発生するSBSによる戻り光のレベルが小さくなるようなときでも、後段の光伝送路103をラマン増幅媒体として利用することによって、所望のレベルまでラマン増幅したWDM信号光を次段の光中継器104に安定して送ることが可能になる。

【0052】

50

なお、上記の第1、第2実施形態では、光増幅器20の出力光レベルまたは励起光源30の駆動状態をモニタしてWDM信号光に対する利得を制御するようにしたが、SBSによる戻り光のパワーが実験結果またはシミュレーションなどによって予め分かっている場合には利得を固定にするようにしても構わない。

次に、第3実施形態による光伝送システムについて説明する。

【0053】

図11は、第3実施形態による光伝送システムの要部構成を示すブロック図である。

図11において、第3実施形態の光伝送システムは、例えば図1の基本構成について、雑音光除去ユニット2のレベル調整部15として、SBSによる戻り光を可変光減衰器により所要のレベルまで減衰させる具体的な構成を適用したものである。上記以外の雑音光除去ユニット2の他の部分の構成および光伝送システム全体の構成は、図1の基本構成の場合と同様である。

10

【0054】

具体的にレベル調整部15に相当する構成は、例えば、可変光減衰器(ATT)40、光カプラ(CPL)41、受光器(PD)42、ADコンバータ43、制御回路44およびトランジスタ(TR)45を含んでなる。

可変光減衰器40は、光カプラ12の第3ポートと雑音光除去ユニット2の出力端子16との間の光路上に配置され、光カプラ12で取り出されたSBSによる戻り光を可変の減衰量に応じて減衰して出力する。この可変光減衰器40の減衰量は、制御回路44からの出力信号をトランジスタ45によって電流に変換した信号に従って制御される。

20

【0055】

光カプラ41は、可変光減衰器40から出力端子16に出力されるWDM信号光の一部を分岐して受光器42に送るものである。受光器42は、光カプラ41からの分岐光を受光し、パワーに応じた電気信号を発生してADコンバータ43に出力する。ADコンバータ43は、受光器42からのアナログの電気信号をデジタルに変換して制御回路44に送る。

【0056】

制御回路44は、ADコンバータ43からの出力信号および光中継器1からの伝送情報に基づいて、可変光減衰器40から出力されるWDM信号光のトータルパワーが目標値となるように、可変光減衰器40の可変の減衰量を制御するための制御信号を生成し、その制御信号をトランジスタ45を介して可変光減衰器40に伝達する。この制御回路44の具体例としては、FPGA等の集積回路を用いることが可能である。

30

【0057】

上記のような構成の雑音光除去ユニット2では、ダミー伝送路13において発生したSBSによる戻り光が光カプラ12によって取り出され、可変光減衰器40で減衰されて出力端子16に出力される。このとき可変光減衰器40からの出力光の一部が光カプラ41によって分岐され、トータルパワーが受光器42によってモニタされて、そのモニタ結果がADコンバータ43を介して制御回路44に伝えられる。制御回路44では、ADコンバータ43からのモニタ結果に基づいて、光中継器1から伝えられるチャンネル数や出力レベル目標値等の伝送情報に従い、可変光減衰器40から出力されるWDM信号光の1チャンネル当たりの光パワーが求められ、その結果が目標値に一致するように可変光減衰器40の光減衰量を制御する制御信号が生成される。そして、この制御信号に従って可変光減衰器40の光減衰量が調整されることで、各チャンネルの信号光パワーが所望のレベルで揃ったWDM信号光が、出力端子16を介して光伝送路103に出力されるようになる。

40

【0058】

このように第3実施形態の光伝送システムによれば、雑音光除去ユニット2のダミー伝送路13で発生するSBSによる戻り光のパワーが、例えば後段の光伝送路103において非線形光学現象を生じてしまうような大きなレベルになるときでも、可変光減衰器40によって非線形光学現象の生じないレベルまで減衰させたWDM信号光を安定して出力することが可能になる。

50

【 0 0 5 9 】

なお、上記の第3実施形態では、可変光減衰器40の出力光レベルをモニタして可変の減衰量を制御するようにしたが、SBSによる戻り光のパワーが実験結果またはシミュレーションなどによって予め分かっている場合には減衰量が固定の光減衰器を用いるようにしても構わない。

また、上述した第1～第3実施形態では、光入出力部として光アイソレータ11および光カプラ12を使用する構成について適用したが、上述の図8に示したように光入出力部として光サーキュレータ17を用いる構成についても同様にして応用することが可能である。

【 0 0 6 0 】

次に、第4実施形態による光伝送システムについて説明する。

図12は、第4実施形態による光伝送システムの要部構成を示すブロック図である。

図12において、第4実施形態の光伝送システムは、例えば図8に示した構成についての応用例であって、高出力型の光中継器1としての機能と、雑音光除去ユニット2内のレベル調整部15としての機能とを1つの光増幅器で実現するようにしたものである。

【 0 0 6 1 】

具体的には、光伝送システムの例えばn段目の光中継器として、上述した雑音光除去ユニット2としての機能を内蔵した光中継器1'を設け、その光中継器1'は、入力端子10'と出力端子16'の間に、光サーキュレータ17'、光増幅器50、ダミー伝送路13および無反射終端器(T)14を備えて構成される。

【 0 0 6 2 】

光サーキュレータ17は、ここでは、第1ポートに入力端子10'が接続され、第2ポートに光増幅器50が接続され、第3ポートに出力端子16'が接続されて、第1ポートから第2ポートへの方向および第2ポートから第3ポートへの方向に進む光を伝達することが可能である。

光増幅器50は、ここでは例えば、2段増幅構成のエルビウムドープ光ファイバ増幅器(EDFA)を用いるものとし、具体的には、第1および第2のエルビウムドープ光ファイバ(EDF)51A, 51Bと、各EDF51A, 51Bへの励起光を発生する励起光源52A, 52Bと、各励起光源52A, 52Bからの励起光をEDF51A, 51Bに供給するWDMカプラ53A, 53Bと、EDF51A, 51Bの段間に設けられた可変光減衰器54と、を備えて構成される。また、ここでは図示を省略したが、光増幅器50から出力されるWDM信号光パワーのモニタ結果に応じて、励起光源52A, 52Bの駆動状態または可変光減衰器54の減衰量を制御する制御回路も設けられているものとする。

【 0 0 6 3 】

なお、光増幅器50の構成は上記の具体例に限定されるものではなく、双方向に伝搬する光を高い利得で増幅可能な任意の構成の光増幅器を用いることが可能である。

ダミー伝送路13は、光増幅器50の光サーキュレータ17とは反対側に位置する入出力端に一端が接続され、他端には無反射終端器14が接続されている。このダミー伝送路13および無反射終端器14は、上述の基本構成において用いたものと同様である。

【 0 0 6 4 】

上記のような構成の光伝送システムでは、光送信装置100から光伝送路103に送信されたWDM信号光が、1～(n-1)段目の光中継器104で順次増幅されながら中継伝送されてn段目の光中継器1'に入力される。光中継器1'では、雑音光の蓄積したWDM信号光が、入力端子10'および光サーキュレータ17を介して光増幅器50に送られる。この光増幅器50では、励起光源52A, 52Bからの励起光の供給を受けて励起状態にされた各EDF51A, 51BをWDM信号光が一方方向に伝搬することによって、そのWDM信号光のパワーが、ダミー伝送路13におけるSBS発生の閾値 P_{TH} を超えるレベルにまで増幅された後に、ダミー伝送路13に出力される。そして、ダミー伝送路13では、閾値 P_{TH} を超えるパワーを持つ信号波長の信号光成分のみがSBSによる戻り光として光増幅器50に再入力され、閾値 P_{TH} に達していない信号波長以外の雑音光成分およ

10

20

30

40

50

び信号波長と同じ波長の雑音光成分はダミー伝送路13を通過して無反射終端器14に吸収される。

【0065】

ダミー伝送路13において発生したSBSによる戻り光は、光増幅器50内を入力側に向けて伝搬することにより所要のレベルにまで増幅されて光サーキュレータ17に出力される。このとき、光増幅器50から光サーキュレータ17に出力されるWDM信号光(戻り光)のパワーがモニタされ、そのモニタ結果に従って、励起光源52A、52Bの駆動状態または可変光減衰器54の減衰量が制御されて、WDM信号光のパワーが目標値に一致するように調整される。

【0066】

光増幅器50から光サーキュレータ17の第2ポートに送られたWDM信号光は、光サーキュレータ17の第3ポートから出力されて、出力端子16'を介して後段の光伝送路103に送出される。

このように第4実施形態による光伝送システムによれば、上述した基本構成の場合と同様の作用効果を得ることができると共に、WDM信号光をSBS発生閾値 P_{TH} を超えるレベルまで増幅する機能と、SBSによる戻り光のレベルを調整する機能が1つの光増幅器50によって実現されるようになるため、システム構成のさらなる簡略化を図ることが可能になる。

【0067】

次に、第5実施形態による光伝送システムについて説明する。

第5実施形態の光伝送システムでは、SBSによる波長シフトの影響を考慮したシステム構成について説明する。ここで、SBSによる波長シフトとは、入力光の波長に対して、SBSによる戻り光の波長が11GHz程度(例えば1550nm帯の光では0.09nm程度)長波長側にシフトする現象である。このようなSBSによる波長シフトは、例えば、光受信装置におけるWDM信号光の分波処理に影響を及ぼす可能性がある。

【0068】

具体的には、例えば図13の中段に示すように、WDM信号光に含まれる各チャンネルの信号光の波長間隔が広いシステム(図の例では400GHz間隔、すなわち、1550nm帯で3.2nm程度の間隔)の場合、光受信装置105内に設けられる分波器106のフィルタ特性(各チャンネルに対応した透過帯域幅)も広くできるため、伝送されるWDM信号光が雑音光除去ユニット2を通過する回数が少なければ、上記分波器をそのまま用いて受信されたWDM信号光から各チャンネルの信号光を取り出すことが可能である。

【0069】

しかし、図13の下段に示すように、信号光の波長間隔が狭いシステム(図の例では50GHz間隔、すなわち、1550nm帯で0.4nm程度の間隔)の場合には、分波器106のフィルタ特性も狭くなるため、WDM信号光が雑音光除去ユニット2を通過する回数がたとえ少なくとも、SBSによる波長シフトの影響により分波器106で各チャンネルの信号光を正しく取り出すことが難しくなる。

【0070】

そこで、第5実施形態の光伝送システムでは、伝送光がシステム全体で雑音光除去ユニットを何回通過するかを基にSBSによる波長シフト量を予め計算し、送信時における各チャンネルの中心波長を上記波長シフト量だけずらしたフィルタ特性を有する分波器を光受信装置内に備えるようにした構成を採用する。

図14は、第5実施形態の光伝送システムの具体例を示す概念図である。ここでは、伝送光が雑音光除去ユニットを2回通過する場合の一例を具体的に考えることにする。この場合、システム全体でのSBSによる波長シフト量は、 $11\text{GHz} \times 2 = 22\text{GHz}$ と計算され、1550nm帯のWDM信号光を想定すると約0.18nmとなる。例えば、WDM信号光の波長間隔が50GHzで、送信時における各チャンネルの中心波長が1549.60nm、1550.00nm、1550.40nmの各信号光は、受信時には中心波長が1549.78nm、1550.18nm、1550.58nmにそれぞれシフトす

10

20

30

40

50

ることになる。従って、光受信装置 105' 内の分波器 106' としては、透過中心波長が 1549.78 nm、1550.18 nm、1550.58 nm に位置するフィルタ特性を備えたデバイスを用いるようにする。光受信装置 105' 内の各光受信器 107' については、SBS により波長がシフトした信号光がそれぞれ入力されることになるが、各々の光受信器 107' には基本的に波長依存性がないため、SBS による波長シフトに応じた変更の必要は特にない。

【0071】

このような構成を採用することにより、システム全体を伝送された WDM 信号光に含まれる各チャンネルの信号光を分波器 106' で確実に取り出すことが可能になる。

なお、上記の第 5 実施形態では、光受信装置 105' 内の分波器 106' として固定のフィルタ特性を有するデバイスの使用を考えたが、例えば、可変のフィルタ特性を有するデバイスを用いるようにしてもよい。具体的には、例えば図 15 に示すような、温度変化によりフィルタ特性の中心波長が変化するアレイ型導波路格子 (Arrayed Waveguide Grating; AWG) 等を使用することが可能である。ただし、図 15 には、ある 1 つの透過帯に着目した温度変化が示してある。

【0072】

AWG を使用する場合、温度変化に対する波長の変動率が 0.01 nm/ であると仮定すると、前述した伝送光が雑音光除去ユニットを 2 回通過する一例においては、SBS による波長シフト量 0.18 nm は制御温度差に換算して $0.18 / 0.01 = 18$ となる。従って、AWG の温度を変化させるヒータやペルチェ等の動作状態を調整して、図 16 に示すように、AWG の制御温度を基準温度から 18 変化させて透過帯の中心波長を 0.18 nm シフトさせれば、雑音光除去ユニットを 2 回通過したことによる波長変動をデバイス自体を変更することなく光受信装置で吸収することができるようになる。

【0073】

また、上述した第 1 ~ 第 5 実施形態では、光伝送システムの n 個の中継スパンおきに高出力型の光中継器および雑音光除去ユニットを配置するようにしたが、システム上で SBS を利用した雑音光除去を実施する位置は上記に限られるものではない。例えば図 17 に示すように、光受信装置 105 の直前に高出力型の光中継器 1 および雑音光除去ユニット 2 を配置して、光受信装置 105 に入力する WDM 信号光に蓄積した雑音光を一度に除去するようにしてもよい。このようなシステム構成は、例えば伝送途中のノードにおいて信号光が挿入または分岐 (Add/Drop) されないようなシステムの場合、基本的に伝送途中での伝送光の OSNR は関係なく、あくまで光受信装置に入力される際の OSNR が重要になるため好適である。

【0074】

さらに、本発明による雑音光除去方式は、上述の図 6 に示したように、SBS による戻り光として取り出した信号光のスペクトラムが細くなる (波長成分が少なくなる) という作用効果が得られるため、光送信装置や光中継器から信号光が送出された直後に本方式を適用して、伝送光の波長広がりを抑圧するという応用例も可能である。

【0075】

以上、本明細書で開示した主な発明について以下にまとめる。

(付記 1) 閾値を超えるパワーの光が入力されると誘導ブリリュアン散乱による戻り光を発生する誘導ブリリュアン散乱発生媒体に対して、光増幅部により前記閾値を超えるパワーまで増幅した信号光を与え、当該誘導ブリリュアン散乱発生媒体で発生する戻り光を信号光として取り出すことにより、信号光に含まれる雑音光成分を除去する雑音光除去方法において、

前記閾値が、前記光増幅部の出力光パワーと、前記光増幅部の出力端および前記誘導ブリリュアン散乱発生媒体の入力端の間に配置された光部品の挿入損失とに基づいて設定されることを特徴とする雑音光除去方法。

【0076】

(付記 2) 付記 1 に記載の雑音光除去方法であって、

前記誘導ブリリュアン散乱発生媒体で発生する戻り光のパワーを調整することを特徴とする雑音光除去方法。

【0077】

(付記3) 閾値を超えるパワーの光が入力されると誘導ブリリュアン散乱による戻り光を発生する誘導ブリリュアン散乱発生媒体と、

信号光を前記閾値を超えるパワーまで増幅する光増幅部と、

前記誘導ブリリュアン散乱発生媒体に対して前記光増幅部で増幅された信号光を与え、当該誘導ブリリュアン散乱発生媒体で発生する戻り光を信号光として取り出す光入出力部と、を備え、信号光に含まれる雑音光成分を除去する雑音光除去装置において、

前記閾値が、前記光増幅部の出力光パワーと、前記光増幅部の出力端および前記誘導ブリリュアン散乱発生媒体の入力端の間に配置された光部品の挿入損失とに基づいて設定されることを特徴とする雑音光除去装置。

10

【0078】

(付記4) 付記3に記載の雑音光除去装置であって、

前記誘導ブリリュアン散乱発生媒体で発生する戻り光のパワーを調整する調整部を備えたことを特徴とする雑音光除去装置。

【0079】

(付記5) 付記4に記載の雑音光除去装置であって、

前記調整部は、前記戻り光を増幅する光増幅器を含むことを特徴とする雑音光除去装置。

【0080】

20

(付記6) 付記4に記載の雑音光除去装置であって、

前記調整部は、前記戻り光を減衰させる光減衰器を含むことを特徴とする雑音光除去装置。

【0081】

(付記7) 付記4に記載の雑音光除去装置であって、

前記調整部から出力される戻り光のパワーを検出する検出部と、該検出部の検出結果に基づいて前記調整部の動作を制御する制御部と、を備えたことを特徴とする雑音光除去装置。

【0082】

(付記8) 付記3に記載の雑音光除去装置であって、

前記誘導ブリリュアン散乱発生媒体は、光伝送路の形態を備えたことを特徴とする雑音光除去装置。

30

【0083】

(付記9) 付記8に記載の雑音光除去装置であって、

前記誘導ブリリュアン散乱発生媒体は、光ファイバを用いたものであることを特徴とする雑音光除去装置。

【0084】

(付記10) 付記8に記載の雑音光除去装置であって、

前記誘導ブリリュアン散乱発生媒体は、光導波路を用いたものであることを特徴とする雑音光除去装置。

40

【0085】

(付記11) 付記8に記載の雑音光除去装置であって、

前記誘導ブリリュアン散乱発生媒体は、前記光増幅部で増幅された信号光が入力される一端とは反対側に位置する他端が無反射終端処理されることを特徴とする雑音光除去装置。

【0086】

(付記12) 付記3に記載の雑音光除去装置であって、

前記光入出力部は、少なくとも3つのポートを有する光カプラと、光アイソレータとを備え、前記光増幅部で増幅された信号光が前記光カプラの第1ポートに入力され第2ポートから前記誘導ブリリュアン散乱発生媒体に出力され、前記誘導ブリリュアン散乱発生媒体で発生する戻り光が前記光カプラの第2ポートに入力され2分岐されて第1ポートおよび

50

第3ポートから出力され、前記光カプラの第1ポートから出力される戻り光の前記光増幅部への伝達が前記光アイソレータによって阻止されることを特徴とする雑音光除去装置。

【0087】

(付記13) 付記3に記載の雑音光除去装置であって、前記光入出力部は、前記光増幅部の光出力端と前記誘導ブリリユアン散乱発生媒体の光入力端との間に配置された光サーキュレータを有することを特徴とする雑音光除去装置。

【0088】

(付記14) 光送信装置から光伝送路に送信された信号光を、前記光伝送路上に配置された光中継器で増幅して光受信装置まで中継伝送する光伝送システムであって、付記3に記載の雑音光除去装置を前記光伝送路上に少なくとも1つ以上備えて構成されたことを特徴とする光伝送システム。

10

【0089】

(付記15) 付記14に記載の光伝送システムであって、前記光受信装置は、前記光伝送路を伝送された信号光を波長に応じて分波する分波器を有し、該分波器は、前記雑音光除去装置で発生する誘導ブリリユアン散乱による波長シフト量に応じて透過帯の中心波長が設定されたフィルタ特性を持つことを特徴とする光伝送システム。

【0090】

(付記16) 付記15に記載の光伝送システムであって、前記分波器は、フィルタ特性が調整可能なアレイ型導波路格子を含むことを特徴とする光伝送システム。

20

【0091】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明にかかるSBSを利用した雑音光除去技術によれば、光増幅部の出力光パワーと、光増幅部の出力端および誘導ブリリユアン散乱発生媒体の入力端の間に配置された光部品の挿入損失とに基づいて設定される閾値を超えるパワーの信号光を誘導ブリリユアン散乱発生媒体に与え、SBSによる戻り光を信号光として取り出すようにしたことで、従来の雑音光除去方式に比べて簡易な手法により信号光に含まれる雑音光成分を光の状態のまま除去することができる。このような雑音光除去技術を光伝送システムに適用すれば、システム構成の小規模化および低コスト化を図ることが可能になる。また、SBSによる戻り光を利用することによって信号波長と同じ波長の雑音光成分を効果的に除去することができるため、送信時の状態に極めて近い状態の信号光を作り出すことが可能になる。さらに、スペクトラム幅の狭い信号光が得られるため、光伝送路における波長分散等の影響を軽減することも可能になる。加えて、SBSによる戻り光のパワーを調整するようになれば、雑音光除去後の信号光のレベルを所望の値に合わせることができ、また、実伝送路での非線形光学現象の発生を低減させることも可能になる。

30

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明にかかるSBSを利用した雑音除去方法が適用された光伝送システムの基本構成を示すブロック図である。

【図2】図1の光伝送システムにおいて、雑音光除去ユニットに入力されるWDM信号光の波長に対する光パワーの一例を示す図である。

40

【図3】図1の光伝送システムにおける信号光の伝達経路を示す図である。

【図4】入力光パワーに対するSBSによる戻り光パワーの関係を変調ビットレートに応じて示した図である。

【図5】本発明のSBSを利用した雑音光除去の原理を説明する図であって、(A)は各チャンネルの信号がすべて「1」になる発光状態、(B)は各チャンネルの信号がすべて「0」になる消光状態を示す。

【図6】本発明のSBSを利用した雑音光除去において信号光スペクトラムを細くする効果を説明する図である。

【図7】図1の光伝送システムにおいて、雑音光除去ユニットから出力されるWDM信号

50

光の波長に対する光パワーの一例を示す図である。

【図 8】図 1 の光伝送システムの基本構成に関連する他の構成例を示すブロック図である。

【図 9】本発明の第 1 実施形態による光伝送システムの要部構成を示すブロック図である。

【図 10】本発明の第 2 実施形態による光伝送システムの要部構成を示すブロック図である。

【図 11】本発明の第 3 実施形態による光伝送システムの要部構成を示すブロック図である。

【図 12】本発明の第 4 実施形態による光伝送システムの要部構成を示すブロック図である。

【図 13】SBS による波長シフトの影響を説明する図である。

【図 14】本発明の第 5 実施形態による光伝送システム的具体例を示す概念図である。

【図 15】第 5 実施形態に関連して、分波器に使用可能な AWG の温度特性を説明する図である。

【図 16】図 15 の AWG を使用した場合のフィルタ特性の制御例を示す図である。

【図 17】本発明の各実施形態に関連して、光受信装置の直前で雑音光除去を実施するようにした一例を示す図である。

【図 18】光 / 電気変換に基づく雑音光除去を行う従来の光伝送システムの概略構成を示すブロック図である。

【図 19】信号光の分波および合波に基づいて雑音光除去を行う従来の光伝送システムの概略構成を示すブロック図である。

【符号の説明】

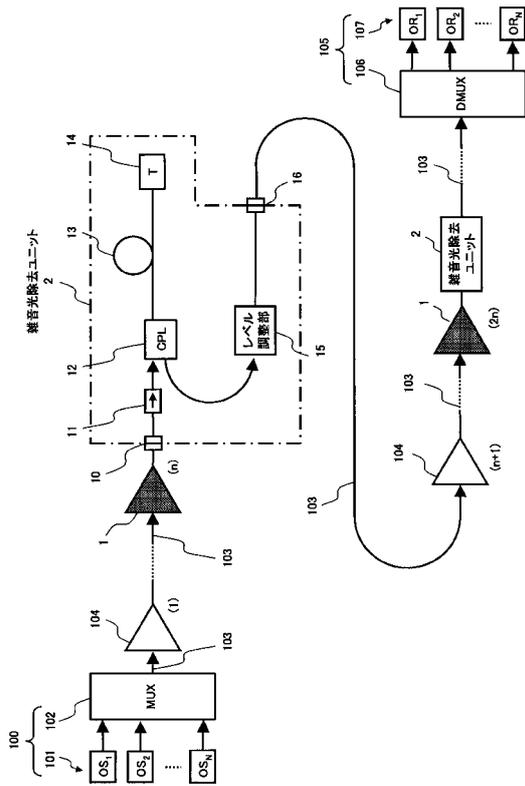
- 1, 1' 光中継器 (高出力型)
- 2 雑音光除去ユニット
- 10 入力端子
- 11 光アイソレータ
- 12 光カップラ (CPL)
- 13 ダミー伝送路
- 14 無反射終端器 (T)
- 15 レベル調整部
- 16 出力端子
- 17 光サーキュレータ
- 100 光送信装置
- 103 光伝送路
- 104 光中継器
- 105 光受信装置
- 106, 106' 分波器 (DMUX)

10

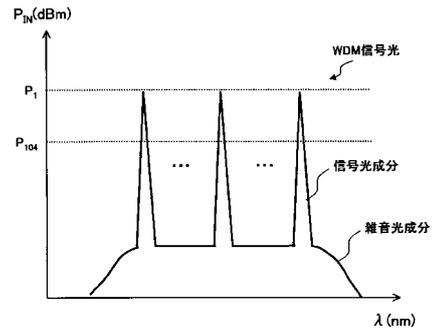
20

30

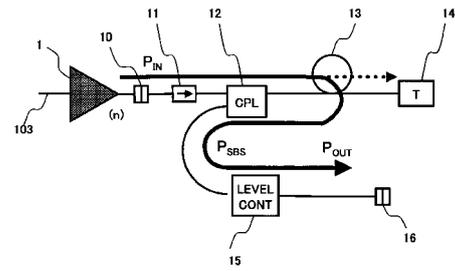
【 図 1 】



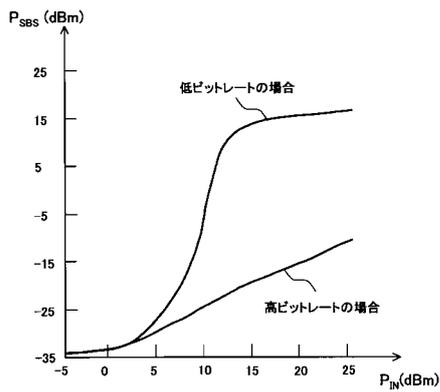
【 図 2 】



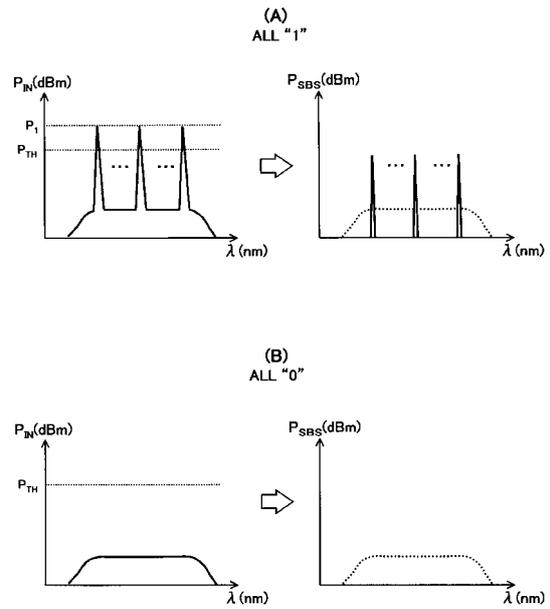
【 図 3 】



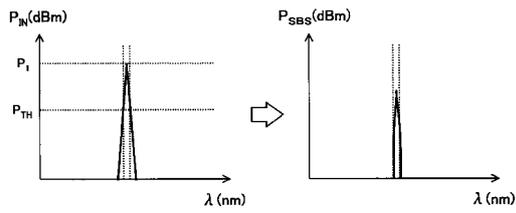
【 図 4 】



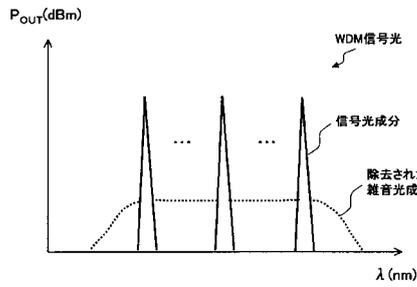
【 図 5 】



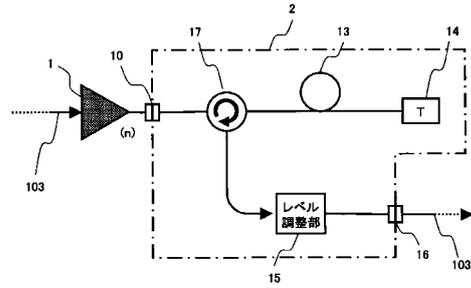
【図6】



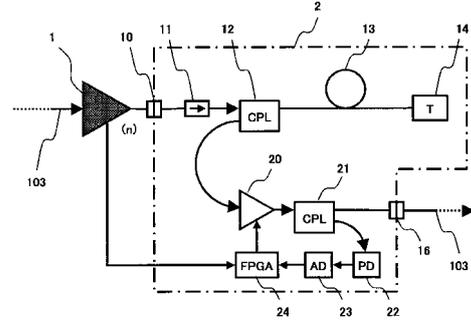
【図7】



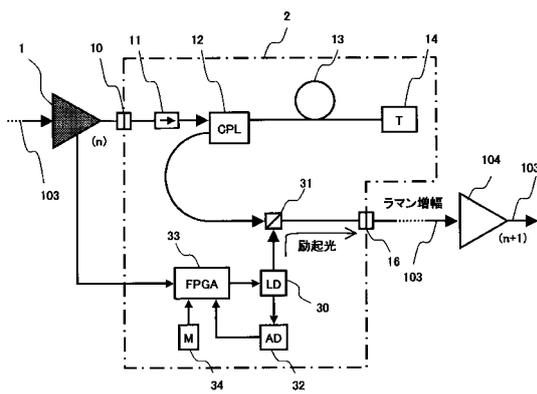
【図8】



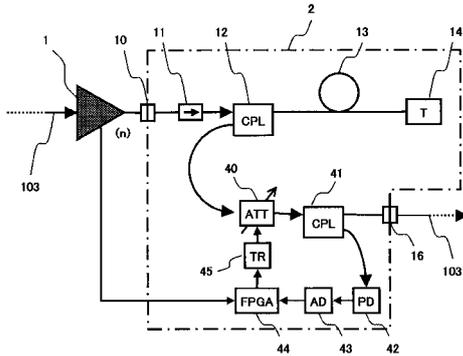
【図9】



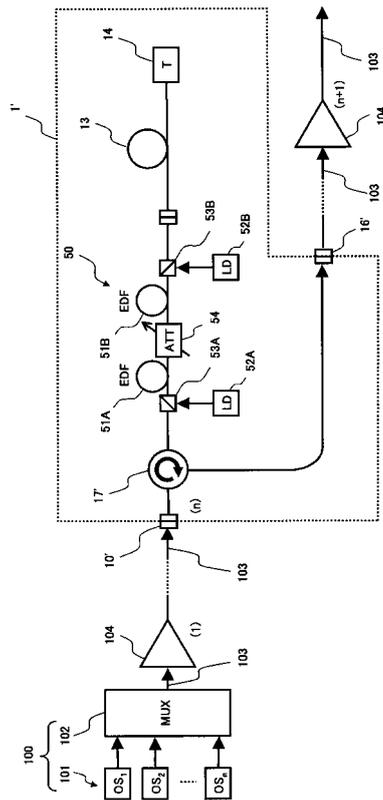
【図10】



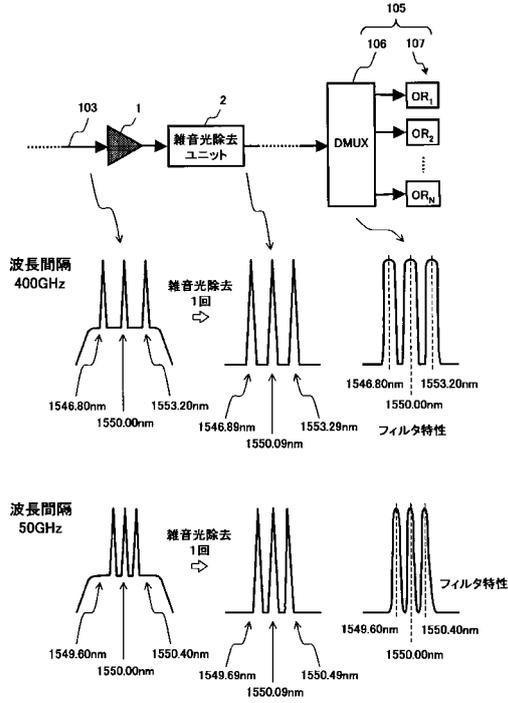
【図11】



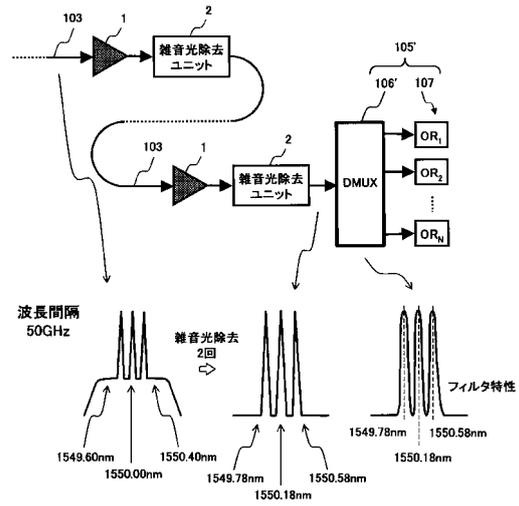
【図12】



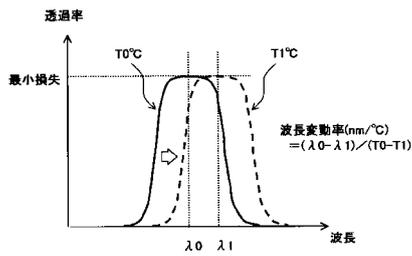
【図13】



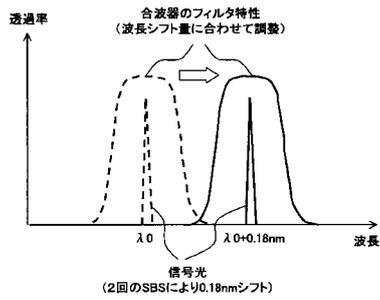
【図14】



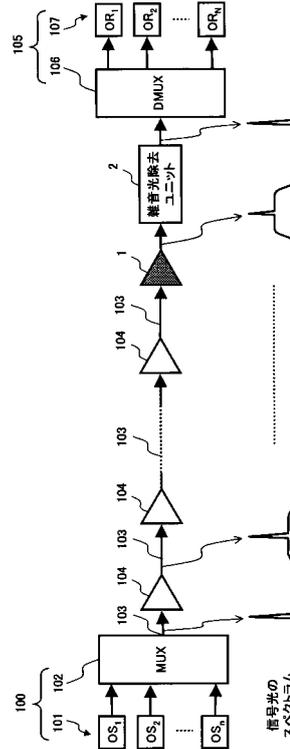
【図15】



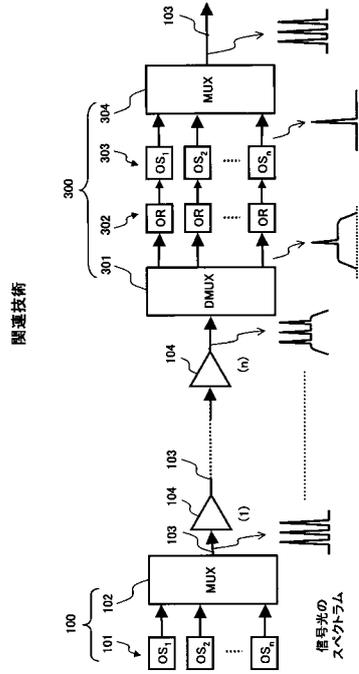
【図16】



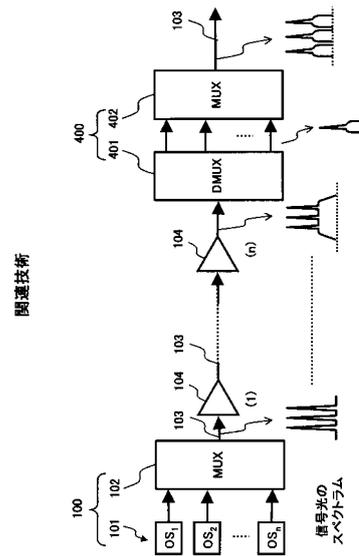
【図17】



【 図 18 】



【 図 19 】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B名)

H04B10/00-10/28

H04J14/00-14/08