

(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2012-156285
(P2012-156285A)

(43) 公開日 平成24年8月16日 (2012.8.16)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 S 3/10 (2006.01)	HO 1 S 3/10 Z	5 F 1 7 2
HO 1 S 3/067 (2006.01)	HO 1 S 3/06 B	5 K 1 0 2
HO 4 B 10/17 (2006.01)	HO 4 B 9/00 J	
HO 4 B 10/16 (2006.01)	HO 4 B 9/00 E	
HO 4 J 14/02 (2006.01)		

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 27 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2011-13660 (P2011-13660)	(71) 出願人	000005223
(22) 出願日	平成23年1月26日 (2011.1.26)		富士通株式会社
			神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
		(74) 代理人	100092152
			弁理士 服部 毅巖
		(72) 発明者	宿南 宣文
			神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
		(72) 発明者	續木 達也
			神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
		(72) 発明者	大井 寛己
			神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

最終頁に続く

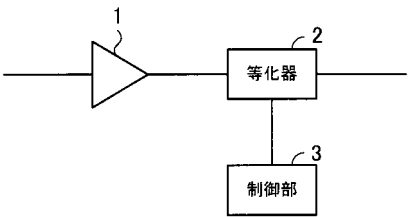
(54) 【発明の名称】 光増幅装置

(57) 【要約】

【課題】 光増幅器の設定される利得に応じて、各波長における利得を平坦にする。

【解決手段】 光増幅器 1 は、光信号を設定された利得で増幅する。等化器 2 は、光増幅器 1 によって増幅された光信号の損失を波長ごとに可変する。制御部 3 は、設定される利得に応じて生じる光増幅器 1 の利得チルトに対応した損失波長特性を有するように等化器 2 を制御する。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

光信号を増幅する光増幅装置において、
前記光信号を設定された利得で増幅する光増幅器と、
前記光増幅器によって増幅された前記光信号の損失を波長ごとに可変する等化器と、
設定される利得に応じて生じる前記光増幅器の利得チルトに対応した損失波長特性を有するように前記等化器を制御する制御部と、
を有することを特徴とする光増幅装置。

【請求項 2】

前記損失波長特性は、設定される利得に応じて生じる前記光増幅器の利得チルトを打ち消す特性であることを特徴とする請求項 1 記載の光増幅装置。

10

【請求項 3】

前記光増幅器の所定の設定利得において、前記光信号の各波長における利得が平坦となるように固定の損失を有し、前記光増幅器から出力される前記光信号を前記等化器に出力する固定等化器をさらに有することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光増幅装置。

【請求項 4】

前記光増幅器の利得を所定単位あたりで可変したときの利得チルトの情報を記憶した記憶部をさらに備え、

前記制御部は、前記所定の設定利得、前記光増幅器に設定される利得、および前記記憶部に記憶された利得チルトに基づいて、前記損失波長特性を算出することを特徴とする請求項 3 記載の光増幅装置。

20

【請求項 5】

前記所定の設定利得、前記光増幅器に設定される利得、および前記光増幅器の利得を所定単位あたりで可変したときの利得チルトに基づいて、前記損失波長特性を予め算出して記憶した記憶部をさらに備え、

前記制御部は、前記光増幅器に設定される利得に基づいて前記記憶部を参照し、前記損失波長特性を取得することを特徴とする請求項 3 記載の光増幅装置。

【請求項 6】

前記等化器の出力の光パワーの波長特性をモニタするモニタ部と、

前記モニタ部によってモニタされる光パワーの波長特性が目標の波長特性を有するように前記等化器を制御する波長特性制御部と、

30

をさらに有することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の光増幅装置。

【請求項 7】

前記等化器は、2つの前記光増幅器の間に設けられていることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の光増幅装置。

【請求項 8】

前記等化器の後段の前記光増幅器の出力の光パワーの波長特性をモニタするモニタ部と、

前記モニタ部によってモニタされる光パワーの波長特性が目標の波長特性を有するように前記等化器を制御する波長特性制御部と、

40

をさらに有することを特徴とする請求項 7 記載の光増幅装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本件は、光信号を増幅する光増幅装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

WDM (Wavelength Division Multiplexing) 伝送システムの光増幅技術としては、EDF (Erbium-Doped Fiber) を用いた EDF A (Erbium-Doped Fiber Amplifier) が広く利用されている。EDF A は、1530 ~ 1565 nm 帯 (C-Band) や 1570 ~ 160

50

5 nm 帯 (L-Band) の帯域を増幅することが可能である。EDFA の広帯域を生かし、これらの帯域において、0.4 nm 間隔で波長を配置することで、80 波以上の信号を送送できる WDM 伝送システムが実用化されている。

【0003】

光伝送システムでは、光増幅器は、伝送の損失を補償するために使用されている。送信機から送り出された信号光は、伝送路である光ファイバを伝搬して受信機に送信される。光増幅器の配置形態としては、送信機の出力段に配置されるポストアンプ、受信機の入力段に配置されるプリアンプ、または多段中継する場合に用いられるインラインアンプなどが挙げられる。

【0004】

WDM 光増幅器には、例えば、利得可変光増幅器がある。利得可変光増幅器は、EDF の利得波長特性が変化しないように EDF の利得を一定に制御し、出力側の VOA (Variable Optical Amplifier) の損失を可変させて利得の制御を行う。この利得可変光増幅器では、EDF への入力パワーが大きくなると、出力も大きくなり、非常に大きな励起光を要する。

【0005】

EDF は、一般に各波長において利得が平坦となっていない。そのため、EDF の利得等化は、GEQ (Gain Equalizer) で行う。例えば、GEQ は、EDF の出力利得が各波長において平坦となるような損失波長特性を有している。GEQ は、誘電体多層膜を利用したものが広く使用されている。

【0006】

なお、従来、EDFA の利得 - 波長波形の傾斜に応じて、透過損失 - 波長波形の傾斜が変化し、前記利得 - 波長波形の傾斜を任意に制御する長周期ファイバグレーティングが提案されている (例えば、特許文献 1 参照)。

【0007】

また、より高度に利得傾斜の補償が可能な、光部品、光増幅器モジュールおよび光伝送システムが提案されている (例えば、特許文献 2 参照)。

さらに、簡易な構成で、かつ、雑音特性を劣化させることなく、SHB (Spectral Hole Burning) や SRS (Stimulated Raman Scattering) による信号レベルの過渡変動を高速に抑圧することで、光増幅器の更なる多段化を可能とし、ひいては、光分岐挿入装置を含む伝送システムの長距離化を図る光増幅器の制御装置が提案されている (例えば、特許文献 3 参照)。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献 1】特開 2004 - 103682 号公報

【特許文献 2】特開 2004 - 101935 号公報

【特許文献 3】特開 2006 - 295113 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかし、EDF は設定される利得に応じて利得チルトが生じ、GEQ は損失波長特性が固定されているため、EDF の設定される利得によって、各波長における利得が平坦でなくなるといった問題点があった。

【0010】

本件はこのような点に鑑みてなされたものであり、光増幅器の設定される利得に応じて、各波長における利得を平坦に制御することができる光増幅装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0011】

10

20

30

40

50

上記課題を解決するために、光信号を増幅する光増幅装置が提供される。この光増幅装置は、前記光信号を設定された利得で増幅する光増幅器と、前記光増幅器によって増幅された前記光信号の損失を波長ごとに可変する等化器と、設定される利得に応じて生じる前記光増幅器の利得チルトに対応した損失波長特性を有するように前記等化器を制御する制御部と、を有する。

【発明の効果】

【0012】

開示の装置によれば、光増幅器の設定される利得に応じて、各波長における利得を平坦にすることができる。

【図面の簡単な説明】

10

【0013】

【図1】第1の実施の形態に係る光増幅装置の一例を示した図である。

【図2】第2の実施の形態に係る光増幅装置を適用した光伝送システムの一例を示した図である。

【図3】光増幅装置のブロックの一例である。

【図4】EDFの利得波長特性の一例を示した図である。

【図5】GEQの損失波長特性の一例を示した図である。

【図6】EDFの利得チルトの一例を示した図である。

【図7】Gsetに対する損失波長特性の一例を示した図である。

【図8】DGEQのブロックの一例を示した図のその1である。

20

【図9】図8のDGEQの動作を説明する図である。

【図10】DGEQのブロックの一例を示した図のその2である。

【図11】図10のDGEQの動作を説明する図である。

【図12】DGEQのブロックの一例を示した図のその3である。

【図13】図12のDGEQの動作を説明する図である。

【図14】DGEQのブロックの一例を示した図のその4である。

【図15】図14のDGEQの動作を説明する図である。

【図16】AGC制御部の動作の一例を示したフローチャートである。

【図17】DGEQ制御部の動作の一例を示したフローチャートである。

【図18】VOAで利得制御する光増幅装置のレベルダイヤの一例を示した図である。

30

【図19】第3の実施の形態に係る光増幅装置を適用した光伝送システムの一例を示した図である。

【図20】第4の実施の形態に係る光増幅装置を適用した光伝送システムの一例を示した図である。

【図21】第5の実施の形態に係る光増幅装置を適用した光伝送システムの一例を示した図である。

【図22】DGEQ制御部とALC制御部の動作の一例を示したフローチャートである。

【図23】DGEQ制御部とALC制御部の動作の一例を示したフローチャートである。

【図24】利得偏差の一例を示した図である。

【図25】第6の実施の形態に係る光増幅装置を適用した光伝送システムの一例を示した図である。

40

【図26】第7の実施の形態に係る光増幅装置を適用した光伝送システムの一例を示した図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、実施の形態を、図面を参照して詳細に説明する。

[第1の実施の形態]

図1は、第1の実施の形態に係る光増幅装置の一例を示した図である。図1に示すように、光増幅装置は、光増幅器1、等化器2、および制御部3を有している。

【0015】

50

光増幅器 1 には、光信号が入力される。光増幅器 1 は、入力された光信号を設定された利得で増幅する。光増幅器 1 は、例えば、E D F である。

等化器 2 は、光増幅器 1 によって増幅された光信号の損失を波長ごとに可変する等化器である。

【 0 0 1 6 】

制御部 3 は、設定される利得に応じて生じる光増幅器 1 の利得チルトに対応した損失波長特性を有するように等化器 2 を制御する。制御部 3 は、例えば、プロセッサの電気回路によって形成される。

【 0 0 1 7 】

ここで、光信号は、各波長における利得が平坦でないと、例えば、伝送劣化を生じる。そのため、光増幅装置は、一般に E D F の利得を一定に制御（利得が固定となるように制御）して、固定の損失波長特性を有した G E Q で各波長における利得を平坦化する。また、E D F などの光増幅器は、設定される利得が変更されると、利得チルトが生じ、各波長における利得が平坦とならなくなる。そのため、E D F の利得を一定に制御する光増幅装置では、光増幅器の設定される利得は固定となる。

【 0 0 1 8 】

これに対し、図 1 の光増幅装置の制御部 3 は、設定される利得に応じて生じる光増幅器 1 の利得チルトに対応した損失波長特性を有するように等化器 2 を制御する。例えば、制御部 3 の等化器 2 を制御する損失波長特性は、設定される利得に応じて生じる光増幅器 1 の利得チルトを打ち消す損失の波長特性である。この場合、例えば、利得の変更によって生じる利得チルトは、等化器 2 の損失波長特性によって打ち消される。すなわち、制御部 3 は、光増幅器 1 の設定される利得に応じて、光信号の利得波長特性が平坦となるように等化器 2 を制御する。

【 0 0 1 9 】

このように、光増幅装置は、光増幅器 1 によって増幅された光信号の損失を波長ごとに可変できる等化器 2 を備え、等化器 2 を光増幅器 1 の設定される利得に応じて生じる利得チルトに対応した損失波長特性を有するように制御するようにした。これにより、光増幅装置は、光増幅器 1 の設定される利得に応じて、各波長における利得を平坦にすることができる。

【 0 0 2 0 】

[第 2 の実施の形態]

次に、第 2 の実施の形態を、図面を参照して詳細に説明する。

図 2 は、第 2 の実施の形態に係る光増幅装置を適用した光伝送システムの一例を示した図である。図 2 に示すように、光伝送システムは、例えば、W D M 光伝送システムであり、送信局 1 0、インラインアンプ 2 1 ~ 2 3、受信局 3 0、および伝送路 3 6 を有している。送信局 1 0、インラインアンプ 2 1 ~ 2 3、および受信局 3 0 は、例えば、光ファイバの伝送路 3 6 を介して接続されている。

【 0 0 2 1 】

送信局 1 0 は、光送信機 1 1 a ~ 1 1 n、合波器 1 2、およびポストアンプ 1 3 を有している。光送信機 1 1 a ~ 1 1 n はそれぞれ、異なる波長の光信号を出力する。

合波器 1 2 は、光送信機 1 1 a ~ 1 1 n から出力される光信号を合波し、W D M 信号としてポストアンプ 1 3 に出力する。合波器 1 2 は、例えば、A W G (Arrayed Waveguide Grating) である。

【 0 0 2 2 】

ポストアンプ 1 3 は、合波器 1 2 から出力された信号光を増幅し、伝送路 3 6 へ出力する。

インラインアンプ 2 1 ~ 2 3 は、伝送路 3 6 中で減衰した光信号を増幅する。光信号の光パワーが小さすぎると、O S N R (Optical Signal to Noise Ratio) が悪化するからである。インラインアンプ 2 1 ~ 2 3 は、通常、1 0 k m ~ 1 0 0 k m 程度ごとに、伝送路 3 6 に挿入され、光信号は、再び所定のレベルまで増幅される。

【 0 0 2 3 】

受信局 3 0 は、プリアンプ 3 1、分波器 3 2、および光受信機 3 3 a ~ 3 3 n を有している。プリアンプ 3 1 は、伝送路 3 6 から受信した光信号を増幅する。

分波器 3 2 は、WDM 信号を各波長の光信号に分波する。分波器 3 2 は、例えば、AWG である。

【 0 0 2 4 】

光受信機 3 3 a ~ 3 3 n は、分波器 3 2 で分波された各波長の光信号を受信し、例えば、送信局 1 0 から送信された信号を再生する。

図 2 に示すような、光 - 電気変換、電気 - 光変換を行わずに光増幅器で中継する光伝送システムは、線形中継システムと呼ばれている。線形中継システムは、長距離大容量伝送システムに用いられ、例えば、1 0 0 0 k m 以上伝送可能な光伝送システムに適用されている。

【 0 0 2 5 】

図 3 は、光増幅装置のブロックの一例である。図 3 に示すように、光増幅装置は、アイソレータ 4 1、4 7、BS (Beam Splitter) 4 2、4 9、5 2、5 4、PD (Photo Diode) 4 3、5 5、LD (Laser Diode) 4 4、カブラ 4 5、EDF 4 6、GEQ 4 8、OCM (Optical Channel Monitor) 5 0、5 3、DGEQ (Dynamic Gain Equalizer) 5 1、AGC (Auto Gain Control) 制御部 5 6、および DGEQ 制御部 5 7 を有している。図 3 の光増幅装置は、例えば、図 2 に示したポストアンプ 1 3、インラインアンプ 2 1 ~ 2 3、およびプリアンプ 3 1 に対応する。

【 0 0 2 6 】

アイソレータ 4 1 には、増幅する光信号が入力される。アイソレータ 4 1 は、光信号が入力側に逆流するのを防止する。

BS 4 2 は、アイソレータ 4 1 から出力される光信号を分岐して、PD 4 3 とカブラ 4 5 とに出力する。

【 0 0 2 7 】

PD 4 3 は、BS 4 2 から出力される光信号の光パワーをモニタする。モニタされた光パワーは、AGC 制御部 5 6 に出力される。AGC 制御部 5 6 は、例えば、プロセッサの電気回路によって形成される。

【 0 0 2 8 】

LD 4 4 は、AGC 制御部 5 6 の制御に基づいて、励起光をカブラ 4 5 に出力する。

カブラ 4 5 は、BS 4 2 から出力される光信号に LD 4 4 から出力される励起光を合波する。カブラ 4 5 は、例えば、WDM カブラである。

【 0 0 2 9 】

EDF 4 6 は、カブラ 4 5 から出力される光信号を増幅する。EDF 4 6 は、カブラ 4 5 によって合波された LD 4 4 の励起光によって、光信号を増幅する。

アイソレータ 4 7 は、光信号が EDF 4 6 側に逆流するのを防止する。

【 0 0 3 0 】

GEQ 4 8 は、光信号の利得等化を行う。すなわち、GEQ 4 8 は、EDF 4 6 の出力の利得が、各波長において平坦となるようにする。GEQ 4 8 は、例えば、誘電体多層膜によって形成され、固定の損失波長特性を有している。

【 0 0 3 1 】

ここで、EDF 4 6 の利得波長特性、GEQ 4 8 の損失波長特性、および EDF 4 6 の利得チルトについて説明する。

図 4 は、EDF の利得波長特性の一例を示した図である。図 4 の横軸は波長を示し、縦軸は利得を示す。図 4 に示す波形 W 1 1 は、EDF 4 6 の利得波長特性を示している。

【 0 0 3 2 】

図 4 に示す波長 a 1 1 ~ a 1 2 は、WDM 信号帯域を示している。EDF 4 6 の利得は、伝送信号の劣化を抑制するために、図 4 の点線 A 1 1 に示すように、WDM 信号帯域の各波長において、平坦であることが望ましい。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 3 】

図 5 は、G E Q の損失波長特性の一例を示した図である。図 5 の横軸は波長を示し、縦軸は損失を示す。図 5 に示す波形 W 1 2 は、G E Q 4 8 の損失波長特性を示している。

図 4 に示す波長 a 1 1 ~ a 1 2 は、図 4 と同様に W D M 信号帯域を示している。波形 W 1 2 は、図 4 で示した波形 W 1 1 と同様の变化をする損失波長特性を有している。すなわち、波形 W 1 2 は、図 4 で示した波形 W 1 1 と反対の特性を有している。

【 0 0 3 4 】

E D F 4 6 は、図 4 の波形 W 1 1 に示したように、各波長において利得が平坦となっていない。G E Q 4 8 は、図 5 の波形 W 1 2 に示すように、波形 W 1 1 の変化を打ち消すよう、損失波長特性を有している。従って、G E Q 4 8 の出力の利得は、図 4 の点線 A 1 1 に示すように、各波長において平坦となる。

10

【 0 0 3 5 】

図 6 は、E D F の利得チルトの一例を示した図である。図 5 の横軸は波長を示し、縦軸は利得を示している。波形 W 1 3 は、E D F 4 6 の利得を 1 d B 減少させたときの利得チルトを示している。すなわち、E D F 4 6 は、1 d B 利得を下げると、波形 W 1 3 に示すように、波長に対して右肩上がりの利得チルトが生じる。

【 0 0 3 6 】

波形 W 1 3 の式は、次の式 (1) で示される。

$$y_1 = G_{t i l t_r e f}(\lambda) \dots (1)$$

式 (1) の λ に波長を代入すると、その波長に対応する利得チルトが求まる。

20

【 0 0 3 7 】

波形 W 1 3 は、上記したように E D F 4 6 の利得を 1 d B 減少させたときの利得チルトを示している。従って、E D F 4 6 の利得を n d B 減少させた場合、その利得チルトは、式 (1) の右辺に n を乗算すれば求まる。例えば、E D F 4 6 の利得を n d B 減少した場合、E D F 4 6 の利得チルトは、次の式 (2) で示される。

【 0 0 3 8 】

$$y_2 = G_{t i l t_r e f}(\lambda) \times n \dots (2)$$

このように、E D F 4 6 は、利得を可変すると利得チルトが生じる。そのため、E D F 4 6 の設定される利得に応じて、G E Q 4 8 の出力の利得は、各波長において平坦にならなくなる。

30

【 0 0 3 9 】

例えば、G E Q 4 8 の出力は、E D F 4 6 の所定の設定利得において、各波長において平坦となるように損失波長特性を有しているとする。この所定の設定利得と異なる利得を E D F 4 6 に設定すると、G E Q 4 8 の出力の利得は、利得チルトによって各波長において平坦にならなくなる。そこで、以下で説明する D G E Q 制御部 5 7 は、E D F 4 6 に設定される利得に応じて、D G E Q 5 1 の出力での利得 (光増幅装置の利得) が平坦となるように D G E Q 5 1 を制御する。D G E Q 制御部 5 7 は、例えば、プロセッサの電気回路によって形成される。

【 0 0 4 0 】

図 3 の説明に戻る。B S 4 9 は、G E Q 4 8 から出力される光信号を分岐し、O C M 5 0 と D G E Q 5 1 とに出力する。

40

O C M 5 0 は、B S 4 9 から出力される光信号の各波長の光パワーをモニタする。モニタされた光パワーは、D G E Q 制御部 5 7 に出力される。信号のない波長は、例えば、E D F 4 6 で発生する A S E (Amplified Spontaneous Emission) をモニタしてもよい。

【 0 0 4 1 】

D G E Q 5 1 は、D G E Q 制御部 5 7 の制御に基づいて、光信号の損失を波長ごとに可変することができる。D G E Q 5 1 については、以下で詳細に説明する。

B S 5 2 は、D G E Q 5 1 から出力される光信号を分岐し、O C M 5 3 と B S 5 4 とに出力する。

【 0 0 4 2 】

50

OCM 53 は、BS 52 から出力される光信号の各波長の光パワーをモニタする。モニタされた光パワーは、DGEQ 制御部 57 に出力される。

BS 54 は、BS 52 から出力される光信号を分岐し、PD 55 と図示しない伝送路とに出力する。

【0043】

PD 55 は、BS 54 から出力される光信号の光パワーをモニタする。モニタされた光パワーは、AGC 制御部 56 に出力される。

AGC 制御部 56 は、PD 43 によってモニタされた光信号の光パワーと、PD 55 によってモニタされた光信号の光パワーとに基づいて、EDF 46 の利得が、設定された利得で一定となるようにLD 44 の励起光パワーを制御する。例えば、EDF 46 の利得は、PD 43 によってモニタされた光信号の光パワーと、PD 55 によってモニタされた光信号の光パワーとに基づいて算出できる。AGC 制御部 56 は、算出したEDF 46 の利得が、設定された利得で一定となるようにLD 44 の励起光パワーを制御する。

【0044】

DGEQ 制御部 57 は、設定される利得に応じて生じるEDF 46 の利得チルトに対応した損失波長特性を有するように、DGEQ 51 を制御する。損失波長特性は、EDF 46 の設定される利得に応じて生じる利得チルトを打ち消す損失の特性である。すなわち、損失波長特性は、EDF 46 に設定された利得において、DGEQ 51 から出力される光信号の利得が各波長において平坦となるような損失の特性である。

【0045】

例えば、GEQ 48 の損失波長特性は、EDF 46 の利得が所定の設定利得 G_{max} のとき、GEQ 48 の出力での利得が各波長において平坦となるように設定されているとする。 G_{max} は、例えば、EDF 46 に設定される利得のうち、最も大きい利得である。すなわち、GEQ 48 の出力利得は、EDF 46 の利得が最大利得の G_{max} に設定されたとき、各波長において平坦になるとする。

【0046】

ここで、EDF 46 の利得を G_{set} ($G_{set} < G_{max}$) に設定 (変更) するとする。この場合、EDF 46 は、利得を減少したことにより利得チルトが生じ、GEQ 48 の出力の利得は、各波長において平坦でなくなる。この利得チルトによるGEQ 48 の出力利得の変化は、EDF 46 の利得を ($G_{max} - G_{set}$) 変化させたものであるから、上記の式 (2) に基づき、次の式 (3) で示される。

【0047】

$$y_3 = G_{tilt_ref}(\lambda) \times (G_{max} - G_{set}) \quad \dots (3)$$

従って、DGEQ 制御部 57 は、DGEQ 51 を、式 (3) に示す利得に対応した損失を有するように制御すれば、DGEQ 51 の出力利得は、各波長において平坦となる。DGEQ 51 を制御する損失波長特性の式は、次の式 (4) で示される。

【0048】

$$Loss(\lambda, G_{set}) = G_{tilt_ref}(\lambda) \times (G_{max} - G_{set}) \quad \dots (4)$$

すなわち、DGEQ 制御部 57 は、EDF 46 の利得が G_{set} に設定されたとき、各波長において、式 (4) に示す損失を有するようにDGEQ 51 を制御することにより、DGEQ 51 の出力の利得を各波長において平坦にすることができる。

【0049】

なお、光増幅装置は、図3に示していないが、例えば、図6に示したEDF 46 の1dBあたりの利得チルトの情報をメモリに記憶している。DGEQ 制御部 57 は、例えば、上記した G_{max} (EDF 46 に設定される最大利得) と、EDF 46 に設定される利得とに基づき ' $G_{max} - G_{set}$ ' を算出し、算出した値とメモリに記憶された単位あたりの利得チルトとに基づいて、式 (4) によりDGEQ 51 を制御する損失波長特性を算出する。

【0050】

10

20

30

40

50

また、予め G_{set} に対する利得チルトを算出し、メモリに記憶しておいてもよい。

図 7 は、 G_{set} に対する損失波長特性の一例を示した図である。図 7 の横軸は波長を示し、縦軸は利得を示している。図 7 に示す各波形は、EDF 46 の利得を 30 dB, 28 dB, ..., 10 dB に設定したときの DGEQ 51 を制御する損失波長特性を示している。

【0051】

図 7 の損失波長特性は予め算出し、メモリに記憶しておく。例えば、EDF 46 の単位あたりの利得チルトと、 G_{max} と、EDF 46 に設定される利得とに基づいて、EDF 46 に設定される利得に対応した損失波長特性を予め算出してメモリに記憶する。DGEQ 制御部 57 は、EDF 46 に設定される利得に基づいてメモリを参照し、EDF 46 に設定された利得に対応する損失波長特性を取得する。例えば、DGEQ 制御部 57 は、EDF 46 の利得に 22 dB が設定された場合、図 7 の ' $G_{set} = 22 \text{ dB}$ ' の損失波長特性をメモリから取得する。

10

【0052】

なお、図 7 の例では、GEQ 48 の損失波長特性は、EDF 46 の利得が 30 dB のとき、その出力の利得が各波長において平坦となるように設定されている。すなわち、図 7 の例では、 $G_{max} = 30 \text{ dB}$ である。従って、 $G_{set} = 30 \text{ dB}$ に対応する損失波長特性は、0 dB となっている。

【0053】

また、メモリに記憶されていない利得が EDF 46 に設定された場合、DGEQ 制御部 57 は、その設定された利得に近い損失波長特性をメモリから取得し、補完するようにしてもよい。例えば、DGEQ 制御部 57 は、メモリに記憶されていない利得に近い 2 つの損失波長特性をメモリから取得し、その平均値を算出して、EDF 46 に設定された利得に対応する損失波長特性を算出するようにしてもよい。

20

【0054】

次に、DGEQ 51 の例について説明する。

図 8 は、DGEQ のブロックの一例を示した図のその 1 である。図 8 に示すように、DGEQ 51 は、コリメータ 61、65、回折格子 62、レンズ 63、および MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) ミラー 64 を有している。

【0055】

図 9 は、図 8 の DGEQ の動作を説明する図である。図 9 において図 8 と同じものには同じ符号を付し、その説明を省略する。

30

図 9 に示す矢印は、光の経路を示している。DGEQ 51 に入力された光は、コリメータ 61 を介して回折格子 62 に照射される。回折格子 62 に照射された光は分光され、レンズ 63 を介して MEMS ミラー 64 に照射される。

【0056】

MEMS ミラー 64 は、分光した光の波長に対応して (分光した光の波長方向に) 多数配置されている。MEMS ミラー 64 を反射した光は、レンズ 63 を介して回折格子 62 に照射され、コリメータ 65 へ入力される。コリメータ 65 に入力された光は、図 3 に示す BS 52 に出力される。

40

【0057】

MEMS ミラー 64 は、その角度を変えることで、コリメータ 65 へ入力される光の結合効率を可変させることができる。すなわち、MEMS ミラー 64 は、その角度を変えることによって各波長における損失を可変させることができる。MEMS ミラー 64 の角度は、DGEQ 制御部 57 によって制御される。

【0058】

なお、MEMS ミラー 64 の個数が多いほど、波長分解能の高い DGEQ 51 が実現できる。

図 10 は、DGEQ のブロックの一例を示した図のその 2 である。図 10 に示すように、DGEQ 51 は、コリメータ 71、76、レンズ 72、ミラー 73、回折格子 74、お

50

よび D M D (Digital Micro mirror Device) 7 5 を有している。

【 0 0 5 9 】

図 1 1 は、図 1 0 の D G E Q の動作を説明する図である。図 1 1 において図 1 0 と同じものには同じ符号を付し、その説明を省略する。

図 1 1 に示す矢印は、光の経路を示している。D G E Q 5 1 に入力された光は、コリメータ 7 1、レンズ 7 2、およびミラー 7 3 を介して回折格子 7 4 に照射される。回折格子 7 4 に照射された光は光分され、ミラー 7 3 を介して D M D 7 5 に照射される。

【 0 0 6 0 】

D M D 7 5 に照射された光は、ミラー 7 3、回折格子 7 4、ミラー 7 3、およびレンズ 7 2 を介して、コリメータ 7 6 へ入力される。コリメータ 7 6 に入力された光は、図 3 に示す B S 5 2 に出力される。

【 0 0 6 1 】

D M D 7 5 の x 軸方向は、光の波長方向に対応し、回折格子 7 4 で分光された光は、波長ごとに x 軸方向に分散して D M D 7 5 に照射される。y 軸方向の全軸上には、x 軸方向における波長の光が照射される。従って、D M D 7 5 は、y 軸方向のミラーの個数によって、各波長 (x 軸上) のコリメータ 7 6 への光の結合率を変えることができる。D M D 7 5 のミラーの角度は、D G E Q 制御部 5 7 によって制御される。

【 0 0 6 2 】

なお、D M D 7 5 は、D L P (Digital Light Processing: 登録商標) としてプロジェクタで一般に使用されているデバイスである。D M D 7 5 の画素数は、例えば、1 2 8 0 × 7 2 0、1 9 2 0 × 1 0 8 0 等のものが実用化されており、波長の分解能が高い。

【 0 0 6 3 】

図 1 2 は、D G E Q のブロックの一例を示した図のその 3 である。図 1 2 に示すように、D G E Q 5 1 は、コリメータ 8 1、8 7、偏波ダイバーシティデバイス 8 2、レンズ 8 3、ミラー 8 4、回折格子 8 5、および L C O S (Liquid Crystal On Silicon) 8 6 を有している。

【 0 0 6 4 】

図 1 3 は、図 1 2 の D G E Q の動作を説明する図である。図 1 3 において図 1 2 と同じものには同じ符号を付し、その説明を省略する。

図 1 3 に示す矢印は、光の経路を示している。D G E Q 5 1 に入力された光は、コリメータ 8 1、偏波ダイバーシティデバイス 8 2、レンズ 8 3、およびミラー 8 4 を介して回折格子 8 5 に照射される。回折格子 8 5 に照射された光は分光され、ミラー 8 4 を介して L C O S 8 6 に照射される。

【 0 0 6 5 】

L C O S 8 6 に照射された光は、ミラー 8 4、回折格子 8 5、ミラー 8 4、レンズ 8 3、および偏波ダイバーシティデバイス 8 2 を介して、コリメータ 8 7 へ入力される。コリメータ 8 7 に入力された光は、図 3 に示す B S 5 2 に出力される。

【 0 0 6 6 】

L C O S 8 6 の x 軸方向は、光の波長方向に対応し、回折格子 8 5 で分光された光は、波長ごとに x 軸方向に分散して L C O S 8 6 に照射される。y 軸方向の全軸上には、x 軸方向における波長の光が照射される。従って、L C O S 8 6 は、y 軸方向の L C O S で光に位相差を生じさせ、干渉を利用することで反射角を変え、コリメータ 8 7 への結合率を変えることができる。L C O S 8 6 による光の位相差は、D G E Q 制御部 5 7 によって制御される。

【 0 0 6 7 】

なお、L C O S 8 6 の画素数は、例えば、1 9 2 0 × 1 0 8 0 のものが実用化されており、波長の分解能が高い。

図 1 4 は、D G E Q のブロックの一例を示した図のその 4 である。図 1 4 に示すように、D G E Q 5 1 は、コリメータ 9 1、9 8、偏波ダイバーシティデバイス 9 2、レンズ 9 3、ミラー 9 4、回折格子 9 5、偏光子 9 6、および L C O S 9 7 を有している。

【 0 0 6 8 】

図 1 5 は、図 1 4 の D G E Q の動作を説明する図である。図 1 5 において図 1 4 と同じものには同じ符号を付し、その説明を省略する。

図 1 5 に示す矢印は、光の経路を示している。D G E Q 5 1 に入力された光は、コリメータ 9 1、偏波ダイバーシティデバイス 9 2、レンズ 9 3、およびミラー 9 4 を介して回折格子 9 5 に照射される。回折格子 9 5 に照射された光は分光され、ミラー 9 4 および偏光子 9 6 を介して L C O S 9 7 に照射される。

【 0 0 6 9 】

L C O S 9 7 に照射された光は、偏光子 9 6、ミラー 9 4、回折格子 9 5、ミラー 9 4、レンズ 9 3、および偏波ダイバーシティデバイス 9 2 を介して、コリメータ 9 8 へ入力される。コリメータ 9 8 に入力された光は、図 3 に示す B S 5 2 に出力される。

【 0 0 7 0 】

L C O S 9 7 の x 軸方向は、光の波長方向に対応し、回折格子 8 5 で分光された光は、波長ごとに x 軸方向に分散して L C O S 9 7 に照射される。y 軸方向の全軸上には、x 軸方向における波長の光が照射される。従って、L C O S 9 7 は、y 軸方向の L C O S で光の偏光角を変化させ、偏光子 9 6 での光の透過率を変えることで、コリメータ 9 8 への結合率を変えることができる。L C O S 9 7 による偏光角の変化は、D G E Q 制御部 5 7 によって制御される。

【 0 0 7 1 】

図 1 6 は、A G C 制御部の動作の一例を示したフローチャートである。

[S 1] A G C 制御部 5 6 は、E D F 4 6 の目標利得 G s e t が設定される。

[S 2] A G C 制御部 5 6 は、A G C ループか否か判断する。例えば、A G C 制御部 5 6 は、A G C 制御をする期間か否か判断する。A G C 制御部 5 6 は、A G C ループである場合、S 3 に進む。A G C 制御部 5 6 は、A G C ループでない場合、処理を終了する。

【 0 0 7 2 】

[S 3] A G C 制御部 5 6 は、P D 4 3、5 5 から E D F 4 6 の入出力パワーを取得する。

[S 4] A G C 制御部 5 6 は、S 3 で取得した E D F 4 6 の入出力パワーから E D F 4 6 の動作利得を計算する。動作利得は、例えば、次の式 (5) によって算出することができる。

【 0 0 7 3 】

$$G_{mon} = P_{out} / P_{in} \quad \dots (5)$$

P o u t は、図 3 の P D 5 5 によってモニタされた光パワーである。P i n は、図 3 の P D 4 3 によってモニタされた光パワーである。

【 0 0 7 4 】

なお、P o u t には、E D F 4 6 で発生する A S E パワーも含んでモニタされるので、適切な利得を算出するために、A S E パワーを補正して利得を算出してもよい。この場合、動作利得は、次の式 (6) によって算出することができる。

【 0 0 7 5 】

$$G_{mon} = (P_{out} - P_{ase}) / P_{in} \quad \dots (6)$$

P a s e は、E D F 4 6 で発生する A S E パワーを示す。また、A = P a s e / G s e t とし、次の式 (7) から動作利得を算出してもよい。

【 0 0 7 6 】

$$G_{mon} = P_{out} / (P_{in} + A) \quad \dots (7)$$

[S 5] A G C 制御部 5 6 は、E D F 4 6 の動作利得が、目標利得 G s e t になったか否か判断する。A G C 制御部 5 6 は、E D F 4 6 の動作利得が、目標利得 G s e t になった場合、S 2 へ進む。A G C 制御部 5 6 は、E D F 4 6 の動作利得が、目標利得 G s e t になっていない場合、S 6 へ進む。

【 0 0 7 7 】

[S 6] A G C 制御部 5 6 は、E D F 4 6 の動作利得が目標利得 G s e t となるように

、LD44の励起光パワーを可変する。

図17は、DGEQ制御部の動作の一例を示したフローチャートである。

【0078】

【S11】DGEQ制御部57は、EDF46の目標利得Gsetに対応した損失波長特性を計算する。例えば、DGEQ制御部57は、式(4)により、損失波長特性を計算する。または、DGEQ制御部57は、図7で説明したGsetに対する損失波長特性をメモリから取得する。

【0079】

【S12】DGEQ制御部57は、DGEQ51を制御するか否か判断する。例えば、DGEQ制御部57は、DGEQ51を制御する期間か否か判断する。DGEQ制御部57は、DGEQ51を制御する場合、S13に進む。DGEQ制御部57は、DGEQ51を制御しない場合、処理を終了する。

【0080】

【S13】DGEQ制御部57は、OCM50, 53から、DGEQ51の入出力における光パワーの波長特性を取得する。

【S14】DGEQ制御部57は、S13によって取得されたDGEQ51の入出力における波長特性から、DGEQ51の損失波長特性を計算する。DGEQ51の入出力における損失波長特性は、例えば、次の式(8)によって算出することができる。

【0081】

$$Loss_mon(\lambda) = OCM2(\lambda) - OCM1(\lambda) \quad \dots (8)$$

OCM2(λ)は、図3のOCM53によってモニタされた光パワーの波長特性である。OCM1(λ)は、図3のOCM50によってモニタされた光パワーの波長特性である。

【0082】

【S15】DGEQ制御部57は、S14で計算したDGEQ51の損失波長特性が、S11で計算または取得した損失波長特性となったか否か判断する。DGEQ制御部57は、S14で計算したDGEQ51の損失波長特性が、S11で計算した損失波長特性となった場合、S12へ進む。DGEQ制御部57は、S14で計算したDGEQ51の損失波長特性が、S11で計算した損失波長特性となっていない場合、S16へ進む。

【0083】

なお、S14で計算したDGEQ51の損失波長特性が、S11で計算した損失波長特性となったか否かの判断は、所定のマージンを設けてもよい。例えば、次の式(9)に示すようにマージンを設けてよい。

【0084】

$$Loss_mon(\lambda) - Loss(\lambda, Gset) < \pm 0.5 [dB] \quad \dots (9)$$

【S16】DGEQ制御部57は、DGEQ51の損失波長特性が、S11で計算した損失波長特性となるようにDGEQ51を制御する。

【0085】

なお、図16で説明したAGC制御と、図17のDGEQ制御は、並列に制御される。通常は、DGEQ制御より、AGC制御の方が高速に制御される。OCM50, 53のモニタと、DGEQ制御がAGC制御より高速にできるなら、AGC制御よりDGEQ制御を高速にしてもよい。

【0086】

このように、光増幅装置は、EDF46の設定される利得に応じて生じる利得チルトに対応した損失波長特性を有するようにDGEQ51を制御するようにした。これにより、光増幅装置は、EDF46の設定される利得に応じて、各波長における利得を平坦にすることができる。

【0087】

また、光増幅装置は、EDF46の利得を設定することができるので、EDF46の出力の光レベルを抑制することができ、大きな励起光パワーを要しない。これにより、光増

10

20

30

40

50

幅装置は、省電力化を図ることができる。

【 0 0 8 8 】

例えば、E D F の利得を一定に制御し、V O A で利得を可変する光増幅装置がある。この光増幅装置では、E D F への入力パワーが大きくなると、E D F の出力パワーも大きくなり、大きな励起光パワーを要する。これに対し、図 3 に示した光増幅装置は、E D F 4 6 の利得を設定して出力光レベルを抑制することができるので、大きな励起光パワーを要しない。

【 0 0 8 9 】

図 1 8 は、V O A で利得制御する光増幅装置のレベルダイヤの一例を示した図である。図 1 8 の横軸は光増幅装置の光信号の出力ポイントを示し、縦軸は光レベルを示している。

10

【 0 0 9 0 】

E D F の利得は 2 0 d B で一定制御されているとする。この場合、図 1 8 に示すように、E D F の入力 (図 1 8 の E D F In) の光レベルが - 2 0 d B m / c h の場合、E D F の出力 (図 1 8 の E D F Out) の光レベルは 0 d B m / c h となる。E D F の入力の光レベルが - 1 5 d B m / c h の場合、E D F の出力の光レベルは 5 d B m / c h となる。E D F の入力の光レベルが - 1 0 d B m / c h の場合、E D F の出力の光レベルは 1 0 d B m / c h となる。V O A は、E D F の出力の光レベルを減衰し、光増幅装置の利得を制御する。

【 0 0 9 1 】

しかし、E D F の利得を一定に制御して V O A で光レベルを減衰する場合、上記したように E D F への入力パワーが大きくなると、E D F の出力パワーも大きくなり、非常に大きな励起光パワーを要する。例えば、図 1 8 の - 2 0 d B m / c h の光信号より、- 1 0 d B m / c h の光信号の方が励起光パワーを要する。

20

【 0 0 9 2 】

これに対し、図 3 に示した光増幅装置では、E D F 4 6 の利得を設定できるので、E D F 4 6 の出力の光レベルを抑制することができる。すなわち、図 3 で示した光増幅装置は、省電力化を図ることができる。

【 0 0 9 3 】

また、光増幅装置は、D G E Q 5 1 が図 1 0 ~ 図 1 5 で説明した D M D または L C O S を有する D G E Q である場合、O C M 5 0 , 5 3 が不要である。D M D または L C O S は、損失を設定する機能を有しているからである。例えば、L C O S は、素子に何ボルトの電圧を印加すれば、何 d B の損失になるか波長ごとにプリセットされたパラメータを有しており、D G E Q 制御部 5 7 は、D G E Q 5 1 に算出または取得した損失波長特性を設定できる。

30

【 0 0 9 4 】

[第 3 の実施の形態]

次に、第 3 の実施の形態を、図面を参照して詳細に説明する。第 3 の実施の形態では、2 つの E D F を備え、高利得の設定が可能な光増幅装置について説明する。

【 0 0 9 5 】

図 1 9 は、第 3 の実施の形態に係る光増幅装置を適用した光伝送システムの一例を示した図である。図 1 9 に示すように、光増幅装置は、アイソレータ 1 0 1 , 1 0 7 , 1 1 4 , 1 1 8 、 B S 1 0 2 , 1 0 9 , 1 1 2 , 1 1 9 、 P D 1 0 3 , 1 2 0 、 L D 1 0 4 , 1 1 5 、カプラ 1 0 5 , 1 1 6 、 E D F 1 0 6 , 1 1 7 、 G E Q 1 0 8 、 O C M 1 1 0 , 1 1 3 、 D G E Q 1 1 1 、 A G C 制御部 1 2 1 、および D G E Q 制御部 1 2 2 を有している。図 1 9 に示す光増幅装置は、例えば、図 2 に示したポストアンプ 1 3 、インラインアンプ 2 1 ~ 2 3 、およびプリアンプ 3 1 に対応する。

40

【 0 0 9 6 】

アイソレータ 1 0 1 には、増幅する光信号が入力される。アイソレータ 1 0 1 は、光信号が入力側に逆流するのを防止する。

B S 1 0 2 は、アイソレータ 1 0 1 から出力される光信号を分岐し、P D 1 0 3 とカプ

50

ラ 1 0 5 とに出力する。

【 0 0 9 7 】

P D 1 0 3 は、B S 1 0 2 から出力される光信号の光パワーをモニタする。モニタされた光パワーは、A G C 制御部 1 2 1 に出力される。

L D 1 0 4 は、A G C 制御部 1 2 1 の制御に基づいて、励起光をカブラ 1 0 5 に出力する。

【 0 0 9 8 】

カブラ 1 0 5 は、B S 1 0 2 から出力される光信号に L D 1 0 4 から出力される励起光を合波する。カブラ 1 0 5 は、例えば、W D M カブラである。

E D F 1 0 6 は、カブラ 1 0 5 から出力される光信号を増幅する。E D F 1 0 6 は、カ
10 プラ 1 0 5 によって合波された L D 1 0 4 の励起光によって、光信号を増幅する。

【 0 0 9 9 】

アイソレータ 1 0 7 は、光信号が E D F 1 0 6 側に逆流するのを防止する。

G E Q 1 0 8 は、光信号の利得等化を行う。すなわち、G E Q 1 0 8 は、当該光増幅装置の出力利得（B S 1 1 9 の出力での利得）が、各波長において平坦となるようにする。G E Q 1 0 8 は、例えば、誘電体多層膜によって形成され、損失波長特性は固定されている。

【 0 1 0 0 】

B S 1 0 9 は、G E Q 1 0 8 から出力される光信号を分岐し、O C M 1 1 0 と D G E Q
20 1 1 1 とに出力する。

O C M 1 1 0 は、B S 1 0 9 から出力される光信号の各波長の光パワーをモニタする。モニタされた光パワーは、D G E Q 制御部 1 2 2 に出力される。信号のない波長は、例えば、E D F 1 0 6 で発生する A S E をモニタしてもよい。

【 0 1 0 1 】

D G E Q 1 1 1 は、D G E Q 制御部 1 2 2 の制御に基づいて、光信号の各波長における損失を可変することができる。D G E Q 1 1 1 は、図 3、図 8、図 1 0、図 1 2、および図 1 4 で説明した D G E Q 5 1 と同様である。

【 0 1 0 2 】

B S 1 1 2 は、D G E Q 1 1 1 から出力される光信号を分岐し、O C M 1 1 3 とアイソ
30 レータ 1 1 4 とに出力する。

O C M 1 1 3 は、B S 1 1 2 から出力される光信号の各波長の光パワーをモニタする。モニタされた光パワーは、D G E Q 制御部 1 2 2 に出力される。

【 0 1 0 3 】

アイソレータ 1 1 4 は、光信号が E D F 1 0 6 側に逆流するのを防止する。

L D 1 1 5 は、A G C 制御部 1 2 1 の制御に基づいて、励起光をカブラ 1 1 6 に出力する。

【 0 1 0 4 】

カブラ 1 1 6 は、アイソレータ 1 1 4 から出力される光信号に L D 1 1 5 から出力される励起光を合波する。カブラ 1 1 6 は、例えば、W D M カブラである。

E D F 1 1 7 は、カブラ 1 1 6 から出力される光信号を増幅する。E D F 1 1 7 は、カ
40 プラ 1 1 6 によって合波された L D 1 1 5 の励起光によって、光信号を増幅する。

【 0 1 0 5 】

アイソレータ 1 1 8 は、光信号が E D F 1 1 7 側に逆流するのを防止する。

B S 1 1 9 は、アイソレータ 1 1 8 から出力される光信号を分岐し、P D 1 2 0 と図示しない伝送路とに出力する。

【 0 1 0 6 】

P D 1 2 0 は、B S 1 1 9 から出力される光信号の光パワーをモニタする。モニタされた光パワーは、A G C 制御部 1 2 1 に出力される。

A G C 制御部 1 2 1 は、P D 1 0 3 によってモニタされた光信号の光パワーと、P D 1
50 2 0 によってモニタされた光信号の光パワーとに基づいて、E D F 1 0 6、1 1 7 の利得

(E D F 1 0 6 の入力に対する E D F 1 1 7 の出力の利得) が、設定された利得で一定となるように L D 1 0 4 , 1 1 5 の励起光パワーを制御する。例えば、 E D F 1 0 6 , 1 1 7 の利得は、 P D 1 0 3 によってモニタされた光信号の光パワーと、 P D 1 2 0 によってモニタされた光信号の光パワーとに基づいて算出できる。 A G C 制御部 1 2 1 は、算出した E D F 1 0 6 , 1 1 7 の利得が、設定された利得で一定となるように L D 1 0 4 , 1 1 5 の励起光パワーを制御する。

【 0 1 0 7 】

D G E Q 制御部 1 2 2 は、設定される利得に応じて生じる E D F 1 0 6 , 1 1 7 の利得チルトに対応した損失波長特性を有するように、 D G E Q 1 1 1 を制御する。損失波長特性は、 E D F 1 0 6 , 1 1 7 の設定される利得に応じて生じる利得チルトを打ち消す損失の特性である。すなわち、損失波長特性は、 E D F 1 0 6 , 1 1 7 に設定される利得において、当該光増幅装置の出力での利得が、各波長において平坦となる特性である。

10

【 0 1 0 8 】

なお、 D G E Q 制御部 1 2 2 の制御は、第 2 の実施の形態で説明した D G E Q 制御部 5 7 の制御と同様である。また、図 1 9 に示していないメモリには、例えば、 E D F 1 0 6 , 1 1 7 の両方における (E D F 1 0 6 の入力と E D F 1 1 7 の出力とにおける) 単位あたりの利得チルトが記憶されている。または、図 1 9 に示していないメモリには、例えば、 E D F 1 0 6 , 1 1 7 の両方における G s e t に対する損失波長特性が予め算出され、記憶されている。

【 0 1 0 9 】

20

このように、光増幅装置は、 E D F 1 0 6 , 1 1 7 を 2 つ備えても、 E D F 1 0 6 , 1 1 7 の設定される利得に応じて、各波長における利得を平坦にすることができる。

[第 4 の実施の形態]

次に、第 4 の実施の形態を、図面を参照して詳細に説明する。第 3 の実施の形態では、2 つの E D F を備え、その 2 つの E D F を A G C 制御するようにした。第 4 の実施の形態では、2 つの E D F のそれぞれを独立して A G C 制御する場合について説明する。

【 0 1 1 0 】

図 2 0 は、第 4 の実施の形態に係る光増幅装置を適用した光伝送システムの一例を示した図である。図 2 0 に示すように、光増幅装置は、アイソレータ 1 3 1 , 1 3 7 , 1 4 6 , 1 5 2 、 B S 1 3 2 , 1 3 9 , 1 4 1 , 1 4 4 , 1 4 7 , 1 5 4 、 P D 1 3 3 , 1 4 0 , 1 4 8 , 1 5 5 、 L D 1 3 4 , 1 4 9 、カブラ 1 3 5 , 1 5 0 、 E D F 1 3 6 , 1 5 1 , G E Q 1 3 8 , 1 5 3 、 O C M 1 4 2 , 1 4 5 、 D G E Q 1 4 3 、 A G C 制御部 1 5 6 , 1 5 7 、および D G E Q 制御部 1 5 8 を有している。

30

【 0 1 1 1 】

アイソレータ 1 3 1 には、増幅する光信号が入力される。アイソレータ 1 3 1 は、光信号が入力側に逆流するのを防止する。

B S 1 3 2 は、アイソレータ 1 3 1 から出力される光信号を分岐し、 P D 1 3 3 とカブラ 1 3 5 とに出力する。

【 0 1 1 2 】

P D 1 3 3 は、 B S 1 3 2 から出力される光信号の光パワーをモニタする。モニタされた光パワーは、 A G C 制御部 1 5 6 に出力される。

40

L D 1 3 4 は、 A G C 制御部 1 5 6 の制御に基づいて、励起光をカブラ 1 3 5 に出力する。

【 0 1 1 3 】

カブラ 1 3 5 は、 B S 1 3 2 から出力される光信号に L D 1 3 4 から出力される励起光を合波する。カブラ 1 3 5 は、例えば、 W D M カブラである。

E D F 1 3 6 は、カブラ 1 3 5 から出力される光信号を増幅する。 E D F 1 3 6 は、カブラ 1 3 5 によって合波された L D 1 3 4 の励起光によって、光信号を増幅する。

【 0 1 1 4 】

アイソレータ 1 3 7 は、光信号が E D F 1 3 6 側に逆流するのを防止する。

50

G E Q 1 3 8 は、光信号の利得等化を行う。すなわち、G E Q 1 3 8 は、B S 1 3 9 の出力での利得が、各波長において平坦となるようにする。G E Q 1 3 8 は、例えば、誘電体多層膜によって形成され、損失波長特性は固定されている。

【 0 1 1 5 】

B S 1 3 9 は、G E Q 1 3 8 から出力される光信号を分岐し、P D 1 4 0 と B S 1 4 1 とに出力する。

P D 1 4 0 は、B S 1 3 9 から出力される光信号の光パワーをモニタする。モニタされた光パワーは、A G C 制御部 1 5 6 に出力される。

【 0 1 1 6 】

B S 1 4 1 は、B S 1 3 9 から出力される光信号を分岐し、O C M 1 4 2 と D G E Q 1 4 3 とに出力する。

O C M 1 4 2 は、B S 1 4 1 から出力される光信号の各波長の光パワーをモニタする。モニタされた光パワーは、D G E Q 制御部 1 5 8 に出力される。信号のない波長は、例えば、E D F 1 3 6 で発生する A S E をモニタしてもよい。

【 0 1 1 7 】

D G E Q 1 4 3 は、D G E Q 制御部 1 5 8 の制御に基づいて、光信号の各波長における損失を可変することができる。D G E Q 1 4 3 は、図 3、図 8、図 1 0、図 1 2、および図 1 4 で説明した D G E Q 5 1 と同様である。

【 0 1 1 8 】

B S 1 4 4 は、D G E Q 1 4 3 から出力される光信号を分岐し、O C M 1 4 5 とアイソレータ 1 4 6 とに出力する。

O C M 1 4 5 は、B S 1 4 4 から出力される光信号の各波長の光パワーをモニタする。モニタされた光パワーは、D G E Q 制御部 1 5 8 に出力される。

【 0 1 1 9 】

アイソレータ 1 4 6 は、光信号が D G E Q 1 4 3 側に逆流するのを防止する。

B S 1 4 7 , 1 5 4、P D 1 4 8 , 1 5 5、L D 1 4 9、カブラ 1 5 0、E D F 1 5 1、アイソレータ 1 5 2、および G E Q 1 5 3 は、B S 1 3 2 , 1 3 9、P D 1 3 3 , 1 4 0、L D 1 3 4、カブラ 1 3 5、E D F 1 3 6、アイソレータ 1 3 7、および G E Q 1 3 8 と同様であり、その説明を省略する。

【 0 1 2 0 】

A G C 制御部 1 5 6 は、P D 1 3 3 によってモニタされた光信号の光パワーと、P D 1 4 0 によってモニタされた光信号の光パワーとに基づいて、E D F 1 3 6 の利得が、設定された利得で一定となるように L D 1 3 4 の励起光パワーを制御する。例えば、E D F 1 3 6 の利得は、P D 1 3 3 によってモニタされた光信号の光パワーと、P D 1 4 0 によってモニタされた光信号の光パワーとに基づいて算出できる。A G C 制御部 1 5 6 は、算出した E D F 1 3 6 の利得が、設定された利得で一定となるように L D 1 3 4 の励起光パワーを制御する。

【 0 1 2 1 】

A G C 制御部 1 5 7 は、P D 1 4 8 によってモニタされた光信号の光パワーと、P D 1 5 5 によってモニタされた光信号の光パワーとに基づいて、E D F 1 5 1 の利得が、設定された利得で一定となるように L D 1 4 9 の励起光パワーを制御する。例えば、E D F 1 5 1 の利得は、P D 1 4 8 によってモニタされた光信号の光パワーと、P D 1 5 5 によってモニタされた光信号の光パワーとに基づいて算出できる。A G C 制御部 1 5 7 は、算出した E D F 1 5 1 の利得が、設定された利得で一定となるように L D 1 4 9 の励起光パワーを制御する。

【 0 1 2 2 】

D G E Q 制御部 1 5 8 は、設定される利得に応じて生じる E D F 1 3 6 , 1 5 1 の利得チルトに対応した損失波長特性を有するように、D G E Q 1 4 3 を制御する。損失波長特性は、E D F 1 3 6 , 1 5 1 の設定される利得に応じて生じる利得チルトを打ち消す損失の特性である。すなわち、D G E Q 制御部 1 5 8 は、E D F 1 3 6 , 1 5 1 の利得が各波

10

20

30

40

50

長において平坦となるように D G E Q 1 4 3 を制御する。

【 0 1 2 3 】

ここで、損失波長特性は、上記で説明した式 (4) で示され、式 (4) の G s e t は、次の式 (1 0) で示される。

$$G s e t = G s e t 1 + G s e t 2 \dots (1 0)$$

G s e t 1 は、A G C 制御部 1 5 6 が E D F 1 3 6 に設定する利得を示し、G s e t 2 は、A G C 制御部 1 5 7 が E D F 1 5 1 に設定する利得を示す。また、E D F 1 3 6 , 1 5 1 の単位あたりの利得チルトは同様であり、図 2 0 に示していないメモリには、例えば、E D F 1 3 6 , 1 5 1 の一方の単位あたりの利得チルトが記憶されている。または、図 2 0 に示していないメモリには、例えば、E D F 1 3 6 , 1 5 1 の一方の G s e t に対する損失波長特性が予め算出され、記憶されている。

10

【 0 1 2 4 】

このように、光増幅装置は、E D F 1 3 6 , 1 5 1 を 2 つ備え、それぞれを独立して利得を設定しても、各波長における利得を平坦にすることができる。

[第 5 の実施の形態]

次に、第 5 の実施の形態を、図面を参照して詳細に説明する。第 5 の実施の形態では、A G C 制御および D G E Q 制御に加え、A L C (Automatic Level Control) を行う。

【 0 1 2 5 】

図 2 1 は、第 5 の実施の形態に係る光増幅装置を適用した光伝送システムの一例を示した図である。図 2 1 において、図 3 と同じものには同じ符号を付し、その説明を省略する。図 2 1 の光増幅装置は、A L C 制御部 1 6 1 を有している。

20

【 0 1 2 6 】

A L C 制御部 1 6 1 は、D G E Q 5 1 から出力される光パワーの波長特性が、目標の波長特性を有するように、D G E Q 5 1 を制御する。A L C 制御部 1 6 1 は、例えば、プロセッサの電気回路によって形成される。例えば、O C M 5 3 でモニタされる光パワーの波長特性 (以下、出力波長特性と呼ぶこともある) を O C M 2 (λ) とし、目標の出力波長特性 (以下、目標出力波長特性と呼ぶこともある) を P o u t _ s e t (λ) とすると、D G E Q 5 1 から出力される光パワーの波長特性と、目標の波長特性との偏差 (出力偏差 $\Delta P o u t$) は、次の式 (1 1) で示される。

【 0 1 2 7 】

$$\Delta P o u t (\lambda) = O C M 2 (\lambda) - P o u t _ s e t (\lambda) \dots (1 1)$$

30

A L C 制御部 1 6 1 は、式 (1 1) の $\Delta P o u t (\lambda)$ が小さくなるように、D G E Q 5 1 の損失波長特性を制御する。例えば、A L C 制御部 1 6 1 は、次の式 (1 2) により、損失波長特性を算出し、D G E Q 5 1 を制御する。

【 0 1 2 8 】

$$L o s s (\lambda , G s e t) = L o s s _ m o n (\lambda) + \Delta P o u t (\lambda) \dots (1 2)$$

L o s s _ m o n (λ) は、式 (8) で算出でき、また、式 (4) で代用してもよい。

図 2 2、図 2 3 は、D G E Q 制御部と A L C 制御部の動作の一例を示したフローチャートである。

【 0 1 2 9 】

40

[S 2 1] S 2 1 は、図 1 7 で説明した S 1 1 と同様の処理を行い、その説明を省略する。

[S 2 2] A L C 制御部 1 6 1 は、光増幅装置から出力される光パワーの目標出力波長特性を設定する。

【 0 1 3 0 】

[S 2 3 ~ S 2 7] S 2 3 ~ S 2 7 は、図 1 7 で説明した S 1 2 ~ S 1 6 と同様の処理を行い、その説明を省略する。ただし、S 2 6 では、損失波長特性が L o s s (λ , G s e t) となった場合、S 2 8 へ進む。

【 0 1 3 1 】

[S 2 8] A L C 制御部 1 6 1 は、O C M 5 3 の出力波長特性を目標出力波長特性とな

50

るように制御するか否か判断する。例えば、A L C 制御部 1 6 1 は、D G E Q 5 1 の出力波長特性を目標出力波長特性となるように制御するタイミングであるか否か判断する。A L C 制御部 1 6 1 は、D G E Q 5 1 の出力波長特性を目標出力波長特性となるように制御すると判断した場合、図 2 3 に示す S 2 9 へ進む。A L C 制御部 1 6 1 は、D G E Q 5 1 の出力波長特性を目標出力波長特性となるように制御しないと判断した場合、S 2 3 へ進む。

【 0 1 3 2 】

[S 2 9] A L C 制御部 1 6 1 は、O C M 5 3 がモニタしている光信号の出力波長特性を取得する。

[S 3 0] A L C 制御部 1 6 1 は、S 2 9 で取得した出力波長特性と、S 2 2 で設定された目標出力波長特性との出力偏差 $\Delta P o u t$ を算出する。例えば、式 (1 1) によって、出力偏差を算出する。

10

【 0 1 3 3 】

[S 3 1] A L C 制御部 1 6 1 は、D G E Q 5 1 の出力波長特性を制御するか否か判断する。例えば、A L C 制御部 1 6 1 は、出力偏差の絶対値が所定値 (0 を含む) 以上か否か判断する。A L C 制御部 1 6 1 は、D G E Q 5 1 の出力波長特性を制御すると判断した場合、S 3 2 へ進む。A L C 制御部 1 6 1 は、D G E Q 5 1 の出力波長特性を制御しないと判断した場合、図 2 2 に示す S 2 3 へ進む。

【 0 1 3 4 】

[S 3 2] A L C 制御部 1 6 1 は、出力偏差 $\Delta P o u t$ が小さくなるように、D G E Q 5 1 の損失波長特性を算出する。例えば、A L C 制御部 1 6 1 は、式 (1 1) によって損失波長特性を算出する。

20

【 0 1 3 5 】

[S 3 3] A L C 制御部 1 6 1 は、D G E Q 5 1 の損失波長特性が、S 3 2 で算出した損失波長特性となるように、D G E Q 5 1 を制御する。A L C 制御部 1 6 1 は、図 2 2 に示す S 2 3 へ進む。

【 0 1 3 6 】

なお、図 2 1 に示す光増幅装置の A G C 制御は、図 1 6 で説明した動作と同様である。また、図 1 6 で説明した処理と、図 2 2 および図 2 3 で説明した処理は、並列に動作される。通常は、D G E Q 制御部 5 7 より A G C 制御部 5 6 の方が高速に制御される。O C M 5 0 , 5 3 のモニタと、D G E Q 制御が A G C 制御より高速にできるなら、A G C 制御より D G E Q 制御を高速にしてもよい。

30

【 0 1 3 7 】

このように、光増幅装置は、E D F 4 6 の設定される利得に応じて各波長における利得を平坦にすることができるとともに、A L C 制御を行うこともできる。

また、A L C 制御を行うことによって、例えば、E D F 4 6 や G E Q 4 8 の製造誤差によって生じる利得偏差を補償することができる。

【 0 1 3 8 】

図 2 4 は、利得偏差の一例を示した図である。図 2 4 の横軸は波長を示し、縦軸は E D F 4 6 および G E Q 4 8 の両方または一方の利得偏差を示している。

40

図 2 4 に示すように、E D F 4 6 や G E Q 4 8 の製造ばらつきによって、G E Q 4 8 の出力では、例えば、1 d B 程度の利得偏差が生じる。この場合、光増幅装置の利得は、各波長において平坦とならず、例えば、インラインアンプを多段中継する長距離大容量伝送システムでは、このような利得偏差が累積して伝送品質に劣化が生じる。しかし、図 2 1 に示した光増幅器は、A L C 制御部 1 6 1 によって、O C M 5 3 の出力波長特性が目標出力波長特性となるように A L C 制御を行うので、利得偏差を補償することができる。

【 0 1 3 9 】

また、光増幅装置は、A L C 制御部 1 6 1 によって、伝送路の S R S による波長特性や W D M 伝送システムで使用される光デバイスの波長特性も補償することができる。

50

[第 6 の実施の形態]

次に、第 6 の実施の形態を、図面を参照して詳細に説明する。第 6 の実施の形態では、第 5 の実施の形態において 2 つの E D F を備え、高利得の設定が可能な光増幅装置について説明する。

【 0 1 4 0 】

図 2 5 は、第 6 の実施の形態に係る光増幅装置を適用した光伝送システムの一例を示した図である。図 2 5 において、図 1 9 と同じものには同じ符号を付し、その説明を省略する。図 2 5 の光増幅装置は、B S 1 7 1、O C M 1 7 2、および A L C 制御部 1 7 3 を有している。

【 0 1 4 1 】

B S 1 7 1 は、B S 1 1 9 から出力される光信号の一部を O C M 1 7 2 に出力する。

10

O C M 1 7 2 は、B S 1 7 1 から出力される光信号の各波長の光パワーをモニタする。モニタされた光パワーは、A L C 制御部 1 7 3 に出力される。

【 0 1 4 2 】

A L C 制御部 1 7 3 は、図 2 1 で説明した A L C 制御部 1 6 1 と同様の機能を有している。A L C 制御部 1 7 3 は、E D F 1 1 7 の出力の光パワーが、設定された目標出力波長特性を有するように制御する。

【 0 1 4 3 】

このように、光増幅装置は、E D F 1 0 6 , 1 1 7 を 2 つ備え、E D F 1 0 6 , 1 1 7 の設定される利得に応じて、各波長における利得を平坦にすることができるとともに、A L C 制御を行うこともできる。

20

【 0 1 4 4 】

[第 7 の実施の形態]

次に、第 7 の実施の形態を、図面を参照して詳細に説明する。第 6 の実施の形態では、2 つの E D F を備え、その 2 つの E D F を A G C 制御するようにした。第 7 の実施の形態では、2 つの E D F のそれぞれを独立して A G C 制御する場合について説明する。

【 0 1 4 5 】

図 2 6 は、第 7 の実施の形態に係る光増幅装置を適用した光伝送システムの一例を示した図である。図 2 6 において、図 2 0 と同じものには同じ符号を付し、その説明を省略する。図 2 6 の光増幅装置は、B S 1 8 1、O C M 1 8 2、および A L C 制御部 1 8 3 を有している。

30

【 0 1 4 6 】

B S 1 8 1 は、B S 1 5 4 から出力される光信号の一部を O C M 1 8 2 に出力する。

O C M 1 8 2 は、B S 1 8 1 から出力される光信号の各波長の光パワーをモニタする。モニタされた光パワーは、A L C 制御部 1 8 3 に出力される。

【 0 1 4 7 】

A L C 制御部 1 8 3 は、図 2 1 で説明した A L C 制御部 1 6 1 と同様の機能を有している。A L C 制御部 1 8 3 は、E D F 1 5 1 の出力の光パワーが、設定された目標出力波長特性を有するように制御する。

【 0 1 4 8 】

このように、光増幅装置は、E D F 1 3 6 , 1 5 1 を 2 つ備え、それぞれを独立して利得の設定をしても、各波長における利得を平坦にすることができるとともに、A L C 制御も行うこともできる。

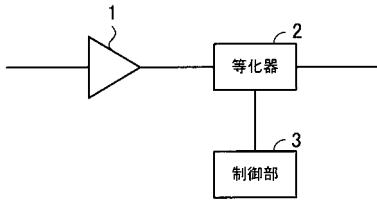
40

【 符号の説明 】

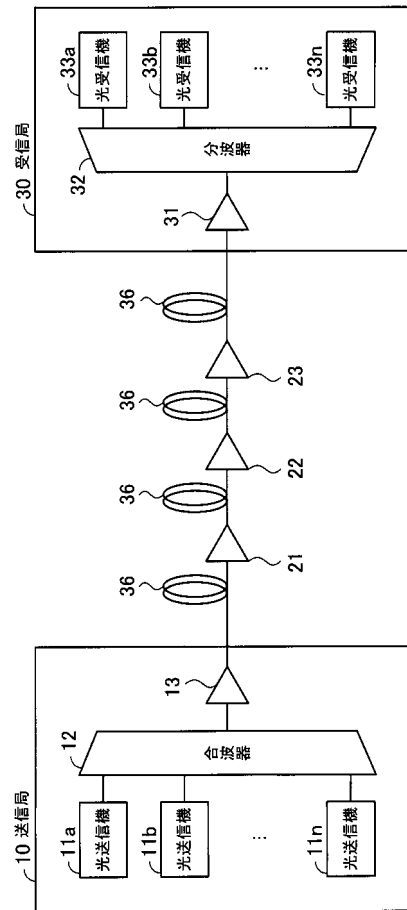
【 0 1 4 9 】

- 1 光増幅器
- 2 等化器
- 3 制御部

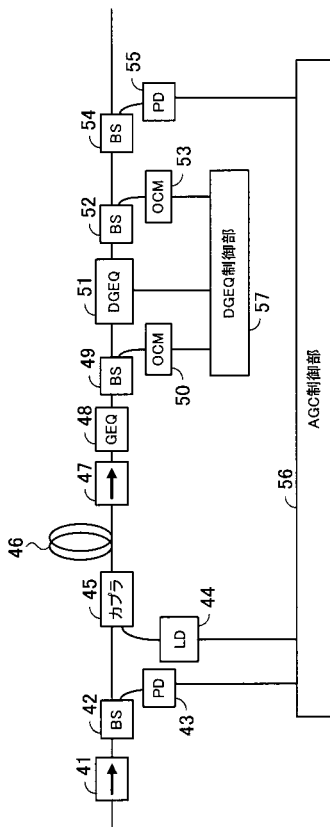
【図 1】



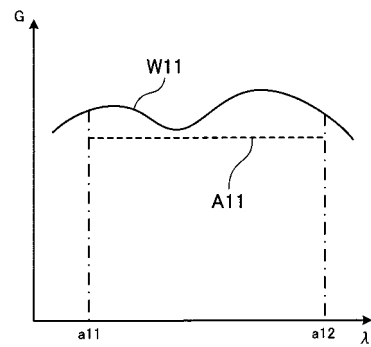
【図 2】



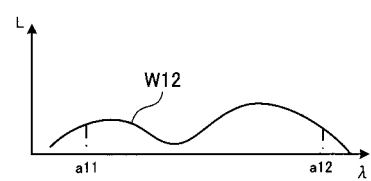
【図 3】



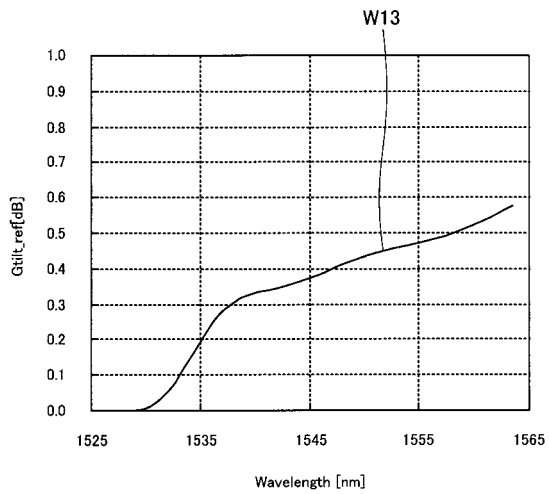
【図 4】



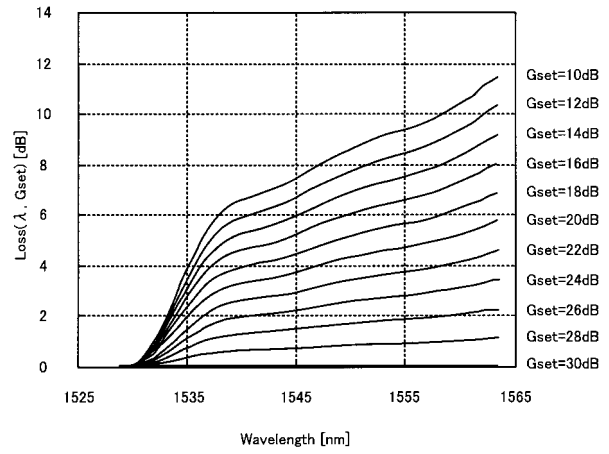
【図 5】



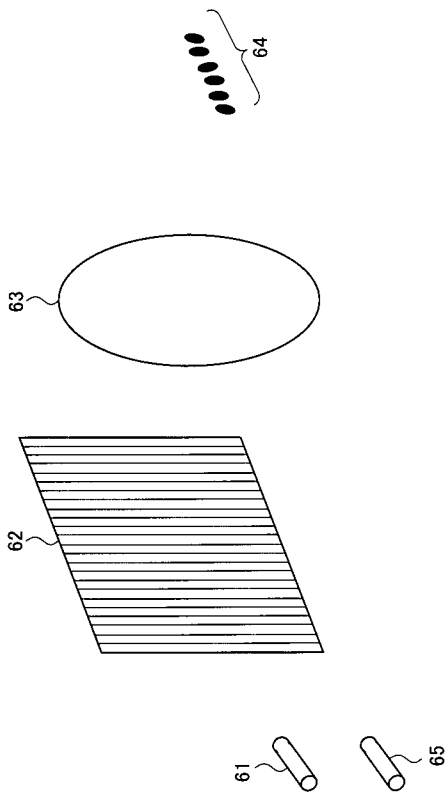
【図 6】



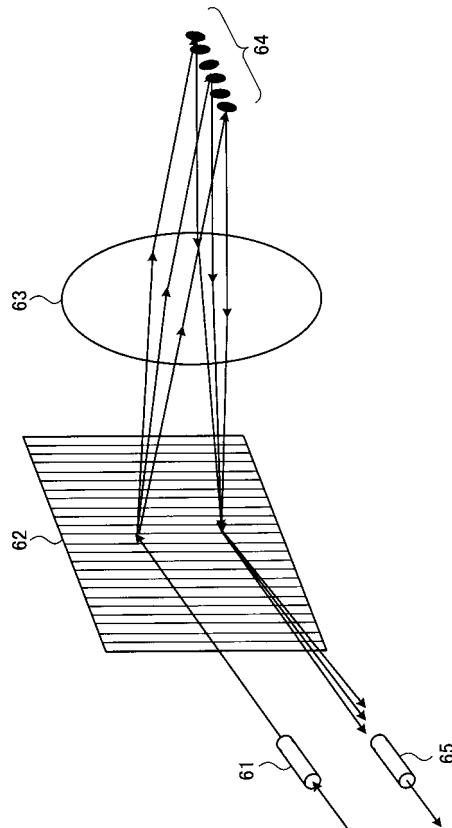
【図 7】



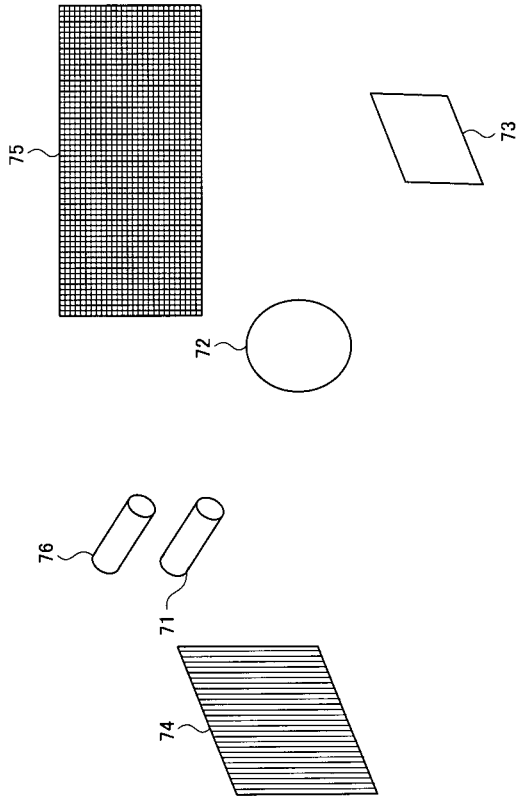
【図 8】



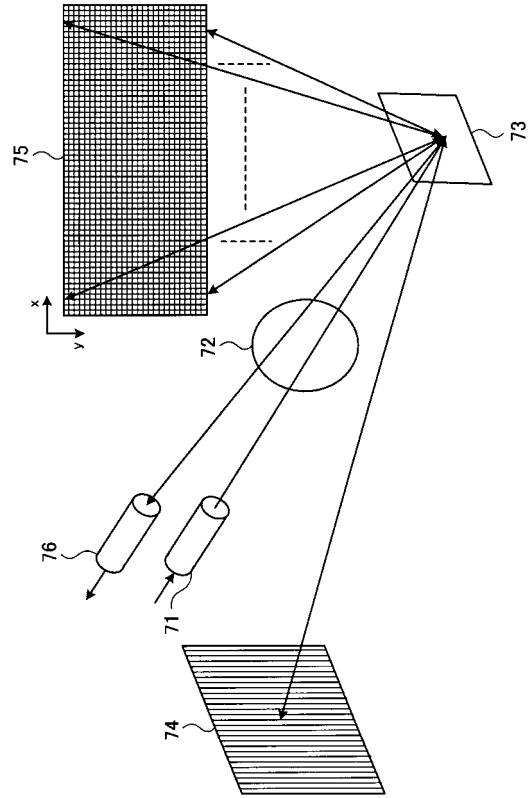
【図 9】



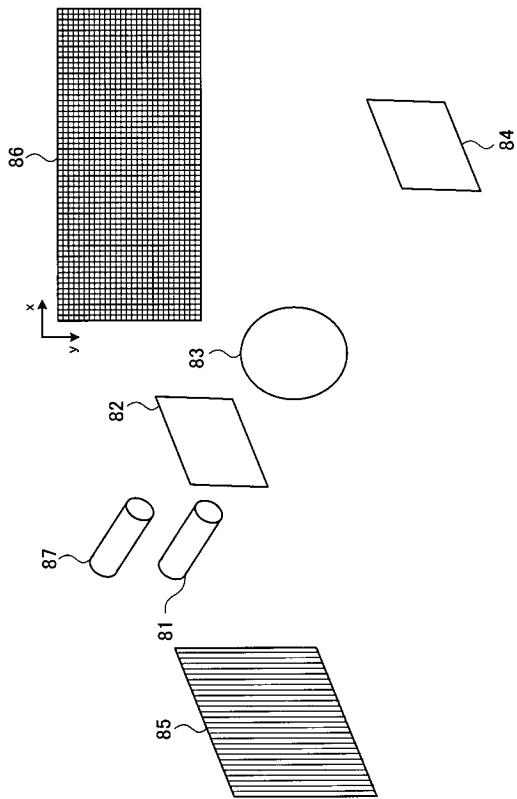
【図 10】



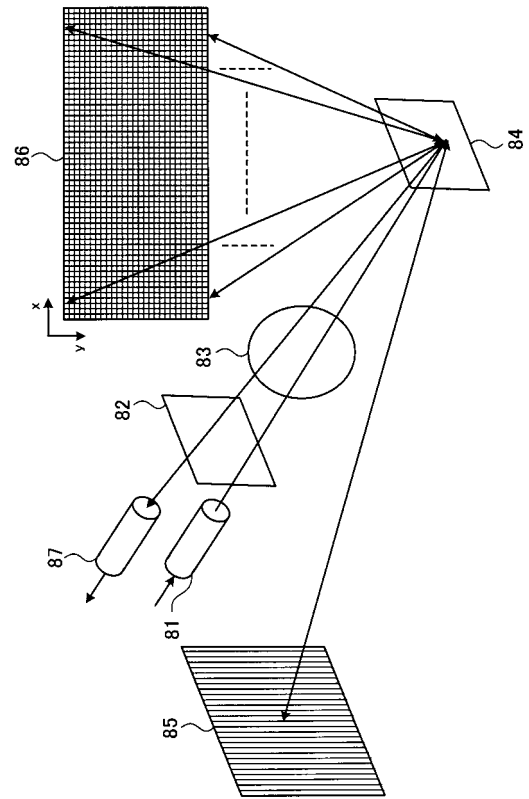
【図 11】



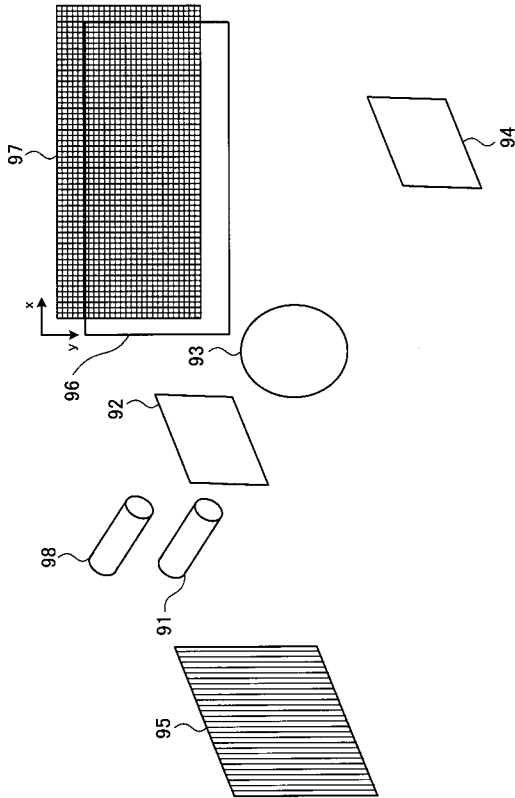
【図 12】



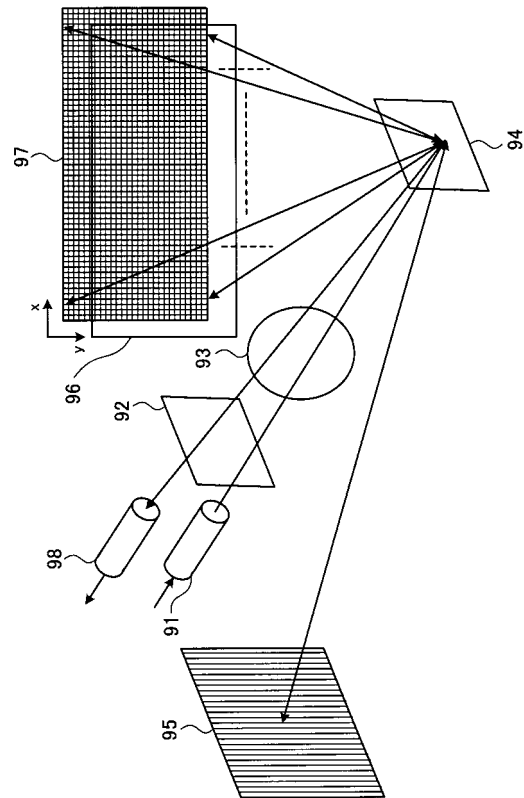
【図 13】



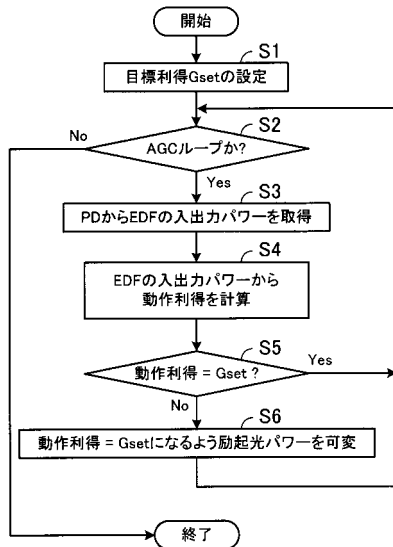
【図 14】



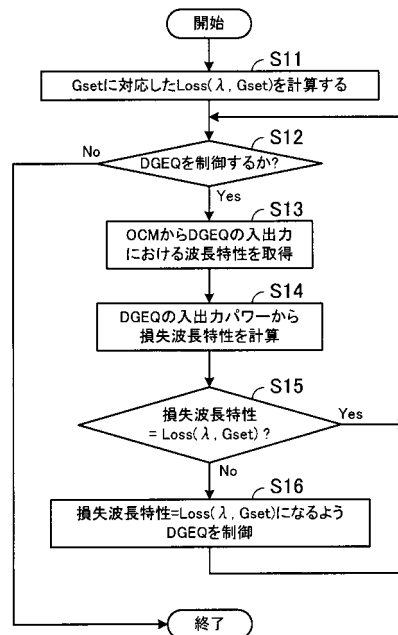
【図 15】



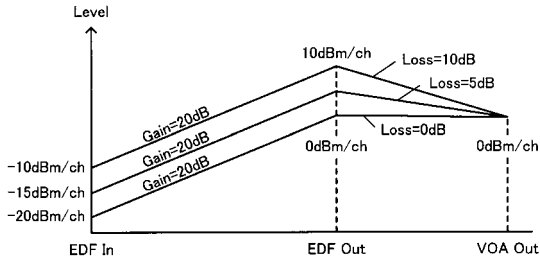
【図 16】



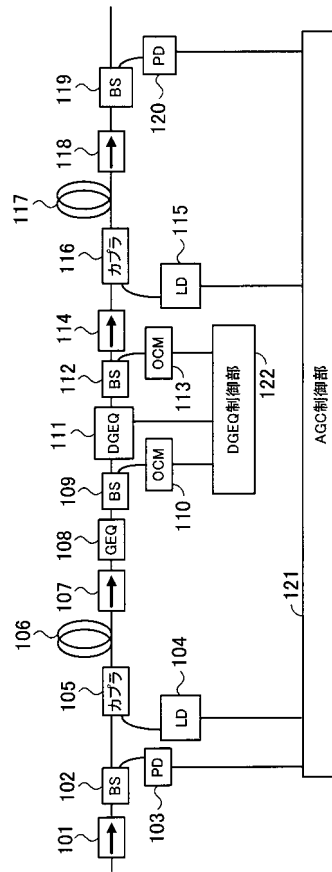
【図 17】



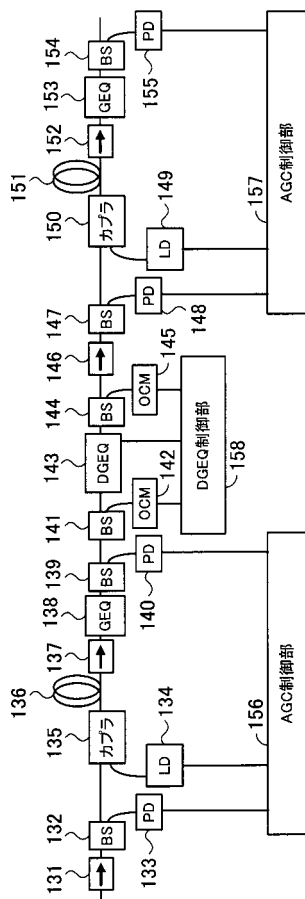
【図 18】



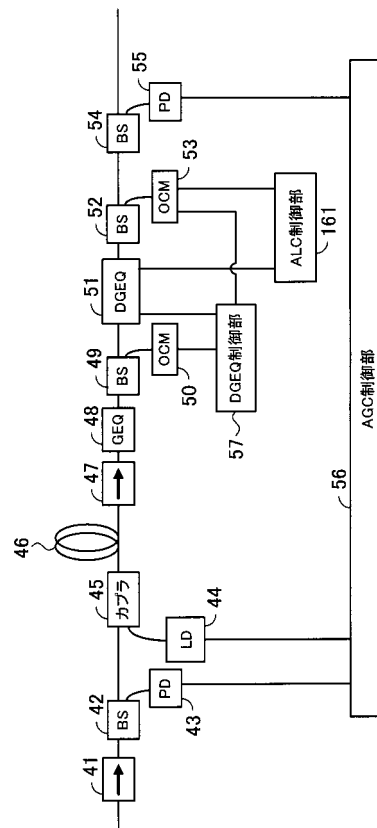
【図 19】



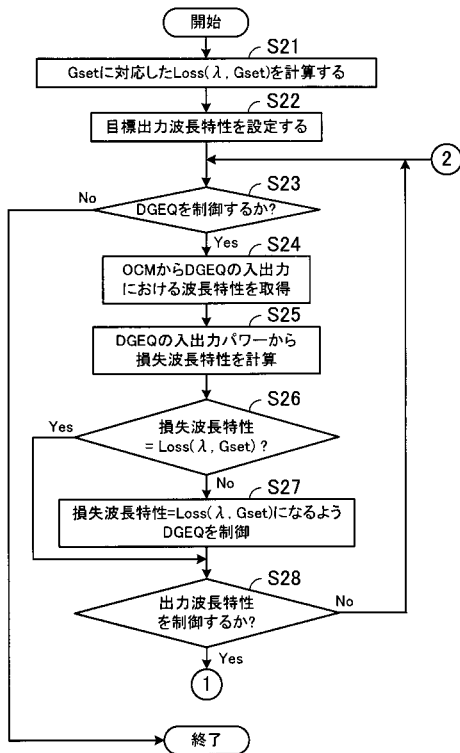
【図 20】



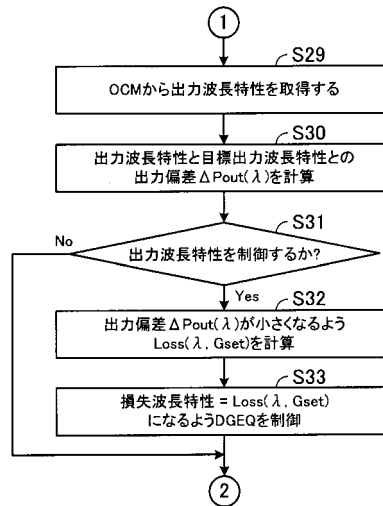
【図 21】



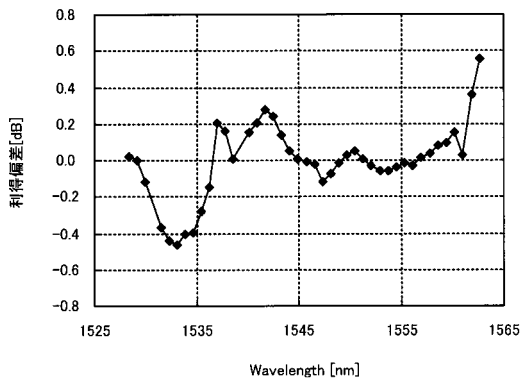
【 図 2 2 】



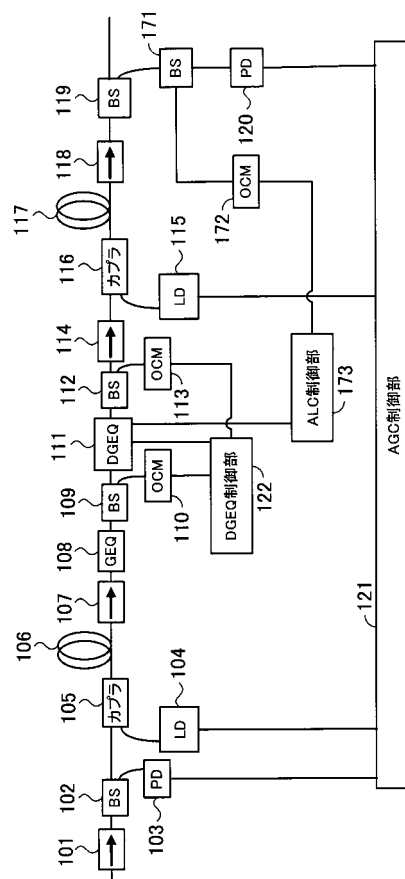
【 図 2 3 】



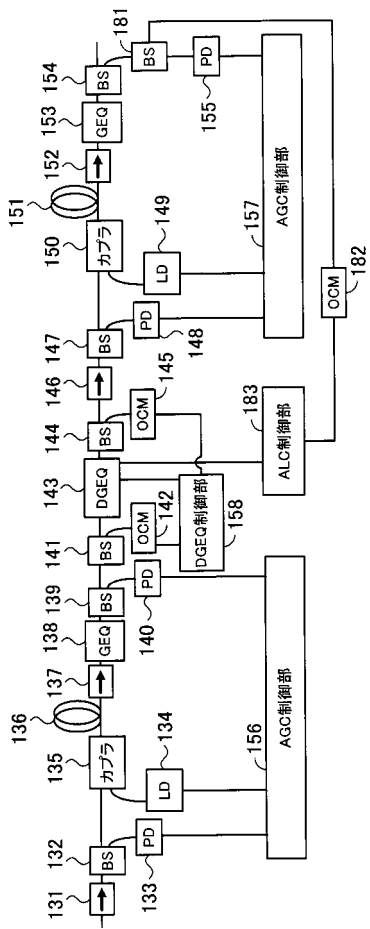
【 図 2 4 】



【 図 2 5 】



【 図 2 6 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

テーマコード(参考)

H 0 4 J 14/00 (2006.01)

F ターム(参考) 5F172 AF03 AM08 BB02 BB24 BB34 BB35 BB44 BB45 BB48 BB54
BB65 BB70
5K102 AA55 AD01 MA03 MB10 MH04 MH13 MH22 PH13