

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6962384号
(P6962384)

(45) 発行日 令和3年11月5日(2021.11.5)

(24) 登録日 令和3年10月18日(2021.10.18)

(51) Int. Cl.		F I			
HO 1 S	3/10	(2006.01)	HO 1 S	3/10	D
GO 2 B	6/02	(2006.01)	GO 2 B	6/02	4 6 1
			GO 2 B	6/02	3 7 6

請求項の数 8 (全 27 頁)

(21) 出願番号	特願2019-555985 (P2019-555985)	(73) 特許権者	000004237
(86) (22) 出願日	平成29年4月20日 (2017. 4. 20)		日本電気株式会社
(65) 公表番号	特表2020-513162 (P2020-513162A)		東京都港区芝五丁目7番1号
(43) 公表日	令和2年4月30日 (2020. 4. 30)	(74) 代理人	100109313
(86) 国際出願番号	PCT/JP2017/015919		弁理士 机 昌彦
(87) 国際公開番号	W02018/193587	(74) 代理人	100124154
(87) 国際公開日	平成30年10月25日 (2018.10.25)		弁理士 下坂 直樹
審査請求日	令和1年10月11日 (2019.10.11)	(72) 発明者	ル タヤンディエ ドゥ ガボリ エマニ ユエル
(出願人による申告) 平成28年度、国立研究開発法人 情報通信研究機構「高度通信・放送研究開発委託研究/ 空間多重フォトニックノード基盤技術の研究開発」、産 業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願		(72) 発明者	柳町 成行
			東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株 式会社内
			東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株 式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光増幅装置および光信号増幅方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の光信号を増幅する複数の光増幅手段と、前記複数の光増幅手段のそれぞれは利得媒体を含み、

複数のレーザー光を生成する複数のレーザー光生成手段と、
結合係数に従って可变的に前記複数のレーザー光を結合し、複数の励起光を出力する少なくとも1つの光結合手段と、前記複数の励起光のそれぞれは前記利得媒体を励起し、
前記結合係数と、前記複数のレーザー光生成手段のそれぞれの出力パワーとを制御する制御手段、を有し、

前記制御手段は、前記複数のレーザー光生成手段を最小電力消費設定に設定し、前記光結合手段の前記結合係数を調整し、

前記少なくとも1つの光結合手段は可変光カプラーであり、
前記可変光カプラーは、
2本の入力ファイバと、
2本の出力ファイバと、
コアがエバネッセント結合を行うように構成された2本の結合ファイバ、とを有し、
前記制御手段は、前記2本の結合ファイバを変位させることによって前記結合係数を制御する

光増幅装置。

【請求項2】

10

20

複数の光信号を増幅する複数の光増幅手段と、前記複数の光増幅手段のそれぞれは利得媒体を含み、

複数のレーザー光を生成する複数のレーザー光生成手段と、
結合係数に従って可変的に前記複数のレーザー光を結合し、複数の励起光を出力する少なくとも1つの光結合手段と、前記複数の励起光のそれぞれは前記利得媒体を励起し、
前記結合係数と、前記複数のレーザー光生成手段のそれぞれの出力パワーとを制御する制御手段、を有し、

前記制御手段は、前記複数のレーザー光生成手段を最小電力消費設定に設定し、前記光結合手段の前記結合係数を調整し、

前記少なくとも1つの光結合手段は、

直線偏光を有する前記複数のレーザー光を直交して結合させるように構成された偏光ビーム結合器と、

前記偏光ビーム結合器によって出力された光の偏光を回転させるように構成された偏光制御器と、

前記偏光制御器によって出力された光を分割するように構成された偏光ビームスプリッタ、とを備え、

前記制御手段は、前記偏光制御器を制御することによって前記結合係数を制御する光増幅装置。

【請求項3】

請求項1または2に記載した光増幅装置であって、

前記少なくとも1つの光結合手段は、複数の光結合手段を含み、

前記制御手段は、前記複数の光結合手段のそれぞれの前記結合係数を制御する。

【請求項4】

請求項1から3のいずれか一項に記載した光増幅装置であって、

前記利得媒体は、マルチコアファイバに含まれるコアであり、

前記複数のレーザー光生成手段のそれぞれは、前記複数の励起光のそれぞれによって前記利得媒体を直接励起する。

【請求項5】

請求項1から3のいずれか一項に記載した光増幅装置であって、

前記利得媒体はマルチコアファイバであり、

前記複数のレーザー光生成手段のそれぞれは、前記マルチコアファイバのクラッドを励起することによって前記利得媒体を励起し、

前記複数の励起光のそれぞれはマルチモード光である。

【請求項6】

請求項1から5のいずれか一項に記載した光増幅装置であって、

正の整数Nで表される前記複数の光増幅手段の個数、正の整数Mで表される前記少なくとも1つの光結合手段の個数、および、正の整数Lで表される前記複数のレーザー光生成手段の個数は、

$$N \geq 2, (N/2) \leq M \leq (N^2/4), \text{ and } L \leq 2 \times M.$$

という関係式を満たす。

【請求項7】

請求項6に記載した光増幅装置であって、

$L = N = M^2 / 4$ という関係式が満たされる。

【請求項8】

請求項6に記載した光増幅装置であって、

$L = N = M / 2$ という関係式が満たされる。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光増幅装置および光信号増幅方法に関し、特に、複数の利得媒体を用いる光増幅装置および光信号増幅方法に関する。

【背景技術】

【0002】

光ファイバリンクにおける投資を最適化するためには、光ファイバリンクの容量を増加させることが望ましい。これは、光ファイバリンクを通して伝送される信号のスペクトル効率 (SE; spectral efficiency) を増加させることにより達成することができる。

【0003】

スペクトル効率SEの増加を達成する一般的な方法は、伝送される情報に対してより効率的な変調フォーマットを用いることである。これは、波長分割多重 (WDM; wavelength division multiplexing) システムと併せて用いることが可能である。

【0004】

さらに、長距離伝送の可能性を維持しつつ単一のファイバによる伝送容量を増加させるために、空間分割多重 (SDM; space division multiplexing) システムが用いられる。

【0005】

空間分割多重SDMシステムは、マルチコアファイバ (MCF; multi-core fiber) と、マルチコア (MC; multicore) エルビウム添加ファイバ増幅器 (EDFA; erbium doped fiber amplifier) により実現することができる。MCFは、光信号を伝搬させる数個のコアを同一ファイバ内に含む。MC-EDFAは、利得媒体としてのMCFを有するファイバ増幅器である (例えば、特許文献1を参照)。MC-EDFAは、直接コア励起方式により個別の励起用レーザーを用いて、単一のMCF利得媒体であるコアを個別に励起する。MC-EDFAシステムは、システム容量をMCFのコア数だけ増大させる可能性を示している。MCFを用いることによって、各コアにおけるWDMに加えて、信号を空間的に多重化するためにコアの多重度を利用することができ、伝送距離を犠牲にすることなくファイバを通して伝送される容量を増加させることが可能である。

【0006】

これに加えて、光増幅の電力消費を低減することが積極的に進められている。増幅器における電力消費の低減は、大容量に拡張可能なシステムにとって、また、消費電力の低減による運用支出 (OPEX) の低減にとって最も重要である。

【0007】

標準的なWDMシステムや、空間多重度を活用したSDM技術を用いたシステムに対しても、いくつかの方式が提案されている。

【0008】

特許文献2 (PTL2) には、励起光分配部、ゲインブロック部、およびノード装置制御部を有する光増幅システムが開示されている。

【0009】

励起光分配部は、励起レーザー光源部、可変分岐部、および励起光分配制御部を有する。可変分岐部は、励起レーザー光源部によって出力される励起光を分岐し、分岐された光をゲインブロック部に分配する。

【0010】

各ゲインブロック部は、可変分岐部から分配された励起光と、対応するルートから入力された光信号とをカプラーを用いて結合し、次に増幅媒体で光信号を増幅する。各ゲインブロック部は、エルビウム添加ファイバ (EDF) などの能動ファイバ、アイソレータ、光検出器、可変光減衰器 (VOA)、個別ゲインブロック制御部、および光カプラーを備える。

10

20

30

40

50

【0011】

個別ゲインブロック制御部は、それぞれのセクションにおける光検出器のモニタ情報に基づいてVOAを制御する。VOAを制御することにより、各ゲインブロック内の個別ゲインブロック制御部は、能動ファイバに入力される励起光パワーを変化させることができる。

【0012】

PTL2の光増幅システムは、各ゲインブロックに励起光源を備える必要がなく、励起光源を集約することにより、配置される励起光源の数を減らすことができる。その結果、PTL2の光増幅システムは、光増幅器を備えた光増幅システムのコストと電力消費を低減する効果をもたらすとされている。

10

【0013】

SDMシステムのもう一つの例が特許文献3(PTL3)に記載されている。PTL3に記載されたファイバ型の光増幅器は、2つの増幅媒体と2つの励起光源を含む冗長構成を有する。

【0014】

PTL3に記載されたファイバ型の光増幅器では、励起光源が出力する励起光波は偏波制御器によって偏光され、互いに直交する偏波状態で合分波器に入力される。上記励起光波は、偏波合成後に分配され、波長多重合分波器を通して希土類添加光ファイバに入力される。

【0015】

PTL3に記載されたファイバ型光増幅器によれば、2つの励起光の合成によって生じるレベル変動のないファイバ型光増幅器を構成することが可能になるとされている。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0016】

【特許文献1】特開2015-167158号公報

【特許文献2】国際公開第2012/053320号

【特許文献3】特開平5-136495号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0017】

複数のEDFA間で共通の励起を用いることによって光増幅の電力消費を低減することは困難である。主な困難さは、増幅器の構成、および必要な励起パワーのEDFA間の相違を考慮することにある。例えば、必要な励起パワーのEDFA間の相違は、異なる装置トランス、または増幅器若しくは増幅器が接続される伝送ラインの経年劣化に起因する可能性がある。加えて、必要な励起パワーのEDFA間の相違は、異なる光帯域幅または異なるEDFAによって増幅されるWDMチャネルの数に起因する可能性がある。さらに、動的な帯域幅再構成の経年劣化に伴う現象を考慮すると、EDFA間の必要な励起パワーのレベルは、増幅器の耐用期間の間に变化する。

【0018】

40

上述したように、PTL3に記載されたファイバ型光増幅器は、固定比の光カプラーを用いてEDFA間で励起パワーを分割する励起共有技術を用いている。しかしながら、EDFAのファイバ増幅体または伝送ファイバが経年劣化するか、または伝送ファイバがスプライシングによって現場で修復されると、EDFA間の必要な励起パワーは变化する。このような構成は、EDFA間の光励起パワーの分配を変更することはできない。したがって、必要な励起パワーの最大値と同じパワーがEDFA間で分配され、より少ないパワーを必要とするEDFAの出力パワーはその後に低下させる必要がある。このことが、非効率的なパワーと追加の電力消費の原因となる。同じ現象が、あるEDFAが別のEDFAよりも著しく多くのWDMチャネルを増幅している場合に発生する。これは、EDFAによって増幅された光信号が伝送される異なる伝送ルートで発生する。

50

【 0 0 1 9 】

加えて、PTL3に記載されたファイバ型光増幅器には、2つの増幅器と2つの励起レーザーを有する。励起レーザーの出力光は偏波合成された後に、2つのファイバ増幅器間で分割される。2つの励起レーザーの出力光は、それらの干渉が最小となるように、結合される前に偏波を制御される。しかしながら、結合された出力光の偏波は制御することができない。その結果、レーザーダイオードのそれぞれのレベルのみが制御可能である。ファイバ増幅器に供給される励起パワーは、独立して調整することはできない。そのため、増幅器の電力消費を低減することができない。

【 0 0 2 0 】

PTL2に開示された光増幅システムにおいて、能動ファイバに入力される励起光パワーは、上述したように、可変光減衰器(VOA)を制御することにより各ゲインブロックにおいて変化させることができる。しかしながら、VOAを使用すると、励起レーザー光源部によって生成される不要な光を生じることになる。

10

【 0 0 2 1 】

上述したように、複数の光増幅器の間で必要な励起パワーに相違がある場合には、複数の光増幅器の電力消費を低減する必要があるという問題があった。

【 0 0 2 2 】

本発明の典型的な目的は、複数の光増幅器の間で必要な励起パワーに相違がある場合には、複数の光増幅器の電力消費を低減する必要がある、という上述した問題を解決する、光増幅装置および光信号増幅方法を提供することである。

20

【課題を解決するための手段】

【 0 0 2 3 】

本発明の典型的な一側面による光増幅装置は、複数の光信号を増幅する複数の光増幅手段と、複数の光増幅手段のそれぞれは利得媒体を含み、複数のレーザー光を生成する複数のレーザー光生成手段と、結合係数に従って可变的に複数のレーザー光を結合し、複数の励起光を出力する少なくとも1つの光結合手段と、複数の励起光のそれぞれは利得媒体を励起し、結合係数と、複数のレーザー光生成手段のそれぞれの出力パワーとを制御する制御手段、を有する。

【 0 0 2 4 】

本発明の典型的な一側面による光信号増幅方法は、複数のレーザー光を生成し、結合係数に従って可变的に複数のレーザー光を結合し、複数の励起光を生成し、複数の励起光によって、複数の光信号が通過する複数の利得媒体を励起し、結合係数と、複数のレーザー光のそれぞれの出力パワーとを制御する。

30

【発明の効果】

【 0 0 2 5 】

本発明による典型的な利点は、複数の光増幅器の間で必要な励起パワーに相違がある場合であっても、複数の光増幅器の電力消費を低減することができることである。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 6 】

【図1】図1は、本発明の第1の実施形態による光増幅装置の構成を示すブロック図である。

40

【図2】図2は、本発明の第2の実施形態による光増幅装置の構成を示すブロック図である。

【図3】図3は、本発明の第2の実施形態による第1の可変結合装置の構成を示すブロック図である。

【図4】図4は、本発明の第2の実施形態による第2の可変結合装置の構成を示すブロック図である。

【図5】図5は、本発明の第2の実施形態による第3の可変結合装置の構成を示すブロック図である。

【図6】図6は、本発明の第2の実施形態によるレーザー装置の構成を示すブロック図で

50

ある。

【図 7】図 7 は、本発明の第 2 の実施形態による励起装置の構成を示すブロック図である。

【図 8】図 8 は、本発明の第 3 の実施形態による光増幅装置の構成を示すブロック図である。

【図 9】図 9 は、本発明の第 4 の実施形態による光増幅装置の構成を示すブロック図である。

【図 10】図 10 は、本発明の第 5 の実施形態による光増幅装置の構成を示すブロック図である。

【図 11】図 11 は、本発明の第 6 の実施形態による光増幅装置の制御方法を示すフローチャートである。

10

【図 12】図 12 は、本発明の第 6 の実施形態による光増幅装置の制御方法を示すフローチャートである。

【図 13 A】図 13 A は、本発明の第 2 の実施形態による励起レーザーの電力消費のシミュレーション結果を示す図である。

【図 13 B】図 13 B は、第 3 の実施形態による光増幅装置で用いられる波長のシミュレーション結果を示す図である。

【図 13 C】図 13 C は、第 3 の実施形態による光増幅装置の電力消費のシミュレーション結果を示す図である。

【図 14】図 14 は、本発明の第 7 の実施形態による光増幅装置を用いるネットワークシステムの構成を示すブロック図である。

20

【図 15】図 15 は、本発明の第 7 の実施形態によるネットワークシステムのセットアップに必要な時間のシミュレーション結果を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0027】

以下に、本発明の実施形態について図面を参照して説明する。図面における矢印の向きは、方向の一例を表示するものであり、ブロック間の信号の向きを限定するものではない。

< 第 1 の実施形態 >

【0028】

図 1 は、本発明の第 1 の実施形態による光増幅装置の構成を示すブロック図である。光増幅装置 10 は、複数の光増幅器（光増幅手段）20、複数のレーザー光源（レーザー光生成手段）30、少なくとも 1 つの光結合装置（光結合手段）40、および制御器（制御手段）50 を有する。

30

【0029】

複数の光増幅器 20 は、複数の光信号を増幅する。複数の光増幅器 20 のそれぞれは、利得媒体を含む。複数のレーザー光源 30 は、複数のレーザー光線を生成する。

【0030】

少なくとも 1 つの光結合装置 40 は、結合係数に従って可変的に複数のレーザー光を結合し、複数の励起光を出力する。複数の励起光のそれぞれは利得媒体を励起する。制御器 50 は、結合係数、および複数のレーザー光源 30 のそれぞれの出力パワーを制御する。

40

【0031】

上述したように、本実施形態による光増幅装置 10 は、複数のレーザー光源 30 を有し、光増幅装置 10 が備える光結合装置 40 は、結合係数に従って可変的に複数のレーザー光を結合する。その結果、複数の光増幅器の間で必要な励起パワーに相違がある場合であっても、複数の光増幅器の電力消費を低減することができる。

【0032】

少なくとも 1 つの光結合装置 40 は、複数の光結合装置を含むこととしてもよい。この場合、制御器 50 は、複数の光結合装置のそれぞれの結合係数を制御する。

【0033】

利得媒体は、マルチコアファイバに含まれるコアとすることができる。この場合、複数の

50

レーザー光源 30 のそれぞれは、複数の励起光のそれぞれによって利得媒体を直接励起することができる。

【0034】

あるいは、利得媒体は、マルチコアファイバとすることができる。この場合、複数のレーザー光源 30 のそれぞれは、マルチコアファイバのクラッドを励起することにより利得媒体を励起することができる。複数の励起光のそれぞれは、マルチモード光とすることができる。

【0035】

さらに、正の整数 N で表される複数の光増幅器 20 の個数、正の整数 M で表される少なくとも 1 つの光結合装置 40 の個数、および、正の整数 L で表される複数のレーザー光源 30 の個数は、次の関係式を満たすことができる。

$$N \geq 2,$$

$$(N/2) \leq M \leq (N^2/4), \text{ and}$$

$$L \leq 2 \times M.$$

【0036】

この場合、 $L = N = M^2 / 4$ という関係式を満たすことができる。あるいは、 $L = N = M / 2$ という関係式を満たすことができる。

【0037】

次に、本実施形態による光信号増幅方法について説明する。

【0038】

光信号増幅方法において、複数のレーザー光が生成される。複数のレーザー光は、結合係数に従って可変的に結合され、それによって複数の励起光が生成される。複数の励起光により、複数の光信号が通過する複数の利得媒体が励起される。

【0039】

さらに、結合係数と、複数のレーザー光のそれぞれの出力パワーが制御される。

【0040】

上述したように、本実施形態の光増幅装置 10 および光信号増幅方法によれば、複数の光増幅器の間で必要な励起パワーに相違がある場合であっても、複数の光増幅器の電力消費を低減することができる。

< 第 2 の実施形態 >

【0041】

次に、本発明の第 2 の実施形態について説明する。

【0042】

図 2 は、本発明の第 2 の実施形態による光増幅装置 100 の構成を示すブロック図である。光増幅装置 100 は、2 つの光増幅器を有する。2 つの光増幅器は、それぞれの利得媒体 110 および利得媒体 111 から構成される。利得媒体 110 および利得媒体 111 のそれぞれは、エルビウム添加シングルモードファイバで構成されてもよい。光増幅器は、アイソレータ、WDM カプラー、および等化フィルタを備えてもよい。

【0043】

利得媒体 110 は、光ファイバ 101 を通して供給され、パワーモニタ 141 を通過した光信号を増幅する。パワーモニタ 141 は、光ファイバ 101 からの光の小部分を取りだし、フォトダイオードを用いてそれを電気モニタ信号に変換する。典型的には、パワーモニタ 141 は、生成した電気モニタ信号によって入ってくる光パワーをモニタするために、利得媒体 110 に入力される光の 1% を取り出すこととしてもよい。同様に、パワーモニタ 148 は、利得媒体 110 の出力光パワーに応じた電気モニタ信号を生成する。利得媒体 110 によって増幅され、モニタ 148 によってモニタされた光信号は、光ファイバ

10

20

30

40

50

108に出力される。

【0044】

同じように、利得媒体111は、光ファイバ102から入力され、パワーモニタ142によってモニタされた光信号を増幅する。利得媒体111によって増幅された光信号は、パワーモニタ149によってモニタされ、光ファイバ109に出力される。

【0045】

それぞれの利得媒体110および利得媒体111による光増幅のための励起光は、それぞれのファイバ133およびファイバ134を通して供給される。励起光は、可変結合装置130から出力される。可変結合装置130は、それぞれのファイバ133およびファイバ134が接続される2つの入力ポートを有する。ファイバ131およびファイバ132は、それぞれの励起レーザー120および励起レーザー121の出力に接続される。

10

【0046】

それぞれのファイバ131、132、133、および134におけるそれぞれの光パワーは、 P_{131} 、 P_{132} 、 P_{133} 、および P_{134} と表される。可変結合装置130の結合係数をCで表わし、透過率をTで表わすと、パワー間の関係は典型的には以下のようになる。

$$\begin{cases} P_{133} = T \times (C \cdot P_{131} + (1-C)P_{132}) \\ P_{134} = T \times (C \cdot P_{132} + (1-C)P_{131}) \end{cases}$$

20

【0047】

透過率Tは低損失デバイスでは高く、典型的には0.98を上回る。結合係数Cは、可変結合装置130に対して制御され、0と1との間に調整される。パワー P_{131} および P_{132} は、励起レーザー120および励起レーザー121のそれぞれの出力パワーである。利得媒体110および利得媒体111に供給される励起パワーは、それぞれパワー P_{133} および P_{134} である。

【0048】

制御装置140は、可変結合装置130の結合係数Cだけではなく、励起レーザー120および励起レーザー121も制御する。この制御は、インタフェース150によって提供される増幅器設定パラメータに従って、励起レーザー120および励起レーザー121の動作情報に従って、およびパワーモニタ141、142、148、149によって提供されるパワーモニタ情報に従って行われる。

30

【0049】

モニタ148およびモニタ149の出力パワーに応じた制御は、2つの利得媒体110および111に対して個別に行われる。励起レーザー120および励起レーザー121の制御は、モニタ値および増幅器設定パラメータに応じて個別に行われる。その結果、励起レーザーの1つがオフにされることがある。この場合、制御装置140は更新された動作値を格納し、オフにされた励起レーザーに対して最後に格納された値に従って制御が実行される。

40

【0050】

あるいは、制御装置140は、インタフェース150によって提供される増幅器設定パラメータに従って、励起レーザー120および励起レーザー121の動作情報に従って、そしてパワーモニタ148およびパワーモニタ149によって提供されるパワーモニタ情報に従って、独自に制御を行うこととしてもよい。この場合、パワーモニタ141およびパワーモニタ142によって提供される情報は、制御のためには使用されない。

【0051】

2つの利得媒体110、111を含み、制御装置140によって制御される2つの増幅器は、典型的には同じ場所に配置されるので、短距離ファイバによって励起パワーを伝送するための損失は無視できる。入力用のそれぞれの光ファイバ101、102、および出力

50

用のそれぞれの光ファイバ108、109を有する2つのファイバは、一方向の態様で構成されることとしてもよい。

【0052】

あるいは、ファイバは双方向の態様で構成されていてもよく、これらのうち光ファイバ101、109はそれぞれ入力用ファイバであり、光ファイバ108、102はそれぞれ出力用のファイバである。この場合、パワーモニタ142は利得媒体111の出力パワーをモニタし、パワーモニタ149は同じ利得媒体への入力パワーをモニタする。利得媒体と、アイソレータやWDMカプラーなどのそれに取り付けられた構成部品は、光信号の伝搬方向に従って構成される。

【0053】

制御装置140による制御に応じて、励起レーザー120および励起レーザー121の励起光は、可変結合装置130によって分けられる。励起レーザー120および励起レーザー121の出力は、励起レーザー120および励起レーザー121の最小電力消費に向けて設定される。

【0054】

制御装置140による制御によれば、利得媒体110および利得媒体111による増幅のために、必要以上の励起パワーを用いることはない。このような制御は、光ファイバ101および光ファイバ102の入力信号が低減したとき、または必要な出力パワーが増加したときでも有効である。

【0055】

本実施形態によれば、利得媒体110、111を有する2つの光増幅器の電力消費は、増幅器の耐用期間の間に低減する。電力消費の低減は、これらの増幅器が異なる帯域幅で使用される場合、またはネットワークの耐用期間にわたって帯域幅が変化する場合に、必要な光励起パワーの相違の原因となるシステムの経年劣化に対して効果がある。

【0056】

図2に示した構成において、励起レーザー120および励起レーザー121はそれぞれ同一種類のレーザーである。それらの特性は類似している。利得媒体110および利得媒体111に必要な合計の励起パワーが中程度である場合、制御装置140はいずれかをオフにし、他方を使用して総励起パワーを生成し、利得媒体110と利得媒体111との間で励起光を適切に分けるように可変結合装置130を構成する。例えば、励起レーザー120がオンであり、励起レーザー121がオフとなる。レーザー120の特性が経年劣化によって低下した場合、使用されていないレーザー121の効率の方が優れることになる。その結果、制御装置140は徐々にレーザー121をオン状態とし、レーザー121からのより多くのパワーを用いる。それらの相対的な効率、および利得媒体110と利得媒体111に対して必要な励起パワーに応じて、励起レーザー120をオフとしてもよいし、レーザー121によってのみ励起パワーを生成することとしてもよい。制御装置140は、可変結合装置130を適切に制御する。

【0057】

あるいは、励起レーザー120は、非常に高い励起パワーを出力することができるレーザーであり、励起レーザー121は、中程度のレーザーパワーだけを出力することができるレーザーである。すなわち、励起レーザー120と励起レーザー121は複数種類のレーザーであり、異なる仕様を有する。例えば、レーザー120は冷却された励起レーザーであってもよく、レーザー121は冷却されていない励起レーザーであってもよい。パッケージおよびチップ構造に応じて、レーザー121の効率はよくなる。

【0058】

利得媒体110および利得媒体111によって増幅される光信号の帯域幅が制限されている場合、低い励起パワーだけが必要となる。この場合、制御装置140は励起レーザー121のみをオンとし、励起レーザー120はオフにされる。可変結合装置130は、制御装置140によって適切に構成される。

【0059】

増幅される光信号の帯域幅が拡大すると、より多くの励起パワーが必要となる。励起レーザー 1 2 1 のパワーが限界に達し、したがって効率がゼロになった場合、制御装置 1 4 0 はより多くの励起パワーを供給するために励起レーザー 1 2 0 をオンにし、励起レーザー 1 2 0 および励起レーザー 1 2 1 を最小電力消費設定に設定し、可変結合装置 1 3 0 の結合係数を適切に調整する。

【 0 0 6 0 】

図 2 に示した構成において、利得媒体 1 1 0 および利得媒体 1 1 1 を有する増幅器は、自動パワー制御方式で用いられる。制御装置 1 4 0 による制御は、インタフェース 1 5 0 によって提供される増幅器設定パラメータに従い、励起レーザー 1 2 0 および励起レーザー 1 2 1 の動作情報に従い、そしてパワーモニタ 1 4 8 およびパワーモニタ 1 4 9 によって提供されるパワーモニタ情報に従って行われる。パワーモニタ 1 4 1 およびパワーモニタ 1 4 2 によって提供される情報は使用されない。

10

【 0 0 6 1 】

あるいは、利得媒体 1 1 0 および利得媒体 1 1 1 を有する増幅器は、自動ゲイン制御方式で用いられる。制御装置 1 4 0 による制御は、インタフェース 1 5 0 によって提供される増幅器設定パラメータに従い、励起レーザー 1 2 0 および励起レーザー 1 2 1 の動作情報に従い、そしてパワーモニタ 1 4 1、1 4 2、1 4 8、および 1 4 9 によって提供されるパワーモニタ情報に従って行われる。パワーモニタ 1 4 1 のパワーモニタ 1 4 8 に対する比率についての情報は、利得媒体 1 1 0 による利得に関する情報を提供する。同じように、パワーモニタ 1 4 2 のパワーモニタ 1 4 9 に対する比率についての情報は、利得媒体 1 1 1 による利得に関する情報を提供する。

20

【 0 0 6 2 】

あるいは、利得媒体 1 1 0 および利得媒体 1 1 1 を含む増幅器は、自動電流制御方式で用いられる。制御装置 1 4 0 による制御は、インタフェース 1 5 0 によって提供される増幅器設定パラメータに従い、そして励起レーザー 1 2 0 および励起レーザー 1 2 1 の動作情報に従って行われる。パワーモニタ 1 4 1、1 4 2、1 4 8、および 1 4 9 によって提供される情報は、制御には使用されない。増幅の目標値は、励起レーザー 1 2 0 および励起レーザー 1 2 1 の駆動電流の合計を用いて設定される。

【 0 0 6 3 】

あるいは、増幅の目標値は、結合係数 C とその補完である $(1 - C)$ を考慮して、励起レーザー 1 2 0 および励起レーザー 1 2 1 の駆動電流の合計を用いて設定される。

30

【 0 0 6 4 】

N を正の整数としたときの $2N$ 個の増幅器を制御する場合、図 2 に示した構成を並列して用いることができることは明らかである。この場合、それぞれが図 2 に記載した装置と同様である N 個の増幅システムが用いられる。

【 0 0 6 5 】

図 3 は、図 2 に示した可変結合装置 1 3 0 として用いることができる可変光カプラー 2 0 0 の構成を示すブロック図である。可変光カプラー 2 0 0 は、2 つの入力ファイバ 2 0 1 および 2 0 2 と、2 つの出力ファイバ 2 0 3 および 2 0 4 を有する。可変光カプラー 2 0 0 は、そのコアがエバネッセント結合しうる 2 本の結合ファイバ 2 1 0 および 2 1 1 を備える。

40

【 0 0 6 6 】

結合係数は、外部信号によって作動する制御器 2 2 0 によって調整される。可変光カプラー 2 0 0 が図 2 に示した可変結合装置 1 3 0 として用いられる場合、制御器 2 2 0 は図 2 の制御装置 1 4 0 によって作動させられる。制御器 2 2 0 は、結合ファイバ 2 1 0 および 2 1 1 を変位させるステップモータによって構成することができる。このようなファイバは典型的には 0.1 dB のオーダの非常に低い挿入損失を有する。結合係数の制御は、結合係数を変更する場合のみに、非常に低い電力消費を必要とする。

【 0 0 6 7 】

図 4 は、図 2 に示した可変結合装置 1 3 0 として用いることができる可変結合器 3 0 0 の

50

構成を示すブロック図である。可変結合器 300 は、偏光ビーム結合器 310、偏光制御器 311、および偏光ビームスプリッタ 312 を有する。可変結合器 300 は、偏光ビーム結合器 310 の入力である 2 つの入力ファイバ 301 と 302 とを有する。可変結合器 300 は、偏光ビームスプリッタ 312 の出力ファイバである 2 本の出力ファイバ 303 と 304 とを有する。

【0068】

2 つの直線偏光は、偏光ビーム結合器 310 によって直交して結合される。可変結合器 300 が図 2 に示した可変結合装置 130 として用いられる場合、入力ファイバ 301 と 302 は偏波保持ファイバであり、そのため励起レーザー 120 と励起レーザー 121 の直線偏光出力は保持され、その後には結合される。可変結合器 300 の結合係数は、外部信号によって作動させられる偏光制御器 311 によって調整される。可変結合器 300 が図 2 に示した可変結合装置 130 として用いられる場合、偏光制御器 311 は図 2 の制御装置 140 によって作動させられる。偏光制御器 311 は、偏光ビーム結合器 310 の出力光の偏光を、偏光ビームスプリッタ 312 の軸に対して回転させる。その結果、2 つの入力光を結合させた結果生じる光は、偏光ビームスプリッタ 312 の 2 つの直交偏光軸上にマッピングされる。

10

【0069】

図 5 は、マッハ・ツェンダー干渉計 400 の構成を示すブロック図であり、マッハ・ツェンダー干渉計 400 は図 2 に示した可変結合装置 130 として用いることができる。マッハ・ツェンダー干渉計 400 は、2 つの入力ファイバ 401、402 と、強め合う干渉および弱め合う干渉の出力が伝搬する 2 つの出力ファイバ 403、404 を有する。マッハ・ツェンダー干渉計 400 は、干渉計構造 410、および干渉計構造 410 の片方のアームに配置されたヒータ 411 を有する。干渉計構造 410 は、挿入損失を低減するために、ファイバで作られたものでもよい。結合係数は制御器 412 によって調整される。制御器 412 は、外部信号によって作動させられ、それに応じてヒータ 411 を制御する。ヒータ 411 の設定に応じて、干渉計構造 410 の両アーム間に位相差が現れる。

20

【0070】

マッハ・ツェンダー干渉計 400 が図 2 に示した可変結合装置 130 として用いられる場合、制御器 412 は図 2 の制御装置 140 によって作動させられる。この場合、励起レーザー 120 および励起レーザー 121 は、それらの波長が互いに異なるように選択される。制御を容易にするために、波長間隔が干渉計のフリースペクトルレンジの半分より大きくなるように波長を設定することができる。ヒータ 411 によって調整された位相差に応じて、2 つの入力パワーの結合されたものが、強め合う干渉出力として出力ファイバ 403 を通して出力され、その相補成分が弱め合う干渉出力として出力ファイバ 404 を通して出力される。

30

【0071】

図 6 は、図 2 に示した励起レーザー 120 および励起レーザー 121 のいずれかとして用いることができるレーザー装置 500 の構成を示すブロック図である。レーザー装置 500 は、2 つの励起レーザーダイオード 520 および 521 を有する。励起レーザーダイオード 520 および励起レーザーダイオード 521 の出力光は、偏光ビーム結合器 522 によって結合され、ファイバ 530 を通して出力される。制御器 510 は、外部信号に従って励起レーザーダイオード 520 および励起レーザーダイオード 521 の両方の出力を制御し、励起レーザーダイオード 520 および励起レーザーダイオード 521 のモニタ値を外部制御システムに戻す。

40

【0072】

制御器 510 および偏光ビーム結合器 522 だけでなく、励起レーザーダイオード 520、521 もパッケージ 501 に集積することとしてもよい。レーザー装置 500 が図 2 に示した励起レーザー 120 として用いられる場合、制御器 510 は、図 2 の制御装置 140 による制御に従って励起レーザーダイオード 520 および励起レーザーダイオード 521 の両方を駆動する。このようにして、冗長構成とした励起レーザーダイオードを本実施

50

形態における単一のレーザーとして制御することができ、これによって図2の光増幅装置100の信頼性も高められる。

【0073】

図7は、図2に示した可変結合装置130だけではなく励起レーザー120および励起レーザー121の代わりに用いることができる励起装置600の構成を示すブロック図である。励起装置600は、2つのレーザーダイオードチップ610、611、および可変結合装置620を有する。励起装置600は、パッケージ603内に取り付けられる。励起装置600は、2つの出力601、602を備え、これらが可変結合装置620の出力である。

【0074】

レーザーダイオードチップ610およびレーザーダイオードチップ611は外部制御システムによって駆動される。レーザーダイオードチップ610およびレーザーダイオードチップ611の駆動条件は、外部制御システムによって設定される。可変結合装置もまた、励起装置600の外部から制御される。例えば、可変結合装置620は可変カプラーで実現することができるが、可変カプラーはレーザーダイオードチップ610およびレーザーダイオードチップ611と集積することができ、外部制御システムからの電流によって作動させられる。

【0075】

励起装置600が、図2の可変結合装置130だけでなく励起レーザー120および励起レーザー121の代わりに用いられる場合、可変結合装置620だけでなくレーザーダイオードチップ610およびレーザーダイオードチップ611も、制御装置140によって同じように制御される。レーザーダイオードチップ610およびレーザーダイオードチップ611の駆動状態は、制御装置140によってモニタされる。励起装置600を用いることにより、増幅器を制御することによる電力削減に加えて、集積化によるコスト低減を図ることができる。

【0076】

上述したように、本実施形態の光増幅装置100によれば、複数の光増幅器の間で必要な励起パワーに相違がある場合であっても、複数の光増幅器の電力消費を低減することができる。

<第3の実施形態>

【0077】

次に、本発明の第3の実施形態について説明する。図8は、本発明の第3の実施形態による光増幅装置700の構成を示すブロック図である。

【0078】

光増幅装置700は、710、711、712、および713と表示された4つの受動利得ブロックを有する。これらの受動利得ブロック710から713のそれぞれは、利得媒体110が図2に示したパワーモニタ141および148と集積された装置と同様である。受動利得ブロックのそれぞれは、シングルモードファイバ入力とシングルモードファイバ出力を有する。各受動利得ブロックのパワーモニタは制御装置740に備えられている。

【0079】

制御装置740は、制御装置140と同様の態様で制御を実行する。しかしながら、制御装置740はより多くの受動利得ブロック、励起レーザー、および可変結合装置とともに動作するように構成されている。制御装置740は、受動利得ブロック710から713を用いる増幅器を設定するためのパラメータをも所持している。

【0080】

受動利得ブロック710および711に対する光励起は、可変結合装置732の2つの出力によって提供される。受動利得ブロック712および713に対する光励起は、可変結合装置733の2つの出力によって提供される。可変結合装置732の2つの入力、可変結合装置730の1つの出力と可変結合装置731の1つの出力に接続されている。可

10

20

30

40

50

変結合装置 733 の 2 つの入力は、可変結合装置 730 の 1 つの出力と可変結合装置 731 の 1 つの出力に接続されている。可変結合装置 730 の 2 つの入力は、励起レーザー 720 および 721 に接続されている。可変結合装置 731 の 2 つの入力は、励起レーザー 722 および 723 に接続されている。

【0081】

励起レーザー 720 から 723 は、図 2 に示した励起レーザー 120 および 121 と同じである。可変結合装置 730 から 733 は、図 2 の可変結合装置 130 と同じである。

【0082】

制御装置 740 は、可変結合装置 730 から 733 の結合係数 C だけでなく、励起レーザー 720 から 723 も制御する。この制御は、制御装置 740 の内部に備えられた増幅器設定パラメータに従い、励起レーザー 720 から 723 の動作情報に従い、そして受動利得ブロック 710 から 713 によって提供されるパワーモニタ情報に従って実行される。出力パワーに応じた制御は、4 つの受動利得ブロック 710 から 713 に対して個別に実行される。

【0083】

励起レーザー 720 から 723 の制御は、モニタ値および増幅器設定パラメータに応じて個別に行われる。励起レーザーの少なくとも 1 つはオフにされてもよい。この場合、制御装置 740 は更新された動作値を格納し、オフにされた励起レーザーに対して最後に格納された値に従って制御を行う。

【0084】

4 つの励起レーザー 720 から 723 の励起光は、可変結合装置の 2×2 の交差構造によって、4 つの受動利得ブロック 710 から 713 のそれぞれに分配される。図 8 に記載したものと同一構造を、 $2N$ 個の受動利得ブロックに適用することができる。ここで、 N は正の整数であり、 $2N$ 個のレーザーと、 N 個の可変結合装置を N 列に格子状に構成した N^2 個の可変結合装置とを有する。

【0085】

あるいは、コスト低減のために、励起レーザー 720 から 723 のうち最大 3 個のレーザーを、図 8 に示した構成から取り除いてもよい。この場合、このような構成としても、4 個の受動利得ブロック 710 から 713 に対して励起光を正しく提供することが可能である。

【0086】

制御装置 740 による制御に従って、励起レーザー 720 から 723 の励起光は、可変結合装置によって分けられる。励起レーザー 720 から 723 の各出力は、励起レーザーの電力消費が最小になるように設定される。

【0087】

制御装置 740 による制御によれば、受動利得ブロック 710 から 713 の増幅のために、必要以上の励起パワーを必要としない。入力光ファイバの入力信号が減少したとき、または必要な出力パワーが増加したときでも、このような制御は有効である。

【0088】

本実施形態の光増幅装置 700 によれば、受動利得ブロックを含む 4 つの光増幅器の電力消費が、増幅器の耐用期間の間に低減する。電力消費の低減は、増幅器が種々の帯域幅で使用される場合、または帯域幅がネットワークの耐用期間にわたって変化する場合に、必要な光励起パワーの相違の原因となるシステムの経年劣化に対して有効である。

【0089】

上述したように、本実施形態の光増幅装置 700 によれば、複数の光増幅器の間で必要な励起パワーに相違がある場合であっても、複数の光増幅器の電力消費を低減することができる。

< 第 4 の実施形態 >

【0090】

次に、本発明の第 4 の実施形態について説明する。図 9 は、本発明の第 4 の実施形態によ

10

20

30

40

50

る光増幅装置 800 の構成を示すブロック図である。

【0091】

光増幅装置 800 は、C01 から C07 と表示された 7 コアを備えたマルチコアエルビウム添加ファイバ (MC - EDF) 810 を有する。各コアは、個別の利得媒体であり、同じファイバ 810 に含まれる。入力信号は、コア C01 から C07 に対して 801 から 807 と表示されている。それぞれの出力信号は 891 から 897 と表示されている。

【0092】

7 コアを有するパワーモニタ 841 は、MC - EDF 810 への入力信号のパワーを個別にモニタする。モニタ信号は、パワーモニタ 841 によって入力コア毎に個別に生成される。7 コアを有するパワーモニタ 842 は、MC - EDF 810 からの出力信号のパワーを個別にモニタする。モニタ信号は、パワーモニタ 842 によって出力コア毎に個別に生成される。パワーモニタの情報は、制御装置 840 に提供される。

10

【0093】

制御装置 840 は、図 8 に示した制御装置 740 と同様の方法で制御を実行するが、より多くの利得ブロック、励起レーザー、および可変結合装置と共に動作するように構成されている。制御装置 840 は、コア C01 から C07 を含む増幅器を設定するためのパラメータも所持している。

【0094】

MC - EDF 810 は個別コア励起方式で励起される。コア C01 から C07 の光励起は、可変結合装置 833、834、835、および 836 によって提供される。他の 3 つの可変結合装置 830 から 832 は、820 から 822 と表示された 3 つの励起レーザーによって生成された励起光を結合して分配するために、可変結合装置 833 から 836 と組み合わせられて用いられる。

20

【0095】

各励起レーザーは、可変結合装置の入力に接続される。各可変結合装置 830、832 および 833 は、励起レーザーまたは他の可変結合装置の出力のいずれかに接続される 2 つの入力ポートを有する。各可変結合装置 831、834、835、および 836 は、励起レーザーまたは別の可変結合装置の出力のいずれかに接続される 1 つの入力ポートを有しているが、他方の入力ポートは非接続のままである。830 から 836 と表示された可変結合装置の各出力ポートは、MC - EDF 810 のコアまたは別の可変結合装置の入力ポートのいずれかに接続される。

30

【0096】

ここで、励起レーザーの個数 (3) は 1 より大きい、個々の利得媒体の個数 (7) よりも小さい。可変結合装置の個数 (7) は利得媒体の個数の半分 (3.5) より大きい、その二乗 (49) よりも小さい。

【0097】

制御装置 840 は、830 から 836 と表示された可変結合装置の結合係数 C だけでなく、820 から 822 と表示された励起レーザーも制御する。この制御は、制御装置 840 に内部に備えられた増幅器設定パラメータに従い、励起レーザー 820 から 822 の動作情報に従い、そして、パワーモニタ 841 および 842 によって提供されるパワーモニタ情報に従って実行される。MC - EDF 810 の 7 個の利得媒体 C01 から C07 に対して、出力パワーに応じた制御が個別に行われる。820 から 822 と表示された励起レーザーの制御は、モニタ値および増幅器設定パラメータに応じて個別に行われる。励起レーザーの少なくとも 1 つはオフにされてもよい。この場合、制御装置 840 は更新された動作値を格納し、オフにされる励起レーザーに対して最後に格納された値に従って制御を実行する。

40

【0098】

制御装置 840 による制御に応じて、820 から 822 と表示された励起レーザーの励起光は、可変結合装置によって分けられる。励起レーザー 820 から 822 の出力は、励起レーザーの最小電力消費に設定される。制御装置 840 による制御によれば、MC - E D

50

F 8 1 0 のコア C 0 1 から C 0 7 の増幅のために、必要以上の励起パワーを必要としない。入力ファイバの入力信号が減少したとき、または必要な出力パワーが増加したときでも、このような制御は有効である。

【 0 0 9 9 】

本実施形態によれば、M C F 光増幅器の電力消費が、増幅器の耐用期間の間に低減する。電力消費の低減は、増幅器が種々の帯域幅で使用される場合、またはネットワークの耐用期間にわたって帯域幅が変化する場合に、必要な光励起パワーの相違の原因となるシステムの経年劣化に対して有効である。

【 0 1 0 0 】

上述したように、本実施形態の光増幅装置 8 0 0 によれば、複数の光増幅器の間で必要な励起パワーに相違がある場合であっても、複数の光増幅器の電力消費を低減することができる。

10

< 第 5 の実施形態 >

【 0 1 0 1 】

次に、本発明の第 5 の実施形態について説明する。図 1 0 は、本発明の第 5 の実施形態による光増幅装置 9 0 0 の構成を示すブロック図である。

【 0 1 0 2 】

光増幅装置 9 0 0 は、9 1 0 および 9 1 1 と表示された 2 個のマルチコアエルビウム添加ファイバ (M C - E D F) を有する。例えば、M C - E D F は 1 0 個のコアを有することとしてもよい。M C - E D F 9 1 0 および 9 1 1 は、入力信号と出力信号のパワーを個別にモニタするマルチコア・パワーモニタを備える。パワーモニタに関する情報は制御装置 9 4 0 に提供される。制御装置 9 4 0 は、第 4 の実施形態の制御装置 8 4 0 と同様の方法で制御を実行する。

20

【 0 1 0 3 】

M C - E D F 9 1 0 および 9 1 1 は、共通クラッド励起方式で励起される。クラッド励起のためのマルチモード光励起は、可変結合装置 9 3 0 によって提供される。可変結合装置 9 3 0 は、マルチモード励起レーザー 9 2 0 および 9 2 1 に接続される 2 つの入力ポートを備える。

【 0 1 0 4 】

制御装置 9 4 0 は、可変結合装置 9 3 0 の結合係数 C だけでなく、マルチモード励起レーザー 9 2 0 および 9 2 1 も制御する。この制御は、制御装置 9 4 0 の内部に備えられた増幅器設定パラメータに従い、マルチモード励起レーザー 9 2 0 および 9 2 1 に関する動作情報に従い、そして M C - E D F 9 1 0 および 9 1 1 内に集積されたパワーモニタによって提供されるパワーモニタ情報に従って実行される。出力パワーに応じた制御が、M C - E D F 9 1 0 および 9 1 1 に対して実行される。

30

【 0 1 0 5 】

マルチモード励起レーザー 9 2 0 および 9 2 1 の制御は、モニタ値および増幅器設定パラメータに応じて個別に行われる。したがって、マルチモード励起レーザーの 1 つはオフにされてもよい。この場合、制御装置 9 4 0 は更新された動作値を格納し、オフにされたマルチモード励起レーザーに対して最後に格納された値に従って制御を行う。制御装置 9 4 0 による制御によれば、マルチモード励起レーザー 9 2 0 および 9 2 1 の励起光は、可変結合装置 9 3 0 によって分けられ、マルチモード励起レーザー 9 2 0 および 9 2 1 の出力は、マルチモード励起レーザーの電力消費が最小になるように設定される。

40

【 0 1 0 6 】

本実施形態の光増幅装置 9 0 0 によれば、上述した実施形態と同様に、複数の光増幅器の間で必要な励起パワーに相違がある場合であっても、複数の光増幅器の電力消費を低減することができる。

< 第 6 の実施形態 >

【 0 1 0 7 】

次に、本発明の第 6 の実施形態について説明する。本実施形態では、第 2 の実施形態によ

50

る図2の光増幅装置100の動作例を、図11に示したフローチャートを参照して説明する。

【0108】

図11は、光増幅装置100を用いた光信号増幅方法を示すフローチャートである。

【0109】

制御装置140は、まず、パワーモニタ148、149によって提供されるモニタ情報を用い、それらのモニタ情報を、インタフェース150によって提供される自動パワー制御目標とそれぞれ比較する。制御装置140は、両方のパワーモニタに対して、モニタされたパワーの目標パワーに対する比率を算出する(ステップ1001)。

【0110】

2つの算出された比率が等しい場合(ステップ1001/Yes)、制御装置140はステップ1003に直接進む。算出された比率が等しくない場合(ステップ1001/No)、制御装置140は、比率を等しくするために、可変結合装置130の結合係数Cを制御する(ステップ1002)。この時点では、比率が等しいかどうかをさらにチェックする必要はなく、制御装置140はステップ1003に直接進むことができる。パワー制御目標の1つがゼロである場合、ゼロでない目標を有するパワーモニタに基づいて、制御後に $C = 0$ および $C = 1$ である結合係数の値だけが可能である。

【0111】

制御装置140は、その電力消費効率に応じて励起レーザー120および121をランク付けする(ステップ1003)。この効率は、励起レーザー120および121内に集積されたモニタフォトダイオードにより制御装置140に提供されたモニタ出力パワーの、励起レーザー120および121に供給される駆動動作電流に対する比率として算出されることとしてもよい。あるいは、モニタ出力パワーを動作電流と励起電流の合計で、またはそれらの二乗値の合計で割ることによって、励起レーザーに対してこの比率を算出することとしてもよい。

【0112】

オフにされた励起レーザーに対しては、励起レーザーの最後の動作値の保存されている値を用いて、効率を算出する。その結果、励起レーザー120および121の1つが最も高いランクを有し、他の1つが低いランクを有することになる。

【0113】

次に、パワーモニタ148によって提供されたモニタパワー情報を、インタフェース150によって提供されるその目標値と比較する(ステップ1004)。モニタ値が目標値よりも大きい場合(ステップ1004/Yes)、効率が最も低い励起レーザーにより出力されるパワーを低下させる(ステップ1005)。最も低いランクの励起レーザーの動作電流がゼロに達した場合、それはオフにされ、その最後の効率値は制御装置140に記憶される。ランクが最も低い励起レーザーが既にオフになっている場合、代わりに次に高いランクのレーザーを制御して、その出力パワーを低下させる。

【0114】

次に、パワーモニタ148によって提供されたモニタパワー情報を、インタフェース150によって提供されるその目標値と再び比較する(ステップ1006)。モニタ値が目標値より小さい場合(ステップ1006/Yes)、最も効率が高い励起レーザーにより出力されるパワーを増加させる(ステップ1007)。最高ランクの励起レーザーの動作電流が上限に達した場合、代わりに次に高いランクのレーザーを制御して、その出力パワーを増加させる。

【0115】

次に、パワーモニタ148によって提供されたモニタパワー情報を、インタフェース150によって提供されたその目標値と再び比較する(ステップ1008)。両者の値が等しい場合(ステップ1008/Yes)、制御ループはステップ1001に戻る。両者の値が等しくないか、または許容範囲外である場合(ステップ1008/No)、制御ループはステップ1004に戻る。

10

20

30

40

50

【0116】

このようにして、図2の制御装置140は、3つのパラメータ、すなわち、可変結合装置130の結合係数C、励起レーザー120の出力、および励起レーザー121の出力を、2つのパワーモニタ148および149に従って制御することができる。これにより、パワーモニタ148および149の出力の目標値と実際の値だけを用いているにもかかわらず、電力消費の低減を実現し維持することができる。

【0117】

上記の説明では、励起レーザーの出力パワーを低下させるステップ(ステップ1005)、および励起レーザーの出力パワーを増加させるステップ(ステップ1007)を、モニタパワーの目標パワーに対する比率を算出するステップ(ステップ1001)、およびこの比率を等しくするために結合係数Cを制御するステップ(ステップ1002)の後に実行することとした。しかしながら、出力パワーを低下させるステップ(ステップ1005)および出力パワーを増加させるステップ(ステップ1007)を、比率を算出するステップ(ステップ1001)および結合係数Cを制御するステップ(ステップ1002)の前に実行することとしてもよい。

10

【0118】

図8に示した第3の実施形態による制御装置740に対しても、同様の制御方法を適用することができる。この場合、ステップ1001およびステップ1002は、730から733の各可変結合装置について繰り返される。各可変結合装置について、目標値とモニタ値の比率を、制御される可変結合装置の出力が接続される利得媒体の異なる組と比較する。

20

【0119】

N個の利得媒体に対して最大で N^2 個の可変結合装置が存在するため、比較可能な可変結合装置の十分な数のペアが存在する。同じケースでは、励起レーザー120から123の全てがステップ1003でランク付けされる。その結果、4つのランクが作成される。同じモニタ情報を用いて、最高ランクおよび最低ランクのLDを制御することができる。

【0120】

最高ランクの効率を有するレーザーにより出力される光パワーを増加させ、最低ランクの効率を有するレーザーにより出力される光パワーを同じ比率で低下させる追加ステップを、ステップ1008とステップ1001との間に追加することができる。この追加ステップの効果は、光増幅装置の電力消費の低減を効果的に早めることである。

30

【0121】

次に、図2の第2の実施形態の光増幅装置100の別の動作例を、図12に示したフローチャートを参照して説明する。

【0122】

図12は、光増幅装置100を用いた光信号増幅方法を示すフローチャートである。

【0123】

まず、ステップ1101は図11のステップ1001と同一である。2つの算出された比率が等しい場合(ステップ1101/Yes)、制御装置140はステップ1103に直接進む。算出された比率が等しくない場合(ステップ1101/No)、制御装置140は、その比率を等しくするために、可変結合装置130の結合係数Cを制御する(ステップ1102)。ステップ1101およびステップ1102は、ステップ1101で算出された比率が等しくなるまで繰り返される。

40

【0124】

ステップ1103、1104、1105、1106、および1107は、図11のそれぞれのステップ1003、1004、1005、1005、1006、および1007と同じである。しかしながら、ステップ1105およびステップ1107の後に、制御ループはステップ1101にジャンプする。ステップ1106の後に、制御ループはステップ1101にジャンプする。

【0125】

50

このようにして、図 2 の制御装置 140 は 3 つのパラメータ、すなわち、可変結合装置 130 の結合係数 C、励起レーザー 120 の出力、および励起レーザー 121 の出力を、2 つのパワーモニタ 148 および 149 に従って制御することができる。これにより、パワーモニタ 148 および 149 の出力の目標値と実際の値だけを用いているにもかかわらず、電力消費の低減を実現し、維持することができる。

【0126】

図 11 に示した制御方法と同じく、図 12 に示した制御方法を、図 8、図 9、および図 10 に示した制御装置 740、840、および 940 にそれぞれ適用することができる。

【0127】

最高ランクの効率を有するレーザーにより出力される光パワーを増加させ、最低ランクの効率を有するレーザーにより出力される光パワーを同じ比率で低下させる追加ステップを、ステップ 1106 とステップ 1101 との間に追加することができる。この追加ステップの効果は、光増幅装置の電力消費の低減を効果的に早めることである。

10

【0128】

図 13A は、図 2 の励起レーザー 120 の電力消費のシミュレーション結果を示す図であり、出力光励起パワーに対してプロットしたものである。しきい値効果が存在することが明らかである。このことは、利得媒体の光励起に必要なハイパワーが達成される前に、ある程度のエネルギーが消費される必要があることを意味している。したがって、いくつかの利得媒体の間で同じレーザーダイオードを共有することにより、光増幅の電力低減もたらされる。

20

【0129】

図 13B は、ネットワークにおけるトラフィックの進展をシミュレーションした結果を示す図である。このシミュレーションにおいては、図 8 に示した第 3 の実施形態による光増幅装置 700 を用いた。

【0130】

各曲線 1211、1212、1213、および 1214 は、ネットワークの耐用期間の間に各受動利得ブロック 710、711、712、および 713 を通過するトラフィックを表す。最初は、トラフィックは通常程度である。その結果、利用可能な WDM 波長の一部のみが受動利得ブロック 710 を通過する。時間が経過するに従ってトラフィックは増加し、より多くの波長が使用される。すなわち、受動利得ブロック 710 に加えて、受動利得

30

【0131】

図 13C は、図 8 に示した第 3 の実施形態による光増幅装置 700 の電力消費をシミュレーションした結果を示す図である。シミュレーションは、図 13B に示したトラフィック条件の下で行った。

【0132】

曲線 1223 は、図 11 に記載したものと同様の制御方法によって制御した、図 8 の光増幅装置に対するシミュレーション結果を示す。比較のために、曲線 1221 が同じグラフ上にプロットされているが、これは、各受動利得ブロックが専用の励起レーザーを備えている従来の増幅と同一条件の下における電力消費を表わしている。比較のためにまた、曲線 1222 は、固定比の光カプラーを用いた光増幅器の同一条件の下での電力消費を表す。

40

【0133】

曲線 1223 は曲線 1221 および 1222 よりも常に低いことからわかるように、実施形態の光増幅装置によって、光信号が増幅されるファイバ間でトラフィックが変化する場合であっても、ネットワークの耐用期間にわたって光増幅の電力消費を効率よく低減することが可能になる。

< 第 7 の実施形態 >

【0134】

次に、本発明の第 7 の実施形態について説明する。図 14 は、本発明の第 7 の実施形態に

50

よる光増幅装置を用いたネットワークシステム 1300 の構成を示すブロック図である。

【0135】

ネットワークシステム 1300 は、トランスポンダが集約されているノード装置を有する。ノード装置 1310 のトランスポンダは、光信号を波長で多重化し、また 4 本のファイバ線によって空間的にも多重化しており、トランスポンダが集約されている別のノード装置 1311 と連結している。ノード装置 1310 とノード装置 1311 との間には、エルビウム添加ファイバ増幅器 (EDFA) の 2 つのグループ 1321 と 1322 が光ファイバのスパン間に配置されている。

【0136】

EDFA 1321 および 1322 のそれぞれは、図 8 に示した光増幅装置 700 と同様の構成としてもよい。あるいは、EDFA 1321 および 1322 のそれぞれは、図 2 に示した光増幅装置 100 を 2 セット並列に用いるのと同様の構成としてもよい。また、ノード装置 1310 とノード装置 1311 の間の光ファイバはマルチコアファイバであり、EDFA 1321 および 1322 は、図 9 に示した光増幅装置 800 を 4 セット並列に用いるのと同様の構成としてもよい。あるいは、ノード装置 1310 とノード装置 1311 との間の光ファイバはマルチコアファイバであり、EDFA 1321 および 1322 は、図 10 に示した光増幅装置 900 を 2 セット並列に用いるのと同様の構成としてもよい。

10

【0137】

ノード装置 1310 および 1311 に集約されているトランスポンダによって伝送されるトラフィックの変動に応じて、EDFA 1321、1322、それらの励起レーザー、および可変結合装置の設定が変更される。図 11 に記載した制御方法に従って、この設定を変更してもよい。あるいは、図 12 に記載した制御方法に従って、この設定を変更してもよい。ネットワークシステムにおける光増幅の電力消費は、それに依りて低減される。

20

【0138】

さらに、EDFA 1321 と EDFA 1322 の間の光ファイバの一部は修復やスプライスされることがあるが、それによって、さらなるスパン損失が生じる。この場合、EDFA の設定を、図 11 または図 12 に記載した制御方法に従って再び変更することとしてもよい。ネットワークシステムにおける光増幅の電力消費は、それに依りて低減される。

【0139】

図 15 は、図 14 のネットワークシステム 1300 をセットアップするために必要な時間をシミュレーションした結果を示す図である。このシミュレーションでは、EDFA 1321 および EDFA 1322 のそれぞれは、図 8 に示した第 3 の実施形態の光増幅装置 700 と同様である。セットアップ時間は、ノード装置 1310 および 1311 のトランスポンダの波長情報を導入してから、EDFA 1321 および 1322 が安定化するまでの経過時間を意味する。

30

【0140】

棒グラフ 1410 は、EDFA 1321 および 1322 を図 11 に記載した手順によって制御するのに必要な時間を表す。参考のために示した棒グラフ 1411 は、ネットワークシステムと同じ条件に対して必要となる時間を表すが、この場合の EDFA 1321 および 1322 のセットアップ値は、図 8 の可変結合装置とレーザーダイオードの値を、動作を開始する前に取り得る値にわたってスキャンすることによって決定される。本実施形態によって、ネットワークシステムの増幅器をより迅速に設定することができることがわかる。

40

【0141】

上述したように、第 7 の実施形態による光増幅装置を用いたネットワークシステム 1300 によれば、いくつかの光増幅器を用いたネットワークの設定時間を短縮することができる。すなわち、ネットワークの設置から光信号の実際の伝送までの時間を短縮することができる。

【0142】

上記の実施形態の一部又は全部は、以下の付記のようにも記載されうるが、以下には限ら

50

れない。

【0143】

(付記1) 複数の光信号を増幅する複数の光増幅手段と、前記複数の光増幅手段のそれぞれは利得媒体を含み、複数のレーザー光を生成する複数のレーザー光生成手段と、結合係数に従って可変的に前記複数のレーザー光を結合し、複数の励起光を出力する少なくとも1つの光結合手段と、前記複数の励起光のそれぞれは前記利得媒体を励起し、前記結合係数と、前記複数のレーザー光生成手段のそれぞれの出力パワーとを制御する制御手段、を有する光増幅装置。

【0144】

(付記2) 付記1に記載した光増幅装置であって、前記少なくとも1つの光結合手段は、複数の光結合手段を含み、前記制御手段は、前記複数の光結合手段のそれぞれの前記結合係数を制御する。

10

【0145】

(付記3) 付記1または2に記載した光増幅装置であって、前記利得媒体は、マルチコアファイバに含まれるコアであり、前記複数のレーザー光生成手段のそれぞれは、前記複数の励起光のそれぞれによって前記利得媒体を直接励起する。

【0146】

(付記4) 付記1または2に記載した光増幅装置であって、前記利得媒体はマルチコアファイバであり、前記複数のレーザー光生成手段のそれぞれは、前記マルチコアファイバのクラッドを励起することによって前記利得媒体を励起し、前記複数の励起光のそれぞれはマルチモード光である。

20

【0147】

(付記5) 付記1から4のいずれか一項に記載した光増幅装置であって、正の整数Nで表される前記複数の光増幅手段の個数、正の整数Mで表される前記少なくとも1つの光結合手段の個数、および、正の整数Lで表される前記複数のレーザー光生成手段の個数は、

$$N \geq 2, (N/2) \leq M \leq (N^2/4), \text{ and } L \leq 2 \times M.$$

という関係式を満たす。

30

【0148】

(付記6) 付記5に記載した光増幅装置であって、 $L = N = M^2 / 4$ という関係式が満たされる。

【0149】

(付記7) 付記5に記載した光増幅装置であって、 $L = N = M / 2$ という関係式が満たされる。

【0150】

(付記8) 付記1から7のいずれか一項に記載した光増幅装置であって、前記少なくとも1つの光結合手段は可変光カプラーであり、前記可変光カプラーは、2本の入力ファイバと、2本の出力ファイバと、コアがエパネッセント結合を行うように構成された2本の結合ファイバ、とを有し、前記制御手段は、前記2本の結合ファイバを変位させることによって前記結合係数を制御する。

40

【0151】

(付記9) 付記1から7のいずれか一項に記載した光増幅装置であって、前記少なくとも1つの光結合手段は、直線偏光を有する前記複数のレーザー光を直交して結合させるように構成された偏光ビーム結合器と、前記偏光ビーム結合器によって出力された光の偏光を回転させるように構成された偏光制御器と、前記偏光制御器によって出力された光を分割するように構成された偏光ビームスプリッタ、とを備え、前記制御手段は、前記偏光制御器を制御することによって前記結合係数を制御する。

【0152】

50

(付記10) 付記1から7のいずれか一項に記載した光増幅装置であって、前記少なくとも1つの光結合手段はマッハ・ツェンダー干渉計を有し、前記マッハ・ツェンダー干渉計は、干渉計構造と、前記干渉計構造の一方のアームに配置され、前記干渉計構造の両アーム間の位相差を調整するヒータ、とを有し、前記制御手段は、前記ヒータを制御することによって前記結合係数を制御する。

【0153】

(付記11) 付記1から10のいずれか一項に記載した光増幅装置であって、前記複数のレーザー光生成手段のそれぞれは、同一種類のレーザー光源である。

【0154】

(付記12) 付記1から10のいずれか一項に記載した光増幅装置であって、前記複数のレーザー光生成手段は、複数種類のレーザー光源であり、異なる仕様を有する。

10

【0155】

(付記13) 複数のレーザー光を生成し、結合係数に従って可変的に前記複数のレーザー光を結合し、複数の励起光を生成し、前記複数の励起光によって、複数の光信号が通過する複数の利得媒体を励起し、前記結合係数と、前記複数のレーザー光のそれぞれの出力パワーとを制御する光信号増幅方法。

【0156】

(付記14) 付記13に記載した光信号増幅方法であって、前記結合係数と前記出力パワーとを前記制御することは、前記複数の利得媒体のそれぞれを通過した光信号の出力レベルをモニタし、前記出力レベルの目標値に対する比率を算出し、前記複数の利得媒体のうちの一の利得媒体に対する前記比率を、前記複数の利得媒体のうち別の利得媒体に対する前記比率と等しくするように、前記結合係数を制御することを含む。

20

【0157】

(付記15) 付記14に記載した光信号増幅方法であって、前記結合係数と前記出力パワーとを前記制御することは、前記複数のレーザー光のそれぞれを生成するための効率を評価し、前記出力レベルが前記目標値よりも大きい場合、前記複数のレーザー光のなかで最低の前記効率を有するレーザー光の光パワーを減少させ、前記出力レベルが前記目標値よりも小さい場合、前記複数のレーザー光のなかで最高の前記効率を有するレーザー光の光パワーを増加させることを含む。

【0158】

30

(付記16) 付記15に記載した光信号増幅方法であって、前記光パワーを減少させること、および前記光パワーを増加させることは、前記比率を算出すること、および前記結合係数を制御することの後に実行される。

【0159】

(付記17) 付記15に記載した光信号増幅方法であって、前記光パワーを前記減少させること、および前記光パワーを前記増加させることは、前記比率を前記算出すること、および前記結合係数を前記制御することの前に実行される。

【0160】

(付記18) 付記13から17のいずれか一項に記載した光信号増幅方法であって、前記複数の利得媒体は、前記複数の利得媒体のそれぞれから出力される出力信号パワーに従って、自動パワー制御方式で制御される。

40

【0161】

(付記19) 付記13から17のいずれか一項に記載した光信号増幅方法であって、前記複数の利得媒体は、前記複数の利得媒体のそれぞれに入力される入力信号パワー、および前記複数の利得媒体のそれぞれから出力される出力信号パワーに従って、自動利得制御方式で制御される。

【0162】

(付記20) 付記13から17のいずれか一項に記載した光信号増幅方法であって、前記複数の利得媒体は、前記複数のレーザー光を生成する電流に従って、自動電流制御方式で制御される。

50

【 0 1 6 3 】

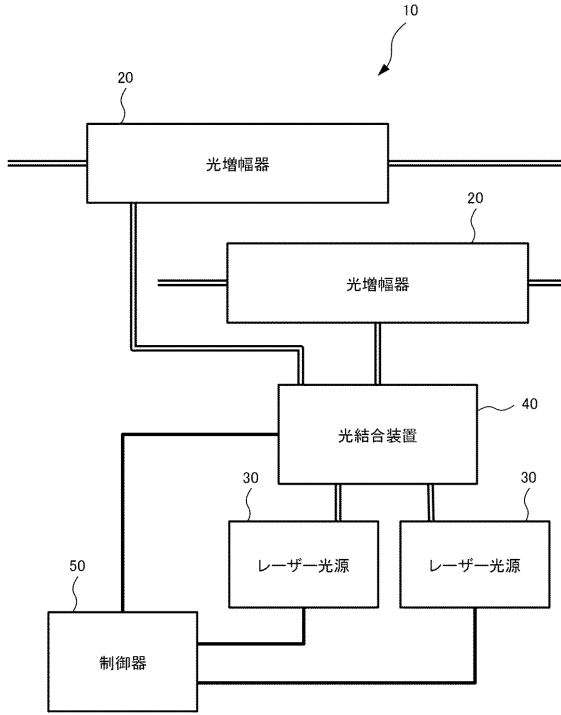
以上、実施形態を参照して本願発明を説明したが、本願発明は上記実施形態に限定されるものではない。本願発明の構成や詳細には、本願発明のスコープ内で当業者が理解し得る様々な変更をすることができる。

【 符号の説明 】

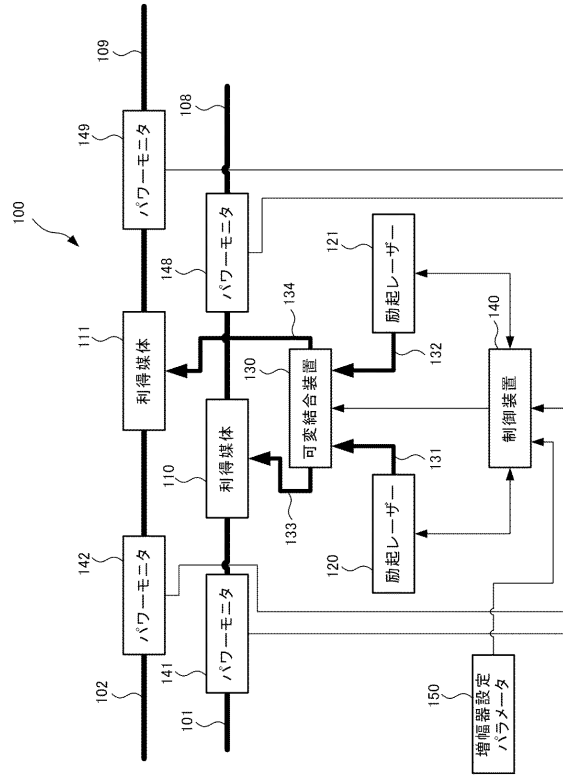
【 0 1 6 4 】

1 0、1 0 0、7 0 0、8 0 0、9 0 0	光増幅装置	
2 0	光増幅器	
3 0	レーザー光源	
4 0	光結合装置	10
5 0	制御器	
1 0 1、1 0 2、1 0 8、1 0 9	光ファイバ	
1 1 0、1 1 1	利得媒体	
1 2 0、1 2 1、7 2 0から7 2 3、8 2 0から8 2 2	励起レーザー	
1 3 0、6 2 0、7 3 0から7 3 3、8 3 0から8 3 6、9 3 0	可変結合装置	
1 3 1、1 3 2、1 3 3、1 3 4、5 3 0	ファイバ	
1 4 0、7 4 0、8 4 0、9 4 0	制御装置	
1 4 1、1 4 2、1 4 8、1 4 9、8 4 1、8 4 2	パワーモニタ	
1 5 0	インタフェース	
2 0 0	可変光カプラー	20
2 0 1、2 0 2、3 0 1、3 0 2、4 0 1、4 0 2	入力ファイバ	
2 0 3、2 0 4、3 0 3、3 0 4、4 0 3、4 0 4	出力ファイバ	
2 1 0、2 1 1	結合ファイバ	
2 2 0、4 1 2	制御器	
3 0 0	可変結合器	
3 1 0	偏光ビーム結合器	
3 1 1	偏光制御器	
3 1 2	偏光ビームスプリッタ	
4 0 0	マッハ・ツェンダー干渉計	
4 1 0	干渉計構造	30
4 1 1	ヒータ	
5 0 0	レーザー装置	
5 0 1	パッケージ	
5 1 0	制御器	
5 2 0、5 2 1	励起レーザーダイオード	
5 2 2	偏光ビーム結合器	
6 0 0	励起装置	
6 0 1、6 0 2	出力	
6 0 3	パッケージ	
6 1 0、6 1 1	レーザーダイオードチップ	40
7 1 0、7 1 1、7 1 2、7 1 3	受動利得ブロック	
8 0 1から8 0 7	入力信号	
8 1 0、9 1 0、9 1 1	マルチコアエルビウム添加ファイバ	
8 9 1から8 9 7	出力信号	
9 2 0、9 2 1	マルチモード励起レーザー	
1 3 0 0	ネットワークシステム	
1 3 1 0、1 3 1 1	ノード装置	
1 3 2 1、1 3 2 2	エルビウム添加ファイバ増幅器	

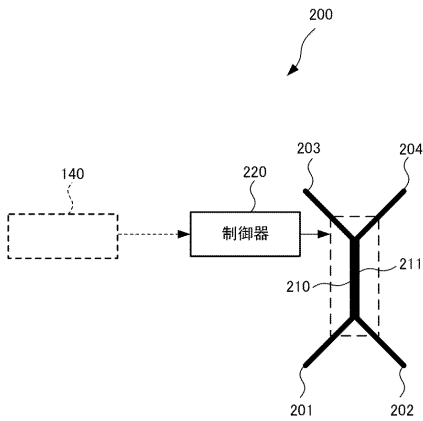
【図1】



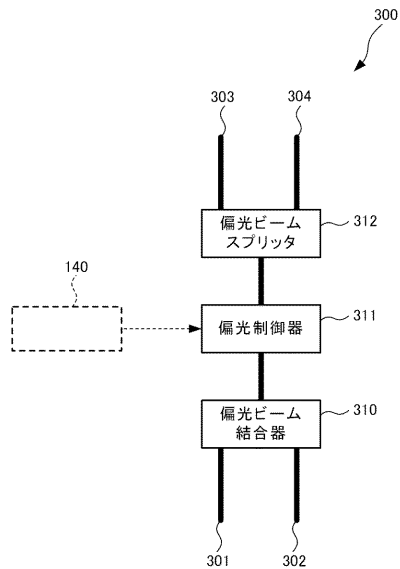
【図2】



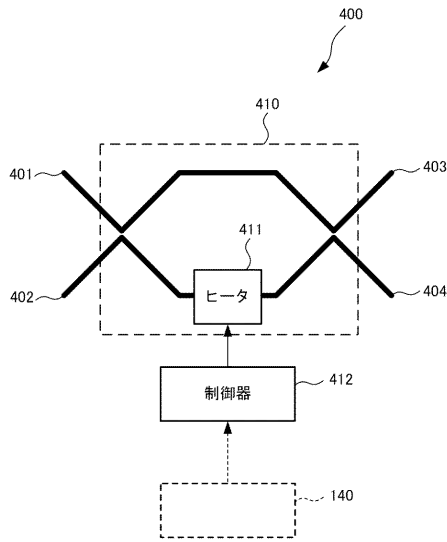
【図3】



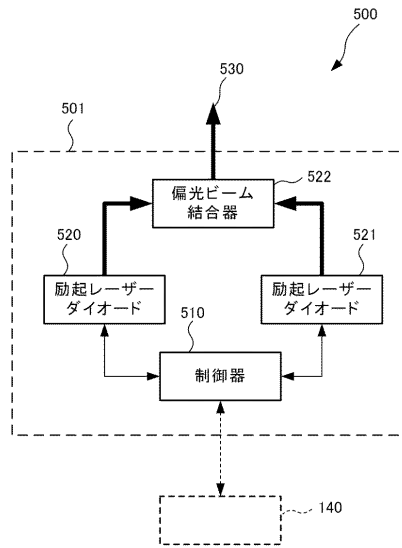
【図4】



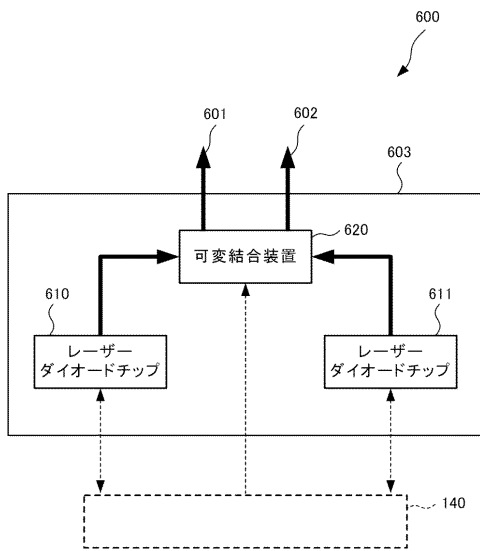
【図5】



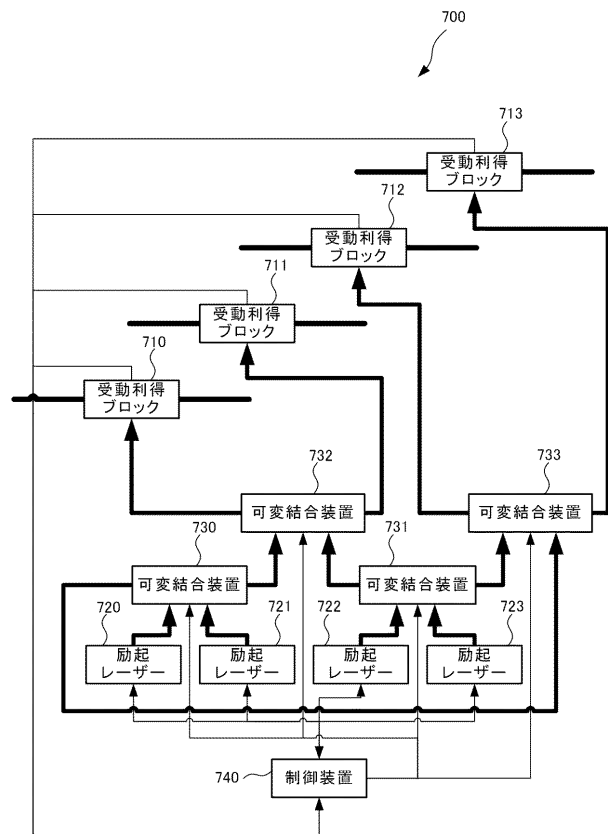
【図6】



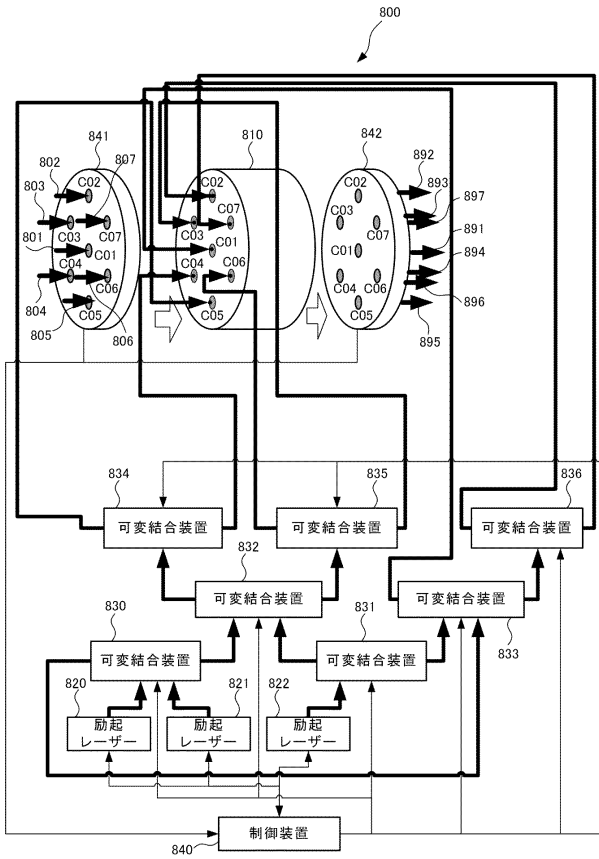
【図7】



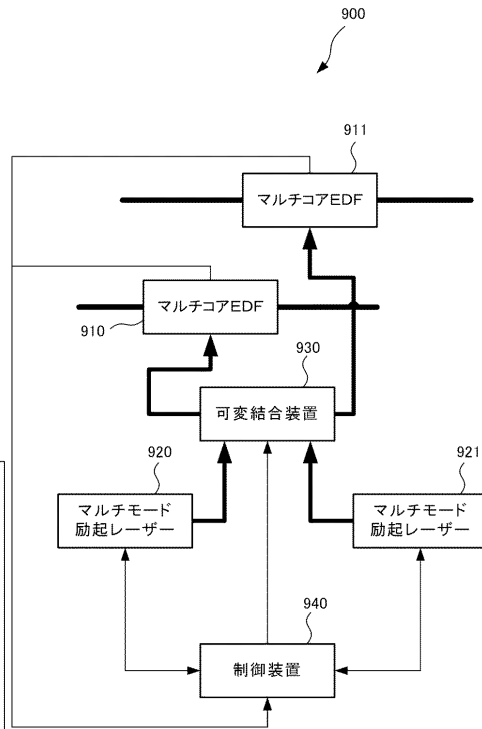
【図8】



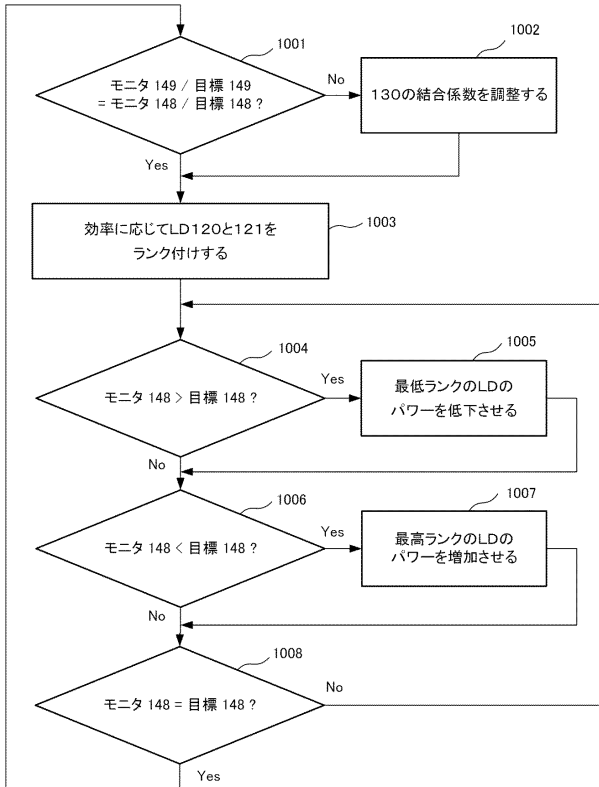
【図9】



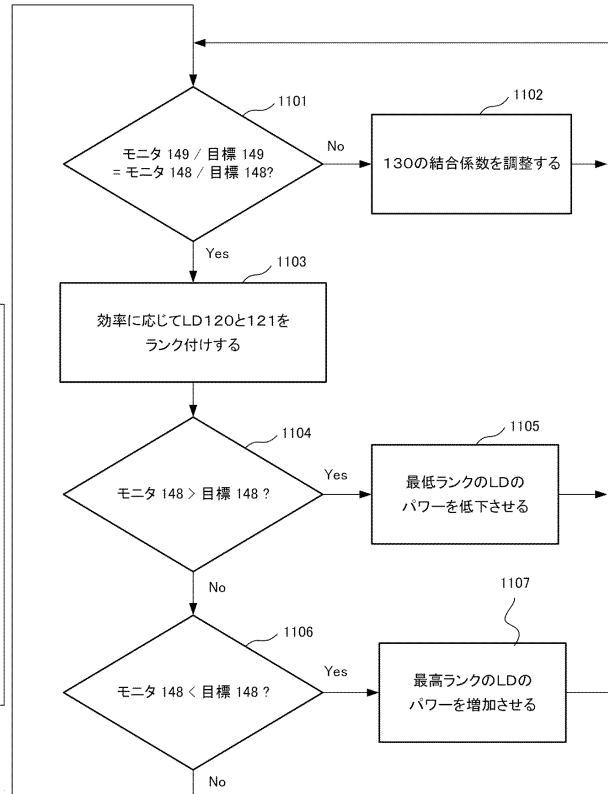
【図10】



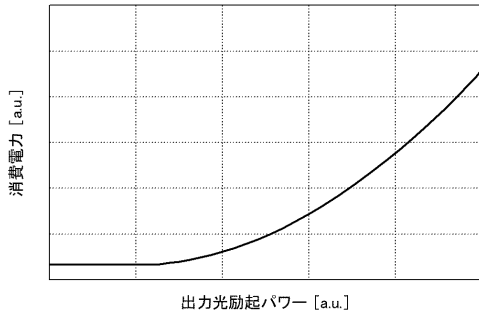
【図11】



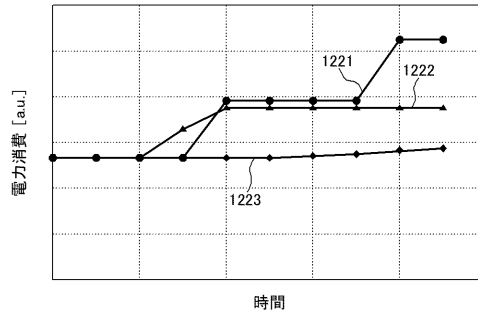
【図12】



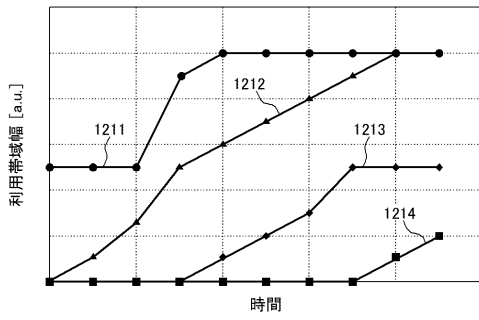
【図13A】



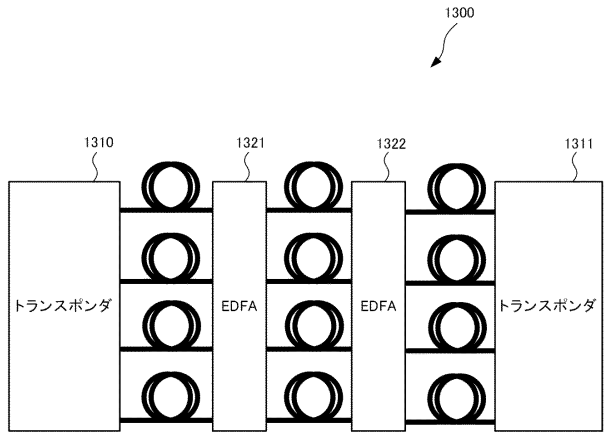
【図13C】



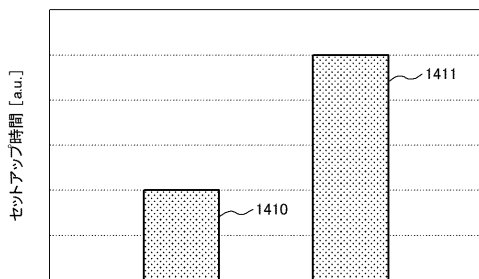
【図13B】



【図14】



【図15】



フロントページの続き

- (72)発明者 中村 滋
東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
- (72)発明者 松本 恵一
東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

審査官 大西 孝宣

- (56)参考文献 国際公開第2017/056438(WO, A1)
特開2015-167158(JP, A)
特開2013-123205(JP, A)
特開平04-003029(JP, A)
特開2003-318837(JP, A)
国際公開第2016/047233(WO, A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | |
|------|-------|
| H01S | 3/10 |
| G02B | 6/28 |
| G02B | 27/10 |