

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4725951号  
(P4725951)

(45) 発行日 平成23年7月13日(2011.7.13)

(24) 登録日 平成23年4月22日(2011.4.22)

(51) Int. Cl.		F I			
HO 1 S	3/10	(2006.01)	HO 1 S	3/10	Z
HO 4 J	14/00	(2006.01)	HO 4 B	9/00	E
HO 4 J	14/02	(2006.01)	HO 4 B	9/00	J
HO 4 B	10/16	(2006.01)			
HO 4 B	10/17	(2006.01)			

請求項の数 5 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2005-13994(P2005-13994)  
 (22) 出願日 平成17年1月21日(2005.1.21)  
 (65) 公開番号 特開2006-66862(P2006-66862A)  
 (43) 公開日 平成18年3月9日(2006.3.9)  
 審査請求日 平成19年10月25日(2007.10.25)  
 (31) 優先権主張番号 特願2004-220296(P2004-220296)  
 (32) 優先日 平成16年7月28日(2004.7.28)  
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(73) 特許権者 000005223  
 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 100078330  
 弁理士 笹島 富二雄  
 (72) 発明者 大嶋 千裕  
 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 林 悦子  
 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  
 審査官 傍島 正朗

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波長多重信号光の増幅方法および光増幅器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

波長の異なる複数の信号チャネルを含み、該各波長の信号レベルがほぼ揃った波長多重信号光が入力され、該波長多重信号光を分波器で少なくとも2つの波長帯域の信号光に分割し、該分割された各波長帯域の信号光を各々に対応した光増幅部でそれぞれ増幅し、該各増幅部から出力される信号光のトータルパワーを予め設定したレベルで一定に制御し、該出力一定制御された各波長帯域の信号光を合波器で合波する光増幅方法において、

前記各光増幅部に入力される信号光のレベルの変化に応じて前記各光増幅部の利得設定をそれぞれ変化させたときに、前記各光増幅部でそれぞれ発生する光出力レベルの波長間偏差が予め設定した範囲内となるように、前記各光増幅部の利得設定の変化に対応した利得波長特性の変化の違いに応じて、前記分波器の各出力ポートから出力される信号光の帯域幅を異なる値に設計すると共に、

前記分波器に入力される波長多重信号光のチャネル数変化を伴わないパワーレベルの変動に対して、前記各光増幅部の利得を個々に調整することにより、前記合波器で合波される波長多重信号光の各波長の信号レベルを予め設定した範囲内にすることを特徴とする光増幅方法。

【請求項2】

請求項1に記載の光増幅方法であって、

前記分波器に入力される波長多重信号光を前段光増幅部により一括して増幅し、該増幅された波長多重信号光を前記分波器に与えることを特徴とする光増幅方法。

## 【請求項 3】

波長の異なる複数の信号チャネルを含み、該各波長の信号レベルがほぼ揃った波長多重信号光が与えられる入力ポートを有し、該入力ポートからの波長多重信号光を少なくとも2つの波長帯域の信号光に分割し、該各波長帯域に対応した出力ポートからそれぞれ出力する分波器と、

前記分波器の各出力ポートから出力される信号光をそれぞれ増幅する複数の光増幅部と、

前記各光増幅部から出力される信号光を合波する合波器と、

前記各光増幅部から出力される信号光のトータルパワーを予め設定したレベルで一定に制御する複数の制御部と、を備えた光増幅器において、

前記分波器は、前記入力ポートに与えられる波長多重信号光の入力ダイナミックレンジに対応して発生する、前記各光増幅部に入力される信号光のレベルの変化に応じて、前記各光増幅部の利得設定をそれぞれ変化させたときに、前記各光増幅部でそれぞれ発生する光出力レベルの波長間偏差が、前記入力ダイナミックレンジに対応して決まる前記光入力レベルの変化範囲について、零から所定の値までの範囲内に抑えられるように、前記各光増幅部の利得設定の変化に対応した利得波長特性の変化の違いに応じて、各出力ポートから出力される信号光の帯域幅が異なる値に設計された分波特性を有し、

前記各制御部は、前記分波器の入力ポートに与えられる波長多重信号光のチャンネル数変化を伴わないパワーレベルの変動に対して、前記各光増幅部の利得を個々に調整することにより、前記合波器で合波されるWDM信号光の各波長の信号レベルの偏差をおよそ1 dBの範囲内にすることを特徴とする光増幅器。

## 【請求項 4】

請求項 3 に記載の光増幅器であって、

前記各光増幅部は、前記分波器の各出力ポートと前記合波器の各入力ポートとの間を繋ぐ各々の光路上に着脱可能に設けられることを特徴とする光増幅器。

## 【請求項 5】

請求項 1 に記載の光増幅方法であって、

初期導入時、前記分波器の各出力ポートのうち、運用チャネルを収容可能な最小の帯域幅に対応した出力ポートに繋がる光路上にのみ前記光増幅部を設けて、該光路を伝搬する信号光を増幅することを特徴とする光増幅方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、波長の異なる複数の信号チャネルを含んだ波長多重(WDM)信号光を増幅するための方法および光増幅器に関し、特に、光入力レベルの変化により各波長の信号チャネル間に発生する光出力レベルの偏差を低減するための光増幅技術に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

WDM光伝送システムは、トラフィックの伝送容量の需要に応じた信号チャネルで運用される。通例、運用開始時における信号チャネル数は比較的少なく設定され、需要の増加に応じて信号チャネルを増設して伝送容量の拡大が図られる。

上記のようなWDM光伝送システムで使用される光増幅器(以下、WDM光増幅器と表記することもある)は、一般的に、基本性能として次の(1)~(3)が不可欠である。

(1) 少ない出力レベル偏差(平坦な利得波長特性)

(2) 伝送距離の違いまたは伝送路の損失の変化に対応できる広い入力ダイナミックレンジ

(3) 低雑音指数(Noise Figure; NF)特性

従来、WDM光増幅器は、これらの基本機能を備え、かつ、最大に入力される信号チャネル数において所望の光出力パワーが得られるように設計される。具体的には、例えば図15に示すように、すべての波長の信号チャネルを一括して増幅することのできる2段階

10

20

30

40

50

成の光増幅部 101, 102 (例えば、エルビウム添加光ファイバ増幅器 (EDFA) 等) の段間に可変光減衰器 (VOA) 103 を接続して、後段の光増幅部 102 から出力される WDM 信号光のトータルパワーが一定となるように可変光減衰器 103 の減衰量を調整する構成が知られている。

【0003】

また、例えば図 16 に示すように、WDM 光増幅器に入力される WDM 信号光を分波器 201 を用いて複数の波長帯域に分波し、各波長帯域の信号光を各々に対応した光増幅部 202<sub>1</sub> ~ 202<sub>N</sub> で増幅した後に可変光減衰器 (VOA) 203<sub>1</sub> ~ 203<sub>N</sub> で光出力パワーを調整し、それぞれの可変光減衰器 203<sub>1</sub> ~ 203<sub>N</sub> から出力される各信号光を合波器 204 を用いて合波する構成も提案されている (例えば、特許文献 1, 2 参照)。

10

【特許文献 1】特開 2002 - 57389 号公報

【特許文献 2】特開 2001 - 53686 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ところで、上記の図 15 に示したような従来の WDM 光増幅器では、信号チャネル数の増加に伴って光増幅部 101, 102 で必要となる励起光パワーが増加するので、すべての信号チャネルを一括して増幅するためには大出力の励起光源を搭載する必要がある。しかし、大出力の励起光源は高価であり、そのような励起光源を搭載した WDM 光増幅器は高コストな製品になってしまうという欠点がある。

20

【0005】

また、上記の図 15 および図 16 に示したような WDM 光増幅器は、通常、WDM 光伝送システムにおける信号チャネル数が少ない運用状態でも使用される。このため、従来の WDM 光増幅器を用いて多中継伝送を行う WDM 光伝送システムは、初期導入時等において少ない信号チャネル数での運用が想定される場合、図 17 に例示するように運用チャネル数に対する装置コストが割高な製品になってしまう。このため、WDM 光伝送システムを購入する顧客にとって、従来の WDM 光増幅器を用いたシステムは、初期導入時のコストが高く、伝送容量が少ない運用状態において対費用効果の悪い投資になってしまうという課題があった。加えて、初期導入時に想定する最大伝送容量の予測を誤り、最大に伝送可能な信号チャネル数に至らない運用状態となる可能性もあり、顧客は過剰な設備投資というリスクを負うことになってしまう。今後、WDM 信号光の高密度化技術が進むと、WDM 光増幅器のトータル出力パワーが大きくなって励起光パワーが多く必要となるため、上記のようなリスクがより顕著となることが予想される。

30

【0006】

さらに、前述の図 16 に示したような従来の WDM 光増幅器の構成に関しては、分波器 201 で分波され各光増幅部 202<sub>1</sub> ~ 202<sub>N</sub> でそれぞれ増幅された各波長帯域の信号光パワーが所要のレベルで一定となり平坦な波長特性が得られるように、各々の波長帯域に対応させて可変光減衰器 203<sub>1</sub> ~ 203<sub>N</sub> を個別に設けているため、構成が複雑なものになってコストの上昇を招いてしまうという問題点もある。この問題点に関しては、例えば、各可変光減衰器 203<sub>1</sub> ~ 203<sub>N</sub> を設ける代わりに各光増幅部 202<sub>1</sub> ~ 202<sub>N</sub> の利得を調整して、各々の波長帯域の信号光パワーが一定のレベルとなるように制御することも考えられる。しかし、この場合、WDM 光増幅器に入力される WDM 信号光のトータルパワーの変動 (入力ダイナミックレンジ) に対して、各光増幅部 202<sub>1</sub> ~ 202<sub>N</sub> の利得調整により出力一定制御を行うと、各々の光増幅部 202<sub>1</sub> ~ 202<sub>N</sub> の利得波長特性がそれぞれ変化してしまうため、WDM 信号光の波長帯域全体に亘る光出力レベルの偏差が大きくなる。このため、前述した (1) および (2) の基本性能を十分に満足することが難しくなるという課題がある。

40

【0007】

本発明は上記の点に着目してなされたもので、WDM 信号光の入力レベルの変動に対して簡略な構成により WDM 信号光の波長帯域全体に亘る光出力レベルの偏差を小さく抑え

50

ることのできるWDM信号光の増幅方法を実現し、低コストの光増幅器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】

【0008】

上記の目的を達成するため、本発明の光増幅方法は、波長の異なる複数の信号チャネルを含み、該各波長の信号レベルがほぼ揃ったWDM号光が入力され、該WDM信号光を分波器で少なくとも2つの波長帯域の信号光に分割し、該分割された各波長帯域の信号光を各々に対応した光増幅部でそれぞれ増幅し、該各増幅部から出力される信号光のトータルパワーを予め設定したレベルで一定に制御し、該出力一定制御された各波長帯域の信号光を合波器で合波する光増幅方法である。この光増幅方法では、前記各光増幅部に入力される信号光のレベルの変化に応じて前記各光増幅部の利得設定をそれぞれ変化させたときに、前記各光増幅部でそれぞれ発生する光出力レベルの波長間偏差が予め設定した範囲内となるように、前記各光増幅部の利得設定の変化に対応した利得波長特性の変化の違いに応じて、前記分波器の各出力ポートから出力される信号光の帯域幅を異なる値に設計すると共に、前記分波器に入力されるWDM信号光のチャンネル数変化を伴わないパワーレベルの変動に対して、前記各光増幅部の利得を個々に調整することにより、前記合波器で合波される波長多重信号光の各波長の信号レベルを予め設定した範囲内にする。

10

【0009】

また、本発明の光増幅器は、波長の異なる複数の信号チャネルを含み、該各波長の信号レベルがほぼ揃ったWDM信号光が与えられる入力ポートを有し、該入力ポートからのWDM信号光を少なくとも2つの波長帯域の信号光に分割し、該各波長帯域に対応した出力ポートからそれぞれ出力する分波器と、前記分波器の各出力ポートから出力される信号光をそれぞれ増幅する複数の光増幅部と、前記各光増幅部から出力される信号光を合波する合波器と、前記各光増幅部から出力される信号光のトータルパワーを予め設定したレベルで一定に制御する複数の制御部と、を備える。前記分波器は、前記入力ポートに与えられる波長多重信号光の入力ダイナミックレンジに対応して発生する、前記各光増幅部に入力される信号光のレベルの変化に応じて、前記各光増幅部の利得設定をそれぞれ変化させたときに、前記各光増幅部でそれぞれ発生する光出力レベルの波長間偏差が、前記入力ダイナミックレンジに対応して決まる前記光入力レベルの変化範囲について、零から所定の値までの範囲内に抑えられるように、前記各光増幅部の利得設定の変化に対応した利得波長特性の変化の違いに応じて、各出力ポートから出力される信号光の帯域幅が異なる値に設計された分波特性を有する。前記各制御部は、前記分波器の入力ポートに与えられるWDM信号光のチャンネル数変化を伴わないパワーレベルの変動に対して、前記各光増幅部の利得を個々に調整することにより、前記合波器で合波されるWDM信号光の各波長の信号レベルの偏差をおよそ1dBの範囲内にする。

20

30

【0010】

上記のようなWDM信号光の増幅方法および光増幅器では、光増幅されるWDM信号光が分波器に入力されることにより、各光増幅部の利得波長特性に応じて帯域幅の適化された少なくとも2つの波長帯域に分割されて各出力ポートから各光増幅部へ出力され、各々の光増幅部で増幅された後に合波器に送られて再びWDM信号光に合波される。このとき、各光増幅部の利得の設定が個々に調整されることによって、合波器で合波されるWDM信号光の各波長の信号レベルを予め設定された範囲内とする出力一定制御が行われる。

40

【発明の効果】

【0011】

本発明によるWDM信号光の増幅方法および光増幅器によれば、各光増幅部の利得設定の変化に対応した利得波長特性の変化の違いに応じて分波器の各出力ポートから出力される信号光の帯域幅を最適化すると共に、WDM信号光の入力レベルの変動に対応させて各光増幅部の利得を調整して出力一定制御を行うようにしたこと、レベル調整用の可変光減衰器等を必要としない簡略な構成により、WDM信号光の全波長帯域に亘ってレベル偏差の抑えられた増幅出力を得ることが可能になる。

50

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0012】

以下、本発明の光増幅器を実施するための最良の形態について添付図面を参照しながら説明する。なお、全図を通して同一の符号は同一または相当部分を示すものとする。

図1は、本発明の第1実施形態による光増幅器の構成を示すブロック図である。

図1において、第1実施形態の光増幅器1は、例えば、入力端子INに与えられるWDM信号光をN個（ただし、 $N \geq 2$ とする）の波長帯域に分割する分波器11と、該分波器11の各出力ポート $P_1 \sim P_N$ にそれぞれ接続されるN個の光増幅部 $12_1 \sim 12_N$ と、該各光増幅部 $12_1 \sim 12_N$ からの出力光を合波する合波器13と、を備える。また、光増幅部 $12_1 \sim 12_N$ のそれぞれに対しては、各々の出力光の一部を分岐する光カプラ $23_1 \sim 23_N$ と、該光カプラ $23_1 \sim 23_N$ で分岐された光のパワーを測定する出力モニタ $24_1 \sim 24_N$ と、各出力モニタ $24_1 \sim 24_N$ の測定値を基に各光増幅部 $12_1 \sim 12_N$ における利得を個々に調整する制御回路 $25_1 \sim 25_N$ とが設けられる。なお、このような構成では、光カプラ $23_1 \sim 23_N$ 、出力モニタ $24_1 \sim 24_N$ および制御回路 $25_1 \sim 25_N$ が複数の制御部として機能する。

10

## 【0013】

分波器11は、入力端子INに入力されたWDM信号光が入力ポート $P_0$ に与えられ、そのWDM信号光を波長帯域の異なるN個の信号光に分割して、各波長帯域の信号光に対応する出力ポート $P_1 \sim P_N$ からそれぞれ出力する。この分波器11の分波特性（透過波長特性）は、例えば図2（ただし、 $N = 4$ の場合）に示すように、各出力ポート $P_1 \sim P_N$ から出力される信号光の帯域幅 $\Delta P_1 \sim \Delta P_N$ が異なった値となるように予め設計される。上記の各帯域幅 $\Delta P_1 \sim \Delta P_N$ は、後で詳しく説明するように、本光増幅器1から出力されるWDM信号光の波長帯域全体に亘る光出力レベルの偏差が予め設定した範囲内となるように、各光増幅部 $12_1 \sim 12_N$ の利得波長特性に応じて個別に設定されている。

20

## 【0014】

各光増幅部 $12_1 \sim 12_N$ は、分波器11の各出力ポート $P_1 \sim P_N$ から出力される信号光の波長帯域を含んだ増幅帯域を持つ公知の光増幅器を用いて構成される。各光増幅部 $12_1 \sim 12_N$ から出力される信号光は、光カプラ $23_1 \sim 23_N$ を介して合波器13の対応する各入力ポート $P'_1 \sim P'_N$ に送られる。なお、ここでは、各光増幅部 $12_1 \sim 12_N$ および各光カプラ $23_1 \sim 23_N$ は、分波器11の各出力ポート $P_1 \sim P_N$ と合波器13の各入力ポート $P'_1 \sim P'_N$ との間の光路上に例えばコネクタ等を介して着脱可能な状態で設けられている。上記の各光増幅部 $12_1 \sim 12_N$ における利得の設定は、各制御回路 $25_1 \sim 25_N$ からの制御信号に従って個別に制御されており、後述するように分波器11に入力されるWDM信号光のチャンネル数変化を伴わないトータルパワーの変動に対応した出力一定制御が各々の光増幅部 $12_1 \sim 12_N$ で行われる。各光増幅部 $12_1 \sim 12_N$ の具体例としては、希土類添加ファイバ増幅器や半導体光増幅器(SOA)、集中ラマン増幅器などが挙げられる。

30

## 【0015】

合波器13は、各光増幅部 $12_1 \sim 12_N$ からそれぞれ出力される信号光が入力ポート $P'_1 \sim P'_N$ に与えられ、各々の信号光を合波して出力ポート $P'_0$ から出力する。

40

ここで、分波器11の各出力ポート $P_1 \sim P_N$ から出力される信号光の帯域幅 $\Delta P_1 \sim \Delta P_N$ について詳しく説明する。

前述したように分波器11の各帯域幅 $\Delta P_1 \sim \Delta P_N$ は、本光増幅器1の光出力レベルの波長間偏差が予め設定した範囲内となるように、各光増幅部 $12_1 \sim 12_N$ の利得波長特性に応じて設定される。具体的に、各光増幅部 $12_1 \sim 12_N$ として例えばエルビウムドープファイバ増幅器(EDFA)を用いた場合、その利得波長特性は、図3に例示するように、利得の設定、すなわち増幅媒体であるエルビウムドープファイバへの励起光の供給パワーによって決まる反転分布状態に応じて変化する。図3の一例では、比較的低い利得設定の場合、 $1.58 \mu\text{m}$ 付近の短波長側の利得に比べて $1.59 \mu\text{m}$ 付近の長波長側の利得のほうが高くなる一方、比較的高い利得設定の場合には、 $1.58 \mu\text{m}$ 付近の短波長側

50

の利得に比べて1.59 μm付近の長波長側の利得のほうが低くなる。

【0016】

このような利得設定に応じた利得波長特性の変化は、各光増幅部 $12_1 \sim 12_N$ に入力される信号光の光入力レベルの変化に対して、各々の利得を調整することで光出力レベルを一定に制御するような場合に、各光増幅部 $12_1 \sim 12_N$ でそれぞれ発生する光出力レベルの偏差が互いに異なるようになってしまう可能性がある。すなわち、上述の図16に例示したような従来の構成では、光増幅器に入力されるWDM信号光が分波器によって同じ帯域幅を有する複数の信号光に分割される。このため、上記のように光入力レベルに応じて各光増幅部の利得を調整して各光増幅部の出力一定制御を行った場合には、各光増幅部における利得の変化の傾斜が異なるようになるので、同じ幅の波長帯域内で発生する光出力レベルの偏差が波長帯域ごとに相違してしまう。

10

【0017】

図4は、WDM信号光の分波を同じ帯域幅で行う従来の構成における光出力レベルの偏差の一例を、前述した図3の利得波長特性に対応させて示した図である。ここでは、ある光入力レベル(基準レベル)に対応した利得の設定において光出力レベルの偏差が略零となるような基準状態(図中の太線)を想定し、その基準状態に対して光入力レベルが低下した場合に発生する光出力レベルの偏差(図中の細線)と、光入力レベルが上昇した場合に発生する光出力レベルの偏差(図中の点線および破線)とが模式的に示してある。

【0018】

この図4の一例では、長波長側の光増幅部で発生する光出力レベルの偏差は比較的小さく抑えられているものの、短波長側の光増幅部で発生する光出力レベルの偏差が長波長側に比べて大きくなっていて、WDM信号光の波長帯域全体で生じる光出力レベルの偏差を所要の範囲内に制御するのが難しいことが分かる。このため、従来のWDM光増幅器では、分波後の各波長帯域に対応した光路上にレベル調整用の可変光減衰器等をそれぞれ設けて、各々の光出力レベルの波長間偏差を個々に制御するようにしていた。

20

【0019】

これに対して本実施形態は、分波器11の各出力ポート $P_1 \sim P_N$ から出力される信号光の帯域幅 $P_1 \sim P_N$ を、従来のように同じ幅とするのではなく、各光増幅部 $12_1 \sim 12_N$ の利得波長特性に関する情報を予め取得しておき、その情報に基づいて各々の波長帯域内で生じる光出力レベルの偏差が予め設定した範囲内となるように個々の帯域幅 $P_1 \sim P_N$ を最適化する。具体的に、各光増幅部 $12_1 \sim 12_N$ として前述の図3に示した利得波長特性を有するEDFAを用いた場合には、例えば図5に示すように、WDM信号光の波長帯域全体で発生する光出力レベルの偏差がおよそ1dB程度に抑えられるよう、利得波長特性の変化が大きい短波長側の帯域幅を相対的に狭くし、利得波長特性の変化が小さい長波長側の帯域幅を相対的に広くする。このように、分波器11の各出力ポート $P_1 \sim P_N$ から出力される信号光の帯域幅 $P_1 \sim P_N$ を個々に最適化することによって、従来のようなレベル調整用の可変光減衰器を省略することが可能となる。

30

【0020】

次に、第1実施形態の光増幅器1の動作について説明する。

上記のような構成の光増幅器1では、入力端子INに入力されるWDM信号光は分波器11に送られる。分波器11の入力ポート $P_0$ に与えられたWDM信号光は、前述の図2に示した透過波長特性に従ってN個の信号光に分割されて各出力ポート $P_1 \sim P_N$ から出力される。分波器11の各出力ポート $P_1 \sim P_N$ からの出力光は、各光増幅部 $12_1 \sim 12_N$ に送られてそれぞれ増幅される。各光増幅部 $12_1 \sim 12_N$ から出力された信号光は、光カプラ $23_1 \sim 23_N$ を介して合波器13に送られると共に、その一部が光カプラ $23_1 \sim 23_N$ で分岐されて出力モニタ $24_1 \sim 24_N$ に送られる。合波器13の各入力ポート $P_1' \sim P_N'$ に与えられた信号光は再び1つのWDM信号光に合波され、出力端子OUTから出力される。

40

【0021】

出力モニタ $24_1 \sim 24_N$ では、光カプラ $23_1 \sim 23_N$ からの分岐光のパワーがそれぞれ

50

測定され、各々の測定結果を示す信号が各制御回路  $25_1 \sim 25_N$  に出力される。各制御回路  $25_1 \sim 25_N$  では、出力モニタ  $24_1 \sim 24_N$  の測定結果を基に、各々の光増幅部  $12_1 \sim 12_N$  から出力される信号光のトータルパワーが判断される。そして、分波器  $11$  に入力される WDM 信号光についてチャネル数変化を伴わないレベル変動が生じた場合でも、各光増幅部  $12_1 \sim 12_N$  の出力光パワーが予め設定したレベルで一定となるように各々の利得を調整する制御信号が生成され、各光増幅部  $12_1 \sim 12_N$  にそれぞれ出力される。各光増幅部  $12_1 \sim 12_N$  では、制御回路  $25$  からの制御信号に従って、各々の増幅媒体に対する励起光の供給パワーが調整される。

#### 【0022】

このように光増幅器  $1$  に入力される WDM 信号光のレベル変動に対応させて各光増幅部  $12_1 \sim 12_N$  の利得をそれぞれ調整して、各光増幅部  $12_1 \sim 12_N$  に対して出力一定制御を行うようにしても、分波器  $11$  の各帯域幅  $P_1 \sim P_N$  が各光増幅部  $12_1 \sim 12_N$  の利得波長特性を考慮して最適化されているため、前述の図  $5$  に例示したように各光増幅部  $12_1 \sim 12_N$  の光出力レベルの偏差が約  $1$  dB の範囲内に抑えられる。そして、各光増幅部  $12_1 \sim 12_N$  から出力される信号光が合波器  $13$  で合波されることにより、出力パワーレベルが予め設定した範囲内に制御された平坦な波長特性を有する WDM 信号光が生成され、その WDM 信号光が出力端子 OUT から外部に出力されるようになる。

#### 【0023】

上記のように第  $1$  実施形態の光増幅器  $1$  によれば、各光増幅部  $12_1 \sim 12_N$  の利得波長特性に応じて、分波器  $11$  の各出力ポート  $P_1 \sim P_N$  から出力される信号光の帯域幅  $P_1 \sim P_N$  を最適化し、WDM 信号光の入力信号レベルの変動に対応させて各光増幅部  $12_1 \sim 12_N$  の利得を調整して各光増幅部  $12_1 \sim 12_N$  に対して出力一定制御を行うようにしたことで、従来のようなレベル調整用の可変光減衰器等を必要としない簡略な構成によって、WDM 信号光の全波長帯域に亘ってレベル偏差の抑えられた増幅出力を得ることが可能になる。

#### 【0024】

また、各光増幅部  $12_1 \sim 12_N$  および光カプラ  $23_1 \sim 23_N$  が、分波器  $11$  および合波器  $13$  の間の各光路上にコネクタ等を用いて着脱可能に設けられるようにしたことで、信号チャネル数に応じて光増幅部の増設若しくは減設を容易に行うことができる。このため、例えば、初期導入時に少ない信号チャネル数での運用が想定される場合であっても、分波器  $11$  の帯域幅  $P_1 \sim P_N$  を考慮して、運用チャネルを収容可能な最小の帯域幅に対応した出力ポートにのみ光増幅部を設けるようにすることで装置コストを低減することができる。そして、伝送容量の需要の増大に応じて光増幅部を増設するようになれば効率的な設備投資を行うことが可能になる。具体的に、例えば最大チャネル数が  $80$  波の光増幅器において  $16$  波までの運用を行う場合には、従来の構成の光増幅器に要するコストと比較して約  $60\%$  のコストで本実施形態の光増幅器  $1$  を実現できるようになる。

#### 【0025】

なお、上記第  $1$  実施形態の説明では、各光増幅部  $12_1 \sim 12_N$  として同様の利得波長特性を持つ EDFA の使用を想定したが、利得波長特性の異なる任意の光増幅器を各光増幅部  $12_1 \sim 12_N$  に用いることが可能である。この場合にも、各々の光増幅部  $12_1 \sim 12_N$  の利得波長特性に関する情報を予め取得しておき、それに基づいて分波器  $11$  の各出力ポート  $P_1 \sim P_N$  から出力される信号光の帯域幅  $P_1 \sim P_N$  を個々に最適設計すればよい。

#### 【0026】

また、分波器  $11$  の各帯域幅  $P_1 \sim P_N$  を最適化して光出力レベルの偏差が予め設定した範囲内（例えば、 $1$  dB 程度）に抑えられるようにしたが、例えば図  $6$  の光増幅器  $1'$  に示すように、分波器  $11$  および合波器  $13$  の間の各光路上に利得等化器（GEQ） $14_1 \sim 14_N$  をそれぞれ配置して、基準レベルの WDM 信号光が入力されるときに各光増幅部  $12_1 \sim 12_N$  で発生する利得偏差を対応する利得等化器  $14_1 \sim 14_N$  で補償し、光入力レベルが基準値から変動した場合に生じる光出力レベルの波長間偏差を本発明の構成に

10

20

30

40

50

よって補償するようにしてもよい。

【0027】

次に、本発明の第2実施形態について説明する。

図7は、本発明の第2実施形態による光増幅器の構成を示すブロック図である。

図7において、第2実施形態の光増幅器2の構成が上述した第1実施形態の光増幅器1の構成(図1)と異なる点は、入力端子INと分波器11の間に、前段光増幅部31、光カプラ33、出力モニタ34および制御回路35を配置した点である。上記以外の他の部分の構成は第1実施形態の場合と同様であるため、ここでの具体的な説明は省略する。

【0028】

前段光増幅部31は、入力端子INに与えられるWDM信号光を一括して増幅すること  
10  
の可能な公知の光増幅器を用いて構成される。前段光増幅部31の出力光は、その一部が光カプラ33で分岐されて出力モニタ34に送られ、出力モニタ34では光カプラ33からの分岐光のパワーが測定されて、その測定結果を示す信号が制御回路35に出力される。この前段光増幅部31の動作は、制御回路35から送られてくる制御信号に従って出力一定制御されている。上記の前段光増幅部31の具体例としては、希土類添加ファイバ増幅器、半導体光増幅器(SOA)、ラマン増幅器などを挙げるができる。

【0029】

本実施形態では、上記のような前段光増幅部31が分波器11の前段に配置されること  
20  
により、分波器11の各帯域幅  $P_1 \sim P_N$  の設計と、各光増幅部  $12_1 \sim 12_N$  の利得の設定とが、前段光増幅部31の利得波長特性および各光増幅部  $12_1 \sim 12_N$  の利得波長  
20  
特性を考慮して行われ、光増幅器2全体での光出力レベルの偏差が予め設定した範囲内となるようにされる。具体的に、ここでは前段光増幅部31が例えば図8に示すような利得波長特性を持つ場合を想定して、上記の内容を詳しく説明することにする。ただし、本発明における前段光増幅部31の利得波長特性が図8の一例に限定されることを意味するものではない。

【0030】

図8に示した各利得波長特性は、前段光増幅部31に入力されるWDM信号光のトータル  
30  
パワー  $P_{in}$  を  $P_{in} - 5 \text{ dB}$ 、 $P_{in}$  および  $P_{in} + 5 \text{ dB}$  として、前段光増幅部31の利得を調整して光出力レベルが一定となるようにした場合の一例である。この  
30  
ような利得波長特性を持つ前段光増幅部31について、光入力レベルが  $P_{in} = P_{in}$   
30  
のときの光出力レベルを基準とし、それに対する  $P_{in} = P_{in} \pm 5 \text{ dB}$  時の光出力レベルの差を求めると、図9に示すような波長に対する出力レベル差の関係が得られる。本実施形態では、上記のような前段光増幅部31についての光入力レベルの変化に対する光出力レベルの波長依存性が、後段の各光増幅部  $12_1 \sim 12_N$  における光増幅によって補償されるようにする。

【0031】

これを実現するためには、まず、前段光増幅部31から出力されるWDM信号光を分波  
40  
器11で幾つに分割するか(分波器11の出力ポート数N)と、各光増幅部  $12_1 \sim 12_N$   
40  
に使用する光増幅器の利得波長特性とが決定した段階で、上述の第1実施形態の場合と同様にして、分波器11の各帯域幅  $P_1 \sim P_N$  を最適設計する。そして、分波器11の  
40  
各帯域幅  $P_1 \sim P_N$  が決まると、例えば図10に示すように光入力レベル  $P_{in}$  に対  
40  
応させて各光増幅部  $12_1 \sim 12_N$  の利得を設定することによって、前述の図9に示した前  
40  
段光増幅部31の光出力レベルの波長依存性が各光増幅部  $12_1 \sim 12_N$  での光増幅によ  
40  
って補償されるようにする。

【0032】

図10のように各光増幅部  $12_1 \sim 12_N$  の利得を設定することによって、前段光増幅部  
31と各光増幅部  $12_1 \sim 12_N$  とを組み合わせた全体の利得波長特性は、図11に示すよ  
うなものとなる。したがって、本光増幅器2の出力端子OUTから出力されるWDM信号  
光は、図12に示すように入力ダイナミックレンジ ( $P_{in} \pm 5 \text{ dB}$ ) に対して一定の  
レベルに制御され、かつ、全波長帯域に亘る光出力レベルの偏差が1dB程度の狭い範囲  
50

内に抑えられたものとなる。

【 0 0 3 3 】

上記のように第2実施形態の光増幅器2によれば、前段光増幅部31を設けたことで、分波器11で発生する損失等が前段光増幅部31で補償されるようになるため、光増幅器2のNF特性の改善を図ることができる。また、前段光増幅部31で生じる利得波長特性は、後段の各光増幅部 $12_1 \sim 12_N$ における光増幅によって補償されるため、第1実施形態の場合と同様に、WDM信号光の全波長帯域に亘ってレベル偏差の抑えられた増幅出力を得ることが可能である。

【 0 0 3 4 】

なお、上記の第2実施形態では、前段光増幅部31で生じる利得波長特性が各光増幅部 $12_1 \sim 12_N$ によって補償される構成を示したが、本発明はこれに限らず、例えば前段光増幅部31の出力段等に利得等化器を設け、この利得等化器によって前段光増幅部31で生じる利得波長特性を補償するようにしてもよい。この場合、各光増幅部 $12_1 \sim 12_N$ の利得の設定は第1実施形態の場合と同様にすればよい。また、光入力レベルの変化に対して前段光増幅部31を出力一定制御する場合を説明したが、前段光増幅部31を利得一定制御することも可能である。この場合、利得一定制御された前段光増幅部31の利得波長特性は光入力レベルの変化に対して略一定となるため、その利得波長特性の補償は固定の利得等化器を用いて行うようにしてもよい。

【 0 0 3 5 】

次に、本発明の第3実施形態について説明する。

図13は、本発明の第3実施形態による光増幅器の構成を示すブロック図である。

図13において、第3実施形態の光増幅器3は、上述した第2実施形態の光増幅器2について、光カプラ33と分波器11の間の光路上に分散補償部32を設けるようにした応用例である。

【 0 0 3 6 】

分散補償部32は、例えば、本光増幅器3に接続される図示しない光伝送路の波長分散特性とは逆の波長分散特性を備えた、分散補償ファイバ(DCF)やファイバグレーティングなどを用いて構成される。この分散補償部32は、ここでは、光カプラ33と分波器11の間の光路上にコネクタ等を介して着脱可能に取り付けられている。

上記のような構成の光増幅器3によれば、入力端子INに与えられるWDM信号光に生じた波長分散を分散補償部32によって補償することが可能になる。また、この分散補償部32はコネクタ等を用いて着脱可能に設けられているため、波長分散補償を実施する必要性や補償量の変更等に柔軟に対応することができる。

【 0 0 3 7 】

なお、上記の第3実施形態では、光カプラ33と分波器11の間の光路上に分散補償部32を設ける一例を示したが、分散補償部32の配置は上記に限定されるものではなく、例えば図14の光増幅器3'に示すように、分波器11の各出力ポート $P_1 \sim P_N$ と各光増幅部 $12_1 \sim 12_N$ との間の光路上に分散補償部 $32_1 \sim 32_N$ をそれぞれ設けるようにしても構わない。また、前段光増幅部31を備えた構成について分散補償部32を設ける応用例を示したが、前段光増幅部31を備えていない構成についても分散補償部を設けるようにすることが勿論可能である。

【 0 0 3 8 】

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。

【 0 0 3 9 】

(付記1) 波長の異なる複数の信号チャネルを含んだ波長多重信号光を分波器で少なくとも2つの波長帯域の信号光に分割し、該分割された各波長帯域の信号光を各々に対応した光増幅部でそれぞれ増幅し、該各増幅部から出力される信号光のトータルパワーを予め設定したレベルで一定に制御し、該出力一定制御された各波長帯域の信号光を合波器で合波する光増幅方法において、

前記各光増幅部でそれぞれ発生する光出力レベルの波長間偏差が予め設定した範囲内と

10

20

30

40

50

なるように、前記分波器の各出力ポートから出力される信号光の帯域幅を前記各光増幅部の利得波長特性に応じた異なる値に設計すると共に、

前記分波器に入力される波長多重信号光のチャンネル数変化を伴わないパワーレベルの変動に対して、前記各光増幅部の利得を個々に調整することにより、前記合波器で合波される波長多重信号光の各波長の信号レベルを予め設定した範囲内にすることを特徴とする光増幅方法。

【 0 0 4 0 】

(付記 2) 付記 1 に記載の光増幅方法であって、

前記分波器に入力される波長多重信号光を前段光増幅部により一括して増幅し、該増幅された波長多重信号光を前記分波器に与えることを特徴とする光増幅方法。

10

【 0 0 4 1 】

(付記 3) 付記 2 に記載の光増幅方法であって、

前記前段光増幅部に入力される波長多重信号光のチャンネル数変化を伴わないパワーレベルの変動に対して、前記前段光増幅部の利得を調整することにより、当該前段光増幅部から出力される波長多重信号光のトータルパワーを一定に制御すると共に、前記各光増幅部の利得設定を個々に調整することにより、前記前段光増幅部で発生する光出力レベルの波長間偏差を補償し、かつ、前記合波器で合波される波長多重信号光の各波長の信号レベルを予め設定した範囲内にすることを特徴とする光増幅方法。

【 0 0 4 2 】

(付記 4) 付記 2 に記載の光増幅方法であって、

前記前段光増幅部に入力される波長多重信号光のチャンネル数変化を伴わないパワーレベルの変動に対して、前記前段光増幅部の利得を一定に制御すると共に、前記各光増幅部の利得を個々に調整することにより前記合波器で合波される波長多重信号光の各波長の信号レベルを予め設定した範囲内にすることを特徴とする光増幅方法。

20

【 0 0 4 3 】

(付記 5) 波長の異なる複数の信号チャンネルを含んだ波長多重信号光を少なくとも 2 つの波長帯域の信号光に分割し、該各波長帯域に対応した出力ポートからそれぞれ出力する分波器と、

前記分波器の各出力ポートから出力される信号光をそれぞれ増幅する複数の光増幅部と

30

、前記各光増幅部から出力される信号光を合波する合波器と、

前記各光増幅部から出力される信号光のトータルパワーを予め設定したレベルで一定に制御する複数の制御部と、を備えた光増幅器において、

前記分波器は、前記各光増幅部でそれぞれ発生する光出力レベルの波長間偏差が予め設定した範囲内となるように、各出力ポートから出力される信号光の帯域幅が前記各光増幅部の利得波長特性に応じた異なる値に設計され、

前記各制御部は、前記分波器に入力される波長多重信号光のチャンネル数変化を伴わないパワーレベルの変動に対して、前記各光増幅部の利得を個々に調整することにより、前記合波器で合波される WDM 信号光の各波長の信号レベルを予め設定した範囲内にすることを特徴とする光増幅器。

40

【 0 0 4 4 】

(付記 6) 付記 5 に記載の光増幅器であって、

前記各光増幅部は、それぞれ、希土類添加ファイバ増幅器、半導体光増幅器およびラマン増幅器のうちの少なくとも 1 つを含んで構成されることを特徴とする光増幅器。

【 0 0 4 5 】

(付記 7) 付記 5 に記載の光増幅器であって、

前記各光増幅部は、前記分波器の各出力ポートと前記合波器の各入力ポートとの間を繋ぐ各々の光路上に着脱可能に設けられることを特徴とする光増幅器。

【 0 0 4 6 】

(付記 8) 付記 7 に記載の光増幅器であって、

50

前記各光増幅部は、初期導入時、前記分波器の各出力ポートのうち、運用チャネルを収容可能な最小の帯域幅に対応した出力ポートに繋がる光路上にのみ設けられることを特徴とする光増幅器。

【0047】

(付記9) 付記5に記載の光増幅器であって、

前記分波器に入力される波長多重信号光を一括して増幅する前段光増幅部を備えたことを特徴とする光増幅器。

【0048】

(付記10) 付記9に記載の光増幅器であって、

前記制御部は、前記前段光増幅部に入力される波長多重信号光のチャンネル数変化を伴わないパワーレベルの変動に対して、前記前段光増幅部の利得を調整することにより、当該前段光増幅部から出力される波長多重信号光のトータルパワーを一定に制御すると共に、前記各光増幅部の利得設定を個々に調整することにより、前記前段光増幅部で発生する光出力レベルの波長間偏差を補償し、かつ、前記合波器で合波される波長多重信号光の各波長の信号レベルを予め設定した範囲内にすることを特徴とする光増幅器。

10

【0049】

(付記11) 付記9に記載の光増幅器であって、

前記制御部は、前記前段光増幅部に入力される波長多重信号光のチャンネル数変化を伴わないパワーレベルの変動に対して、前記前段光増幅部の利得を一定に制御すると共に、前記各光増幅部の利得を個々に調整することにより前記合波器で合波される波長多重信号光の各波長の信号レベルを予め設定した範囲内にすることを特徴とする光増幅器。

20

【0050】

(付記12) 付記9に記載の光増幅器であって、

前記前段光増幅部は、希土類添加ファイバ増幅器、半導体光増幅器およびラマン増幅器のうちの少なくとも1つを含んで構成されることを特徴とする光増幅器。

【0051】

(付記13) 付記5に記載の光増幅器であって、

前記波長多重信号光の入力レベルが予め設定した基準レベルに該当するときに前記各光増幅部でそれぞれ発生する光出力レベルの波長間偏差を補償するための利得等化部を備えたことを特徴とする光増幅器。

30

【0052】

(付記14) 付記5に記載の光増幅器であって、

前記波長多重信号光に発生した波長分散を補償する分散補償部を備えたことを特徴とする光増幅器。

【0053】

(付記15) 付記14に記載の光増幅器であって、

前記分散補償部は、分散補償ファイバを用いて構成されることを特徴とする光増幅器。

【0054】

(付記16) 付記14に記載の光増幅器であって、

前記分散補償部は、ファイバグレーティングを用いて構成されることを特徴とする光増幅器。

40

【図面の簡単な説明】

【0055】

【図1】本発明の第1実施形態による光増幅器の構成を示すブロック図である。

【図2】上記の第1実施形態における分波器の各出力ポートに対応した透過帯域の一例を示す図である。

【図3】上記の第1実施形態において各光増幅部に用いられるEDFAの利得波長特性の一例を示す図である。

【図4】WDM信号光の分波を同じ波長帯域幅で行う従来の光増幅器における光出力レベルの波長間偏差の一例を示す図である。

50

【図5】上記第1実施形態の光増幅器における光出力レベルの波長間偏差の一例を示す図である。

【図6】上記の第1実施形態に関連した他の構成例を示すブロック図である。

【図7】本発明の第2実施形態による光増幅器の構成を示すブロック図である。

【図8】上記の第2実施形態に用いられる前段光増幅部の利得波長特性の一例を示す図である。

【図9】図8の利得波長特性を持つ前段光増幅部について、光出力レベルの波長特性を光入力レベルの変化に応じて相対的に示した図である。

【図10】上記の第2実施形態における各光増幅部の利得設定の一例を示す図である。

【図11】上記の第2実施形態について前段光増幅部および各光増幅部を組み合わせた全体の利得波長特性の一例を示す図である。

10

【図12】上記第2実施形態の光増幅器から出力されるWDM信号光の波長帯域全体に亘る光出力レベルの偏差の一例を示す図である。

【図13】本発明の第3実施形態による光増幅器の構成を示すブロック図である。

【図14】上記の第3実施形態に関連した他の構成例を示すブロック図である。

【図15】従来のWDM光増幅器の構成例を示すブロック図である。

【図16】従来のWDM光増幅器の他の構成例を示すブロック図である。

【図17】従来のWDM光増幅器について、運用チャンネル数に対する装置コストの一例を示した図である。

【符号の説明】

20

【0056】

1, 1', 2, 3, 3' ... 光増幅器

11 ... 分波器

$P_1 \sim P_N$  ... 分波器の出力ポート

$P_1 \sim P_N$  ... 分波器の透過帯域幅

12<sub>1</sub> ~ 12<sub>N</sub> ... 光増幅部

13 ... 合波器

14<sub>1</sub> ~ 14<sub>N</sub> ... 利得等化器 (GEQ)

23<sub>1</sub> ~ 23<sub>N</sub>, 33 ... 光カプラ

24<sub>1</sub> ~ 24<sub>N</sub>, 34 ... 出力モニタ

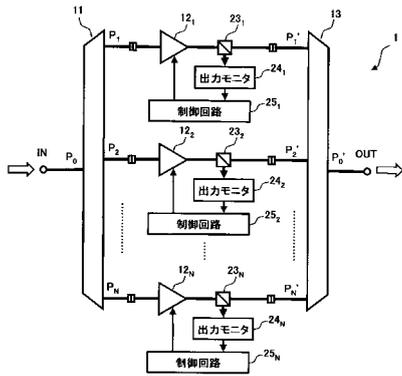
25<sub>1</sub> ~ 25<sub>N</sub>, 35 ... 制御回路

31 ... 前段光増幅部

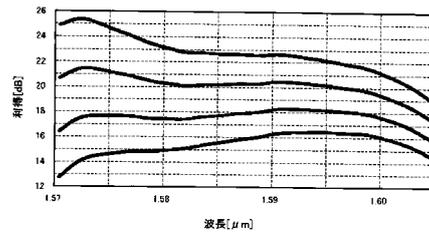
32, 32<sub>1</sub> ~ 32<sub>N</sub> ... 分散補償部

30

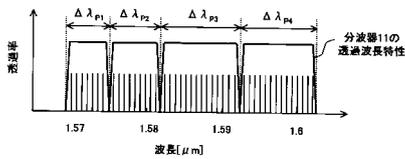
【図1】



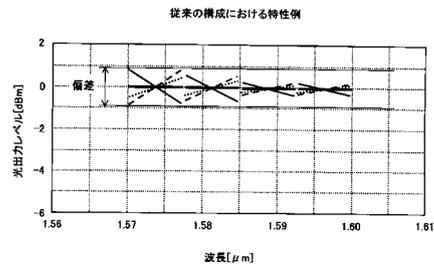
【図3】



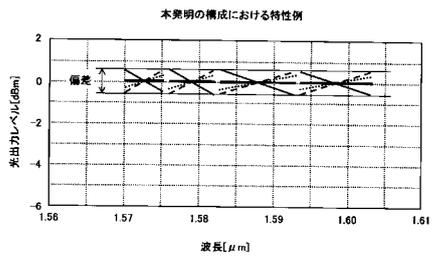
【図2】



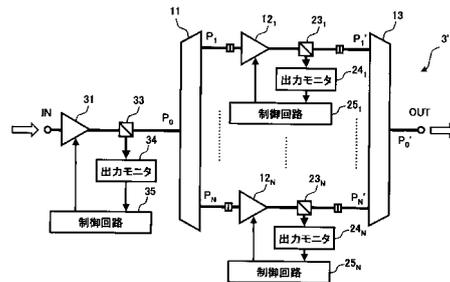
【図4】



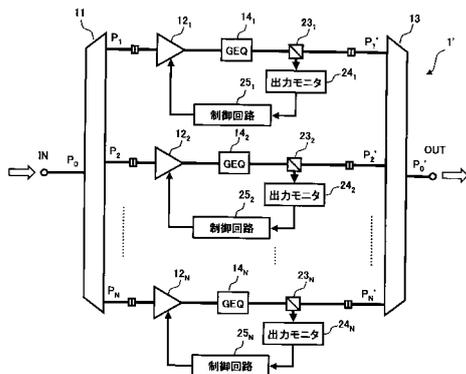
【図5】



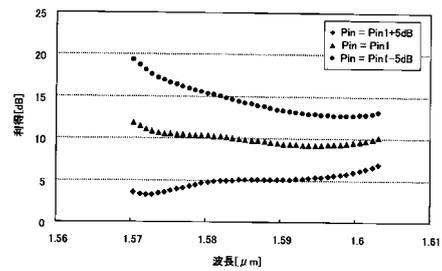
【図7】



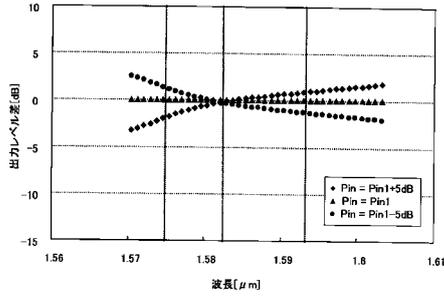
【図6】



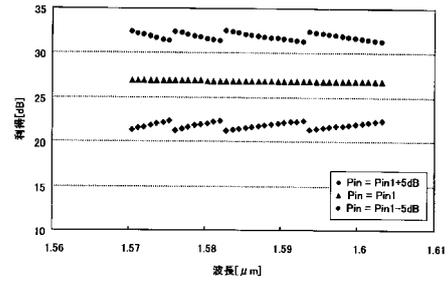
【図8】



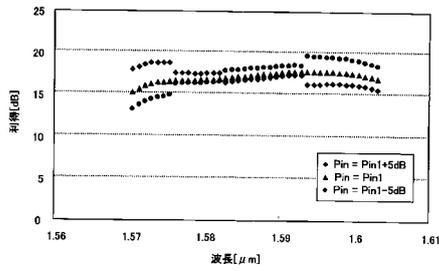
【図9】



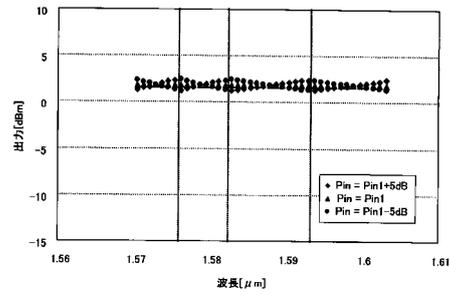
【図11】



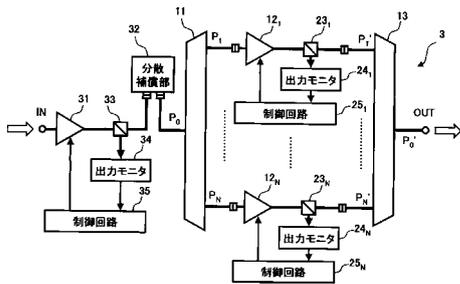
【図10】



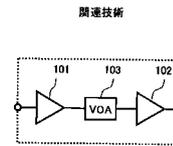
【図12】



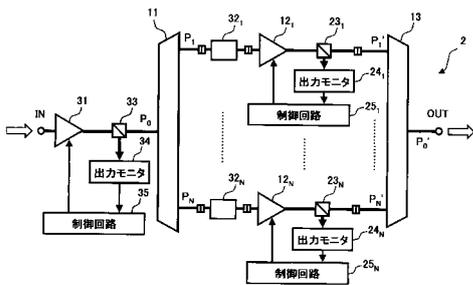
【図13】



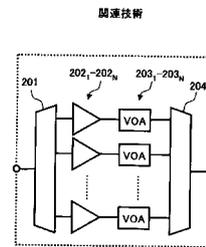
【図15】



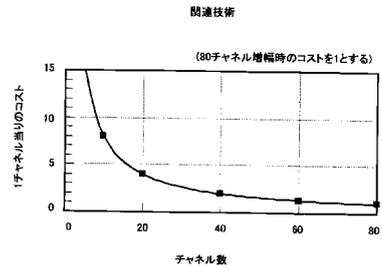
【図14】



【図16】



【図17】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2000-101173(JP,A)  
特開2001-156364(JP,A)  
特表2002-527891(JP,A)  
特開2001-144354(JP,A)  
特開平07-202299(JP,A)  
特開2002-076482(JP,A)  
特開2001-024262(JP,A)  
特開2000-208839(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 3/00 - 3/30