

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4411748号  
(P4411748)

(45) 発行日 平成22年2月10日(2010.2.10)

(24) 登録日 平成21年11月27日(2009.11.27)

(51) Int.Cl.		F I			
HO4B	10/16	(2006.01)	HO4B	9/00	J
HO4B	10/17	(2006.01)	HO4B	9/00	G
HO4B	10/24	(2006.01)	GO2F	1/35	501
GO2F	1/35	(2006.01)	HO1S	3/10	Z
HO1S	3/10	(2006.01)			

請求項の数 14 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2000-186752 (P2000-186752)  
 (22) 出願日 平成12年6月21日(2000.6.21)  
 (65) 公開番号 特開2002-9707 (P2002-9707A)  
 (43) 公開日 平成14年1月11日(2002.1.11)  
 審査請求日 平成18年8月3日(2006.8.3)

(73) 特許権者 000002130  
 住友電気工業株式会社  
 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号  
 (74) 代理人 100088155  
 弁理士 長谷川 芳樹  
 (74) 代理人 100089978  
 弁理士 塩田 辰也  
 (74) 代理人 100092657  
 弁理士 寺崎 史朗  
 (74) 代理人 100110582  
 弁理士 柴田 昌聰  
 (72) 発明者 奥野 俊明  
 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電  
 気工業株式会社 横浜製作所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光伝送システムおよび光伝送方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1波長帯域の信号光を光伝送路の第1方向に伝送するとともに、前記第1波長帯域と重なる帯域を有しない第2波長帯域の信号光を前記光伝送路の第2方向に伝送して、双方向の光伝送を行う光伝送システムであって、

前記第1方向に伝送される前記第1波長帯域の信号光を光増幅する集中光増幅器と、前記第2方向に伝送される前記第2波長帯域の信号光を光増幅する分布光増幅器とを備えることを特徴とする光伝送システム。

【請求項2】

前記分布光増幅器における分布光増幅用励起光は前記光伝送路の前記第1方向に伝搬することを特徴とする請求項1記載の光伝送システム。

10

【請求項3】

前記第1波長帯域が前記分布光増幅器における分布光増幅用励起光の波長と前記第2波長帯域との間に配置されないことを特徴とする請求項1記載の光伝送システム。

【請求項4】

前記第2波長帯域のうちの最長波長での前記分布光増幅器の光増幅利得と、この最長波長より長波長側にある前記第1波長帯域のうちの最短波長での前記分布光増幅器の光増幅利得とは、差が5dB以上であることを特徴とする請求項1記載の光伝送システム。

【請求項5】

前記光伝送路は、前記分布光増幅用励起光が伝搬開始する地点側より伝搬終了する地点

20

側の方が、分布光増幅の利得係数が大きくなることを特徴とする請求項 2 記載の光伝送システム。

【請求項 6】

前記光伝送路は、前記分布光増幅用励起光が伝搬開始する地点側より伝搬終了する地点側の方が、実効断面積が小さくなることを特徴とする請求項 2 記載の光伝送システム。

【請求項 7】

前記光伝送路は、前記分布光増幅器における分布光増幅特性が異なる 2 種以上の光ファイバが接続されたものであることを特徴とする請求項 5 または 6 に記載の光伝送システム。

【請求項 8】

第 1 波長帯域の信号光を光伝送路の第 1 方向に伝送するとともに、前記第 1 波長帯域と重なる帯域を有しない第 2 波長帯域の信号光を前記光伝送路の第 2 方向に伝送して、双方向の光伝送を行う光伝送方法であって、

前記第 1 方向に伝送される前記第 1 波長帯域の信号光を集中光増幅器により光増幅し、前記第 2 方向に伝送される前記第 2 波長帯域の信号光を分布光増幅器により光増幅することを特徴とする光伝送方法。

【請求項 9】

前記分布光増幅器における分布光増幅用励起光は前記光伝送路の前記第 1 方向に伝搬することを特徴とする請求項 8 記載の光伝送方法。

【請求項 10】

前記第 1 波長帯域が前記分布光増幅器における分布光増幅用励起光の波長と前記第 2 波長帯域との間に配置されないことを特徴とする請求項 8 記載の光伝送方法。

【請求項 11】

前記第 2 波長帯域のうちの最長波長での前記分布光増幅器の光増幅利得と、この最長波長より長波長側にある前記第 1 波長帯域のうちの最短波長での前記分布光増幅器の光増幅利得とは、差が 5 dB 以上であることを特徴とする請求項 8 記載の光伝送方法。

【請求項 12】

前記光伝送路は、前記分布光増幅用励起光が伝搬開始する地点側より伝搬終了する地点側の方が、分布光増幅の利得係数が大きくなることを特徴とする請求項 9 記載の光伝送方法。

【請求項 13】

前記光伝送路は、前記分布光増幅用励起光が伝搬開始する地点側より伝搬終了する地点側の方が、実効断面積が小さくなることを特徴とする請求項 9 記載の光伝送方法。

【請求項 14】

前記光伝送路は、前記分布光増幅器における分布光増幅特性が異なる 2 種以上の光ファイバが接続されたものであることを特徴とする請求項 12 または 13 に記載の光伝送方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、同一の光伝送路で双方向の光伝送を行う光伝送システムおよび光伝送方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

光伝送システムにおける信号光の伝送媒体である光伝送路として一般に用いられる石英系光ファイバは、波長 1.55 μm 付近で伝送損失が最も小さいことから、信号光の波長帯域として波長 1.55 μm 帯が用いられる。また、波長 1.55 μm 帯の信号光を光増幅する光増幅器（例えば、Er 元素が光導波領域に添加された光ファイバを光増幅媒体として用いる Er 元素添加光ファイバ増幅器）を送信器と受信器との間に設けることで、更に長距離の光伝送を行うことが可能である。しかし、この光増幅器は集中型のものであるこ

10

20

30

40

50

とから、光伝送路のうち光増幅器の出力端に近い部分では、信号光パワーが大きく、非線型光学現象が発生し易く、信号光の波形が劣化し易い。このような問題点を解決するために、例えば、文献1「T. Naito, et al., "1 Terabit/s WDM Transmission over 10,000 km", ECOC'99, PD (1999)」に記載された光伝送システムでは、信号光の波長帯域として波長1.55 μm帯を用い、Er元素添加光ファイバ増幅器を多段に接続することで長距離の光伝送を行うとともに、各中継区間の下流側より上流側に実効断面積が大きい光ファイバを用いることで、非線形光学現象に因る信号光の波形劣化の抑制を図っている。

【0003】

また、光伝送路として一般に用いられることが多いシングルモード光ファイバは、波長1.3 μm付近で波長分散の絶対値が小さく信号光の波形劣化が生じ難いことから、信号光の波長帯域として波長1.3 μm帯が用いられる場合もある。また、光伝送システムにおいて用いられる光部品も波長1.3 μm帯に対応したものも多い。例えば、文献2「C. R. Giles, et al., "Single-Fiber Access PON using Downstream 1550 nm WDM Routing and Upstream 1300 nm Power Combining through a Fiber-Grating Router", ECOC'96, WeB.1.4, pp.3.27-3.30 (1996)」に記載された光伝送システムは、光伝送路の第1方向に波長1.55 μm帯の多波長の信号光を伝送するとともに、これとは反対の第2方向に波長1.3 μm帯の信号光を伝送して、双方向の光伝送を行うものである。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

上記文献1に記載された光伝送システムでは、波長1.55 μm帯の信号光を用いて一方方向の光伝送を行うことができる。しかし、逆方向に光伝送を行おうとする場合には、光伝送路のうち光増幅器の出力端に近い部分では、信号光パワーが大きいうえに、光ファイバの実効断面積が小さいことから、非線型光学現象が発生し易く、信号光の波形が劣化し易い。したがって、この光伝送システムでは、双方向とも波長1.55 μm帯の信号光を用いて長距離光伝送を行うことが困難である。

【0005】

また、上記文献2に記載されたような異なる波長帯域を用いて双方向の光伝送を行う光伝送システムでは、Er元素添加光ファイバ増幅器を設けることにより、波長1.55 μm帯または波長1.58 μm帯の信号光については光増幅することができるものの、他の波長帯域（例えば波長1.3 μm帯や波長1.45 μm帯）の信号光については光増幅することができない。したがって、この光伝送システムでは、使用可能な波長帯域が限られ、また、長距離光伝送を行うことが困難である。

【0006】

本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、使用可能な波長帯域が広く且つ双方向に長距離光伝送が可能な光伝送システムおよび光伝送方法を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る光伝送システムは、第1波長帯域の信号光を光伝送路の第1方向に伝送するとともに、第1波長帯域と重なる帯域を有しない第2波長帯域の信号光を光伝送路の第2方向に伝送して、双方向の光伝送を行う光伝送システムであって、第1方向に伝送される第1波長帯域の信号光を光増幅する集中光増幅器と、第2方向に伝送される第2波長帯域の信号光を光増幅する分布光増幅器とを備えることを特徴とする。

【0008】

本発明に係る光伝送方法は、第1波長帯域の信号光を光伝送路の第1方向に伝送するとともに、第1波長帯域と重なる帯域を有しない第2波長帯域の信号光を光伝送路の第2方向に伝送して、双方向の光伝送を行う光伝送方法であって、第1方向に伝送される第1波長帯域の信号光を集中光増幅器により光増幅し、第2方向に伝送される第2波長帯域の信号光を分布光増幅器により光増幅することを特徴とする。

【0009】

10

20

30

40

50

本発明に係る光伝送システムまたは光伝送方法によれば、第1波長帯域（例えば波長1.55 μm帯または波長1.58 μm帯）の信号光は、光伝送路を第1方向に伝送されるとともに、集中光増幅器（例えばEr元素添加光ファイバ増幅器）により光増幅される。一方、第2波長帯域（例えば波長1.3 μm帯または波長1.45 μm帯）の信号光は、光伝送路を第2方向に伝送されるとともに、分布光増幅器（例えばラマン増幅器）により光増幅される。ここで、第1波長帯域と第2波長帯域とは互いに重なる帯域を有しない。また、第1方向と第2方向とは互いに異なる方向である。したがって、使用可能な波長帯域が広く且つ双方向に長距離光伝送が可能である。なお、第1波長帯域および第2波長帯域の双方または何れか一方において多波長の信号光を多重化して光伝送するのが好適であり、この場合には大容量通信を行うことができる。

10

## 【0010】

また、本発明に係る光伝送システムまたは光伝送方法では、分布光増幅器における分布光増幅用励起光は光伝送路の第1方向に伝搬することを特徴とする。この場合には、分布光増幅器により光増幅される第2波長帯域の信号光の伝送方向（第2方向）と、分布光増幅用励起光の伝送方向（第1方向）とは、互いに逆の方向となり、これにより、第2波長帯域の信号光と雑音光との間のビートや雑音光同士のビートなどが抑制されるので、信号光のS/N比の劣化を回避することができる。

## 【0011】

また、本発明に係る光伝送システムまたは光伝送方法では、第1波長帯域が分布光増幅器における分布光増幅用励起光の波長と第2波長帯域との間に配置されないことを特徴とする。この場合には、分布光増幅器により、第1波長帯域の信号光が殆ど光増幅されることがなく、第2波長帯域の信号光のみが光増幅されるので、想定外の信号光の波形劣化が回避される。特に、第2波長帯域のうちの最長波長での分布光増幅器の光増幅利得と、この最長波長より長波長側にある第1波長帯域のうちの最短波長での分布光増幅器の光増幅利得とは、差が5 dB以上であるのが好適である。このようにすることで、想定外の信号光の波形劣化が十分に回避される。

20

## 【0012】

また、本発明に係る光伝送システムまたは光伝送方法では、光伝送路は、分布光増幅用励起光が伝搬開始する地点側より伝搬終了する地点側の方が、分布光増幅の利得係数が大きくなることを特徴とし、或いは、実効断面積が小さくなることを特徴とする。これら何れの場合にも、第1方向に伝送されるとともに集中光増幅器により光増幅される第1波長帯域の信号光については、集中光増幅器の直ぐ下流側の信号光パワーが大きいところでは、光伝送路の実効断面積が比較的大きいので、非線形光学現象に因る信号光の波形劣化の抑制を図ることができる。一方、第2方向に伝送されるとともに分布光増幅器により光増幅される第2波長帯域の信号光については、分布光増幅用励起光が第1方向に伝送されることを考慮して、分布光増幅用励起光のパワーが小さいところで、光伝送路の分布光増幅の利得係数が大きく又は実効断面積が小さいので、光伝送路における分布光増幅の効率を比較的大きくすることができ、光伝送路の全体における第2波長帯域の信号光のパワー変動を抑えつつ、分布光増幅用励起光を効率よく利用することができる。このような光伝送路は、分布光増幅器における分布光増幅特性が異なる2種以上の光ファイバが接続されたものであるのが好適であり、この場合には、各々の光ファイバを長手方向に均一のものとして行うことができることから、安価かつ容易に光伝送路を構成することができる。

30

40

## 【0013】

## 【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

## 【0014】

先ず、本発明に係る光伝送システムおよび光伝送方法の実施形態について図1～図5を用いて説明する。図1は、本実施形態に係る光伝送システム1の構成図である。この図に示した光伝送システム1は、M個の送信器11<sub>1</sub>～11<sub>M</sub>、N個の送信器12<sub>1</sub>～12<sub>N</sub>、M個

50

の受信器  $2\ 1_1 \sim 2\ 1_M$ 、 $N$ 個の受信器  $2\ 2_1 \sim 2\ 2_N$ 、合波器  $3\ 1$ 、 $3\ 2$ 、分波器  $4\ 1$ 、 $4\ 2$ 、光カプラ  $5\ 1 \sim 5\ 3$ 、集中光増幅器  $6\ 0$ 、分布光増幅用励起光源  $7\ 0$ 、中継器  $8\ 1$ 、 $8\ 2$ 、光伝送路  $9\ 1 \sim 9\ 3$  を備えている。

【0015】

各送信器  $1\ 1_m$  は、第1波長帯域に含まれる波長  $\lambda_{1m}$  の信号光を送出するものである ( $m$  は1以上 $M$ 以下の任意の整数。以下同様。)。合波器  $3\ 1$  は、各送信器  $1\ 1_m$  から送出された波長  $\lambda_{1m}$  の信号光を合波して多重化し、この多重化した第1波長帯域の信号光を集中光増幅器  $6\ 0$  へ出力する。集中光増幅器  $6\ 0$  は、合波器  $3\ 1$  から出力された第1波長帯域の信号光を一括光増幅して光カプラ  $5\ 1$  へ出力する。光カプラ  $5\ 1$  は、集中光増幅器  $6\ 0$  から出力された第1波長帯域の信号光を光伝送路  $9\ 1$  へ出力する。そして、光カプラ  $5\ 1$  から出力された第1波長帯域の信号光は、光伝送路  $9\ 1$ 、中継器  $8\ 1$ 、光伝送路  $9\ 2$ 、中継器  $8\ 2$  および光伝送路  $9\ 3$  を順に経て光カプラ  $5\ 2$  に到達する。光カプラ  $5\ 2$  は、光伝送路  $9\ 3$  を伝送してきて到達した第1波長帯域の信号光を分波器  $4\ 1$  へ出力する。分波器  $4\ 1$  は、光カプラ  $5\ 2$  から出力された第1波長帯域の信号光を分波して、波長  $\lambda_{1m}$  の信号光を受信器  $2\ 1_m$  へ出力する。各受信器  $2\ 1_m$  は、分波器  $4\ 1$  から出力された波長  $\lambda_{1m}$  の信号光を受信する。

10

【0016】

各送信器  $1\ 2_n$  は、第2波長帯域に含まれる波長  $\lambda_{2n}$  の信号光を送出するものである ( $n$  は1以上 $N$ 以下の任意の整数。以下同様。)。合波器  $3\ 2$  は、各送信器  $1\ 2_n$  から送出された波長  $\lambda_{2n}$  の信号光を合波して多重化し、この多重化した第2波長帯域の信号光を光カプラ  $5\ 2$  へ出力する。光カプラ  $5\ 2$  は、合波器  $3\ 2$  から出力された第2波長帯域の信号光を光伝送路  $9\ 3$  へ出力する。そして、光カプラ  $5\ 2$  から出力された第2波長帯域の信号光は、光伝送路  $9\ 3$ 、中継器  $8\ 2$ 、光伝送路  $9\ 2$ 、中継器  $8\ 1$  および光伝送路  $9\ 1$  を順に経て光カプラ  $5\ 1$  に到達する。光カプラ  $5\ 1$  は、光伝送路  $9\ 1$  を伝送してきて到達した第2波長帯域の信号光を光カプラ  $5\ 3$  へ出力する。光カプラ  $5\ 3$  は、光カプラ  $5\ 1$  から出力された第2波長帯域の信号光を分波器  $4\ 2$  へ出力する。分波器  $4\ 2$  は、光カプラ  $5\ 3$  から出力された第2波長帯域の信号光を分波して、波長  $\lambda_{2n}$  の信号光を受信器  $2\ 2_n$  へ出力する。各受信器  $2\ 2_n$  は、分波器  $4\ 2$  から出力された波長  $\lambda_{2n}$  の信号光を受信する。

20

【0017】

分布光増幅用励起光源  $7\ 0$  は、波長  $\lambda_p$  の分布光増幅用励起光を光カプラ  $5\ 3$  へ出力する。光カプラ  $5\ 3$  は、この分布光増幅用励起光を光カプラ  $5\ 1$  へ出力する。さらに、光カプラ  $5\ 1$  は、この分布光増幅用励起光を光伝送路  $9\ 1$  へ出力する。また、後述するように、中継器  $8\ 1$ 、 $8\ 2$  それぞれは、第1波長帯域の信号光を増幅する集中光増幅器と、波長  $\lambda_p$  の分布光増幅用励起光を出力する分布光増幅用励起光源とを有する。

30

【0018】

第1波長帯域に含まれる波長  $\lambda_{11} \sim \lambda_{1M}$  の各信号光は、光伝送路  $9\ 1 \sim 9\ 3$  の第1方向 (図1で右に向かう方向) に伝送され、集中光増幅器  $6\ 0$  および中継器  $8\ 1$ 、 $8\ 2$  に含まれる集中光増幅器それぞれにより集中光増幅される。例えば、第1波長帯域は、波長  $1.55\ \mu\text{m}$  帯または波長  $1.58\ \mu\text{m}$  帯であり、各集中光増幅器は、希土類元素が光導波領域に添加された光ファイバを光増幅媒体として用いる希土類元素添加光ファイバ増幅器であり、好適にはEr元素添加光ファイバ増幅器である。

40

【0019】

第2波長帯域に含まれる波長  $\lambda_{21} \sim \lambda_{2N}$  の各信号光は、光伝送路  $9\ 1 \sim 9\ 3$  の第2方向 (図1で左に向かう方向) に伝送されるとともに、分布光増幅用励起光源  $7\ 0$  および中継器  $8\ 1$ 、 $8\ 2$  に含まれる分布光増幅用励起光源それぞれから出力された分布光増幅用励起光が供給された光伝送路  $9\ 1 \sim 9\ 3$  において分布光増幅される。すなわち、これらの各要素は第2波長帯域の信号光に対して分布光増幅器 (ラマン増幅器または Brillouin 増幅器) を構成している。例えば、第2波長帯域は、波長  $1.3\ \mu\text{m}$  帯または波長  $1.45\ \mu\text{m}$  帯である。第2波長帯域が波長  $1.3\ \mu\text{m}$  帯であるときには、分布光増幅用励起光の波長  $\lambda_p$  は  $1.2\ \mu\text{m}$  程度であり、第2波長帯域が波長  $1.45\ \mu\text{m}$  帯であるときには、分布光

50

増幅用励起光の波長  $\rho$  は  $1.35 \mu\text{m}$  程度である。

【0020】

図2は、本実施形態に係る光伝送システムにおける中継器の1構成例を説明する図である。この図に示した中継器100は、図1に示した光伝送システム1の中継器81, 82の何れとしても好適に用いられる。この中継器100は、光カプラ151~153、集中光増幅器160および分布光増幅用励起光源170を備える。光カプラ151は、第1入出力端100aに到達した第1波長帯域の信号光を集中光増幅器160へ出力するとともに、集中光増幅器160を経ることなく光カプラ152から到達した第2波長帯域の信号光を第1入出力端100aへ出力する。集中光増幅器160は、光カプラ151から到達した第1波長帯域の信号光を光増幅して光カプラ152へ出力する。光カプラ152は、集中光増幅器160から到達した第1波長帯域の信号光を光カプラ153へ出力するとともに、光カプラ153から到達した第2波長帯域の信号光を光カプラ151へ出力する。分布光増幅用励起光源170は、波長  $\rho$  の分布光増幅用励起光を光カプラ153へ出力する。光カプラ153は、光カプラ152から到達した第1波長帯域の信号光を第2入出力端100bへ出力し、分布光増幅用励起光源170から到達した波長  $\rho$  の分布光増幅用励起光をも第2入出力端100bへ出力し、また、第2入出力端100bから到達した第2波長帯域の信号光を光カプラ152へ出力する。

10

【0021】

この中継器100では、光伝送路を経て第1入出力端100aに到達した波長  $\lambda_{11} \sim \lambda_{1M}$  の第1波長帯域の信号光は、光カプラ151を経て、集中光増幅器160により光増幅され、光カプラ152および153を順に経て、第2入出力端100bより光伝送路へ出力される。光伝送路を経て第2入出力端100bに到達した波長  $\lambda_{21} \sim \lambda_{2N}$  の第2波長帯域の信号光は、集中光増幅器160を経ることなく、光カプラ153, 152および151を順に経て、第1入出力端100aより光伝送路へ出力される。また、分布光増幅用励起光源170から出力される波長  $\rho$  の分布光増幅用励起光は、光カプラ153を経て、第2入出力端100bより光伝送路へ出力される。

20

【0022】

図3は、本実施形態に係る光伝送システムにおける中継器の他の構成例を説明する図である。この図に示した中継器200も、図1に示した光伝送システム1の中継器81, 82の何れとしても好適に用いられる。この中継器200は、光サーキュレータ251, 252、光カプラ253、光フィルタ254、集中光増幅器260および分布光増幅用励起光源270を備える。光サーキュレータ251は、第1入出力端200aに到達した第1波長帯域の信号光を集中光増幅器260へ出力するとともに、光カプラ253から到達した第2波長帯域の信号光を第1入出力端200aへ出力する。集中光増幅器260は、光サーキュレータ251から到達した第1波長帯域の信号光を光増幅して光フィルタ254へ出力する。光フィルタ254は、第1波長帯域の信号光を透過させるが、分布光増幅用励起光源270から出力される波長  $\rho$  の分布光増幅用励起光を反射させる。光サーキュレータ252は、光フィルタ254から到達した光を第2入出力端200bへ出力し、第2入出力端200bから到達した光を光カプラ253へ出力し、また、光カプラ253から到達した光を光フィルタ254へ出力する。分布光増幅用励起光源270は、波長  $\rho$  の分布光増幅用励起光を光カプラ253へ出力する。光カプラ253は、光サーキュレータ252から到達した第2波長帯域の信号光を光サーキュレータ251へ出力し、分布光増幅用励起光源270から到達した波長  $\rho$  の分布光増幅用励起光を光サーキュレータ252へ出力する。

30

40

【0023】

この中継器200では、光伝送路を経て第1入出力端200aに到達した波長  $\lambda_{11} \sim \lambda_{1M}$  の第1波長帯域の信号光は、光サーキュレータ251を経て、集中光増幅器260により光増幅され、光フィルタ254を透過し、光サーキュレータ252を経て、第2入出力端200bより光伝送路へ出力される。光伝送路を経て第2入出力端200bに到達した波長  $\lambda_{21} \sim \lambda_{2N}$  の第2波長帯域の信号光は、集中光増幅器260を経ることなく、光サーキ

50

キュレータ 252、光カプラ 253 および光サーキュレータ 251 を順に経て、第 1 入出力端 200a より光伝送路へ出力される。また、分布光増幅用励起光源 270 から出力される波長  $\rho$  の分布光増幅用励起光は、光カプラ 253 および光サーキュレータ 252 を順に経て、光フィルタ 254 で反射され、再び光サーキュレータ 252 を経て、第 2 入出力端 200b より光伝送路へ出力される。

【0024】

図 4 は、本実施形態に係る光伝送システムおよび光伝送方法における第 1 波長帯域の信号光、第 2 波長帯域の信号光および分布光増幅用励起光それぞれの波長配置の 1 例を説明する図である。この図に示すように、第 1 波長帯域と第 2 波長帯域とは互いに重なる帯域を有しない。また、第 1 波長帯域は、分布光増幅用励起光の波長と第 2 波長帯域との間に配置されることなく、第 2 波長帯域より長波長側にあるのが好適であり、分布光増幅用励起光の波長  $\rho$  より短波長側にあってもよい。

10

【0025】

例えば、集中光増幅器 60、160、260 が Er 元素添加光ファイバ増幅器であり、分布光増幅用励起光源 70、170、270 を含む分布光増幅器がラマン増幅器であり、集中光増幅器により光増幅される第 1 波長帯域の各信号光の波長  $\lambda_{11} \sim \lambda_{1M}$  は 1540 nm ~ 1560 nm 程度であり、分布光増幅器により光増幅される第 2 波長帯域の各信号光の波長  $\lambda_{21} \sim \lambda_{2N}$  は 1440 nm ~ 1460 nm 程度であり、また、分布光増幅用励起光の波長  $\rho$  は、第 2 波長帯域の信号光の波長より 100 nm 程度短い 1350 nm 程度である。

20

【0026】

分布光増幅用励起光の波長  $\rho$  が 1350 nm であれば、ラマン増幅の利得スペクトルは、ピーク波長が 1450 nm 付近であり、第 2 波長帯域の各信号光の波長 1440 nm ~ 1460 nm の範囲で十分な利得を有し、一方、第 1 波長帯域の各信号光の波長 1540 nm ~ 1560 nm の範囲では利得を有しない。したがって、このような波長配置とすることで、分布光増幅器により、第 1 波長帯域の信号光が殆ど光増幅されることなく、第 2 波長帯域の信号光のみが光増幅される。

【0027】

図 5 は、本実施形態に係る光伝送システムおよび光伝送方法における第 1 波長帯域の信号光、第 2 波長帯域の信号光および分布光増幅用励起光それぞれの波長配置の他の例を説明する図である。この図に示した波長配置は、図 4 に示したものと比較して、分布光増幅用励起光が多波長となっている点で先ず異なる。この場合も、第 1 波長帯域と第 2 波長帯域とは互いに重なる帯域を有しない。また、第 1 波長帯域は、分布光増幅用励起光の波長と第 2 波長帯域との間に配置されることなく、第 2 波長帯域より長波長側にあるのが好適であり、分布光増幅用励起光の波長  $\rho_1 \sim \rho_K$  より短波長側にあってもよい。

30

【0028】

例えば、集中光増幅器 60、160、260 が Er 元素添加光ファイバ増幅器であり、分布光増幅用励起光源 70、170、270 を含む分布光増幅器がラマン増幅器であり、集中光増幅器により光増幅される第 1 波長帯域の各信号光の波長  $\lambda_{11} \sim \lambda_{1M}$  は 1530 nm ~ 1565 nm 程度であり、分布光増幅器により光増幅される第 2 波長帯域の各信号光の波長  $\lambda_{21} \sim \lambda_{2N}$  は 1430 nm ~ 1480 nm 程度であり、また、分布光増幅用励起光の波長  $\rho_1 \sim \rho_K$  は、第 2 波長帯域の信号光の波長より 100 nm 程度短い 1310 nm ~ 1370 nm 程度である。

40

【0029】

分布光増幅用励起光の波長  $\rho_1 \sim \rho_K$  が 1310 nm ~ 1370 nm であって各波長のパワーが適切に設定されることにより、ラマン増幅の利得スペクトルは、第 2 波長帯域の各信号光の波長 1430 nm ~ 1480 nm の範囲で偏差が小さい十分な利得を有し、一方、第 1 波長帯域の各信号光の波長 1530 nm ~ 1565 nm の範囲では利得を有しない。したがって、このような波長配置とすることで、分布光増幅器により、第 1 波長帯域の信号光が殆ど光増幅されることなく、第 2 波長帯域の信号光のみが均一に光増幅される。

50

## 【 0 0 3 0 】

以上のように、本実施形態に係る光伝送システム 1 および光伝送方法によれば、第 1 波長帯域の波長  $\lambda_{11} \sim \lambda_{1M}$  の信号光は、光伝送路 9 1 ~ 9 3 を第 1 方向に伝送されるとともに、集中光増幅器 6 0 , 1 6 0 , 2 6 0 により光増幅される。一方、第 2 波長帯域の波長  $\lambda_{21} \sim \lambda_{2N}$  の信号光は、光伝送路 9 1 ~ 9 3 を第 2 方向に伝送されるとともに、分布光増幅用励起光源 7 0 , 1 7 0 , 2 7 0 を含む分布光増幅器により光増幅される。したがって、使用可能な波長帯域が広く且つ双方向に長距離光伝送が可能である。

## 【 0 0 3 1 】

また、分布光増幅器における分布光増幅用励起光は、光伝送路 9 1 ~ 9 3 の第 1 方向に伝搬するのが好適である。すなわち、分布光増幅器により光増幅される第 2 波長帯域の信号光の伝送方向（第 2 方向）と、分布光増幅用励起光の伝送方向（第 1 方向）とは、互いに逆の方向にするのが好適である。このようにすることにより、第 2 波長帯域の信号光と雑音光との間のビートや雑音光同士のビートなどが抑制されるので、信号光の S / N 比の劣化を回避することができる。

## 【 0 0 3 2 】

また、第 1 波長帯域の波長  $\lambda_{11} \sim \lambda_{1M}$  は、分布光増幅器における分布光増幅用励起光の波長  $\lambda_p$  と第 2 波長帯域の波長  $\lambda_{21} \sim \lambda_{2N}$  との間に配置されないのが好適である。このようにすることで、分布光増幅器により、第 1 波長帯域の信号光が殆ど光増幅されることなく、第 2 波長帯域の信号光のみが光増幅されるので、想定外の信号光の波形劣化が回避される。さらに、第 2 波長帯域のうちの最長波長での分布光増幅器の光増幅利得と、この最長波長より長波長側にある第 1 波長帯域のうちの最短波長での分布光増幅器の光増幅利得との差を 5 d B 以上とすることにより、想定外の信号光の波形劣化が十分に回避される。

## 【 0 0 3 3 】

次に、本実施形態に係る光伝送システム 1 および光伝送方法の具体的な実施例について説明する。第 1 実施例の光伝送システムおよび光伝送方法は、 $M = N = 2$  として、 $\lambda_{11} = 1535 \text{ nm}$  とし、 $\lambda_{12} = 1550 \text{ nm}$  とし、 $\lambda_{21} = 1300 \text{ nm}$  とし、 $\lambda_{22} = 1310 \text{ nm}$  とし、 $\lambda_p = 1210 \text{ nm}$  とし、集中光増幅器 6 0 を E r 元素添加光ファイバ増幅器とした。また、光カプラ 5 1 と光カプラ 5 2 との間に中継器を設けることなく、光カプラ 5 1 と光カプラ 5 2 との間を長さ 150 km のシングルモード光ファイバで接続した。このような構成で各信号光をビットレート 2 . 5 G b / s で伝送したところ、各信号光で受信エラーが生じないことが確認された。一方、分布光増幅用励起光源 7 0 より分布光増幅用励起光を供給しなかった場合には、第 2 波長帯域の波長  $\lambda_{21}$  および  $\lambda_{22}$  それぞれの信号光については受信エラーが多発した。

## 【 0 0 3 4 】

第 2 実施例の光伝送システムおよび光伝送方法は、 $M = 3$  として、 $\lambda_{11} = 1580 \text{ nm}$  とし、 $\lambda_{12} = 1581 \text{ nm}$  とし、 $\lambda_{13} = 1582 \text{ nm}$  とし、集中光増幅器 6 0 を E r 元素添加光ファイバ増幅器とした。また、 $N = 1$  として、第 2 波長帯域の信号光の波長  $\lambda_{21}$  および分布光増幅用励起光の波長  $\lambda_p$  それぞれを可変とし、第 2 波長帯域の信号光の波長  $\lambda_{21}$  をラマン増幅の利得スペクトルのピーク波長とし、第 2 波長帯域の信号光の波長  $\lambda_{21}$  におけるラマン増幅の利得が 10 d B となるようにした。また、光カプラ 5 1 と光カプラ 5 2 との間に中継器を設けることなく、光カプラ 5 1 と光カプラ 5 2 との間を長さ 80 km の分散シフト光ファイバ（波長 1550 nm 付近で波長分散が零になる光ファイバ）で接続した。

## 【 0 0 3 5 】

このような構成で、第 2 波長帯域の信号光の波長  $\lambda_{21}$  および分布光増幅用励起光の波長  $\lambda_p$  それぞれを変更して、各信号光を伝送した。図 6 は、第 2 実施例の光伝送システムの信号光伝送特性を示すグラフである。同図 ( a ) は、各信号光および分布光増幅用励起光それぞれの波長配置を示す。同図 ( b ) は、第 2 波長帯域の信号光の波長  $\lambda_{21}$  とラマンゲイン差（波長  $\lambda_{21}$  および波長  $\lambda_{11}$  それぞれでのラマンゲインの差）との関係を示す。また、同図 ( c ) は、第 2 波長帯域の信号光の波長  $\lambda_{21}$  と第 1 波長帯域の波長  $\lambda_{11}$  の信号光のバ

10

20

30

40

50



ワーペナルティとの関係を示す。

【0036】

このグラフから判るように、第1波長帯域の波長 $\lambda_{11}$ の信号光のパワーペナルティを1 dB以下とするためには、第2波長帯域の信号光の波長 $\lambda_{21}$ を1560 nm以下として、第2波長帯域の波長 $\lambda_{21}$ でのラマンゲインより第1波長帯域の波長 $\lambda_{11}$ でのラマンゲインを5 dB以上小さくする必要がある。第2波長帯域の信号光が多波長である場合を考えると、第2波長帯域のうちの最長波長での分布光増幅器の光増幅利得より、この最長波長より長波長側にある第1波長帯域のうちの最短波長での分布光増幅器の光増幅利得を5 dB以上小さくする必要がある。このようにすることで、第1波長帯域の信号光の伝送特性が確保される。

10

【0037】

なお、第1波長帯域の波長 $\lambda_{11}$ でのラマンゲインが大きくなると、この波長 $\lambda_{11}$ の信号光のパワーペナルティが大きくなる原因として、非線形光学現象の1種である四光波混合に因り信号光の波形劣化が生じたこと、また、波長 $\lambda_{11}$ の信号光の2重反射光が光増幅されて生じたノイズに因り信号光の波形劣化が生じたことが考えられる。

【0038】

第3実施例の光伝送システムおよび光伝送方法は、 $M = 16$ として、第1波長帯域の信号光の波長 $\lambda_{11} \sim \lambda_{1M}$ を1580 nm ~ 1593 nmの範囲で100 GHz間隔として、第1波長帯域の各信号光をビットレート10 Gb/sで伝送した。 $N = 4$ として、第2波長帯域の信号光の波長 $\lambda_{21} \sim \lambda_{2N}$ を1530 nm ~ 1540 nmの範囲で2.5 nm間隔とした。集中光増幅器60をEr元素添加光ファイバ増幅器とした。分布光増幅用励起光の波長 $\lambda_p$ を1440 nmとした。

20

【0039】

また、図7に示すように、光カプラ51と光カプラ52との間に中継器を設けることなく、光カプラ51と光カプラ52との間をシングルモード光ファイバ94および分散補償光ファイバ95で接続した。分散補償光ファイバ95は、波長 $1.55 \mu\text{m}$ で波長分散が負であって、波長 $1.55 \mu\text{m}$ で波長分散が正であるシングルモード光ファイバ94の波長分散を補償するものである。シングルモード光ファイバ94と分散補償光ファイバ95とを互いに融着接続して、シングルモード光ファイバ94を光カプラ51の側に設け、分散補償光ファイバ95を光カプラ52の側に設けた。

30

【0040】

シングルモード光ファイバ94は、長さが5.5 kmであり、ラマンゲイン係数 $g_{R1}$ が $2.4 \times 10^{-8} / \text{W}$ であり、実効断面積 $A_{\text{eff}1}$ が $80 \mu\text{m}^2$ であった。分散補償光ファイバ95は、長さが2.5 kmであり、ラマンゲイン係数 $g_{R2}$ が $2.0 \times 10^{-7} / \text{W}$ であり、実効断面積 $A_{\text{eff}2}$ が $20 \mu\text{m}^2$ であった。すなわち、光カプラ51と光カプラ52との間の光伝送路を、分布光増幅器における分布光増幅特性が異なる2種の光ファイバが接続されたものとする。分布光増幅器における分布光増幅用励起光が供給される地点より第1方向へ遠くなるほど、分布光増幅の利得係数が大きくなるようにし、また、実効断面積が小さくなるようにした。

【0041】

このような構成で各信号光を伝送したところ、第1波長帯域の信号光および第2波長帯域の信号光の何れも支障なく光伝送を行うことができた。しかし、光伝送路への分布光増幅用励起光の供給を行わなかった場合には、第1波長帯域の信号光の光伝送には何ら影響が現れなかったが、第2波長帯域の信号光の光伝送では受信エラーが多発した。また、第2波長帯域の信号光に対して集中光増幅器を配置しても受信特性は改善しなかった。

40

【0042】

第1方向に伝送されるとともに集中光増幅器により光増幅される第1波長帯域の信号光については、集中光増幅器の直ぐ下流側の信号光パワーが大きいところに、実効断面積が比較的大きいシングルモード光ファイバ94を用いることで、非線形光学現象に因る信号光の波形劣化の抑制を図ることができる。一方、第2方向に伝送されるとともに分布光増幅

50

器により光増幅される第2波長帯域の信号光については、分布光増幅用励起光が第1方向に伝送されることを考慮して、分布光増幅用励起光のパワーが小さいところに、分布光増幅の利得係数が大きく実効断面積が小さい分散補償光ファイバ95を用いた。このようにすることで、分散補償光ファイバ95における分布光増幅の効率を比較的大きくすることができるので、光カプラ51と光カプラ52との間の光伝送路の全体における第2波長帯域の信号光のパワー変動を抑えつつ、分布光増幅用励起光を効率よく利用することができる。

#### 【0043】

第4実施例の光伝送システムおよび光伝送方法は、上記の第3実施例のシングルモード光ファイバ94および分散補償光ファイバ95に替えて、光カプラ51と光カプラ52との間の光伝送路として光ファイバ96を設けたものである。図8に示すように、光カプラ52に近いほど、光ファイバ96は、ラマンゲイン係数が大きく、実効断面積が小さい。すなわち、光カプラ51と光カプラ52との間の光伝送路を、分布光増幅器における分布光増幅特性が長手方向に変化するよう、分布光増幅器における分布光増幅用励起光が供給される地点より第1方向へ遠くなるほど、分布光増幅の利得係数が大きくなるようにし、また、実効断面積が小さくなるようにした。具体的には、光ファイバ96の分布光増幅の利得係数を、光カプラ51に接続される一端で $2.1 \times 10^{-8} / W$ とし、光カプラ52に接続される他端で $5.7 \times 10^{-8} / W$ とした。また、光ファイバ96の実効断面積を、光カプラ51に接続される一端で $55 \mu m^2$ とし、光カプラ52に接続される他端で $45 \mu m^2$ とした。このような光ファイバ96は、コア領域へのGe添加量や屈折率プロファイルを長手方向に変化させることで実現することができる。このような構成で各信号光を伝送したところ、第3実施例の場合と同様の結果が得られた。

#### 【0044】

なお、第3実施例のものと第4実施例のものとを比較すると、第3実施例では、異なる2種以上の光ファイバを接続したものであって、各々の光ファイバを長手方向に均一のものとすることができることから、安価かつ容易に光伝送路を構成することができる。一方、第4実施例では、分布光増幅器における分布光増幅特性が長手方向に変化する光ファイバを用いることから、分布光増幅特性の長手方向分布を適切に調整することで、所望の特性を得ることができる。

#### 【0045】

##### 【発明の効果】

以上、詳細に説明したとおり、本発明によれば、第1波長帯域の信号光は、光伝送路を第1方向に伝送されるとともに、集中光増幅器により光増幅される。一方、第2波長帯域の信号光は、光伝送路を第2方向に伝送されるとともに、分布光増幅器により光増幅される。ここで、第1波長帯域と第2波長帯域とは互いに重なる帯域を有しない。また、第1方向と第2方向とは互いに異なる方向である。したがって、使用可能な波長帯域が広く且つ双方向に長距離光伝送が可能である。また、第1波長帯域および第2波長帯域の双方または何れか一方において多波長の信号光を多重化して光伝送するのが好適であり、この場合には大容量通信を行うことができる。

#### 【0046】

また、分布光増幅器における分布光増幅用励起光は光伝送路の第1方向に伝搬するのが好適であり、この場合には、分布光増幅器により光増幅される第2波長帯域の信号光の伝送方向(第2方向)と、分布光増幅用励起光の伝送方向(第1方向)とは、互いに逆の方向となり、これにより、第2波長帯域の信号光と雑音光との間のビートや雑音光同士のビートなどが抑制されるので、信号光のS/N比の劣化を回避することができる。

#### 【0047】

また、第1波長帯域が分布光増幅器における分布光増幅用励起光の波長と第2波長帯域との間に配置されないのが好適であり、この場合には、分布光増幅器により、第1波長帯域の信号光が殆ど光増幅されることなく、第2波長帯域の信号光のみが光増幅されるので、想定外の信号光の波形劣化が回避される。特に、第2波長帯域のうちの最長波長での分布

光増幅器の光増幅利得と、この最長波長より長波長側にある第1波長帯域のうちの最短波長での分布光増幅器の光増幅利得とは、差が5 dB以上であるのが好適であり、このようにすることで、想定外の信号光の波形劣化が十分に回避される。

【0048】

また、光伝送路は、分布光増幅用励起光が伝搬開始する地点側より伝搬終了する地点側の方が、分布光増幅の利得係数が大きくなるのが好適であり、或いは、実効断面積が小さくなるのが好適である。これら何れの場合にも、第1方向に伝送されるとともに集中光増幅器により光増幅される第1波長帯域の信号光については、非線形光学現象に因る信号光の波形劣化の抑制を図ることができる。一方、第2方向に伝送されるとともに分布光増幅器により光増幅される第2波長帯域の信号光については、光伝送路における分布光増幅の効率を比較的大きくすることができ、光伝送路の全体における第2波長帯域の信号光のパワー変動を抑えつつ、分布光増幅用励起光を効率よく利用することができる。このような光伝送路は、分布光増幅器における分布光増幅特性が異なる2種以上の光ファイバが接続されたものであるのが好適であり、この場合には、各々の光ファイバを長手方向に均一のものとするところから、安価かつ容易に光伝送路を構成することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【図1】本実施形態に係る光伝送システムの構成図である。

【図2】本実施形態に係る光伝送システムにおける中継器の1構成例を説明する図である。

。

【図3】本実施形態に係る光伝送システムにおける中継器の他の構成例を説明する図である。

20

【図4】本実施形態に係る光伝送システムおよび光伝送方法における第1波長帯域の信号光、第2波長帯域の信号光および分布光増幅用励起光それぞれの波長配置の1例を説明する図である。

【図5】本実施形態に係る光伝送システムおよび光伝送方法における第1波長帯域の信号光、第2波長帯域の信号光および分布光増幅用励起光それぞれの波長配置の他の例を説明する図である。

【図6】第2実施例の光伝送システムおよび光伝送方法の信号光伝送特性を示すグラフである。

【図7】第3実施例の光伝送システムの構成の一部を示す図である。

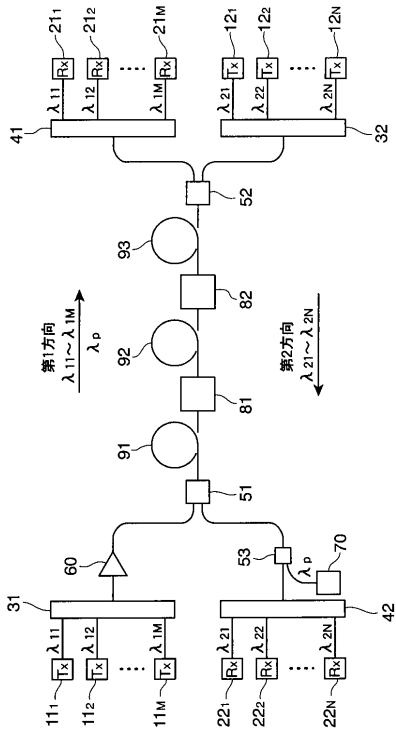
30

【図8】第4実施例の光伝送システムの構成の一部を示す図である。

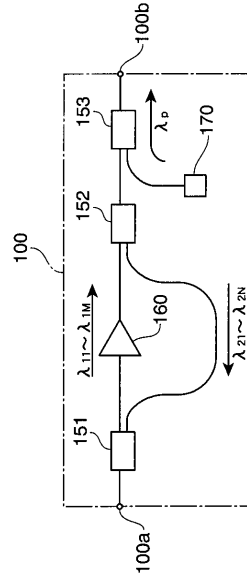
【符号の説明】

1 ... 光伝送システム、 $1\ 1_1 \sim 1\ 1_M$  ... 送信器、 $1\ 2_1 \sim 1\ 2_N$  ... 送信器、 $2\ 1_1 \sim 2\ 1_M$  ... 受信器、 $2\ 2_1 \sim 2\ 2_N$  ... 受信器、3 1, 3 2 ... 合波器、4 1, 4 2 ... 分波器、5 1 ~ 5 3 ... 光カプラ、6 0 ... 集中光増幅器、7 0 ... 分布光増幅用励起光源、8 1, 8 2 ... 中継器、9 1 ~ 9 6 ... 光伝送路、1 0 0 ... 中継器、1 5 1 ~ 1 5 3 ... 光カプラ、1 6 0 ... 集中光増幅器、1 7 0 ... 分布光増幅用励起光源、2 0 0 ... 中継器、2 5 1, 2 5 2 ... 光サーキュレータ、2 5 3 ... 光カプラ、2 5 4 ... 光フィルタ、2 6 0 ... 集中光増幅器、2 7 0 ... 分布光増幅用励起光源、

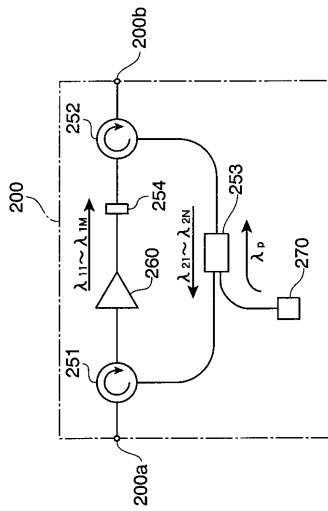
【 図 1 】



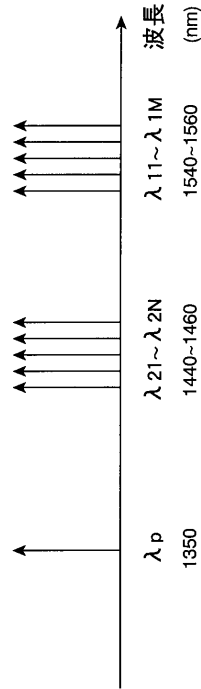
【 図 2 】



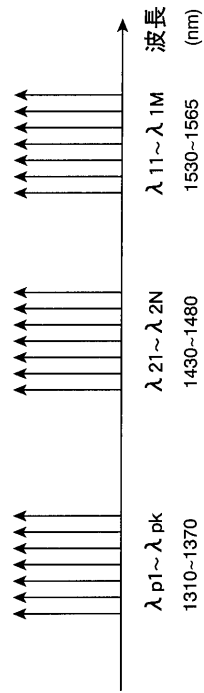
【 図 3 】



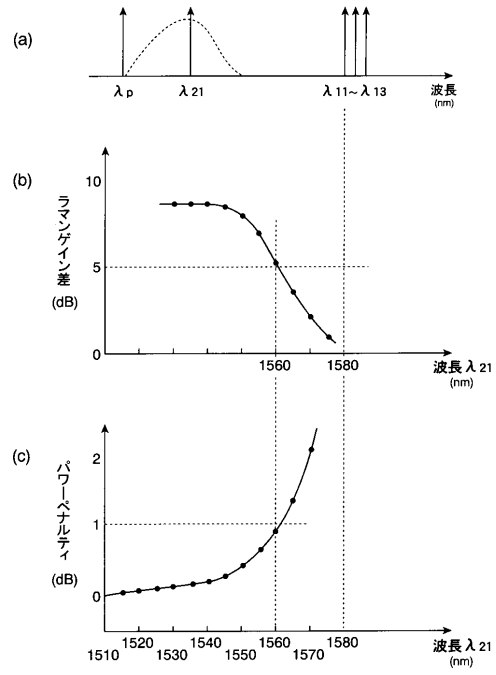
【 図 4 】



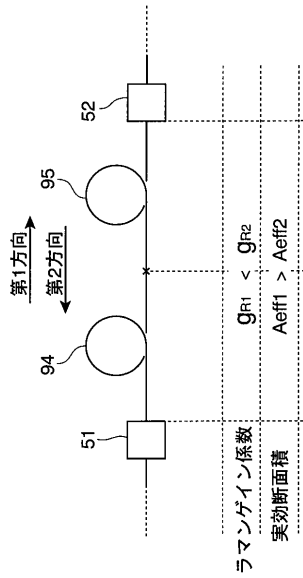
【 図 5 】



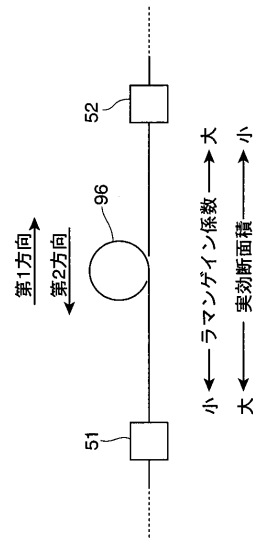
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



---

フロントページの続き

審査官 山口 尊士

- (56)参考文献 特開平03 - 100528 (JP, A)  
特開平06 - 222412 (JP, A)  
特開平11 - 084440 (JP, A)  
特開平11 - 177493 (JP, A)  
特開平11 - 195829 (JP, A)  
特開平11 - 204866 (JP, A)  
特開平11 - 266208 (JP, A)  
特開平11 - 284576 (JP, A)  
特開2000 - 151507 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04B10/00-10/28

H04J14/00-14/08

G02F 1/35

H01S 3/10