(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2017 年 10 月 5 日(05.10.2017)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2017/170008 A1

(51) 国際特許分類:
G02F 1/35 (2006.01) *H04J 14/02* (2006.01)
H04B 10/294 (2013.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2017/011318

(22) 国際出願日: 2017 年 3 月 22 日(22.03.2017)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2016-067731 2016 年 3 月 30 日(30.03.2016) JP

(71) 出願人: 日本電気株式会社(NEC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目７番１号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 中村 康平(NAKAMURA Kohei); 〒1088001 東京都港区芝五丁目７番１号日本電気株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 下坂 直樹(SHIMOSAKA Naoki); 〒1088001 東京都港区芝五丁目７番１号日本電気株式会社内 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

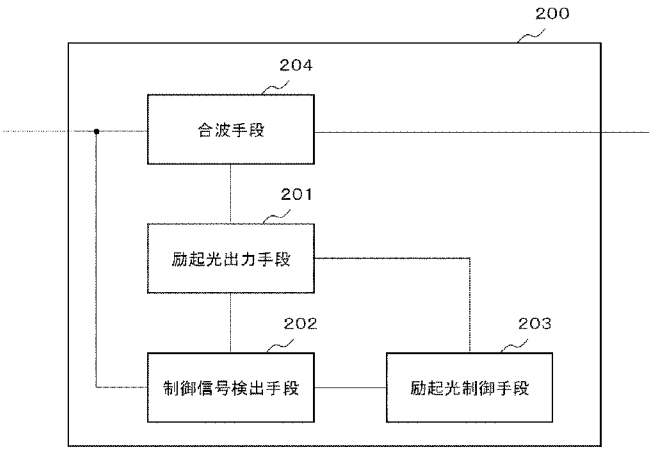
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

(54) **Title**: EXCITATION LIGHT SOURCE APPARATUS AND GAIN EQUALIZING METHOD

(54) 発明の名称 : 励起光源装置および利得等化方法



201 Excitation light outputting means
202 Control signal detection means
203 Excitation light control means
204 Synthetizing means

(57) **Abstract**: [Problem] To provide an excitation light source apparatus capable of assuring excellent optical transmission characteristics even when gain tilting occurs in an optical fiber transmission relay system that transmits WDM signal lights. [Solution] This excitation light source apparatus is provided with: an excitation light outputting means; a control signal detection means; an excitation light control means; and a synthesizing means. The excitation light outputting means outputs an excitation light for Raman amplification. The control signal detection means detects the control signal of the excitation light outputting means from the WDM signal lights transmitted through incoming and outgoing optical fibers. The excitation light outputting means controls the excitation light outputting means on the basis of the control signal. The synthesizing means synthesizes the excitation light with each of the incoming and outgoing WDM signal lights, and outputs the respective synthesized lights to the incoming and outgoing optical fibers.

(57) 要約: ［課題］WDM信号光を伝送する光ファイバ伝送中継システムの利得傾斜発生時においても良好な光伝送特性の確保が可能な励起光源装置を提供する。 ［解決手段］励起光源装置を、励起光出力手段と、制御信号検出手段と、制御信号検出手段と、励起光制御手段と、合波手段を備える構成とする。励起光出力手段は、ラマン増幅用の励起光を出力する。制御信号検出手段は、上り方向および下り方向の光ファイバ中を伝送してくるＷＤＭ信号光から励起光出力手段の制御信号を検出する。励起光出力手段は、制御信号に基づいて励起光出力手段を制御する。合波手段は、励起光を上り方向および下り方向のＷＤＭ信号光にそれぞれ合波して、上り方向の光ファイバおよび下り方向の光ファイバにそれぞれ出力する。

WO 2017/170008 A1

明　細　書

発明の名称 ： 励起光源装置および利得等化方法

技術分野

[0001] 本発明は、波長多重（ＷＤＭ：Wavelength Division Multiplexing）信号光を伝送する光ファイバ伝送中継システムにおいて用いられる励起光源装置、利得等化装置および光中継器に関する。

背景技術

[0002] 近年、長距離に亘る大容量通信を可能とする光通信ネットワークを構築するための技術として、中継区間ごとに設置した光中継器において、複数の波長を多重化して一括して増幅する波長多重（ＷＤＭ：Wavelength Division Multiplexing）伝送技術が採用されている。

[0003] 波長多重信号光（以下、ＷＤＭ信号光と記載する）を伝送する光ファイバ伝送中継システムにおいては、ＷＤＭ信号光の均一かつ良好な伝送品質を維持するために、伝送中のＷＤＭ信号光のレベル管理が必要であり、光中継器で生じる利得偏差を等化することが重要である。このため、特許文献１に記載されているようなラマン光増幅器を導入した利得等化装置を用いて、システムの導入時において、光ファイバ中を伝送するＷＤＭ信号光をモニタリングして、光中継器の出力に利得偏差が発生している場合には、該利得等化装置によって、光中継器で生じた利得偏差を等化し、良好な伝送品質が得られる状態に調整している。また、特許文献２および特許文献３にも同様にラマン光増幅器を用いて利得偏差を等化する技術が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開２００８－５２００１号公報

特許文献2：特開２０１０－１２２５４８号公報

特許文献3：特開２０１０－９７１８５号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] ＷＤＭ信号光を伝送する光ファイバ伝送中継システムは、長期間にわたってシステム運用が行われる。長期間にわたるシステム運用において、特許文献１、特許文献２および特許文献３に記載の技術では、たとえ初期導入時に利得等化を行っていたとしても、光ファイバの修理、光ファイバの経年劣化等による利得偏差の増加が懸念される。そのため、システム運用中の利得傾斜変化に動的に対応可能な利得等化機能の実現が課題となる。

[0006] 本発明は、かかる事情に鑑みてなされたものであり、ＷＤＭ信号光を伝送する光ファイバ伝送中継システムにおいて、光ファイバの経年劣化等による利得傾斜発生時においても良好な光伝送特性を確保することが可能な励起光源装置および利得等化方法を提供することを、その目的としている。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明の励起光源装置は、波長多重したＷＤＭ（Wavelength Division Multiplexing）信号光を伝送する光ファイバ伝送中継システムにおいて光ファイバの中継区間に設置して、ＷＤＭ信号光の利得傾斜が発生した際にラマン増幅用の励起光を出力する装置である。本発明の励起光源装置は、励起光出力手段と、制御信号検出手段と、制御信号検出手段と、励起光制御手段と、合波手段を備えている。励起光出力手段は、ラマン増幅用の励起光を出力する。制御信号検出手段は、上り方向および下り方向の光ファイバ中を伝送してくるＷＤＭ信号光から励起光出力手段の制御信号を検出する。励起光出力手段は、制御信号に基づいて励起光出力手段を制御する。合波手段は、励起光を上り方向および下り方向のＷＤＭ信号光にそれぞれ合波して、上り方向の光ファイバおよび下り方向の光ファイバにそれぞれ出力する。

[0008] 本発明の利得等化方法は、波長多重したＷＤＭ（Wavelength Division Multiplexing）信号光を伝送する光ファイバ伝送中継システムにおいて光ファイバの中継区間に設置して、前記ＷＤＭ信号光の利得傾斜が発生した際の利得等化方法ある。本発明の利得等化方法は、上り方向および下り方向の光ファイバ中を伝送してくるＷＤＭ信号光からラマン増幅用の励起光を出力する

励起光源の制御信号を検出する。本発明の利得等化方法は、記制御信号に基づいて励起光源を制御し、励起光源からラマン増幅用の励起光を出力する。本発明の利得等化方法は、励起光を上り方向および下り方向のＷＤＭ信号光にそれぞれ合波して、上り方向の光ファイバおよび下り方向の光ファイバにそれぞれ出力する。

発明の効果

[0009] 本発明によると、光ファイバの経年劣化等による利得傾斜発生時においても良好な光伝送特性を確保することができる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]本発明の第１の実施形態の励起光源装置の構成を示すブロック構成図である。

[図2]図１に示した励起光源装置を内蔵した利得等化装置を構成要素の一つとして用いて構成した光ファイバ伝送中継システムの一例を示すシステム構成図である。

[図3]光ファイバへの強い励起光の入射によるラマン増幅効果を説明する特性図である。

[図4]ＷＤＭ信号光を伝送する光ファイバに励起光を挿入した場合の効果を説明するための説明図である。

[図5]本発明の第２の実施形態の励起光源装置の構成を示すブロック構成図である。

[図6]図５の励起光源装置におけるラマン増幅効果の原理について説明する特性図である。

[図7]図５の励起光源装置におけるラマン増幅効果の制御例を示す特性図である。

[図8]本発明の第３の実施形態の励起光源装置の構成を示すブロック構成図である。

[図9]本発明の第４の実施形態の励起光源装置の構成を示すブロック構成図である。

[図10]光ファイバ中継伝送システムにおいてラマン増幅用の励起光源が光ファイバ上に挿入される中継区間の一例を示す説明図である。

[図11]光ファイバ中継伝送システムにおいてラマン増幅用の励起光源が光ファイバ上に挿入される中継区間の図１０とは異なる例を示す説明図である。

[図12]光ファイバ上に挿入された励起光源装置を光ファイバ伝送中継システムにおける端局装置から遠隔制御する動作原理を説明する説明図である。

[図13]本発明の第７の実施形態の励起光源装置の構成を示すブロック構成図である。

[図14]本発明の第８の実施形態の励起光源装置の構成を示すブロック構成図である。

[図15]本発明の第９の実施形態の励起光源装置の構成を示すブロック構成図である。

発明を実施するための形態

[0011] 以下、本発明による励起光源装置、利得等化装置および光中継器の好適な実施形態について添付図を参照して説明する。本発明の各実施形態の励起光源装置は、波長多重（ＷＤＭ：Wavelength Division Multiplexing）信号光（以下、ＷＤＭ信号光と記載する）を、光中継器を中継区間ごとに適宜配置した光ファイバ中を伝送する光ファイバ伝送中継システムに導入される。励起光源装置は、例えば、入力ＷＤＭ信号光の利得波長特性の偏差を補償する利得等化機能を有する利得等化装置に内蔵されている。

[0012] また、励起光源装置は、入力ＷＤＭ信号光を増幅中継する機能を有する光中継器に内蔵されていても良い。あるいは、励起光源装置は、利得等化装置や光中継器とは独立した単独の装置として、光ファイバ上の利得等化装置や光中継器等との間に設置されていても良い。また、以下の各図面に付した図面参照符号は、理解を助けるための一例として各要素に便宜上付記したものであり、本発明を図示の態様に限定することを意図するものではないことも言うまでもない。

[0013] （本発明の特徴）

本発明の各実施形態の説明に先立って、本発明の特徴についてその概要をまず説明する。

[0014] 本発明は、光ファイバ伝送中継システムにおける励起光源装置、利得等化装置および光中継器に関するものである。本発明は、システム運用中に発生する波長多重信号光（ＷＤＭ信号光）の光スペクトル傾斜を光ファイバ中のラマン増幅効果を利用して補償することによって、運用開始時に近い良好な伝送品質を長期の運用期間に亘って維持することを主要な特徴としている。

[0015] つまり、本発明の各実施形態の光ファイバ伝送中継システムは、光ファイバ（光伝送路）の中継区間に、ラマン増幅用の励起光源装置、該励起光源装置を内蔵した利得等化装置、または、該励起光源装置を内蔵した光中継器を備えている。光ファイバ伝送中継システムでは、光ファイバの経年劣化や修理等において、光伝送路の損失変動が発生して、ＷＤＭ信号光の利得傾斜が発生し得る。そのような場合に、本発明の光ファイバ伝送中継システムでは、励起光源からの励起光によるラマン増幅効果によって、次段の光中継器に対するＷＤＭ信号光の入力パワーを適切に制御している。本発明は、光ファイバ伝送中継システムにおいて、次段の光中継器に対するＷＤＭ信号光の入力パワーを適切に制御することで、次段以降の光中継器の利得傾斜の発生を抑止し、良好な光伝送特性の確保を可能にすることを主要な特徴としている。

[0016] （第１の実施形態の構成）

本発明に係る第１の実施形態の励起光源装置の構成について、図１を参照しながら、説明する。図１は、本実施形態の励起光源装置の構成を示すブロック構成図である。なお、図１に示す該励起光源装置１０は、利得等化装置１００に内蔵されているものとする。

[0017] 図１に示す励起光源装置１０は、励起光源１と、２個のバンドパスフィルタ（ＢＰＦ：Band Pass Filter）２Ａ，２Ｂと、２個のフォトディテクタ（ＰＤ：Photo Detector）３Ａ，３Ｂと、励起光源制御回路４と、分波器５と、２個のＷＤＭ（Wavelength Division Multiplexing：波長多重）合波

器６Ａ，６Ｂを少なくとも含んで構成される。励起光源装置１０は、光ファイバ中を伝送してくるＷＤＭ信号光（主信号）を増幅するために、ラマン用の励起光を、光ファイバ７Ａと光ファイバ７Ｂにそれぞれ出力する。光ファイバ７Ａは、上り方向（ＵＰ：Up　Stream）のＷＤＭ信号光を伝送する光ファイバである。また、光ファイバ７Ｂは、下り方向（ＤＷ：Down　Stream）のＷＤＭ信号を伝送する光ファイバである。なお、図１において、利得等化装置１００の本来の機能である、入力ＷＤＭ信号光の利得波長特性の偏差を補償する利得等化機能に関する回路部については、従来の技術と同様のものであって構わないので、ここでの記載は省略している。

[0018] 励起光源１は、ラマン増幅用の励起光つまりＷＤＭ信号光（主信号）よりも少し短い波長の励起光を出力する光源である。２個のバンドパスフィルタ２Ａ，２Ｂは、それぞれ、上り方向（ＵＰ）の光ファイバ７Ａ、下り方向（ＤＷ）の光ファイバ７Ｂの中を伝送してくるＷＤＭ信号光から励起光源１制御用の制御信号光を抽出するフィルタである。２個のフォトディテクタ３Ａ，３Ｂは、それぞれ、２個のバンドパスフィルタ２Ａ，２Ｂそれぞれにおいて抽出した制御信号光を検出して電気信号に変換した制御信号を出力する検出器である。

[0019] 励起光源制御回路４は、２個のフォトディテクタ３Ａ，３Ｂそれぞれからの制御信号に基づいて、励起光源１を制御する制御回路である。分波器５は、励起光源１から出力された励起光を、上り方向（ＵＰ）用の励起光と下り方向（ＤＷ）用の励起光との２つの励起光に分波する回路である。２個のＷＤＭ合波器６Ａ，６Ｂは、それぞれ、上り方向（ＵＰ）のＷＤＭ信号光（主信号）と上り方向（ＵＰ）用の励起光、下り方向（ＤＷ）のＷＤＭ信号光（主信号）と下り方向（ＤＷ）用の励起光、のそれぞれを多重化する回路である。

[0020] ここで、ＷＤＭ合波器６Ａは、上り方向（ＵＰ）のＷＤＭ信号光（主信号）と上り方向（ＵＰ）用の励起光とを反対方向になるように合波する回路である。また、ＷＤＭ合波器６Ｂは、下り方向（ＤＷ）のＷＤＭ信号光（主信

号）と下り方向（ＤＷ）用の励起光とを反対方向になるように合波する回路である。つまり、図１に示す回路構成においては、励起光源１からの励起光の波長よりも少し長い波長の信号をラマン増幅するという、ラマン増幅用の励起光をＷＤＭ信号光（主信号）の反対方向に送出する後方励起方式を適用している場合を示している。しかし、後方励起ではなく、ラマン増幅用の励起光をＷＤＭ信号光（主信号）と同一方向に送出する前方励起方式を適用することも可能である。

[0021] ＷＤＭ合波器６Ａから上り方向（ＵＰ）の光ファイバ７Ａに対して、ＷＤＭ信号光（主信号）とは反対方向に励起光が出力されることにより、光ファイバ７Ａ、中のラマン増幅効果により、ＷＤＭ信号光（主信号）が増幅される。また、ＷＤＭ合波器６Ｂから下り方向（ＤＷ）の光ファイバ７Ｂに対して、ＷＤＭ信号光（主信号）とは反対方向に励起光が出力されることにより、光ファイバ７Ｂ中のラマン増幅効果により、ＷＤＭ信号光（主信号）が増幅される。そのようにＷＤＭ信号光（主信号）を増幅することで、図２に示すように、光ファイバ７Ａ、７Ｂを介して、当該励起光源装置１０を内蔵した利得等化装置１００の次段以降に接続されている光中継器の入力パワーを増加させることができる。その結果、上り方向（ＵＰ）、下り方向（ＤＷ）それぞれのＷＤＭ信号光（主信号）の利得傾斜量を調整することができる。

[0022] 図２は、図１に示した励起光源装置１０を内蔵した利得等化装置１００を構成要素の一つとして用いて構成した光ファイバ伝送中継システムの一例を示すシステム構成図である。図２に示す光ファイバ伝送中継システムは、例えば、光海底ケーブルシステムの有中継システムとして運用することも可能である。特に、光海底ケーブルシステムの有中継システムとして運用する場合は、海底中継区間に、ラマン増幅用の励起光源を備えた励起光源装置１０を内蔵した利得等化装置１００が配置される。そのような構成において、陸上の端局装置８Ａ，８Ｂからの遠隔制御により、光海底ケーブルの伝送路上の損失変動に対して、励起光源装置１０を内蔵した利得等化装置１００によるラマン増幅が行われる。そのように励起光源装置１０を内蔵した利得等化

装置１００によるラマン増幅を行うことで、次段の光中継器の入力パワーを適切に制御することが可能になり、次段以降の光中継器の利得傾斜の発生を抑圧することができる。

[0023] 図２のシステム構成図に示すように、端局装置８Ａと端局装置８Ｂとの間を長距離に亘って光伝送する光ファイバ伝送中継システムは、光ファイバ７１，…，７ｉ，７ｊ，…，７ｎの適当な中継区間ごとに光中継器９１，…９ｉ，９ｊ，…，９ｎを多段に配置して構成されている。図１の励起光源装置１０を内蔵した利得等化装置１００は、必要に応じて、１ないし複数配置すれば良く、例えば、図２の例においては、光ファイバ７ｉ，７ｊの間に１個のみ接続している例を示している。

[0024] なお、励起光源装置１０に関しては、本実施形態においては、前述したように、入力ＷＤＭ信号光の利得波長特性の偏差を補償する利得等化装置１００内に設置されている。そのような構成に代えて、励起光源装置１０は、利得波長特性の偏差を動的に補償することが可能な動的利得等化装置（ＡＧＥＱ：Active Gain Equalizer）内に設置されていても良い。あるいは、励起光源装置１０は、入力ＷＤＭ信号光を増幅中継する光中継器内に設置されていても良い。あるいは、励起光源装置１０は、利得等化機能や増幅中継機能とは共存させないで、励起光の出力機能のみを有する独立の励起光出力用として、利得等化装置や光中継器との間の適当な場所に独立に設置されていても良い。

[0025] （第１の実施形態の動作の説明）

次に、図１に示した利得等化装置１００に内蔵の励起光源装置１０の動作の一例について説明する。通常の光ファイバ伝送中継システムにおいては、運用中に、光ファイバの修理や経年劣化によって損失が発生すると、次段の光中継器への入力パワーが低くなる。その結果として、通常の光ファイバ伝送中継システムにおいては、当該光中継器から出力するＷＤＭ（波長多重）信号光の光スペクトラムに傾斜すなわち利得傾斜が生じてしまう。かくのごとき利得傾斜が生じると、伝送中のＷＤＭ信号光（主信号）に光ＳＮＲ（Sig

nal－to－Noise Ratio）の低下や非線形光学効果による波形歪が発生して、光伝送特性に影響を与える。

[0026] しかし、図１に示す励起光源装置１０を内蔵した利得等化装置１００を導入した図２の光ファイバ伝送中継システムでは、ＷＤＭ信号光（主信号）の利得の等化を行うとともに、図１のラマン増幅用の励起光源１を用いて、利得傾斜の補償や調整も行うことができる。

[0027] 光ファイバ伝送中継システムの運用開始時においては、励起光源装置１０の励起光源１は稼動していない。光ファイバ伝送中継システムの運用が進み、光ファイバの経年劣化や光ファイバの修理等により、光ファイバの中継区間（スパン）における損失が増加すると利得傾斜が発生する。利得傾斜が発生するようになったことが検出された時点で、励起光源装置１０の励起光源１を稼働させる制御信号が利得等化装置１００内の励起光源装置１０に向けて送信される。

[0028] 該制御信号を受け取った励起光源装置１０の励起光源制御回路４は、該制御信号に基づいて、励起光源１を制御し、ラマン増幅用の励起光を出力させる。励起光源１からの励起光は、ＷＤＭ合波器６Ａ、６Ｂのそれぞれにおいて、上り方向、下り方向のＷＤＭ信号光（主信号）と多重化され、光ファイバ７Ａ、７Ｂ中においてラマン増幅を発生させる。したがって、光ファイバ７Ａ、７Ｂを介して次段に接続されている光中継器の入力パワーを増加させることにより、利得傾斜量の調整を行うことができる。ここで、ラマン増幅とは、図３に示すように、光ファイバに強い励起光を入射した際に、ラマン散乱に基づく誘導放出が生じて、励起光の波長よりも１００ｎｍ程度長い波長域において増幅効果が得られる現象のことである。

[0029] 図３は、光ファイバへの強い励起光の入射によるラマン増幅効果を説明する特性図である。図３は、横軸に波長、縦軸に光電力量／ラマン利得を示している。図３においてラマン利得スペクトラムとして示すように、励起光よりも約１００ｎｍ程度長い波長域において、ＷＤＭ信号光（主信号）のラマン利得がピークになる。

[0030] 励起光源装置１０による励起光の挿入効果について、図４を参照しながらさらに説明する。図４は、ＷＤＭ信号光を伝送する光ファイバに励起光源装置１０による励起光を挿入した場合の効果を説明するための説明図である。図４は、光ファイバ中の第１、第２、第３の各中継区間の光中継器から出力されるＷＤＭ信号光の波形を模式的に示している。

[0031] 図４の（Ａ）は、光ファイバ伝送中継システムの運用開始直後におけるＷＤＭ信号光の波形状態を示している。運用開始直後においては、光ファイバの利得偏差は発生していない。したがって、第１、第２、第３の各中継区間用の第１光中継器９１、第２光中継器９２、第３光中継器９３それぞれから出力されるＷＤＭ信号光は、いずれにおいても、信号波形Ａ１、Ａ２、Ａ３に示すように、ほぼ均一な利得状態の波形となっている。

[0032] 図４の（Ｂ）は、光ファイバ伝送中継システムの運用が進み、光ファイバの経年劣化や光ファイバの修理等により、光ファイバの第１中継区間における損失（ＬＯＳＳ）が増加してきた状態におけるＷＤＭ信号光の波形状態を示している。第１中継区間用の第１光中継器９１から出力されて第１中継区間を伝送してきたＷＤＭ信号光は、損失（ＬＯＳＳ）の増加の影響により、信号波形Ｂ１ａから信号波形Ｂ１ｂのように、パワーが低下して、次段の第２中継区間用の第２光中継器９２に入力される。

[0033] したがって、第２中継区間用の第２光中継器９２は、損失（ＬＯＳＳ）により入力パワーが不足している分を補償するために、当該第２光中継器９２内の光増幅器の利得を本来の設定値よりも高い値にしてＷＤＭ信号光を増幅させる。その結果、第２光中継器９２から出力されるＷＤＭ信号光は、信号波形Ｂ２に示すように、信号帯域全体が負側の利得傾斜を帯びた状態（右肩下がりの状態）が発生する。

[0034] 利得傾斜を帯びたＷＤＭ信号光は、第２中継区間を伝送して、次段の第３中継区間用の第３光中継器９３に入力される。第３中継区間用の第３光中継器９３から出力されるＷＤＭ信号光も、信号波形Ｂ３に示すように、利得傾斜したままの状態となる。そのため、第３中継区間においてもＷＤＭ信号光

は、信号波形Ｂ３に示すように利得傾斜したままの状態で伝送される。利得傾斜したＷＤＭ信号光は、利得偏差が生じている状態であるため、伝送後のＷＤＭ信号光には、光ＳＮＲの劣化や非線形劣化が増加することになり、伝送特性の劣化が生じてしまう。

[0035] 図４の（Ｃ）は、励起光源装置１０を第２中継区間の地点Ｐに配置している場合のＷＤＭ信号光の波形状態を示している。なお、図４の（Ｂ）のように、利得傾斜が発生して、伝送特性があらかじめ定めた閾値以下にまで劣化した際には、前述したように、制御信号を励起光源装置１０に送信して、励起光源制御回路４により励起光源１を制御して、ラマン増幅用の励起光を出力させている。

[0036] 図４の（Ｃ）の場合も、図４の（Ｂ）の場合と同様、損失（ＬＯＳＳ）が増加した第１中継区間を伝送してきたＷＤＭ信号光は、信号波形Ｃ１ａから信号波形Ｃ１ｂのように、入力パワーが不足した状態で、次段の第２中継区間用の第２光中継器９２に入力される。そのため、第２中継区間用の第２光中継器９２から出力されるＷＤＭ信号光についても、図４の（Ｂ）の場合と同様、信号波形Ｃ２ａに示すように、信号帯域全体が負側の利得傾斜を帯びた状態で出力される。

[0037] しかし、図４の（Ｃ）の場合は、図４の（Ｂ）の場合とは異なり、第２中継区間の地点Ｐにおいて、励起光源装置１０の励起光源１から出力されたラマン増幅用の励起光と合波される。そのため、光ファイバ内でのラマン増幅効果によって、ＷＤＭ信号光の信号帯域全体が増幅される。図４の（Ｃ）の場合は、次段の第３中継区間用の第３光中継器９３への入力パワーを、損失分を補うために、信号波形Ｃ２ｂに示すように、本来の設定値よりもやや高い値まで増幅させている。

[0038] したがって、第３の中継区間用の第３光中継器９３は、あらかじめ設定された出力パワーに調整して出力するために、当該第３光中継器９３内の光増幅器の利得を本来の設定値よりも低い値にしてＷＤＭ信号光を増幅させる。その結果、当該第３光中継器９３内の光増幅器においては、信号帯域全体が

第２光中継器９２からの出力とは逆の正側の利得傾斜を帯びた状態（右肩上がりの状態）の増幅が行われる。その結果として、第３光中継器９３から出力されるＷＤＭ信号光を、利得傾斜がないフラットな状態に戻して出力することができる。したがって、利得偏差を改善することができるので、良好な伝送特性の定常性を確保することが可能になる。

[0039] つまり、伝送路の損失変動に対して、励起光源装置１０のラマン増幅効果によって次段の光中継器（図４の（Ｃ）の場合は第３光中継器９３）に対する入力パワーを適切に制御することができる。そのため、以降の光中継器の利得傾斜の発生を抑止することができ、システム運用後であっても、良好な伝送特性を定常的に確保することができる。

[0040] なお、損失（ＬＯＳＳ）が発生した地点と励起光源１を備えた利得等化装置１００を設置した地点Ｐとの位置関係によって、ラマン増幅の動作が異なる。

[0041] 例えば、図４の（Ｃ）に示した場合とは異なり、励起光源１を備えた利得等化装置１００を設置した地点が、損失（ＬＯＳＳ）が発生した地点と同じ第１中継区間であり、かつ、損失（ＬＯＳＳ）が発生した地点と次段の第２中継区間用の第２光中継器９２との間であったとする。そのような場合には、励起光源によるラマン増幅効果により、発生した損失（ＬＯＳＳ）分を第１中継区間中に補償することが可能であり、次段の第２中継区間用の第２光中継器９２への入力パワーを、図４の（Ａ）の場合と同じ状態にすることができる。その結果、第２光中継器９２からの出力も、図４の（Ａ）の場合と同じ状態にすることができる。したがって、後続する第３の中継区間用の第３光中継器への影響も排除することができる。

[0042] 図１に示した励起光源装置１０においては、ラマン増幅用の励起光を、増幅対象のＷＤＭ信号光（主信号）とは反対方向に伝搬させる（つまり後方励起ラマン増幅を行う）回路構成の場合について説明した。前述したように、本実施形態においては、ラマン増幅用の励起光と増幅対象のＷＤＭ信号光（主信号）とを同一方向へ伝搬させる（つまり前方励起ラマン増幅を行う）装

置構成としても良いことは言うまでもない。また、ラマン増幅用の励起光を出力する励起光源についても、図１に示した例のような１個のみに限るものではなく、複数個設置した構成も可能である。

[0043] （第２の実施形態）

本発明の第２の実施形態について図５を参照して説明する。図５は、本実施形態の励起光源装置の構成を示すブロック構成図である。図５に示す励起光源装置１０Ａは、図１の場合と同様、利得等化装置１００内に設置するが、図１の励起光源装置１０とは異なり、ラマン増幅用の励起光を出力する励起光源をＮ個（Ｎ：２以上の整数）設置した場合を示している。

[0044] すなわち、図５に示す励起光源装置１０Ａは、図１の励起光源装置１０における１個の励起光源１の代わりに、それぞれ異なる波長の励起光を出力するＮ個の励起光源１１，…，１Ｎを備えている。また、図５に示す励起光源装置１０Ａは、Ｎ個の励起光源１１，…，１Ｎそれぞれから出力される励起光を合波して、分波器５に出力するための励起光合波器８を図１の励起光源装置１０に追加した構成になっている。なお、励起光源制御回路４は、２個のフォトディテクタ３Ａ，３Ｂそれぞれからの制御信号に基づいて、Ｎ個の励起光源１１，…，１Ｎそれぞれを別々に制御することができるように構成される。

[0045] 一般に、ラマン増幅を行う場合、ラマン増幅における媒体となる光ファイバの材質如何によって誘導ラマン散乱を起こした際の励起光エネルギーの周波数シフト量（すなわち波長シフト量）は決まってくる。したがって、図５の励起光源装置１０Ａの装置構成を採用して、波長の励起光を出力する複数の励起光源１１を設置することでＷＤＭ信号光（主信号）に対する適切な利得傾斜の調整と、一部波長帯域のみのレベル補正が可能になる。すなわち、あらかじめ、異なる波長の励起光を出力する複数の励起光源１１，…，１Ｎを設置しておき、励起光源制御回路４を介して、各励起光源１１，…，１Ｎを別々に制御することで、ＷＤＭ信号光（主信号）に対する適切な利得傾斜の調整を行うことが可能になる。また、異なる波長の励起光を出力する複数

の励起光源１１，…，１Ｎを設置しておき、励起光源制御回路４を介して、各励起光源１１，…，１Ｎを別々に制御することで、ＷＤＭ信号光（主信号）の一部波長帯域のみのレベル補正も可能になる。

[0046] 例えば、異なる波長の励起光を出力する複数の励起光源１１，…，１Ｎの台数を３個とした場合を用いて、図５の励起光源装置１０Ａにおけるラマン利得効果の原理について、図６を用いてさらに説明する。図６は、図５の励起光源装置１０Ａにおけるラマン増幅効果の原理について説明する特性図であり、横軸に波長、縦軸に光電力量／ラマン利得を示している。

[0047] 図６に示すように、３個の励起光源それぞれは、波長λｐ１，λｐ２，λｐ３の順に長くなる波長の励起光を出力する。３波の励起光によって、ラマン利得スペクトラムとして、それぞれの励起光よりも約１００ｎｍ程度長い波長域において、それぞれの波長λｐ１，λｐ２，λｐ３に応じて、ラマン利得５１、ラマン利得５２、ラマン利得５３の増幅効果が生じる。したがって、３波の励起光による総利得５４（すなわち、波長λｐ１，λｐ２，λｐ３の各励起光によるラマン利得の総和）として、図６に太線の曲線で示すような信号波長帯域に関する増幅量が得られる。

[0048] かかる３個の励起光源を用いている場合において、例えば、増幅量として、長い波長側以外の短波側の信号波長帯域に関してラマン増幅を行いたい場合には、次のように行う。短波側においてラマン増幅を行いたい場合には、最も波長が長い波長λｐ３を除いて、短波側にある２つの波長の励起光すなわち波長λｐ１，λｐ２の励起光を選択して増幅することを指示する制御信号を、励起光源装置１０Ａの励起光源制御回路４に送信すれば良い。その結果、図７に総利得５４Ａとして太線の曲線で示すような信号波長帯域に関する増幅量が得られる。図７は、図５の励起光源装置１０Ａにおけるラマン増幅効果の制御例を示す特性図であり、長い波長側以外の短波側の信号波長帯域に関してラマン増幅させた場合を一例として示している。

[0049] すなわち、図７では、破線で示すように、最も波長が長い波長λｐ３の励起光を出力させないで、短波側にある２つ波長λｐ１，λｐ２の励起光を出

力させている。図７では、短波側の２波の励起光による総利得５４Ａ（すなわち、波長λｐ１，λｐ２の各励起光によるラマン利得の総和）として、短波側の増幅量が多くなり、太線の曲線で示すような信号波長帯域に関する増幅量が得られる。かくのごとく、波長が異なる励起光を出力する複数の励起光源１１，…，１Ｎを独立に選択して制御することにより、信号波長帯域毎に、ラマン利得の調整をきめ細かく行うことが可能となり、利得傾斜に対するより精度の高い利得調整が可能になる。

[0050] （第３の実施形態）

次に第３の実施形態として、図１、図５とはさらに異なる励起光源装置の構成例について、図８を参照しながら説明する。図８は、本実施形態に係る励起光源装置の構成を示すブロック構成図である。図８に示す励起光源装置１０Ｂは、図１の場合と同様、利得等化装置１００内に設置される。また、励起光源装置１０Ｂは、図１の励起光源装置１０とは異なり、ラマン増幅用の励起光を出力する励起光源１の後段に、励起光源制御回路４からの制御により励起光のパワーレベルを可変に減衰して、分波器５に出力する可変減衰器９を追加して備えている。

[0051] 図８に示す励起光源装置１０Ｂにおいては、可変減衰器９を追加して設置したことにより、励起光源１から出力されるラマン増幅用の励起光のパワーレベルをきめ細かく動的に調整することが可能になる。そのため、本実施形態の励起光源装置１０Ｂにおいては、ＷＤＭ信号光（主信号）に対するラマン増幅量をより精細に調整することができ、利得傾斜に対するより精度の高い利得調整が可能になる。

（第４の実施形態）

次に、第４の実施形態として、図１、図５および図８とはさらに異なる励起光源装置の構成の例について、図９を参照しながら説明する。図９は、本実施形態に係る励起光源装置の構成を示すブロック構成図である。図９に示す励起光源装置１０Ｃは、図１の場合と同様、利得等化装置１００内に設置される。図９に示す励起光源装置１０Ｃは、図１の励起光源装置１０とは異

なり、ラマン増幅用の励起光を出力する励起光源１を上り方向（ＵＰ）と下り方向（ＤＷ）とで共用していない。すなわち、図９に示す励起光源装置１０Ｃは、上り方向（ＵＰ）と下り方向（ＤＷ）とにそれぞれに独立させた別々の励起光源を備えている。

[0052] すなわち、図９に示す励起光源装置１０Ｃは、図１の励起光源装置１０における１個の励起光源１を変更して、上り方向（ＵＰ）と下り方向（ＤＷ）とのそれぞれに独立させた励起光源１Ａ、励起光源１Ｂとして２個の励起光源を備えている。また、図９に示す励起光源装置１０Ｃは、図１の励起光源装置１０における分波器５が削除されている。図９に示す励起光源装置１０Ｃは、励起光源１Ａ、励起光源１Ｂそれぞれから出力される励起光を、上り方向（ＵＰ）、下り方向（ＤＷ）それぞれのＷＤＭ合波器６Ａ、ＷＤＭ合波器６Ｂに直接接続した構成である。

[0053] なお、図９に示す励起光源装置１０Ｃは、上り方向（ＵＰ）と下り方向（ＤＷ）とのそれぞれの励起光源１Ａ、励起光源１Ｂを独立に制御することができる構成を備えている。すなわち、図９に示す励起光源装置１０Ｃは、図１の場合の励起光源制御回路４を、それぞれ、上り方向（ＵＰ）用の励起光源制御回路４Ａと下り方向（ＤＷ）用の励起光源制御回路４Ｂとに分けて設置した構成になっている。

[0054] 図９に示す励起光源装置１０Ｃにおいては、上り方向（ＵＰ）と下り方向（ＤＷ）とのそれぞれの励起光源１Ａ、励起光源１Ｂを独立に制御することができる。そのため、上り方向（ＵＰ）と下り方向（ＤＷ）とで、ＷＤＭ信号光（主信号）に対するラマン増幅量をより精細に調整することができ、利得傾斜に対するより精度の高い利得調整が可能になる。さらには、上り方向（ＵＰ）と下り方向（ＤＷ）とで、別々に、励起光のＯＮ／ＯＦＦの設定を行うことも可能となる。

[0055] （第５の実施形態）

以上の各実施の形態においては、前述したように、励起光源装置１０，１０Ａ，１０Ｂ，１０Ｃは、いずれも、利得等化装置１００に内蔵された形態

で設置されている場合について説明した。したがって、図１０に示すように、光ファイバ伝送中継システムにおける、ラマン増幅用の励起光源の光ファイバ上の挿入位置は、いずれの場合も、当該励起光源装置１０，１０Ａ，１０Ｂ，１０Ｃを内蔵した利得等化装置１００が設置される中継区間となる。すなわち、ラマン増幅用の励起光源の光ファイバ上の挿入位置は、利得等化装置１００が設置される中継区間である利得等化装置（ＧＥＱ：Gain Equalizer）スパンとなる。

[0056] 図１０は、光ファイバ中継伝送システムにおいてラマン増幅用の励起光源が光ファイバ上に挿入される中継区間の一例を示す説明図である。図１０に示すように、ラマン増幅用の励起光源を備えた励起光源装置１０，１０Ａ，１０Ｂ，１０Ｃは、いずれも、上り回線（ＵＰ）用の利得等化回路１０１Ａ、下り回線（ＤＷ）用の利得等化回路１０１Ｂを備えた利得等化装置１００内に内蔵されている。したがって、ラマン増幅用の励起光源は、当該利得等化回路１００が挿入される光ファイバ上の中継区間（図１０においては、光中継器９ｉと光中継器９ｊとの間の中継区間）に挿入されていることになる。なお、図１０においては、利得等化装置１００内に内蔵されている励起光源装置の回路構成として、図１に示した励起光源装置１０の場合について例示している。図１に示した励起光源装置１０に代えて、図５、図８、図９の励起光源装置１０Ａ，１０Ｂ，１０Ｃを利得等化装置１００内に内蔵されている励起光源装置として用いた場合であっても同様である。

[0057] また、励起光源装置１０，１０Ａ，１０Ｂ，１０Ｃを、利得等化装置１００ではなく、光中継器に内蔵した形態で設置するようにしても良い。励起光源装置１０，１０Ａ，１０Ｂ，１０Ｃを光中継器に内蔵することにより、図１１に示すように、光ファイバ伝送中継システムにおける、ラマン増幅用の励起光源の光ファイバ上の挿入位置が、いずれの場合も、光中継器９０が設置される中継区間となる。すなわち、図１１では、ラマン増幅用の励起光源の光ファイバ上の挿入位置は、当該励起光源装置１０，１０Ａ，１０Ｂ，１０Ｃを内蔵した光中継器９０が設置される光中継器スパンとなっている。

[0058] 図１１は、光ファイバ中継伝送システムにおいてラマン増幅用の励起光源が光ファイバ上に挿入される中継区間の図１０とは異なる例を示す説明図であり、光中継器が挿入される位置と同じ位置に挿入している場合を示している。図１１に示すように、ラマン増幅用の励起光源を備えた励起光源装置１０，１０Ａ，１０Ｂ，１０Ｃは、いずれも、上り回線（ＵＰ）用の光増幅器９１Ａ、下り回線（ＤＷ）用の光増幅器９１Ｂを備えた光中継器９０内に内蔵されている。したがって、ラマン増幅用の励起光源は、当該光中継器９０が挿入される光ファイバ上の中継区間（図１１においては、光中継器９ｋと光中継器９ｌとの間の中継区間）に挿入されていることになる。なお、図１１においても、光中継器９０内に内蔵されている励起光源装置の回路構成として、図１に示した励起光源装置１０の場合について例示しているが、図５、図８、図９の励起光源装置１０Ａ，１０Ｂ，１０Ｃの場合であっても同様である。

[0059] （第６の実施形態）

前述したように、励起光源装置１０，１０Ｂ（，１０Ｃ，１０Ａ）のいずれの場合についても、ラマン増幅用の励起光源１（，１Ａ，１Ｂ，１１，…，１Ｎ）は、光ファイバ上を経由して送信されている制御情報を基にして、励起光源制御回路４（，４Ａ，４Ｂ）によって制御される構成である。励起光源装置１０，１０Ｂ（，１０Ｃ，１０Ａ）のいずれの場合についても、図１２に示すように、励起光源装置１０（、１０Ａ，１０Ｂ，１０Ｃ）を、光ファイバ伝送中継システムにおいて終端に設置される端局装置から遠隔制御することが可能である。

[0060] 図１２は、光ファイバ上に挿入された励起光源装置を光ファイバ伝送中継システムにおける端局装置から遠隔制御する動作原理を説明する説明図であり、システム構成としては、図２に前述した構成と同じである。かくのごとき端局装置からの遠隔制御は、特に、光ファイバ伝送中継システムを光海底ケーブルシステムの有中継システムとして運用する場合には必須である。すなわち、光海底ケーブルシステムの有中継システムの場合、図１２に示すよ

うに、海底に敷設した光ファイバの光中継器９ｉと光中継器９ｊとの間の中継区間に、励起光源装置１０を内蔵した利得等化装置１００が設置されていることになる。この場合、利得等化装置１００は、利得波長特性の偏差を動的に補償することが可能な動的利得等化装置（ＡＧＥＱ）である。したがって、海底にある励起光源装置１０を陸上に設置される端局装置、例えば、当該励起光源装置１０の上り方向（ＵＰ）に設置されている端局装置８Ｂ、から遠隔制御することが不可欠になる。

[0061] 図１２に示すように、端局装置８Ｂは、上り方向（ＵＰ）の光ファイバから伝送されてくるＷＤＭ信号光の伝送品質を常時モニタしている。端局装置８Ｂは、受信スペクトラムとして光ファイバ伝送路における利得傾斜の増加による伝送品質の劣化があらかじめ定めた閾値を超えて発生していることを検出すると（ステップＳ１）、利得傾斜を解消させるために必要とするラマン増幅用の励起光のパワーレベルを算出する。端局装置８Ｂは、励起光のパワーレベルを算出すると、パワーレベルに関する情報を含む励起光源制御用のコマンド信号（制御信号）を生成して、該当する励起光源装置１０に対して、下り方向（ＤＷ）の光ファイバを介して、送信する（ステップＳ２）。

[0062] 励起光源装置１０においては、端局装置８Ｂから送信されてきた該コマンド信号（制御信号）を、前述したように、バンドパスフィルタ２Ｂ、フォトディテクタ３Ｂを介して、励起光源制御回路４に届ける。励起光源制御回路４は、送信されてきた該コマンド信号（制御信号）に基づいて、励起光源１を起動させて、ラマン増幅用の励起光を指定されたパワーレベルで出力させる。この結果、光ファイバ７ｉを介して次段に接続されている光中継器９ｉの入力パワーを増加させることにより、利得傾斜量の調整を行うことができる。

[0063] （第７の実施形態）

図１２に示す構成例においては、端局装置８Ｂにおいて光ファイバ伝送路における利得傾斜の増加を検出し、検出結果に基づいて、励起光源を遠隔制御により起動するとともに、励起光源から出力させる励起光のパワーレベル

も遠隔制御により制御している。そのような構成に代えて、励起光源装置自身で、自律的に、利得傾斜の増加を検出し、検出結果に基づいて、励起光源を自動的に制御するように構成することも可能である。図１３は、本実施形態に係る励起光源装置の構成を示すブロック構成図であり、励起光源を自動制御する構成例を示している。なお、図１３に示す励起光源装置１０Ｄは、独立の装置として示しているが、図１０や図１１に説明したように、利得等化装置１００や光中継器９０内に内蔵させるように構成しても勿論構わない。

[0064] 図１３に示す励起光源装置１０Ｄは、図１の励起光源装置１０において上り方向（ＵＰ）用のフォトディテクタ３Ａ、下り方向（ＤＷ）用のフォトディテクタ３Ｂの１個ずつ設置している構成から変更されている。すなわち、図１３に示す励起光源装置１０Ｄは、それぞれに、フォトディテクタ$３Ａ_1$，$３Ａ_2$、フォトディテクタ$３Ｂ_1$、$３Ｂ_2$と２個ずつ設置する構成である。また、図１３に示す励起光源装置１０Ｄは、図１の励起光源装置１０から励起光源制御回路４に係る構成が変更されている。すなわち、図１３に示す励起光源装置１０Ｄは、励起光源１を自動制御する機能を有する励起光源制御回路４Ｃを備えている。励起光源制御回路４Ｃは、上り方向（ＵＰ）のフォトディテクタ$３Ａ_1$，$３Ａ_2$の両者の出力の比較結果、下り方向（ＤＷ）のフォトディテクタ$３Ｂ_1$、$３Ｂ_2$の両者の出力の比較結果に基づいて励起光源１を自動制御する。

[0065] すなわち、上り方向（ＵＰ）用のフォトディテクタ$３Ａ_1$，$３Ａ_2$の両者は、上り方向（ＵＰ）のＷＤＭ信号光（主信号）の最短波側と最長波側とのパワーレベルを検出して、検出結果を励起光源制御回路４Ｃに出力する。また、下り方向（ＤＷ）用のフォトディテクタ$３Ｂ_1$，$３Ｂ_2$の両者は、下り方向（ＵＰ）のＷＤＭ信号光（主信号）の最短波側と最長波側とのパワーレベルを検出して、検出結果を励起光源制御回路４Ｃに出力する。励起光源制御回路４Ｃは、上り方向（ＵＰ）、下り方向（ＤＷ）それぞれのＷＤＭ信号光（主信号）の最短波側と最長波側とのパワーレベルの変化をモニタして、比較

する。励起光源制御回路４Ｃは、パワーレベルの変化の比較結果に基づいて、ＷＤＭ信号光（主信号）のレベル偏差（チルト増加）が発生して、ＷＤＭ信号光（主信号）の利得傾斜が生じているか否かを検出する。

[0066] 励起光源制御回路４Ｃは、ＷＤＭ信号光（主信号）の利得傾斜が発生していることを検出すると、該利得傾斜を解消させるために必要とするラマン増幅用の励起光のパワーレベルを算出して、励起光源１を起動して、指示したパワーレベルの励起光を出力させる。この結果として、光ファイバを介して次段に接続されている光中継器の入力パワーを増加させることにより、利得傾斜量の調整を自動的に行うことができる。したがって、光ファイバの修理や経年変化による損失（ＬＯＳＳ）の増加のような事態に対しても、自動的な利得傾斜の調整が可能であり、容易に対応することができる。

[0067] （第８の実施形態）

次に、励起光源装置自身で、自律的に、利得傾斜の増加を検出し、検出結果に基づいて、励起光源を自動的に制御する構成として、図１３の場合とは異なる構成の例を説明する。

[0068] 図１４は、本実施形態に係る励起光源装置の構成を示すブロック構成図であり、励起光源を自動制御する構成例として図１３の場合とは異なる構成の例を示している。なお、図１４に示す励起光源装置１０Ｅは、独立の装置として示しているが、図１０や図１１に説明したように、利得等化装置１００や光中継器９０内に内蔵させるように構成しても勿論構わない。

[0069] 図１の励起光源装置１０は、上り方向（ＵＰ）用のバンドパスフィルタ２Ａおよびフォトディテクタ３Ａ、下り方向（ＤＷ）用のバンドパスフィルタ２Ｂおよびフォトディテクタ３Ｂを備えている。そのような構成に代えて、図１４に示す励起光源装置１０Ｅは、上り方向（ＵＰ）用、下り方向（ＤＷ）用のそれぞれに、ＷＤＭ信号光（主信号）のレベル変動（チルト増加）の検出機能を有する光チャンネルモニタ（ＯＣＭ：Optical Channel Monitor）１２Ａ，１２Ｂを備えている。また、図１４に示す励起光源装置１０Ｅは、図１の励起光源装置１０における励起光源制御回路４に代えて、光チャン

ネルモニタ１２Ａ，１２Ｂの検出結果に基づいて励起光源１を自動制御する機能を有する励起光源制御回路４Ｄを備えている。

[0070] 励起光源制御回路４Ｄは、光チャンネルモニタ１２Ａ，１２Ｂの検出結果として、ＷＤＭ信号光（主信号）のレベル変動（チルト増加）が発生しているという通知を受け取ることにより、ＷＤＭ信号光（主信号）の利得傾斜が発生していることを検知することができる。したがって、励起光源制御回路４Ｄは、該利得傾斜を解消させるために必要とするラマン増幅用の励起光のパワーレベルを算出して、励起光源１を起動して、指示したパワーレベルの励起光を出力させる。この結果として、光ファイバを介して次段に接続されている光中継器の入力パワーを増加させることにより、利得傾斜量の調整を自動的に行うことができる。したがって、光ファイバの修理や経年変化による損失（ＬＯＳＳ）の増加のような事態に対しても、自動的な利得傾斜の調整が可能であり、容易に対応することができる。

[0071] なお、光チャンネルモニタ１２Ａ，１２Ｂについては、ＷＤＭ信号光の光スペクトラム偏差を検出することが可能な別の代替手段を用いるようにしても構わない。かかる場合には、励起光源制御回路４Ｄにおいて、前記代替手段により検出されたＷＤＭ信号光の光スペクトラム偏差に関する情報に基づいて、ＷＤＭ信号光（主信号）の利得傾斜の発生の有無を判別するようにすれば良い。

[0072] （第９の実施形態）

本発明の第９の実施形態について図を参照して説明する。図１５は、本実施形態の励起光源装置２００の構成を示すブロック構成図である。本実施形態の励起光源装置２００は、波長多重したＷＤＭ信号光を伝送する光ファイバ伝送中継システムにおいて光ファイバの中継区間に設置して、ＷＤＭ信号光の利得傾斜が発生した際にラマン増幅用の励起光を出力する装置である。本実施形態の励起光源装置２００は、励起光出力手段２０１と、制御信号検出手段２０２と、励起光制御手段２０３と、合波手段２０４を備えている。

[0073] 励起光出力手段２０１は、ラマン増幅用の励起光を出力する。制御信号検

出手段２０２は、上り方向および下り方向の光ファイバ中を伝送してくるＷＤＭ信号光から励起光出力手段２０１の制御信号を検出する。励起光制御手段２０３は、制御信号に基づいて励起光出力手段２０１を制御する。合波手段２０４は、励起光を上り方向および下り方向のＷＤＭ信号光にそれぞれ合波して、上り方向の光ファイバおよび下り方向の光ファイバにそれぞれ出力する。

[0074] 本実施形態の励起光源装置２００は、制御信号検出手段２０２においてWDM信号光から制御信号を検出し、検出した制御信号に基づいて励起光制御手段２０３が励起光出力手段２０１の励起光の出力を制御している。また、励起光源装置２００は、合波手段２０４において励起光を上り方向および下り方向のＷＤＭ信号光にそれぞれ合波して、上り方向の光ファイバおよび下り方向の光ファイバにそれぞれ出力している。そのため、本実施形態の励起光源装置２００を用いることで、光ファイバを介して制御信号を送るによって励起光の出力の開始を制御することができるので、光ファイバの経年劣化等による利得傾斜発生時に、利得等化を行って良好な光伝送特性を確保することができる。

[0075] 以上の各実施形態に係る励起光源装置、当該励起光源装置内蔵の利得等化装置、または、当該励起光源装置内蔵の光中継器の光伝送中継システム内の設置台数は１台のみでなくともよい。すなわち、各実施形態に係る励起光源装置、当該励起光源装置内蔵の利得等化装置、または、当該励起光源装置内蔵の光中継器は、光伝送中継システム内に必要に応じて、複数台設置することも可能である。

[0076] 上記の各実施形態の励起光源装置、利得等化装置および光中継器は、それぞれ以下のような実施形態とすることもできる。

[0077] （１）本実施形態による励起光源装置は、

波長多重したＷＤＭ（Wavelength Division Multiplexing）信号光を伝送する光ファイバ伝送中継システムにおいて光ファイバの中継区間に設置して、前記ＷＤＭ信号光の利得傾斜が発生した際にラマン増幅用の励起光を出

力する励起光源装置であって、

ラマン増幅用の励起光を出力する励起光源と、

上り方向および下り方向の光ファイバ中を伝送してくる前記ＷＤＭ信号光から前記励起光源の制御用の制御信号光をそれぞれ抽出する上り方向用および下り方向用のバンドパスフィルタと、

前記上り方向用および下り方向用のバンドパスフィルタそれぞれから出力される前記制御信号光を検出して電気信号に変換し、該電気信号を制御信号として出力する上り方向用および下り方向用のフォトディテクタと、

前記上り方向用および下り方向用のフォトディテクタからそれぞれ出力される前記制御信号に基づいて、前記励起光源を制御する励起光源制御回路と、

前記励起光源が出力した前記励起光を上り方向用および下り方向用それぞれの励起光に分波する分波器と、

前記分波器により分波された上り方向用の前記励起光と上り方向の前記ＷＤＭ信号光とを、また、下り方向用の前記励起光と下り方向の前記ＷＤＭ信号光とを、それぞれ合波して、上り方向の光ファイバおよび下り方向の光ファイバにそれぞれ出力する２個の合波器と

を有することを特徴とする。

[0078] （２）本実施形態による利得等化装置は、波長多重したＷＤＭ（Wavelength Division Multiplexing）信号光を伝送する光ファイバ伝送中継システムの構成要素として、光ファイバ上の中継区間に配置され、前記光ファイバ上に伝送される前記ＷＤＭ信号光の利得波長特性の偏差を補償する利得等化機能を有する利得等化装置において、前記（１）に記載の励起光源装置を内蔵していることを特徴とする。

[0079] （３）本実施形態による光中継器は、波長多重したＷＤＭ（Wavelength Division Multiplexing）信号光を伝送する光ファイバ伝送中継システムの構成要素として、光ファイバ上の中継区間に配置され、前記光ファイバ上に伝送される前記ＷＤＭ信号光を増幅中継する機能を有する光中継器において、

前記（１）に記載の励起光源装置を内蔵していることを特徴とする。

[0080] また、上記の実施形態の励起光源装置、利得等化装置および光中継器によれば、以下のような効果を奏することができる。すなわち、本発明の各実施形態においては、ＷＤＭ信号光を伝送する光ファイバ伝送中継システムにおいて、光ファイバ（光伝送路）の中継区間に、ラマン増幅用の励起光源装置を設置し、光ファイバの経年劣化や修理等のために、光伝送路の損失変動が発生して、ＷＤＭ信号光の利得傾斜が発生した場合に起動して、励起光源からの励起光によるラマン増幅効果によって、次段の光中継器に対するＷＤＭ信号光の入力パワーを適切に制御するようにしているので、次段以降の光中継器の利得傾斜の発生を抑止し、良好な光伝送特性を確保することができる。

[0081] 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、以下には限られない。

[0082] （付記１）

波長多重したＷＤＭ（Wavelength Division Multiplexing）信号光を伝送する光ファイバ伝送中継システムにおいて光ファイバの中継区間に設置して、前記ＷＤＭ信号光の利得傾斜が発生した際にラマン増幅用の励起光を出力する励起光源装置であって、

ラマン増幅用の励起光を出力する励起光出力手段と、

上り方向および下り方向の光ファイバ中を伝送してくる前記ＷＤＭ信号光から前記励起光出力手段の制御信号を検出する制御信号検出手段と、

前記制御信号に基づいて前記励起光出力手段を制御する励起光制御手段と、

前記励起光を上り方向および下り方向の前記ＷＤＭ信号光にそれぞれ合波して、上り方向の光ファイバおよび下り方向の光ファイバにそれぞれ出力する合波手段と

を備えることを特徴とする励起光源装置。

[0083] （付記２）

前記励起光出力手段は、それぞれ波長が異なる複数の前記励起光を出力する手段を有し、

前記合波手段は、前記励起光出力手段から出力されるそれぞれ波長が異なる複数の前記励起光が合波された前記励起光を、上り方向および下り方向の前記ＷＤＭ信号光にそれぞれ合波して、上り方向の光ファイバおよび下り方向の光ファイバにそれぞれ出力することを特徴とする付記１に記載の励起光源装置。

[0084] （付記３）

前記励起光出力手段から出力される前記励起光のパワーレベルを減衰して出力する可変減衰手段をさらに備え、

前記合波手段は、前記減衰手段が減衰した前記前記励起光を、上り方向および下り方向の前記ＷＤＭ信号光にそれぞれ合波して、上り方向の光ファイバおよび下り方向の光ファイバにそれぞれ出力することを特徴とする付記１または２に記載の励起光源装置。

[0085] （付記４）

前記励起光出力手段が出力する前記励起光を、上り方向用および下り方向用それぞれの前記励起光に分波する分波手段をさらに備え、

前記合波手段は、前記分波手段が分波した上り方向用の前記励起光と上り方向の前記ＷＤＭ信号光を合波してり方向の光ファイバに出力し、下り方向用の前記励起光と下り方向の前記ＷＤＭ信号光を合波して、下り方向の光ファイバにそれぞれ出力することを特徴とする付記１から３いずれかに記載の励起光源装置。

[0086] （付記５）

前記励起光出力手段は、上り方向用の励起光源と下り方向用の励起光源とを備え、

前記励起光制御手段は、前記制御信号に基づいて、前記上り方向用の励起光源と前記下り方向用の励起光源それぞれを別々に制御することを特徴とする付記１から３いずれかに記載の励起光源装置。

[0087] （付記６）

制御信号検出手段は、上り方向および下り方向の光ファイバ中を伝送してくる前記ＷＤＭ信号光から前記励起光出力手段の制御用の制御信号光を上り方向および下り方向の光ファイバからそれぞれ抽出する信号抽出手段をさらに備え、

前記制御信号検出手段は、前記制御信号光を電気信号に変換し、前記電気信号を前記制御信号として出力することを特徴とする付記1から５いずれかに記載の励起光源装置。

[0088] （付記７）

前記制御信号検出手段は、上り方向の前記ＷＤＭ信号光の主信号における最短波側と最長波側とのパワーレベルと、下り方向の前記ＷＤＭ信号光の主信号における最短波側と最長波側とのパワーレベルをそれぞれ検出し、

前記励起光制御手段は、上り方向の前記ＷＤＭ信号光および下り方向の前記ＷＤＭ信号光における前記最短波側と前記最長波側のパワーレベルをそれぞれ比較して、上り方向または下り方向の前記ＷＤＭ信号光の少なくとも一方の主信号にパワーレベル偏差が発生していることを検知した場合に、前記パワーレベル偏差を解消させるために必要とする前記励起光のパワーレベルを算出し、前記励起光出力手段から算出した前記パワーレベルの励起光を出力させるように前記励起光出力を制御することを特徴とする付記１から５いずれかに記載の励起光源装置。

[0089] （付記８）

前記制御信号検出手段は、上り方向および下り方向それぞれの光ファイバ中を伝送してくる前記ＷＤＭ信号光の主信号のパワーレベルの変動を検出する手段をさらに備え、

前記励起光制御手段は、前記主信号パワーレベルの変動の検出結果に基づいて、前記主信号の利得傾斜の発生を検知した際に、前記利得傾斜を解消させるために必要とする前記励起光のパワーレベルを算出し、前記励起光出力手段から算出した前記パワーレベルの励起光を出力させるように前記励起光

出力手段を制御することを特徴とする付記１から５いずれかに記載の励起光源装置。

[0090] （付記９）

上り方向および下り方向それぞれの光ファイバ中を伝送してくる前記制御信号光は、前記光ファイバ伝送中継システムを構成する端局装置において実施される光伝送品質の監視結果に基づいて、前記端局装置から送信されてくるものであることを特徴とする付記１から７のいずれかに記載の励起光源装置。

[0091] （付記１０）

波長多重したＷＤＭ（Wavelength Division Multiplexing）信号光を伝送する光ファイバ伝送中継システムの構成要素として、光ファイバ上の中継区間に配置され、前記光ファイバ上に伝送される前記ＷＤＭ信号光の利得波長特性の偏差を補償する利得等化機能を有する利得等化装置において、付記１から９のいずれかに記載の励起光源装置を内蔵していることを特徴とする利得等化回路。

[0092] （付記１１）

波長多重したＷＤＭ（Wavelength Division Multiplexing）信号光を伝送する光ファイバ伝送中継システムの構成要素として、光ファイバ上の中継区間に配置され、前記光ファイバ上に伝送される前記ＷＤＭ信号光を増幅中継する機能を有する光中継器において、付記１から９のいずれかに記載の励起光源装置を内蔵していることを特徴とする利得等化回路。

[0093] （付記１２）

波長多重したＷＤＭ（Wavelength Division Multiplexing）信号光を伝送する光ファイバ伝送中継システムにおいて光ファイバの中継区間に設置して、前記ＷＤＭ信号光の利得傾斜が発生した際の利得等化方法あって、

上り方向および下り方向の光ファイバ中を伝送してくる前記ＷＤＭ信号光からラマン増幅用の励起光を出力する励起光源の制御信号を検出し、

前記制御信号に基づいて前記励起光源を制御し、

前記励起光源からラマン増幅用の前記励起光を出力し、

前記励起光を上り方向および下り方向の前記ＷＤＭ信号光にそれぞれ合波して、上り方向の光ファイバおよび下り方向の光ファイバにそれぞれ出力することを特徴とする利得等化方法。

[0094] （付記１３）

出力する前記励起光の波長がそれぞれ異なる複数の前記励起光源から前記励起光をそれぞれ出力し、

複数の前記励起光源からそれぞれ出力される前記励起光が合波された前記励起光を、上り方向および下り方向の前記ＷＤＭ信号光にそれぞれ合波して、上り方向の光ファイバおよび下り方向の光ファイバにそれぞれ出力することを特徴とする付記１２に記載の利得等化方法。

[0095] （付記１４）

前記励起光源から出力される前記励起光のパワーレベルを減衰して出力し、

減衰した前記前記励起光を、上り方向および下り方向の前記ＷＤＭ信号光にそれぞれ合波して、上り方向の光ファイバおよび下り方向の光ファイバにそれぞれ出力することを特徴とする付記１３または１４に記載の利得等化方法。

[0096] （付記１５）

前記励起光源から出力される前記励起光を、上り方向用および下り方向用それぞれの前記励起光に分波し、

分波した上り方向用の前記励起光と上り方向の前記ＷＤＭ信号光を合波してり方向の光ファイバに出力し、下り方向用の前記励起光と下り方向の前記ＷＤＭ信号光を合波して、下り方向の光ファイバにそれぞれ出力することを特徴とする付記１２から１４いずれかに記載の利得等化方法。

[0097] （付記１６）

前記制御信号に基づいて、前記上り方向用の励起光源と前記下り方向用の励起光源それぞれを別々に制御し、

上り方向用の励起光源と下り方向用の励起光源から前記励起光をそれぞれ出力することを特徴とする付記１２から１４いずれかに記載の利得等化方法。

[0098] （付記１７）

上り方向および下り方向の光ファイバ中を伝送してくる前記ＷＤＭ信号光から前記励起光源の制御用の制御信号光を上り方向および下り方向の光ファイバからそれぞれ抽出し、

前記制御信号光を電気信号に変換し、前記電気信号を前記制御信号として出力することを特徴とする付記１２から１６いずれかに記載の利得等化方法。

[0099] （付記１８）

上り方向の前記ＷＤＭ信号光の主信号における最短波側と最長波側とのパワーレベルと、下り方向の前記ＷＤＭ信号光の主信号における最短波側と最長波側とのパワーレベルをそれぞれ検出し、

上り方向の前記ＷＤＭ信号光および下り方向の前記ＷＤＭ信号光における前記最短波側と前記最長波側のパワーレベルをそれぞれ比較して、上り方向または下り方向の前記ＷＤＭ信号光の少なくとも一方の主信号にパワーレベル偏差が発生していることを検知した場合に、前記パワーレベル偏差を解消させるために必要とする前記励起光のパワーレベルを算出し、前記励起光出力手段から算出した前記パワーレベルの励起光を出力させるように前記励起光源を制御することを特徴とする付記１２から１６いずれかに記載の利得等化方法。

[0100] （付記１９）

上り方向および下り方向それぞれの光ファイバ中を伝送してくる前記ＷＤＭ信号光の主信号のパワーレベルの変動を検出し、

前記主信号パワーレベルの変動の検出結果に基づいて、前記主信号の利得傾斜の発生を検知した際に、前記利得傾斜を解消させるために必要とする前記励起光のパワーレベルを算出し、前記励起光出力手段から算出した前記パ

ワーレベルの励起光を出力させるように前記励起光出力を制御することを特徴とする付記１２から１６いずれかに記載の利得等化方法。

[0101] （付記２０）

上り方向および下り方向それぞれの光ファイバ中を伝送してくる前記制御信号光は、前記光ファイバ伝送中継システムを構成する端局装置において実施される光伝送品質の監視結果に基づいて、前記端局装置から送信されてくるものであることを特徴とする付記１２から１８いずれかに記載の利得等化方法。

[0102] 以上、上述した実施形態を模範的な例として本発明を説明した。しかしながら、本発明は、上述した実施形態には限定されない。即ち、本発明は、本発明のスコープ内において、当業者が理解し得る様々な態様を適用することができる。

[0103] この出願は、２０１６年３月３０日に出願された日本出願特願２０１６－６７７３１を基礎とする優先権を主張し、その開示の全てをここに取り込む。

符号の説明

[0104] １ 励起光源

１Ａ 励起光源

１Ｂ 励起光源

２Ａ バンドパスフィルタ（ＢＰＦ）

２Ｂ バンドパスフィルタ（ＢＰＦ）

３Ａ フォトディテクタ（ＰＤ）

$３Ａ_{1}$，$３Ａ_{2}$ フォトディテクタ（ＰＤ）

３Ｂ フォトディテクタ（ＰＤ）

$３Ｂ_{1}$，$３Ｂ_{2}$ フォトディテクタ（ＰＤ）

４ 励起光源制御回路

４Ａ 励起光源制御回路

４Ｂ 励起光源制御回路

４Ｃ　　励起光源制御回路

４Ｄ　　励起光源制御回路

５　　分波器５、

６Ａ　　ＷＤＭ合波器

６Ｂ　　ＷＤＭ合波器

７Ａ　　光ファイバ

７Ｂ　　光ファイバ

８　　励起光合波器

８Ａ　　端局装置

８Ｂ　　端局装置

９　　可変減衰器

１０　　励起光源装置

１０Ａ　　励起光源装置

１０Ｂ　　励起光源装置

１０Ｃ　　励起光源装置

１０Ｄ　　励起光源装置

１０Ｅ　　励起光源装置

１１，…，１Ｎ　　励起光源

１２Ａ　　光チャンネルモニタ（ＯＣＭ）

１２Ｂ　　光チャンネルモニタ（ＯＣＭ）

５１　　ラマン利得（波長λｐ１の励起光による）

５２　　ラマン利得（波長λｐ２の励起光による）

５３　　ラマン利得（波長λｐ３の励起光による）

５４　　総利得

５４Ａ　　総利得

７１，…，７ｉ，７ｊ，…，７ｋ，７ｌ，…，７ｎ　　光ファイバ

９０　　光中継器

９１　　光中継器

９１Ａ　光増幅器

９１Ｂ　光増幅器

９２，９３，…，９ｉ，９ｊ，…，９ｋ，９ｌ，…，９ｎ　光中継器

１００　利得等化装置

１０１Ａ　利得等化回路

１０１Ｂ　利得等化回路

２００　励起光源装置

２０１　励起光出力手段

２０２　制御信号検出手段

２０３　励起光制御手段

２０４　合波手段

請求の範囲

[請求項1] 波長多重したＷＤＭ（Wavelength Division Multiplexing）信号光を伝送する光ファイバ伝送中継システムにおいて光ファイバの中継区間に設置して、前記ＷＤＭ信号光の利得傾斜が発生した際にラマン増幅用の励起光を出力する励起光源装置であって、

ラマン増幅用の励起光を出力する励起光出力手段と、

上り方向および下り方向の光ファイバ中を伝送してくる前記ＷＤＭ信号光から前記励起光出力手段の制御信号を検出する制御信号検出手段と、

前記制御信号に基づいて前記励起光出力手段を制御する励起光制御手段と、

前記励起光を上り方向および下り方向の前記ＷＤＭ信号光にそれぞれ合波して、上り方向の光ファイバおよび下り方向の光ファイバにそれぞれ出力する合波手段と

を備えることを特徴とする励起光源装置。

[請求項2] 前記励起光出力手段は、それぞれ波長が異なる複数の前記励起光を出力する手段を有し、

前記合波手段は、前記励起光出力手段から出力されるそれぞれ波長が異なる複数の前記励起光が合波された前記励起光を、上り方向および下り方向の前記ＷＤＭ信号光にそれぞれ合波して、上り方向の光ファイバおよび下り方向の光ファイバにそれぞれ出力することを特徴とする請求項１に記載の励起光源装置。

[請求項3] 前記励起光出力手段から出力される前記励起光のパワーレベルを減衰して出力する可変減衰手段をさらに備え、

前記合波手段は、前記可変減衰手段が減衰した前記前記励起光を、上り方向および下り方向の前記ＷＤＭ信号光にそれぞれ合波して、上り方向の光ファイバおよび下り方向の光ファイバにそれぞれ出力することを特徴とする請求項１または２に記載の励起光源装置。

[請求項4] 前記励起光出力手段が出力する前記励起光を、上り方向用および下り方向用それぞれの前記励起光に分波する分波手段をさらに備え、

前記合波手段は、前記分波手段が分波した上り方向用の前記励起光と上り方向の前記ＷＤＭ信号光を合波してり方向の光ファイバに出力し、下り方向用の前記励起光と下り方向の前記ＷＤＭ信号光を合波して、下り方向の光ファイバにそれぞれ出力することを特徴とする請求項１から３いずれかに記載の励起光源装置。

[請求項5] 前記励起光出力手段は、上り方向用の励起光源と下り方向用の励起光源とを備え、

前記励起光制御手段は、前記制御信号に基づいて、前記上り方向用の励起光源と前記下り方向用の励起光源それぞれを別々に制御することを特徴とする請求項１から３いずれかに記載の励起光源装置。

[請求項6] 制御信号検出手段は、上り方向および下り方向の光ファイバ中を伝送してくる前記ＷＤＭ信号光から前記励起光出力手段の制御用の制御信号光を上り方向および下り方向の光ファイバからそれぞれ抽出する信号抽出手段をさらに備え、

前記制御信号検出手段は、前記制御信号光を電気信号に変換し、前記電気信号を前記制御信号として出力することを特徴とする請求項1から５いずれかに記載の励起光源装置。

[請求項7] 前記制御信号検出手段は、上り方向の前記ＷＤＭ信号光の主信号における最短波側と最長波側とのパワーレベルと、下り方向の前記ＷＤＭ信号光の主信号における最短波側と最長波側とのパワーレベルをそれぞれ検出し、

前記励起光制御手段は、上り方向の前記ＷＤＭ信号光および下り方向の前記ＷＤＭ信号光における前記最短波側と前記最長波側のパワーレベルをそれぞれ比較して、上り方向または下り方向の前記ＷＤＭ信号光の少なくとも一方の主信号にパワーレベル偏差が発生していることを検知した場合に、前記パワーレベル偏差を解消させるために必要

とする前記励起光のパワーレベルを算出し、前記励起光出力手段から算出した前記パワーレベルの励起光を出力させるように前記励起光出力を制御することを特徴とする請求項１から５いずれかに記載の励起光源装置。

[請求項8] 前記制御信号検出手段は、上り方向および下り方向それぞれの光ファイバ中を伝送してくる前記ＷＤＭ信号光の主信号のパワーレベルの変動を検出する手段をさらに備え、

前記励起光制御手段は、前記主信号パワーレベルの変動の検出結果に基づいて、前記主信号の利得傾斜の発生を検知した際に、前記利得傾斜を解消させるために必要とする前記励起光のパワーレベルを算出し、前記励起光出力手段から算出した前記パワーレベルの励起光を出力させるように前記励起光出力手段を制御することを特徴とする請求項１から５いずれかに記載の励起光源装置。

[請求項9] 上り方向および下り方向それぞれの光ファイバ中を伝送してくる前記制御信号光は、前記光ファイバ伝送中継システムを構成する端局装置において実施される光伝送品質の監視結果に基づいて、前記端局装置から送信されてくるものであることを特徴とする請求項１から７のいずれかに記載の励起光源装置。

[請求項10] 波長多重したＷＤＭ（Wavelength Division Multiplexing）信号光を伝送する光ファイバ伝送中継システムの構成要素として、光ファイバ上の中継区間に配置され、前記光ファイバ上に伝送される前記ＷＤＭ信号光の利得波長特性の偏差を補償する利得等化機能を有する利得等化装置において、請求項１から９のいずれかに記載の励起光源装置を内蔵していることを特徴とする利得等化回路。

[請求項11] 波長多重したＷＤＭ（Wavelength Division Multiplexing）信号光を伝送する光ファイバ伝送中継システムの構成要素として、光ファイバ上の中継区間に配置され、前記光ファイバ上に伝送される前記ＷＤＭ信号光を増幅中継する機能を有する光中継器において、求項１か

ら９のいずれかに記載の励起光源装置を内蔵していることを特徴とする利得等化回路。

[請求項12] 波長多重したＷＤＭ（Wavelength Division Multiplexing）信号光を伝送する光ファイバ伝送中継システムにおいて光ファイバの中継区間に設置して、前記ＷＤＭ信号光の利得傾斜が発生した際の利得等化方法あって、

上り方向および下り方向の光ファイバ中を伝送してくる前記ＷＤＭ信号光からラマン増幅用の励起光を出力する励起光源の制御信号を検出し、

前記制御信号に基づいて前記励起光源を制御し、

前記励起光源からラマン増幅用の前記励起光を出力し、

前記励起光を上り方向および下り方向の前記ＷＤＭ信号光にそれぞれ合波して、上り方向の光ファイバおよび下り方向の光ファイバにそれぞれ出力することを特徴とする利得等化方法。

[請求項13] 出力する前記励起光の波長がそれぞれ異なる複数の前記励起光源から前記励起光をそれぞれ出力し、

複数の前記励起光源からそれぞれ出力される前記励起光が合波された前記励起光を、上り方向および下り方向の前記ＷＤＭ信号光にそれぞれ合波して、上り方向の光ファイバおよび下り方向の光ファイバにそれぞれ出力することを特徴とする請求項１２に記載の利得等化方法。

[請求項14] 前記励起光源から出力される前記励起光のパワーレベルを減衰して出力し、

減衰した前記前記励起光を、上り方向および下り方向の前記ＷＤＭ信号光にそれぞれ合波して、上り方向の光ファイバおよび下り方向の光ファイバにそれぞれ出力することを特徴とする請求項１３または１４に記載の利得等化方法。

[請求項15] 前記励起光源から出力される前記励起光を、上り方向用および下り

方向用それぞれの前記励起光に分波し、

分波した上り方向用の前記励起光と上り方向の前記ＷＤＭ信号光を合波してり方向の光ファイバに出力し、下り方向用の前記励起光と下り方向の前記ＷＤＭ信号光を合波して、下り方向の光ファイバにそれぞれ出力することを特徴とする請求項１２から１４いずれかに記載の利得等化方法。

[請求項16] 前記制御信号に基づいて、前記上り方向用の励起光源と前記下り方向用の励起光源それぞれを別々に制御し、

上り方向用の励起光源と下り方向用の励起光源から前記励起光をそれぞれ出力することを特徴とする請求項１２から１４いずれかに記載の利得等化方法。

[請求項17] 上り方向および下り方向の光ファイバ中を伝送してくる前記ＷＤＭ信号光から前記励起光源の制御用の制御信号光を上り方向および下り方向の光ファイバからそれぞれ抽出し、

前記制御信号光を電気信号に変換し、前記電気信号を前記制御信号として出力することを特徴とする請求項１２から１６いずれかに記載の利得等化方法。

[請求項18] 上り方向の前記ＷＤＭ信号光の主信号における最短波側と最長波側とのパワーレベルと、下り方向の前記ＷＤＭ信号光の主信号における最短波側と最長波側とのパワーレベルをそれぞれ検出し、

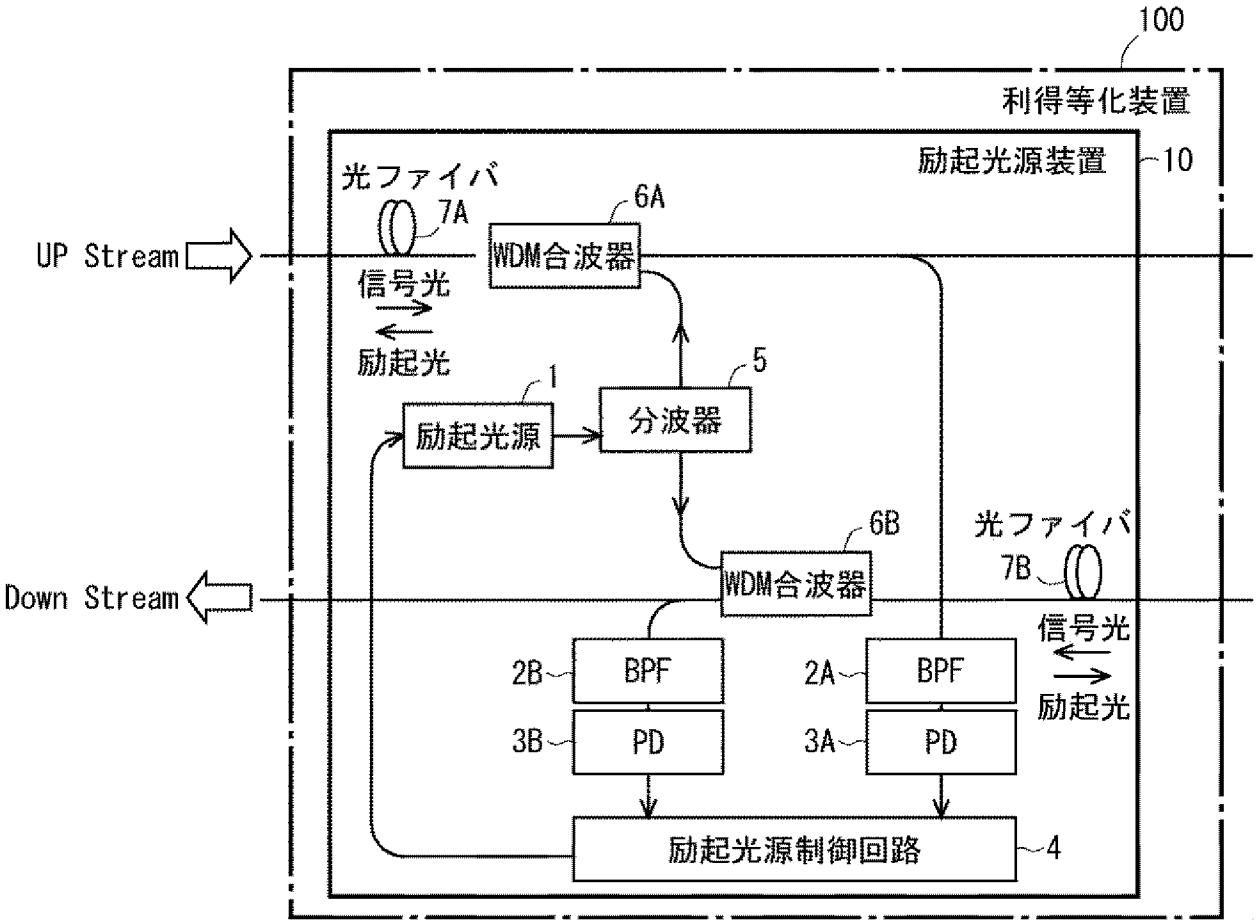
上り方向の前記ＷＤＭ信号光および下り方向の前記ＷＤＭ信号光における前記最短波側と前記最長波側のパワーレベルをそれぞれ比較して、上り方向または下り方向の前記ＷＤＭ信号光の少なくとも一方の主信号にパワーレベル偏差が発生していることを検知した場合に、前記パワーレベル偏差を解消させるために必要とする前記励起光のパワーレベルを算出し、前記励起光出力手段から算出した前記パワーレベルの励起光を出力させるように前記励起光源を制御することを特徴とする請求項１２から１６いずれかに記載の利得等化方法。

[請求項19] 上り方向および下り方向それぞれの光ファイバ中を伝送してくる前記ＷＤＭ信号光の主信号のパワーレベルの変動を検出し、

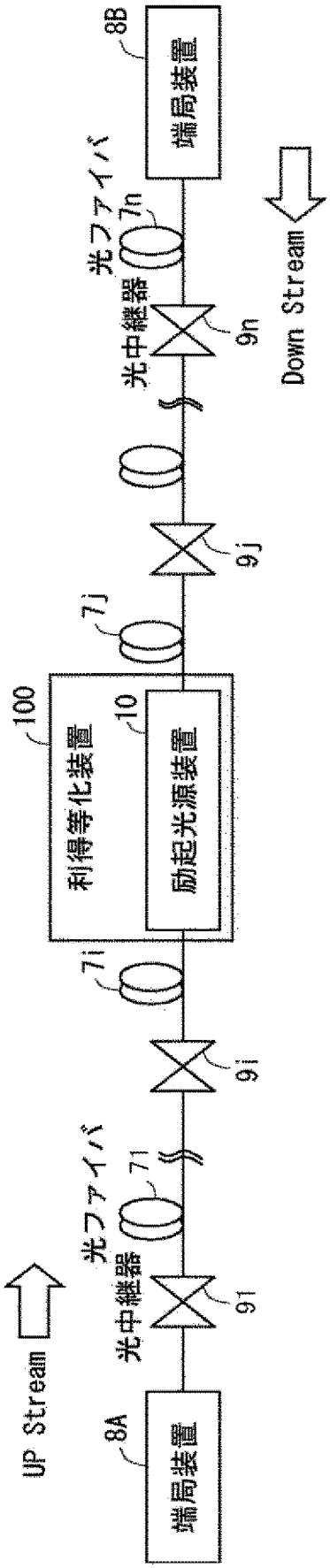
前記主信号パワーレベルの変動の検出結果に基づいて、前記主信号の利得傾斜の発生を検知した際に、前記利得傾斜を解消させるために必要とする前記励起光のパワーレベルを算出し、前記励起光出力手段から算出した前記パワーレベルの励起光を出力させるように前記励起光出力を制御することを特徴とする請求項１２から１６いずれかに記載の利得等化方法。

[請求項20] 上り方向および下り方向それぞれの光ファイバ中を伝送してくる前記制御信号光は、前記光ファイバ伝送中継システムを構成する端局装置において実施される光伝送品質の監視結果に基づいて、前記端局装置から送信されてくるものであることを特徴とする請求項１２から１８いずれかに記載の利得等化方法。

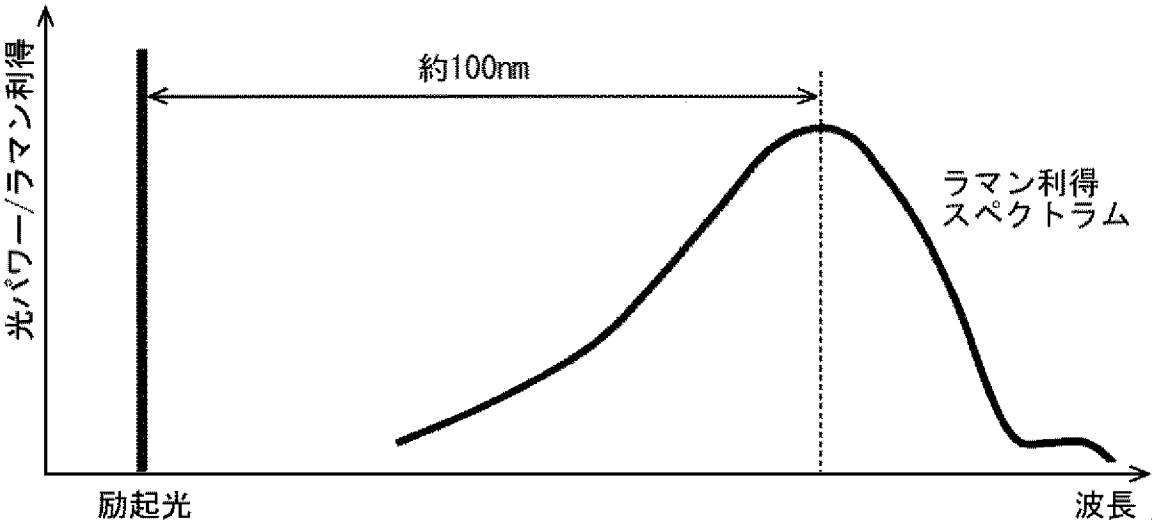
[図1]


100
利得等化装置
励起光源装置
10
光ファイバ
7A
6A
UP Stream
WDM合波器
信号光
励起光
1
5
励起光源
分波器
6B
光ファイバ
7B
Down Stream
WDM合波器
信号光
2B
BPF
2A
BPF
励起光
3B
PD
3A
PD
励起光源制御回路
4

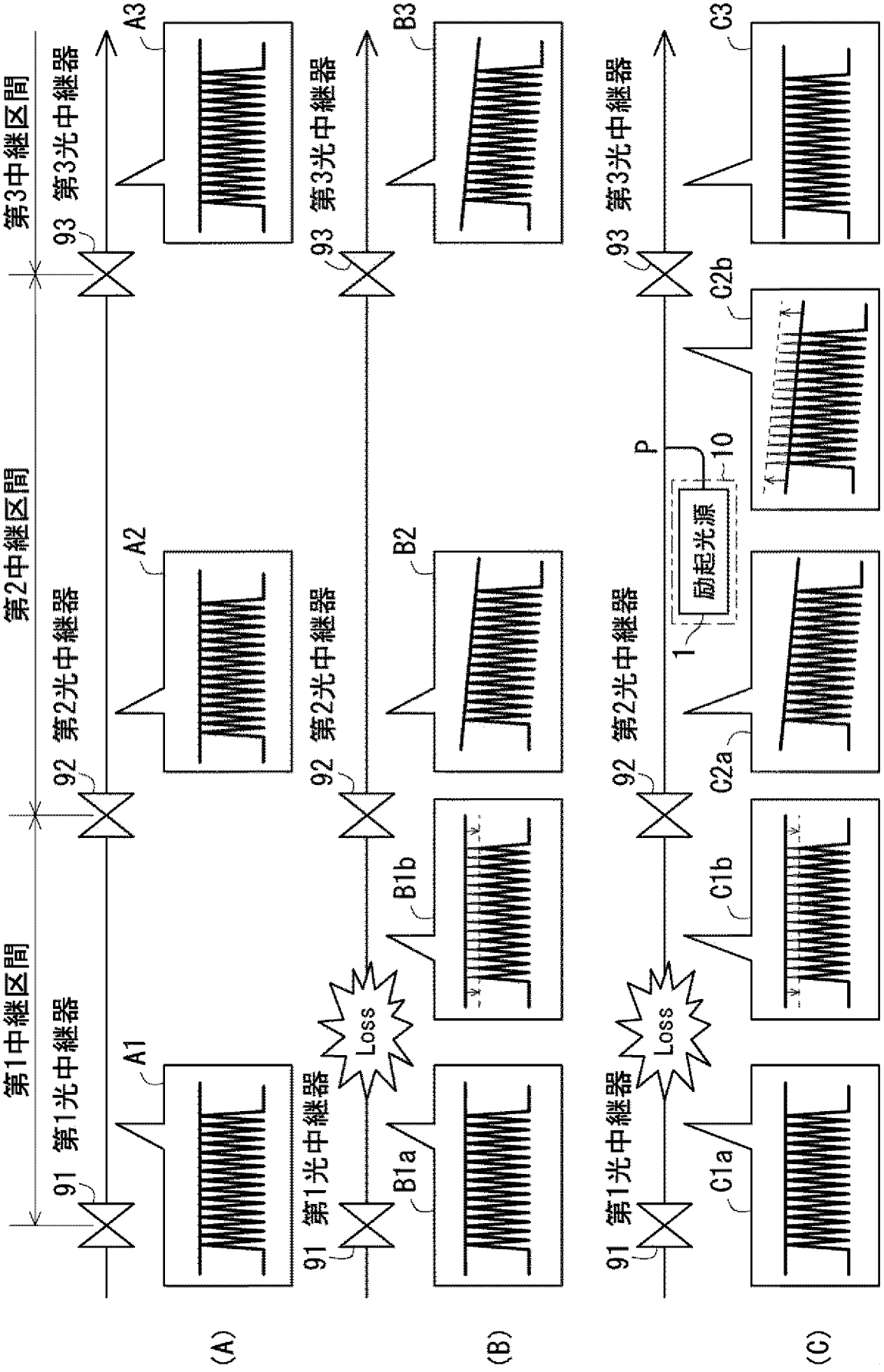
[図2]


8B
端局装置
光ファイバ
7n
光中継器
9n
Down Stream
7j
9j
100
利得等化装置
10
励起光源装置
7i
9i
光ファイバ
71
光中継器
91
UP Stream
8A
端局装置

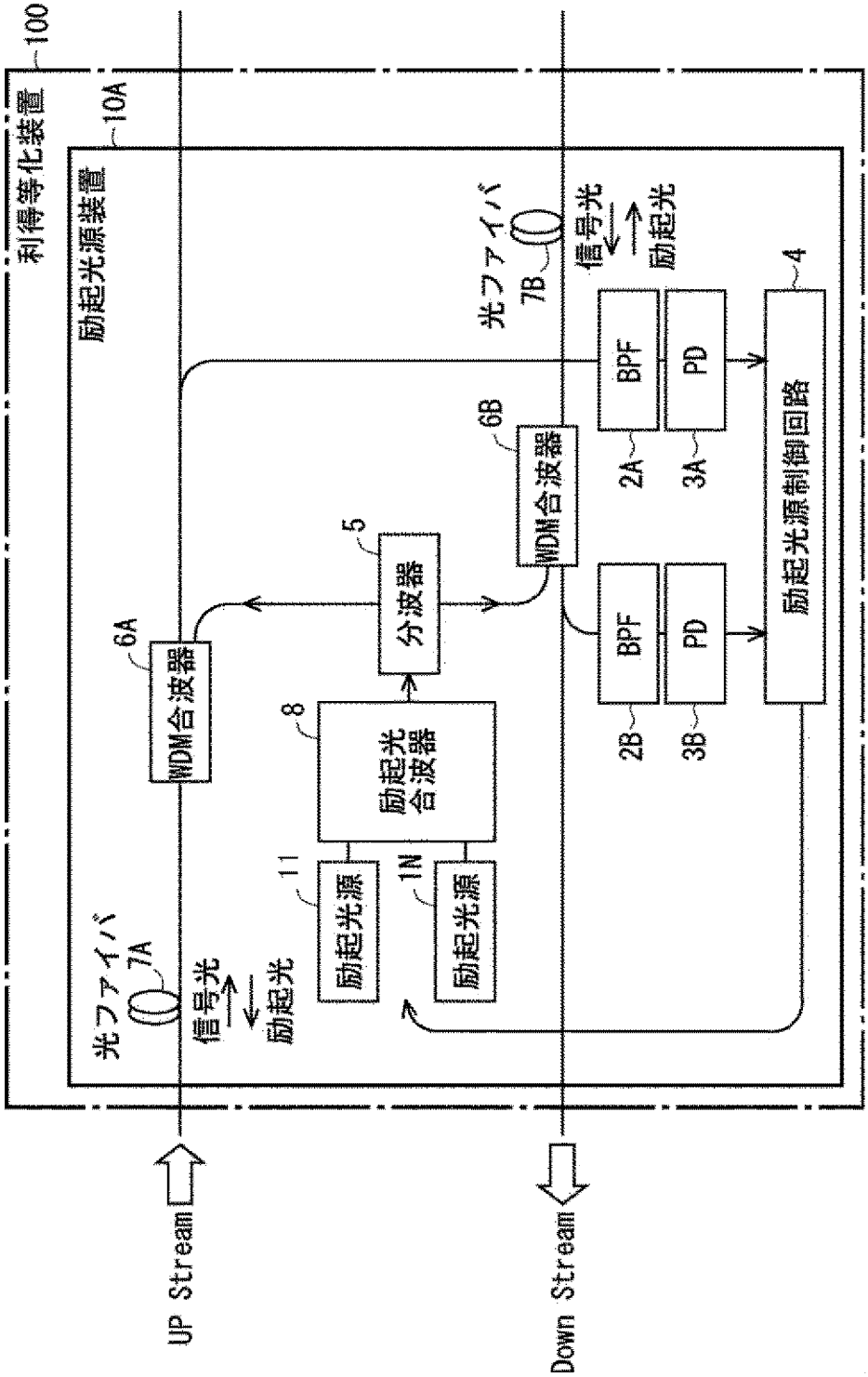
[図3]



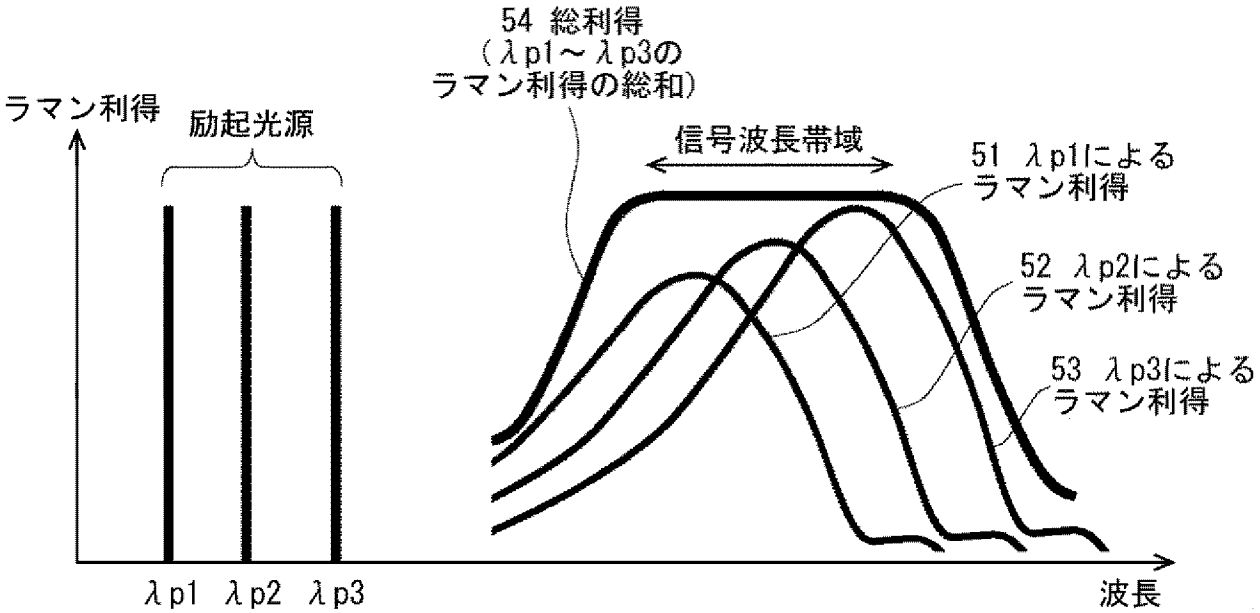
[図4]


第1中継区間
第2中継区間
第3中継区間
91 第1光中継器
92 第2光中継器
93 第3光中継器
A1
A2
A3
B1a
B1b
B2
B3
C1a
C1b
C2a
C2b
C3
Loss
Loss
1
励起光源
10
P
(A)
(B)
(C)

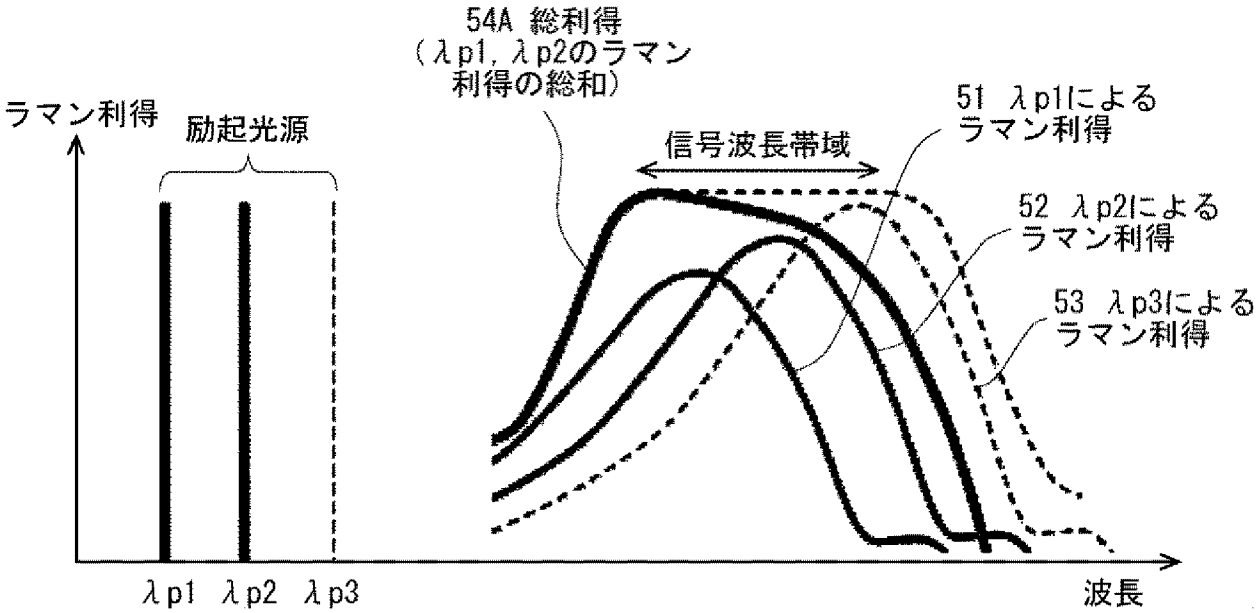
[図5]


100
利得等化装置
10A
励起光源装置
光ファイバ
7A
信号光
励起光
6A
WDM合波器
分波器
5
8
励起光合波器
11
励起光源
1N
励起光源
光ファイバ
7B
信号光
励起光
6B
WDM合波器
BPF
PD
2A
3A
BPF
PD
2B
3B
4
励起光源制御回路
UP Stream
Down Stream

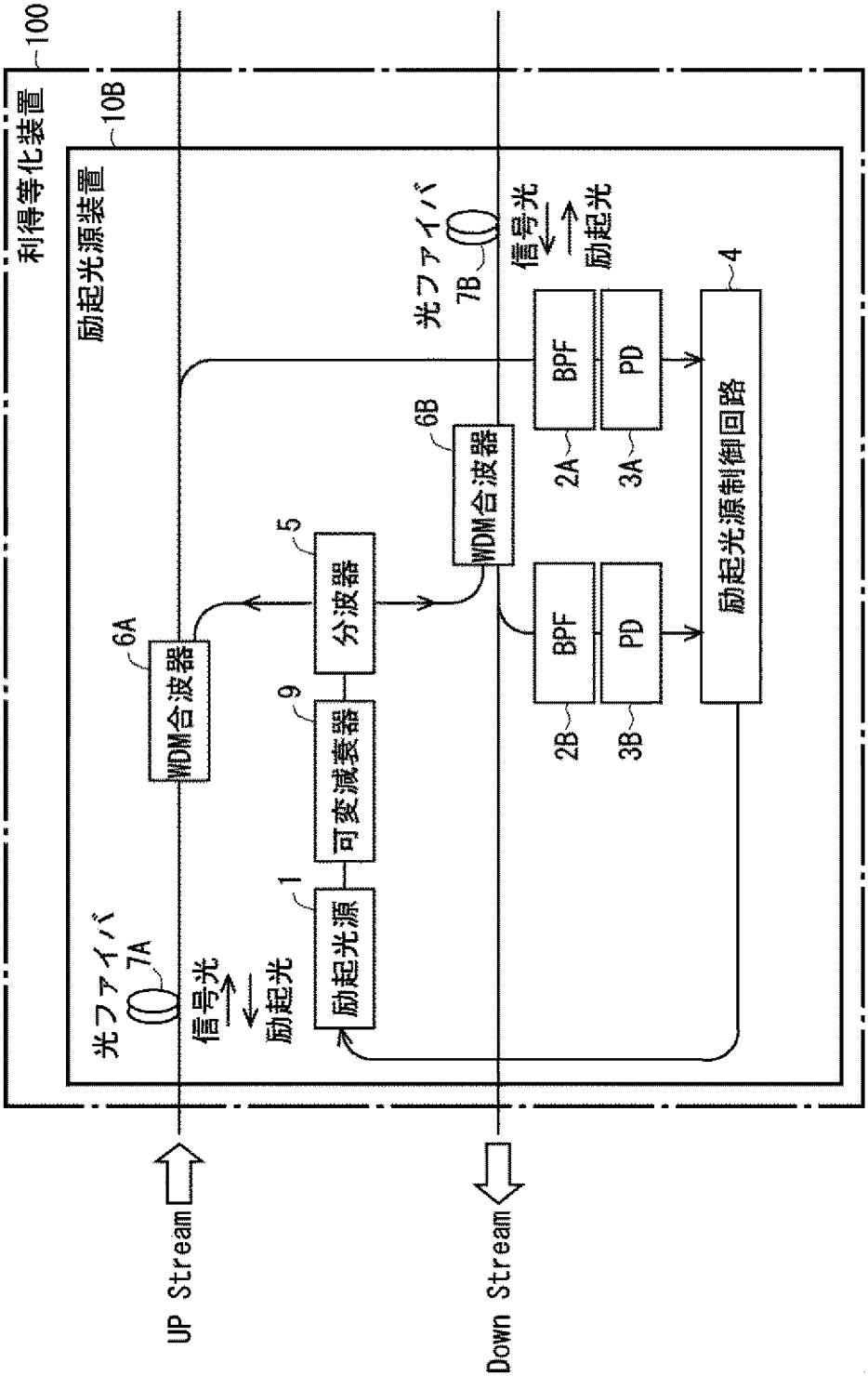
[図6]


54 総利得
（λp1～λp3の
ラマン利得の総和）
ラマン利得
励起光源
信号波長帯域
51 λp1による
ラマン利得
52 λp2による
ラマン利得
53 λp3による
ラマン利得
λp1 λp2 λp3
波長

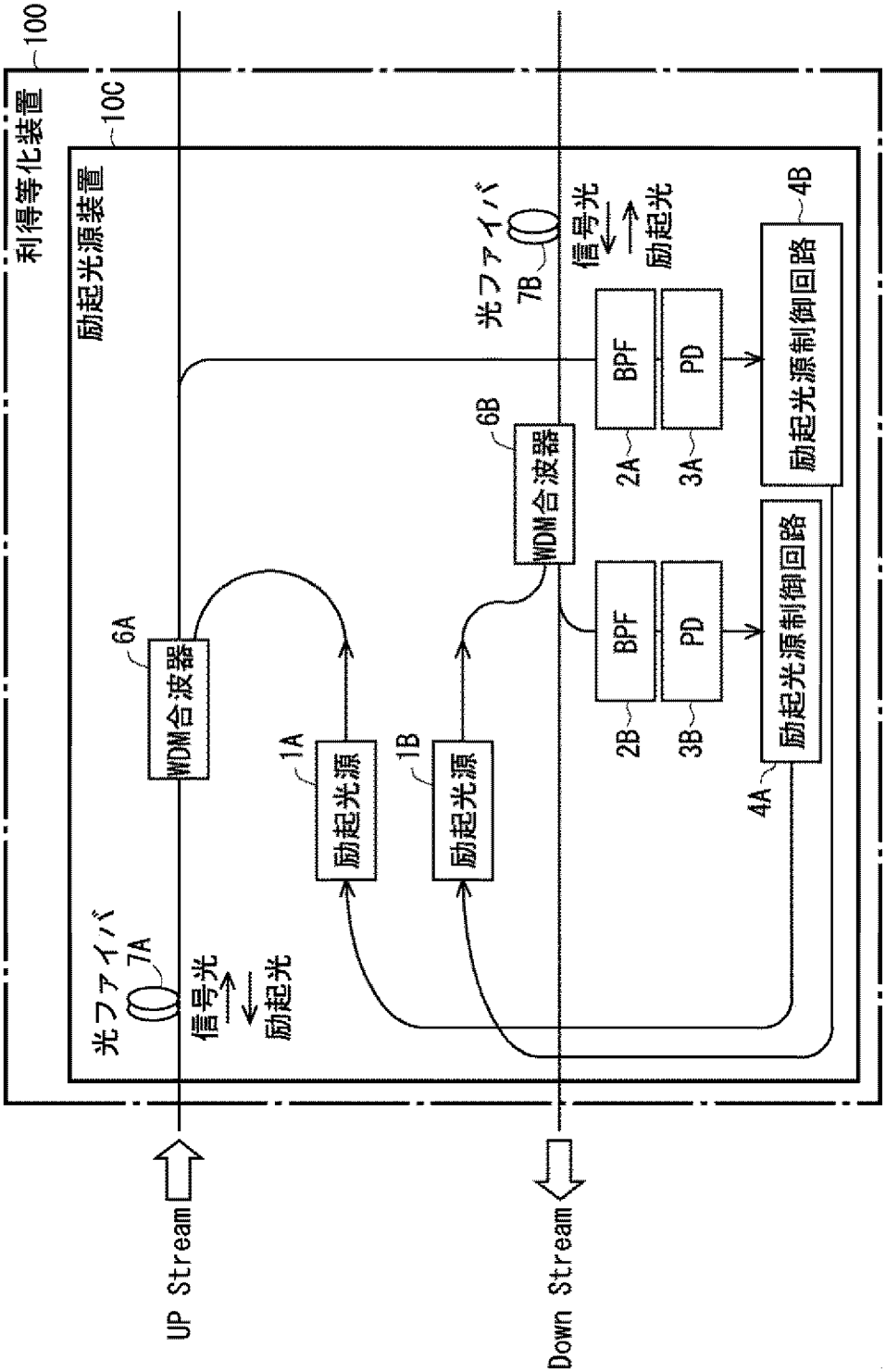
[図7]


54A 総利得
（λp1, λp2のラマン
利得の総和）
ラマン利得
励起光源
信号波長帯域
51 λp1による
ラマン利得
52 λp2による
ラマン利得
53 λp3による
ラマン利得
λp1 λp2 λp3
波長

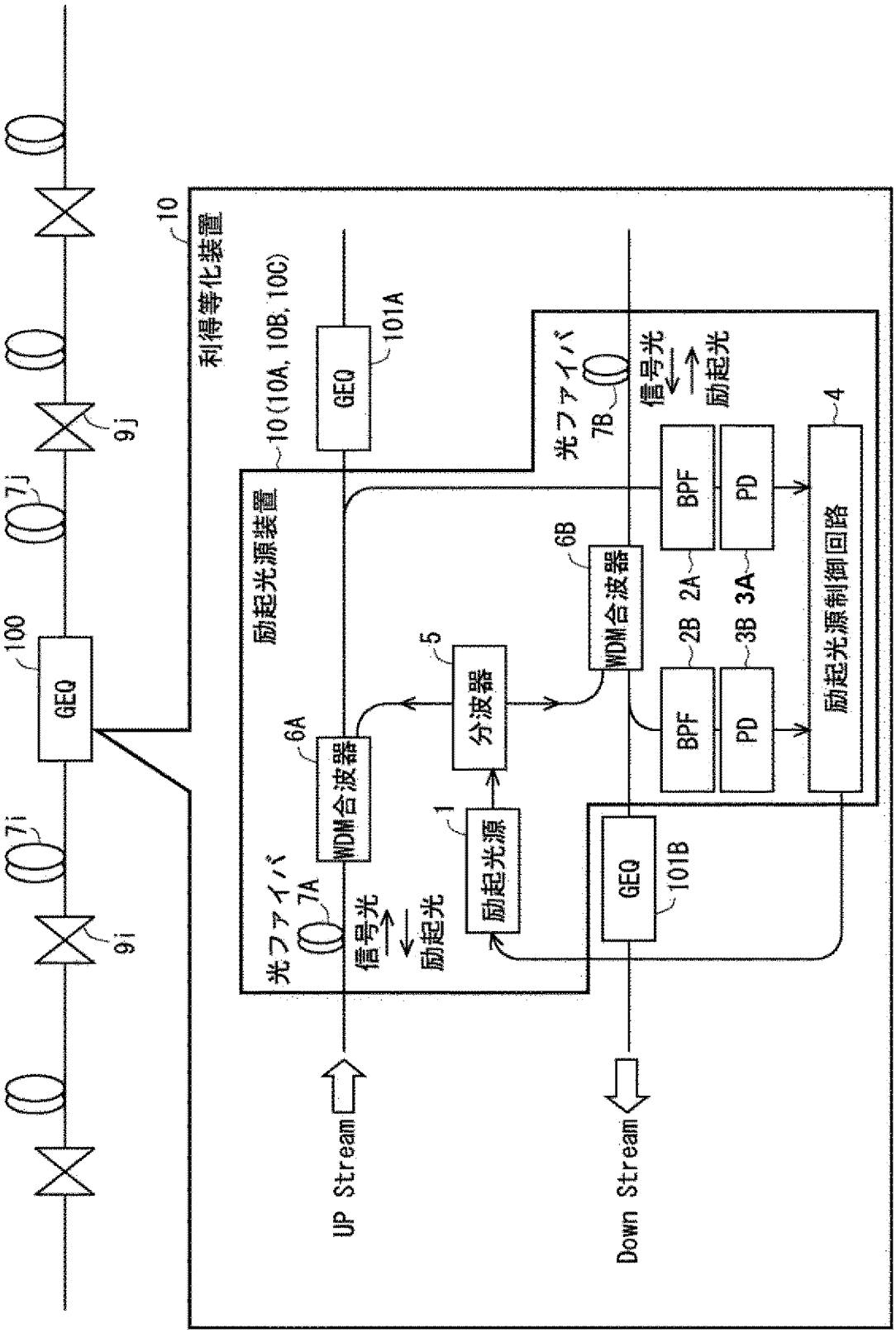
[図8]


100
利得等化装置
10B
励起光源装置
光ファイバ
7A
信号光
励起光
WDM合波器
6A
分波器
5
可変減衰器
9
励起光源
1
光ファイバ
7B
信号光
励起光
WDM合波器
6B
BPF
2A
PD
3A
BPF
2B
PD
3B
励起光源制御回路
4
UP Stream
Down Stream

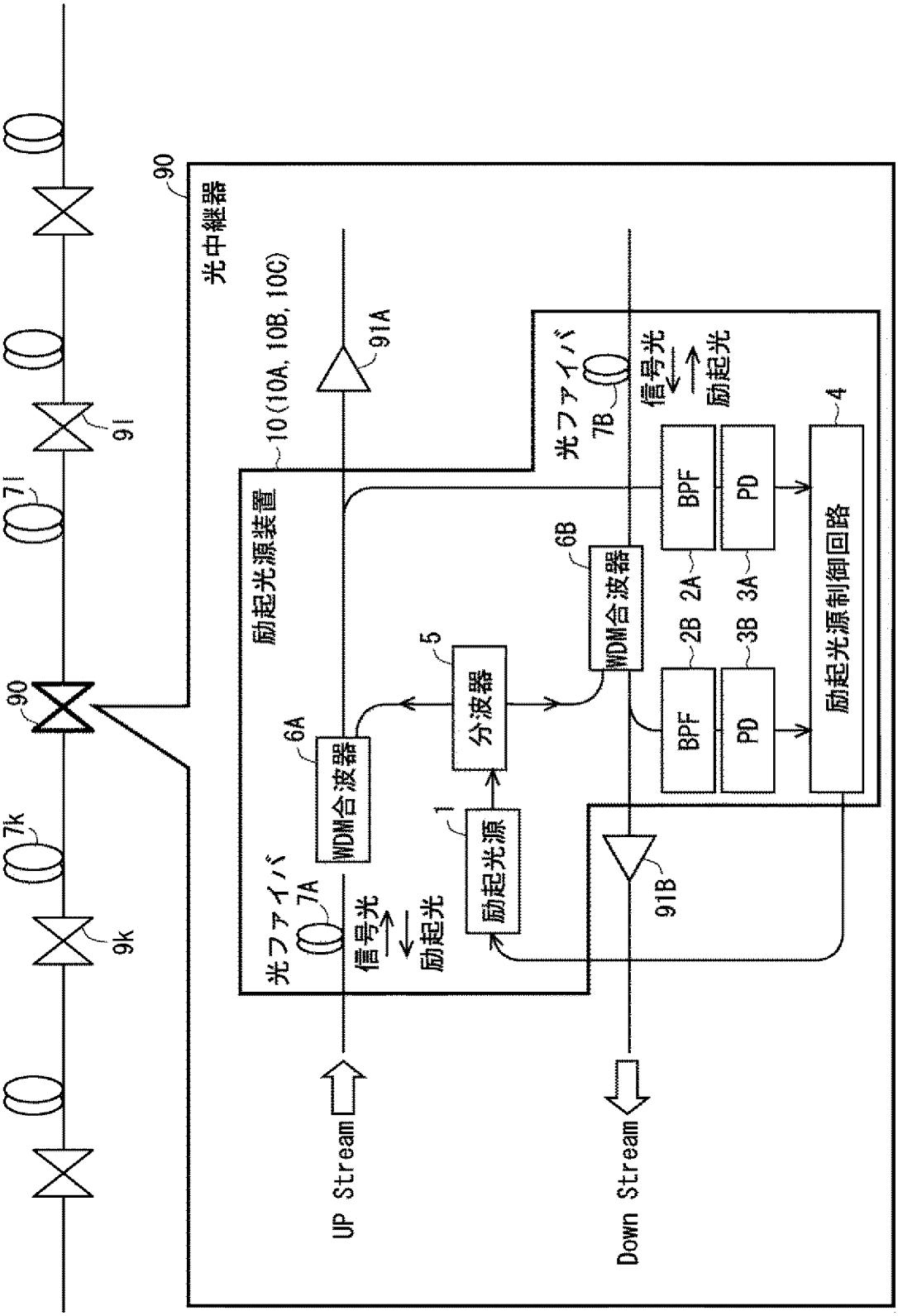
[図9]


100
利得等化装置
10C
励起光源装置
光ファイバ
7A
信号光
励起光
6A
WDM合波器
1A
励起光源
1B
励起光源
6B
WDM合波器
光ファイバ
7B
信号光
励起光
BPF
PD
2A
3A
BPF
PD
2B
3B
4A
励起光源制御回路
4B
励起光源制御回路
UP Stream
Down Stream

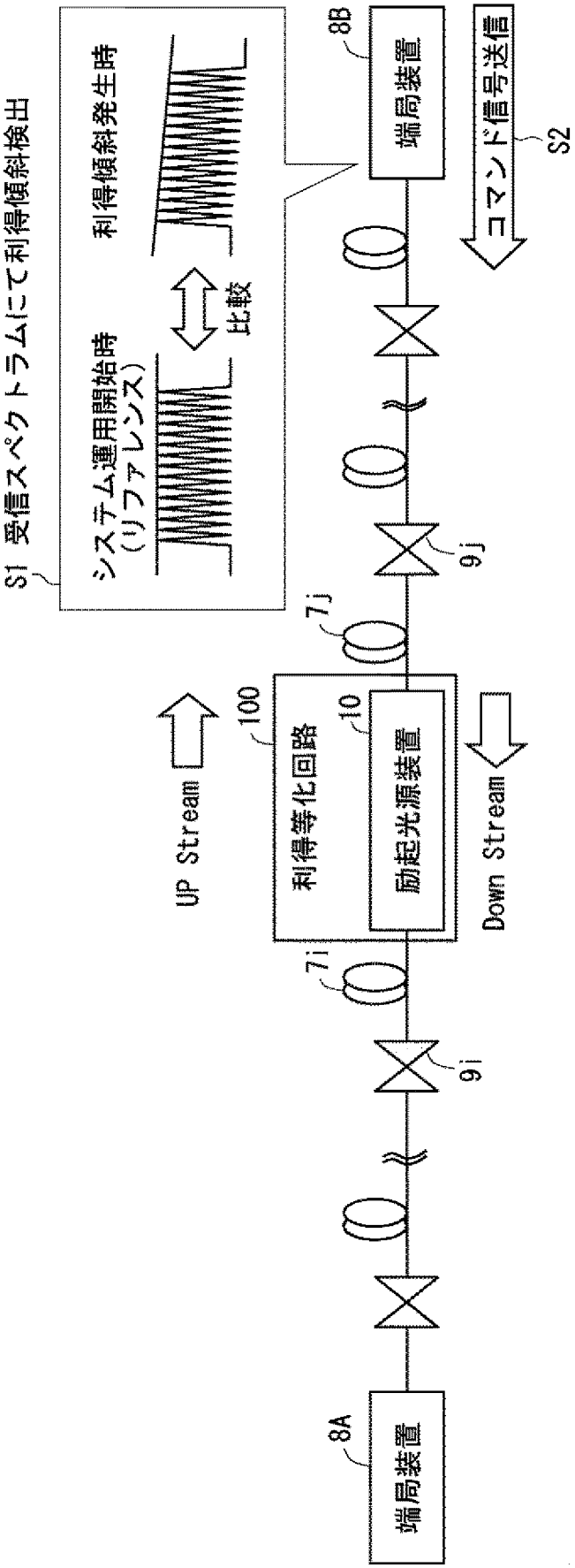
[図10]


10
利得等化装置
10(10A, 10B, 10C)
励起光源装置
100
GEQ
9j
7j
9i
7i
101A
101B
光ファイバ
7A
7B
信号光
励起光
6A
WDM合波器
6B
分波器
5
1
励起光源
2A
2B
3A
3B
BPF
PD
4
励起光源制御回路
UP Stream
Down Stream

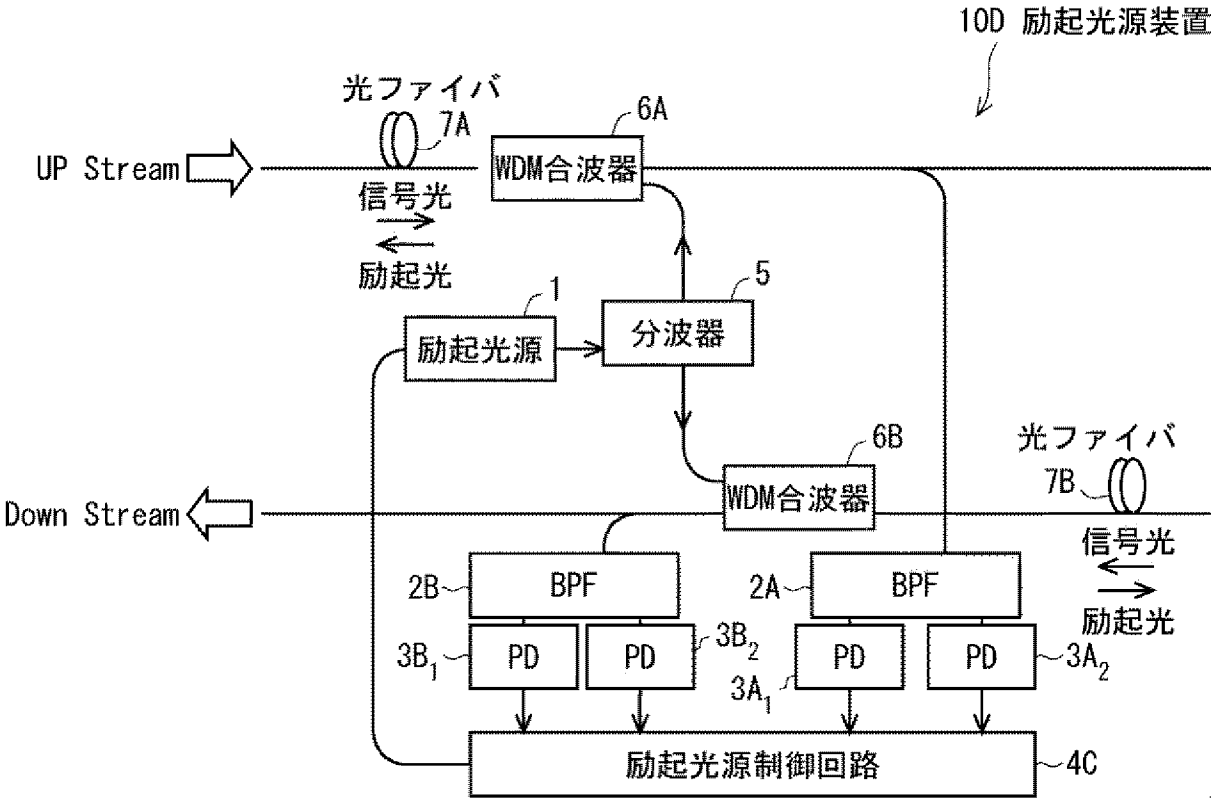
[図11]


光中継器
90
励起光源装置
10(10A, 10B, 10C)
91A
91B
光ファイバ
7A
光ファイバ
7B
信号光
励起光
WDM合波器
6A
WDM合波器
6B
分波器
5
励起光源
1
BPF
2A
PD
3A
BPF
2B
PD
3B
励起光源制御回路
4
UP Stream
Down Stream
90
9l
7l
7k
9k

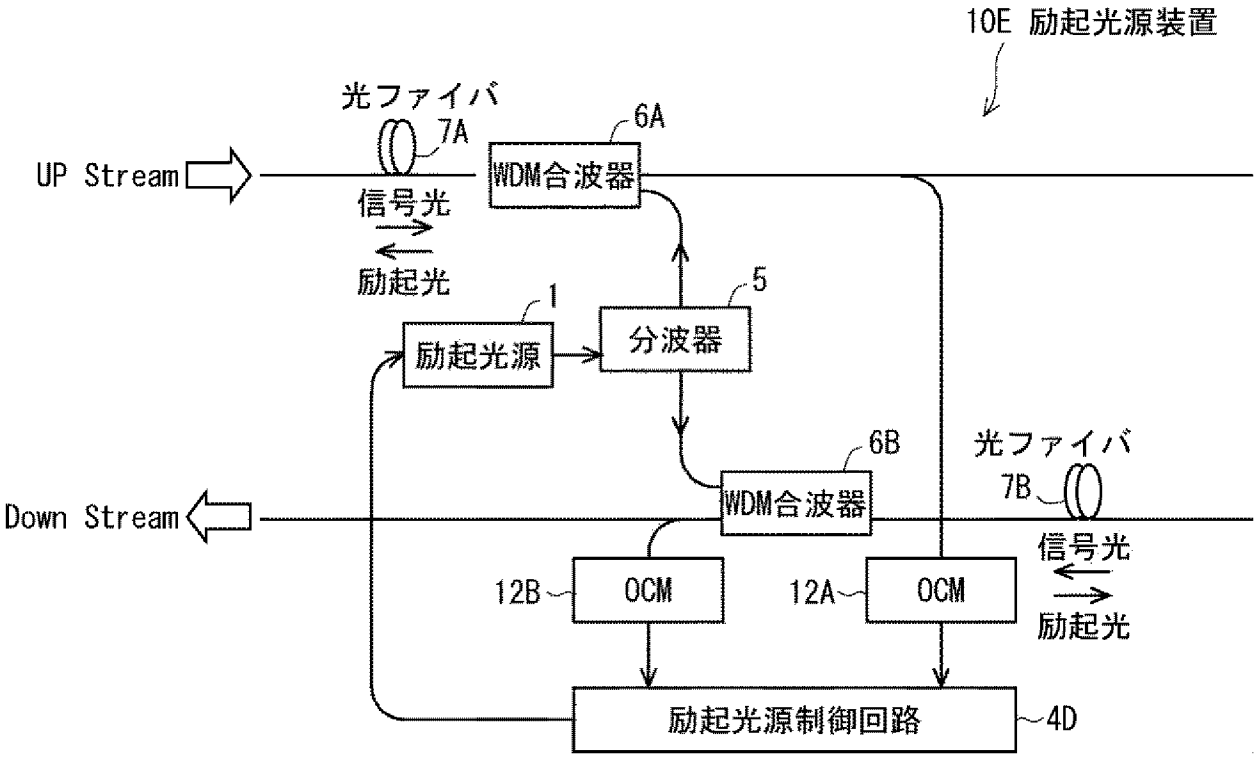
[図12]


S1 受信スペクトラムにて利得傾斜検出
システム運用開始時
(リファレンス)
比較
利得傾斜発生時
8B
端局装置
S2
コマンド信号送信
9j
7j
UP Stream
100
利得等化回路
10
励起光源装置
Down Stream
7i
9i
8A
端局装置

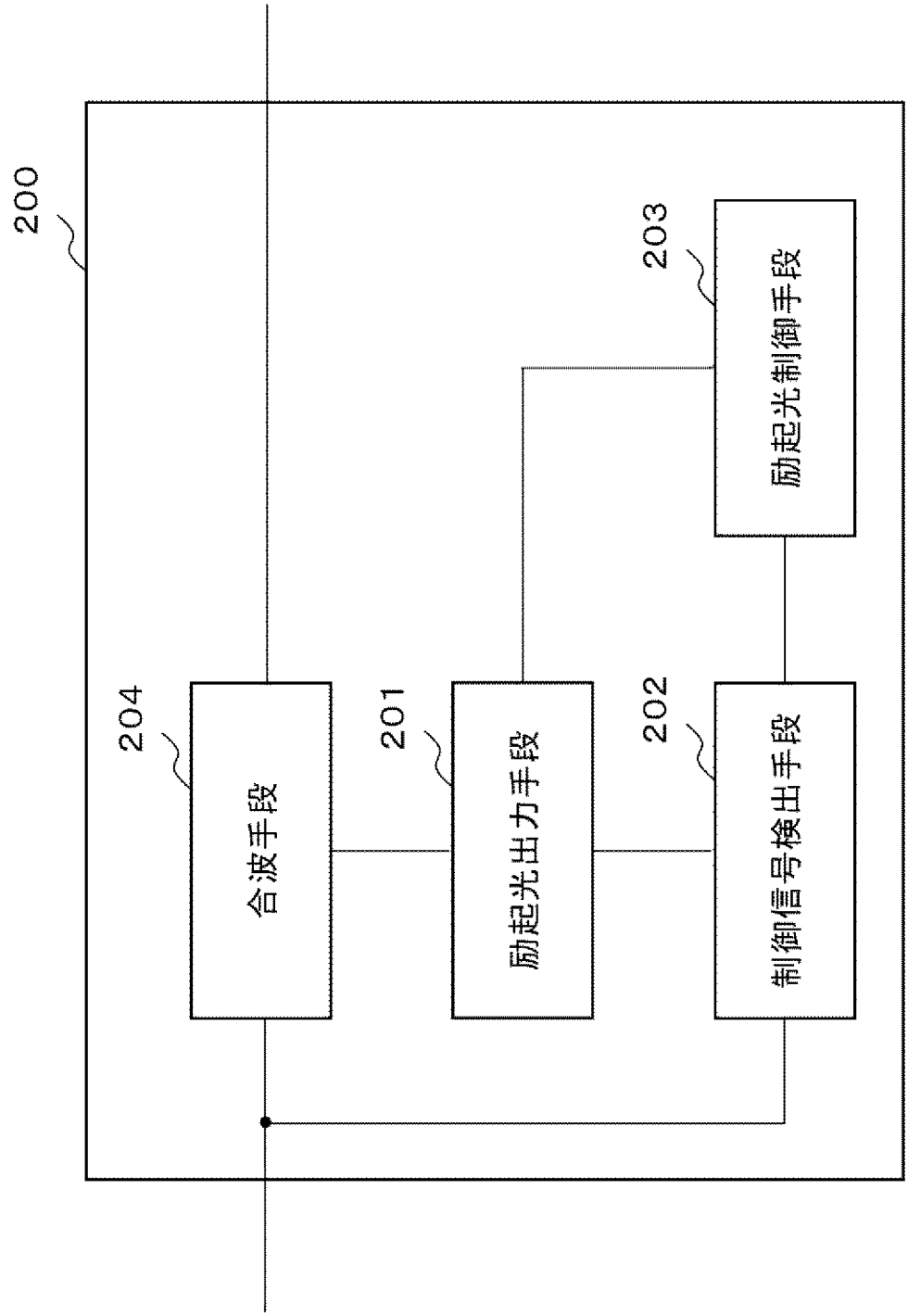
[図13]


10D 励起光源装置
光ファイバ
7A
6A
UP Stream
WDM合波器
信号光
励起光
1
5
励起光源
分波器
6B
光ファイバ
7B
Down Stream
WDM合波器
信号光
2B
BPF
2A
BPF
励起光
3B1
PD
PD
3B2
PD
PD
3A2
3A1
励起光源制御回路
4C

[図14]


10E 励起光源装置
光ファイバ
7A
6A
UP Stream
WDM合波器
信号光
励起光
1
5
励起光源
分波器
6B
光ファイバ
7B
Down Stream
WDM合波器
信号光
12B
OCM
12A
OCM
励起光
励起光源制御回路
4D

[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/011318

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G02F1/35(2006.01)i, *H04B10/294*(2013.01)i, *H04J14/02*(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G02F1/35, H04B10/294, H04J14/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2001-249369 A (NEC Corp.), 14 September 2001 (14.09.2001), claims 12, 20, 21; paragraphs [0041] to [0047]; fig. 8, 11 & US 2001/0019448 A1 claims 12, 20, 21; paragraphs [0065] to [0072]; fig. 8, 11 & US 2004/0170434 A1 & US 2005/0088725 A1 & US 2005/0094251 A1 & US 2005/0185258 A1 & US 6704134 B2 & EP 1143645 A2	1-2,4-5,7, 10-13,15-16, 18 3,14
X Y	JP 2003-177440 A (NEC Corp.), 27 June 2003 (27.06.2003), paragraphs [0016] to [0050]; fig. 1 to 10 (Family: none)	1,5-12,16-20 3,14

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
09 June 2017 (09.06.17)	20 June 2017 (20.06.17)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/011318

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2002-258335 A (Fujitsu Ltd.), 11 September 2002 (11.09.2002), paragraph [0067] & JP 4626918 B2 & US 2002/0122242 A1 paragraph [0108] & US 6606188 B2	3,14
A	US 2011/0141552 A1 (RED-C OPTICAL NETWORKS LTD.), 16 June 2011 (16.06.2011), entire text; all drawings & US 8643941 B2	1-20

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１７／０１１３１８

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G02F1/35(2006.01)i, H04B10/294(2013.01)i, H04J14/02(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G02F1/35, H04B10/294, H04J14/02

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１７年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１７年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１７年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X Y	JP 2001-249369 A (日本電気株式会社) 2001.09.14, 請求項 12,請求項 20,請求項 21,段落 [0041] -[0047], 第 8 図, 第 11 図 & US 2001/0019448 A1,claim12,claim20,claim21, [0065]-[0072],FIG.8,FIG,11 & US 2004/0170434 A1 & US 2005/0088725 A1 & US 2005/0094251 A1 & US 2005/0185258 A1 & US 6704134 B2 & EP 1143645 A2	1-2,4-5,7,10-13,15-16,18 3,14

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　　☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
０９．０６．２０１７	２０．０６．２０１７

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　２Ｌ　９３１６
佐藤　宙子
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２９５

C（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X Y	JP 2003-177440 A（日本電気株式会社）2003.06.27，段落[0016]-[0050]，第1-10図（ファミリーなし）	1,5-12,16-20 3,14
Y	JP 2002-258335 A（富士通株式会社）2002.09.11，段落［0067］ & JP 4626918 B2 & US 2002/0122242 A1,[0108] & US 6606188 B2	3,14
A	US 2011/0141552 A1（RED-C OPTICAL NETWORKS LTD.）2011.06.16，全文、全図 & US 8643941 B2	1-20