

(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  
2012年5月3日(03.05.2012)

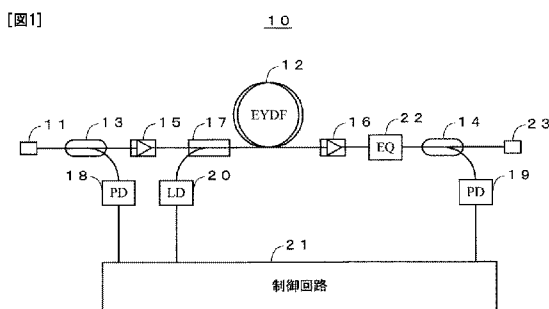
PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2012/056573 A1

- (51) 国際特許分類:  
H01S 3/10 (2006.01) H04J 14/02 (2006.01)  
H04J 14/00 (2006.01)
  - (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/069352
  - (22) 国際出願日: 2010年10月29日(29.10.2010)
  - (25) 国際出願の言語: 日本語
  - (26) 国際公開の言語: 日本語
  - (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 古河電気工業株式会社(Furukawa Electric Co., Ltd.) [JP/JP]; 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 Tokyo (JP).
  - (72) 発明者; および
  - (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 鈴木 幹哉(SUZUKI Mikiya) [JP/JP]; 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP).
  - (74) 代理人: 住吉 秀一, 外(SUMIYOSHI Shuichi et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内1丁目6番2号 新丸の内センタービルディング ソンデルホフ&アインゼル法律特許事務所 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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:  
 — 国際調査報告(条約第21条(3))  
 — 補正された請求の範囲及び説明書(条約第19条(1))

(54) Title: OPTICAL AMPLIFIER DEVICE AND OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM

(54) 発明の名称: 光増幅装置および光伝送システム



21 Control circuit

(57) Abstract: The purpose is to provide an optical amplifier device capable of amplifying a wavelength division multiplexed optical signal in a single process. The present invention comprises: an input unit (input port (11)) for inputting a wavelength division multiplexed optical signal; a laser light source (laser diode (20)) for generating multimode laser light; a double-clad optical fiber (amplifying optical fiber (12)) for amplifying and outputting an optical signal having a plurality of wavelengths contained in the wavelength division multiplexed optical signal by stimulated emission produced by the multimode laser light, the multimode laser light being inputted to a clad part, and the wavelength division multiplexed optical signal being inputted into a core part to which a rare earth element has been added; a gain equalizer (gain equalizer (22)) for flattening the gain characteristics of the wavelength division multiplexed optical signal after amplification by the double-clad optical fiber; and an output unit (output port (23)) for outputting the amplified wavelength division multiplexed optical signal.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2012/056573 A1



---

波長分割多重光信号を一括して増幅可能な光増幅装置を提供すること。波長分割多重光信号を入力する入力部（入力ポート11）と、マルチモードレーザ光を発生するレーザ光源（レーザダイオード20）と、クラッド部にマルチモードレーザ光が入力され、希土類元素が添加されたコア部に波長分割多重光信号が入力され、マルチモードレーザ光による誘導放出によって波長分割多重光信号に含まれる複数の波長の光信号を増幅して出力するダブルクラッド型の光ファイバ（増幅光ファイバ12）と、前記ダブルクラッド型の光ファイバによる増幅後の前記波長分割多重光信号の利得特性を平坦化する利得等化器（利得等化器22）と、増幅された波長分割多重光信号を出力する出力部（出力ポート23）と、を有する。

## 明 細 書

**発明の名称**：光増幅装置および光伝送システム

### 技術分野

[0001] 本発明は、光通信分野等に適用される光増幅装置および光伝送システムに関するものである。

### 背景技術

[0002] 近年、F T T x (Fiber To The x) と呼ばれる、ユーザ宅向けの光ファイバ通信網が社会に浸透している。このような光ファイバ通信網では、伝送路の伝送損失を補償するとともに、複数の加入者に光信号を分配するための分配器における分配損失を補償する目的で、光増幅装置が使用される。

[0003] このような光増幅装置としては、例えば、光増幅物質としてエルビウムがコア部に添加された光ファイバに、映像信号等の光信号を入力するとともに、励起光源からの励起光を入力することにより、光信号を増幅するファイバ型光増幅装置 (E D F A : Erbium Doped Fiber Amplifier) が知られている。近年では、さらに、吸収帯域としてワット級出力の高出力レーザが励起光源として適用できるイッテルビウム (Ytterbium) をコア部に添加することが行われている。また、コア部において結合可能な励起光強度を高めるために、光信号をコア部にシングルモード伝搬させ、出力の高いマルチモードレーザ光源からの励起光を、コア部を囲むクラッド部内にマルチモード伝搬させるダブルクラッド型の光ファイバを使用することも行われている (特許文献 1 参照)。

[0004] エルビウムおよびイッテルビウムを添加した光ファイバを用いた光増幅装置は、当該光ファイバにおける変換効率が高い 1550~1560 nm 帯域内の 1 波もしくは 2 波程度の光信号を増幅する目的で使用されることが多い。図 14 は、このような光増幅装置の出力を 16 分岐した後の増幅特性を示す図である。この図の横軸は光信号の波長を示し、縦軸は光出力を示している。この例は、1550 nm の信号を増幅した光スペクトルである。

## 先行技術文献

### 特許文献

[0005] 特許文献1：特開2008-53294号

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0006] ところで、前述したエルビウムおよびイッテルビウムを添加した光ファイバを用いた光増幅装置は、一般的に1550～1560nm帯の波長域の信号が広く使われているFTTxシステムに適用されてきたが、増幅帯域幅は広くても25nm程度である。しかし、通信分野で使われる波長分割多重(WDM: Wavelength Division Multiplexing)したC-Band全域(1530～1560nm)の光信号を一括して増幅するためには、帯域幅が狭いという問題点がある。

[0007] そこで、本発明が解決しようとする課題は、従来より広帯域な波長分割多重光信号を一括して増幅可能な光増幅装置を提供することにある。

#### 課題を解決するための手段

[0008] 上記課題を解決するため、本発明は、波長分割多重光信号を増幅する光増幅装置において、前記波長分割多重光信号を入力する入力部と、マルチモードレーザ光を発生するレーザ光源と、クラッド部に前記マルチモードレーザ光が入力され、希土類元素が添加されたコア部に前記波長分割多重光信号が入力され、前記マルチモードレーザ光による誘導放出によって前記波長分割多重光信号に含まれる複数の波長の光信号を増幅して出力するダブルクラッド型の光ファイバと、前記ダブルクラッド型の光ファイバによる増幅後の前記波長分割多重光信号の利得特性を平坦化する利得等化器と、増幅された前記波長分割多重光信号を出力する出力部と、を有することを特徴とする。

このような構成によれば、波長分割多重光信号を一括して増幅可能となる。

[0009] また、他の発明は、上記発明に加えて、前記ダブルクラッド型の光ファイ

バから出力される残留励起光を減衰させる減衰部を有することを特徴とする。

このような構成によれば、残留励起光によって光学部品が発熱したり、損傷したりすることを防止できる。

[0010] また、他の発明は、上記発明に加えて、前記コア部には、前記希土類元素として、エルビウムとイッテルビウムが共添加されていることを特徴とする。

このような構成によれば、ワット級出力の高出力レーザを励起光源として適用することが可能となる。

[0011] また、他の発明は、上記発明に加えて、前記ダブルクラッド型の光ファイバは、当該光ファイバの条長と吸収係数の所定波長帯におけるピーク値との積で表される吸収条長積が、前記波長分割多重光信号を構成する全ての波長に対して所定の利得を有する吸収条長積に設定されていることを特徴とする。

この構成によれば、吸収条長積を適切に設定することにより、十分な吸収条長積を有する場合に最も変換効率が高い波長帯域を多少犠牲にすることにより、波長分割多重光信号を構成する全ての波長の光信号に対してゲインを有することができる。

[0012] また、他の発明は、上記発明に加えて、前記波長多重光信号は、1528～1570 nmの波長帯域内にあることを特徴とする。

このような構成によれば、C-Bandの波長分割多重光信号を一括増幅することが可能となる。

[0013] また、他の発明は、上記発明に加えて、前記マルチモードレーザ光は、910～960 nmの波長範囲内にあることを特徴とする。

このような構成によれば、種々のマルチモードレーザ光源を用いることができる。

[0014] また、他の発明は、上記発明に加えて、前記ダブルクラッド型の光ファイバは、前記エルビウムの前記コア部における吸収条長積が1535 nm近傍

の波長について略300 dB以下に設定されていることを特徴とする。

このような構成によれば、全ての波長の光信号に対して所定のゲインを持たせることができる。

[0015] また、他の発明は、上記発明に加えて、前記ダブルクラッド型の光ファイバは、前記エルビウムの前記コア部における吸収条長積が1535 nm近傍の波長について略30～150 dBの範囲に設定されていることを特徴とする。

このような構成によれば、例えば、C-Bandの波長分割多重光信号を構成する全ての波長の光信号に対して所定のゲインを持たせるとともに、増幅効率を高めることができる。

[0016] また、他の発明は、上記発明に加えて、前記ダブルクラッド型の光ファイバは、前記イッテルビウムの前記クラッド部における吸収条長積が915 nm近傍の波長について略20 dB以下に設定されていることを特徴とする。

この構成によれば、全ての波長の光信号に対して所定のゲインを持たせることができる。

[0017] また、他の発明は、上記発明に加えて、前記ダブルクラッド型の光ファイバは、前記イッテルビウムの前記クラッド部における吸収条長積が915 nm近傍の波長について略0.9～9.5 dBの範囲に設定されていることを特徴とする。

この構成によれば、例えば、C-Bandの波長分割多重光信号を構成する全ての波長の光信号に対して所定のゲインを持たせるとともに、増幅効率を高めることができる。

[0018] また、本発明の光伝送システムは、波長分割多重光信号を送信する光送信装置と、前記光送信装置から送信された波長分割多重光信号を増幅する光増幅装置であって、前記波長分割多重光信号を入力する入力部と、マルチモードレーザ光を発生するレーザ光源と、クラッド部に前記マルチモードレーザ光が入力され、希土類元素が添加されたコア部に前記波長分割多重光信号が入力され、前記マルチモードレーザ光による誘導放出によって前記波長分割

多重光信号に含まれる複数の波長の光信号を増幅して出力するダブルクラッド型の光ファイバと、前記ダブルクラッド型の光ファイバによる増幅後の前記波長分割多重光信号の利得特性を平坦化する利得等化器と、増幅された前記波長分割多重光信号を出力する出力部と、を有することを特徴とする光増幅装置と、前記光増幅装置によって増幅された前記波長分割多重光信号を受信する光受信装置と、を有することを特徴とする。

このような構成によれば、伝送システムの通信品質を高めるとともに、消費電力を削減して、システムの維持に必要な経費を節約することができる。

### 発明の効果

[0019] 本発明の光増幅装置および光伝送システムによれば、波長分割多重光信号を一括して増幅可能となる。

### 図面の簡単な説明

- [0020] [図1]本発明の第1実施形態の光増幅装置の構成例を示すブロック図である。  
[図2]図1に示す増幅光ファイバの断面構造と各部位の屈折率を示す図である。  
[図3]増幅光ファイバの長さを変化させた場合の励起光の強度と変換効率との関係を示す図である。  
[図4]増幅光ファイバの長さを1.8~7.8mの間で変化させた場合の光信号の波長とゲインとの関係を示す図である。  
[図5]利得等化器の動作を説明する図である。  
[図6]本実施形態の光増幅装置を適用した光伝送システムの構成例を示す図である。  
[図7]本発明の第2実施形態の光増幅装置の構成例を示すブロック図である。  
[図8]図7に示す励起光減衰部の詳細な構成例を示す図である。  
[図9]本発明の第3実施形態の光増幅装置の構成例を示すブロック図である。  
[図10]本発明の第4実施形態の光増幅装置の構成例を示すブロック図である。  
[図11]本発明の第5実施形態の光増幅装置の構成例を示すブロック図である。

。

[図12] 図 1 1 に示す励起光混合器の構成例を示す図である。

[図13] 図 1 1 に示す励起光減衰部の構成例を示す図である。

[図14] 増幅光ファイバの長さが 1 2 m である場合において、1 6 分岐後の光信号の波長とゲインとの関係を示す図である。

### 発明を実施するための形態

[0021] 次に、本発明の実施形態について説明する。

#### (A) 第 1 実施形態の構成

図 1 は本発明の第 1 実施形態の光増幅装置の構成例を示す図である。この図に示すように、光増幅装置 1 0 は、入力ポート 1 1、増幅光ファイバ 1 2、光カップラ 1 3、1 4、光アイソレータ 1 5、1 6、励起光混合器 1 7、フォトダイオード 1 8、1 9、レーザダイオード 2 0、制御回路 2 1、利得等化器 2 2、および、出力ポート 2 3 を有している。

[0022] 入力ポート 1 1 は、例えば、光コネクタ等によって構成され、例えば、波長帯域が 1 5 3 0 ~ 1 5 6 0 nm である C-Band の波長分割多重光信号を入力する。増幅光ファイバ (EYDF : Erbium Ytterbium Doped Fiber) 1 2 は、波長分割多重光信号を、レーザダイオード 2 0 によって発生された励起光による誘導放出によって増幅する。

[0023] 図 2 は、増幅光ファイバ 1 2 の断面構造と、各部の屈折率を示す図である。図 2 に示すように、増幅光ファイバ 1 2 は、コア部 1 2 a、第 1 クラッド部 1 2 b、および、第 2 クラッド部 1 2 c を有するダブルクラッド型の光ファイバである。また、図 2 の下に示すように、各部の屈折率の高さは、コア部 1 2 a、第 1 クラッド部 1 2 b、および、第 2 クラッド部 1 2 c の順になっており、光信号は、コア部 1 2 a をシングルモードで伝搬され、レーザダイオード 2 0 からの励起光は、コア部 1 2 a と第 1 クラッド部 1 2 b をマルチモードで伝搬される。コア部 1 2 a は、例えば、石英ガラスによって構成され、エルビウム (Er) とイッテルビウム (Yb) とが共添加されている。第 1 クラッド部 1 2 b は、例えば、石英ガラスによって構成されている。



第2クラッド部12cは、例えば、樹脂や石英ガラス等によって構成されている。増幅光ファイバ12の条長と、吸収係数（本発明における吸収係数は、励起波長での吸収率を表し、より詳しくは信号光波長の励起に加担する成分を指すものとする）の所定波長のピーク値との積で表される吸収条長積は、後述する条件に基づいて設定されている。なお、図2は、第1クラッド部12bが円形の断面形状を有する場合を例に挙げているが、円形に限らず、例えば、矩形、三角形、または、星形等の形状であってもよい。

[0024] 光カプラ13は、入力ポート11から入力された光信号の一部を分岐してフォトダイオード18に入力し、残りを光アイソレータ15に入力する。フォトダイオード（PD）18は、光カプラ13によって分岐された光信号に対応する電気信号に変換し、制御回路21に供給する。なお、制御回路21では、フォトダイオード18から供給された電気信号をアナログもしくは対応するデジタル信号に変換し、入力信号の光強度を検出する。

[0025] 光アイソレータ15は、光カプラ13からの光を透過させ、増幅光ファイバ12と励起光混合器17から戻ってくる信号波長帯域の光を遮断する機能を有する。レーザダイオード（LD）20は、例えば、波長が900nm帯域の励起光としてのレーザ光を発生するマルチモード半導体レーザ素子によって構成される。なお、レーザダイオード20は、冷却素子としてのペルチェ素子を有しないアンクールド（uncooled）型の半導体レーザ素子である。なお、ペルチェ素子を有するクールド型の半導体レーザ素子を用いることも可能である。

[0026] 励起光混合器17は、レーザダイオード20によって発生された励起光を、増幅光ファイバ12に入力し、コア部12a内と第1クラッド部12b内とをマルチモードで伝搬させる。また、励起光混合器17は、光アイソレータ15から出力された光信号を、増幅光ファイバ12に入力し、コア部12a内をシングルモードで伝搬させる。

[0027] 光アイソレータ16は、信号波長帯域については、増幅光ファイバ12からの光を透過させ、光カプラ14から戻ってくる光を遮断する機能を有する

。また、光アイソレータ 16 は、励起波長の光も吸収し、後段側に伝搬するのを防ぐ機能も有する。利得等化器 (EQ) 22 は、増幅光ファイバ 12 によって増幅された光信号の利得波長特性を平坦化する。光カプラ 14 は、利得等化器 22 から出力される光信号の一部を分岐してフォトダイオード 19 に入力し、残りを出力ポート 23 に導く。出力ポート 23 は、例えば、光コネクタ等によって構成され、増幅された光信号を外部に対して出力する。

[0028] 制御回路 21 は、例えば、CPU (Central Processing Unit)、ROM (Read Only Memory)、RAM (Random Access Memory)、A/D (Analog to Digital) 変換回路、および、D/A (Digital to Analog) 変換回路等によって構成され、CPU が ROM に格納されているプログラムに応じて、RAM をワークエリアとして演算処理を実行し、フォトダイオード 18、19 から供給される信号に基づいて、レーザダイオード 20 の駆動電流を制御することにより、光増幅装置 10 から出力される光信号の強度が一定になるように ALC (Automatic Output Power Level Control)、または、利得が一定となるように AGC (Automatic Gain Control) を実行する。なお、制御回路 21 は、例えば、DSP (Digital Signal Processor) 等によって構成するようにしてもよい。

[0029] (B) 第 1 実施形態の動作

以下では、第 1 実施形態の動作の概要を説明した後、詳細な動作を説明する。第 1 実施形態では、エルビウムとイッテルビウムとが共添加されたダブルクラッド型の増幅光ファイバ 12 を使用しているが、当該増幅光ファイバ 12 は、一般的には、1550~1560 nm 付近の 1 波または 2 波程度の光信号の増幅に使用される。また、変換効率を高めるために、増幅光ファイバ 12 の長さ (条長) は、10 m 以上 (エルビウムの吸収条長積にして 400 dB 以上) に設定されることが一般的である。図 3 は、増幅光ファイバ 12 の長さを変化させた場合における、915 nm の励起光のパワーと、波長 1550 nm の出力信号光パワーの変換効率 (PCE: Power Conversion Efficiency) との関係を示す図である。この図に示すように、増幅光ファイバ

12の長さが、10m以上である場合（10m、12m、14mの場合）には、変換効率は略同じ特性を有しているが、8mの場合には10m以上の場合に比較すると変換効率が顕著に低くなっている。

[0030] 前述した図14は、増幅光ファイバ12の長さが12mである場合における16分岐後の増幅特性である。このように、増幅光ファイバ12の長さが10m以上である場合には、増幅特性は1550～1560nm付近に25nm程度の増幅帯域を有する（狭帯域）な特性となる。

[0031] 図4は、増幅光ファイバ12の長さを1.8～7.8mの間で変化させた場合の波長とゲインの関係をプローブ法によって実測した結果を示す図である。プローブ法は、一般的に波長多重信号を入力した場合の増幅特性を少数の信号を用いて容易かつ正確に把握する手段である。この図に示すように、増幅光ファイバ12の長さが長くなるにつれて、短波長側の増幅帯域が図の右側（長波長側）に移動し、特性が狭帯域化する。

[0032] そこで、本願では、エルビウムとイッテルビウムとが共添加されたダブルクラッド型の増幅光ファイバ12を、1550nm帯の信号を増幅するために通常使用される長さ（10m以上）よりも短い長さに設定することにより、十分な長さ（例えば、10m以上）において最も変換効率が高い帯域である1550～1560nm付近の特性は多少犠牲にする代わりに、増幅特性を広帯域化（例えば、33nm程度に広帯域化）する。これにより、例えば、波長帯域が1530～1560nmであるC-Bandの波長分割多重光信号を一括増幅することが可能となる。なお、この場合、1528～1570nmの波長帯域において、実用的な利得を得ることができる。その結果、第1実施形態の光増幅装置10を、WDMおよびDWDM（Dense Wavelength Division Multiplexing）等の光増幅装置として、従来のEDFA（Erbium Doped Fiber Amplifier）に代替して、通信分野に適用することが可能になる。また、レーザダイオード20としてアンクルド型の高出力マルチモードレーザダイオードを使用することができることから、ペルチェ素子によって消費される電力（レーザダイオード20を駆動するために必要な電力の約

2倍の電力)が不要になり、光増幅装置10の消費電力を1/3以下に減少させることができる。消費電力の一例として、1波のアンプの例を示す。EDFAで冷却型シングルモードLDの400mW級を3個使用して得られる出力は、約+28.5dBmで最大消費電流は12.6Aであるのに対し、ダブルクラッド型アンプ(クラッドポンプアンプ)で4W級の非冷却マルチモードLD1個を使用して得られる出力は+30dBmで最大消費電流は4.2Aである。また、ペルチェ素子の放熱器を省略することにより、装置全体のサイズを縮小することができる。さらに、エルビウムとイッテルビウムとが共添加されたダブルクラッド型の増幅光ファイバ12は、高利得を簡単に得ることができることから、利得等化器22によって利得の平坦化を行った場合であっても、従来のEDFAで波長多重信号を増幅した場合よりも広帯域かつ高利得の増幅を実現できる。

[0033] つぎに、第1実施形態の詳細な動作について説明する。

[0034] 第1実施形態では、一例として、波長帯域が1530~1560nmであるC-Bandの波長分割多重光信号を増幅する場合を例に挙げて説明する。波長分割多重光信号が入力ポート11から入力されると、光カプラ13は、その一部を分岐してフォトダイオード18に入力する。具体的には、光カプラ13が20dBカプラである場合(分岐比が1/100である場合)には、光信号の1/100がフォトダイオード18に入力され、残りが光アイソレータ15に入力される。

[0035] フォトダイオード18は、入力された光信号を電気信号に変換し、制御回路21に供給する。制御回路21は、入力された電気信号をアナログ信号または対応するデジタル信号に変換した後、得られたデータと、光カプラ13の分岐比とに応じて入力ポート11から入力された光信号の強度を算出する。

[0036] 光アイソレータ15を通過した光信号は、励起光混合器17に導かれる。励起光混合器17は、光アイソレータ15を通過した光信号を増幅光ファイバ12のコア部12aに入力し、コア部12a内をシングルモードで伝搬さ

せる。一方、レーザダイオード20が発生した励起光は、励起光混合器17により、増幅光ファイバ12のコア部12aと第1クラッド部12bに入力され、コア部12aと第1クラッド部12bの内部をマルチモードで伝搬される。励起光は、増幅光ファイバ12を伝搬しながら、コア部12aのイッテルビウムイオン( $Yb^{3+}$ )に吸収され、イッテルビウムイオンが間接的にエルビウムイオン( $Er^{3+}$ )を励起する。コア部12aを伝搬される光信号は、励起されたエルビウムイオンからの誘導放出によって増幅される。なお、本実施形態および後述する第2の実施形態では、マルチモードの励起光パワーは、7W~21W程度となっている。

[0037] このとき、増幅光ファイバ12の長さが1.8mに設定されている場合であって、光信号の強度が-3dBmであるときには、図4の実線で示すような増幅特性を有することから、波長帯域が1530~1560nmであるC-Bandの波長分割多重光信号は、図4に示すゲイン特性に基づいて増幅される。具体的には、1530nmの波長に対しては約27dBのゲインで増幅され、1560nmの波長に対しては約34dBのゲインで増幅される。

[0038] 増幅光ファイバ12によって増幅された光信号は、光アイソレータ16を介して利得等化器22に導かれる。利得等化器22では、対象となる帯域内における各波長の利得の平坦化が実行される。図5は、利得等化器22の動作の概略を説明する図である。図5(A)は、増幅光ファイバ12の波長とゲインとの関係を示す図である。なお、この曲線は、図4の増幅光ファイバ12の長さが1.8mの場合に対応している。図5(B)は、利得等化器22の波長とゲインの関係を示す図である。この図に示すように、利得等化器22の波長とゲインの関係を示す曲線は、図5(A)に示す増幅光ファイバ12の特性を示す曲線と逆のゲイン特性を有している。図5(C)は、増幅光ファイバ12と利得等化器22のトータルのゲインを示す図である。この図に示すように、増幅光ファイバ12と利得等化器22の双方を通過することにより、ゲインは波長によらず一定とされる。このように、利得等化器2

2を用いることにより、波長分割多重光信号をその波長によらず一定のゲインで増幅することができる。なお、図4の例では、1530~1560nmの範囲では、1530nmに対するゲインが約27dBで最も低いことから、利得等化器22通過後の1530~1560nmの範囲のゲインは、当該27dBを基準として平坦化され、波長によらず約27dB程度となる。

[0039] 利得等化器22を通過した光信号は、光カプラ14に入力される。光カプラ14は、入力された光信号の一部を分岐してフォトダイオード19に入力する。具体的には、光カプラ14が20dBカプラである場合（分岐比が1/100である場合）には、光信号の1/100がフォトダイオード19に入力され、残りが出力端23に導かれる。光カプラ14を通過した光信号は、出力端23から出力される。

[0040] フォトダイオード19は、入力された光信号を電気信号に変換し、制御回路21に供給する。制御回路21は、入力された電気信号をアナログ信号または対応するデジタル信号に変換した後、得られたデータと、光カプラ14の分岐比とに応じて、増幅後の光信号の強度を算出する。そして、制御回路21は、前述した処理によって算出した入力光の強度と、出力光の強度に基づいて、増幅光ファイバ12のゲインを求める。そして、出力光強度や求めたゲインに基づいて、出力または利得が一定になるようにする制御である出力一定制御（ALC）や利得一定制御（AGC）を実行する。なお、これ以外にも、励起電流一定制御（ACC：Automatic Current Control）または励起パワー一定制御（APC：Automatic Pump Power Control）等に基づいて制御するようにしてもよい。

[0041] 以上に説明したように、本発明の第1実施形態によれば、エルビウムとイットルビウムとが共添加されたダブルクラッド型の増幅光ファイバ12を、通常使用される長さである10mよりも短い長さに設定し、最も変換効率が高い帯域である1550~1560nm付近の特性を多少犠牲にする代わりに、増幅特性を広帯域化することにより、例えば、波長帯域が1530~1560nmであるC-Bandの波長分割多重光信号を一括増幅することが

可能となる。

[0042] また、レーザダイオード20としてアンクルド型を使用する場合は、ペルチェ素子によって消費される電力が不要になることから、光増幅装置10の消費電力を1/3程度に減少させることができるとともに、ペルチェ素子の放熱器を省略することにより、装置全体のサイズを縮小することができる。もちろん、レーザダイオード20として、ペルチェ素子を有するクールド型のレーザダイオードを使用することも可能である。

[0043] また、第1実施形態では、エルビウムとイッテルビウムとが共添加されたダブルクラッド型の増幅光ファイバ12を使用しているが、当該増幅光ファイバ12は、高利得を簡単に得ることができることから、利得等化器22によって利得の平坦化を行った場合であっても、従来のEDFAで利得を得る場合よりも広帯域かつ高利得の増幅を実現できる。

[0044] 図6は、第1実施形態の光増幅装置を光伝送システム50に適用した場合の一例を説明する概略構成図である。この図の例では、光伝送システム50は、波長多重光送信装置60、送信側光伝送路70、第1実施形態の光増幅装置10、受信側光伝送路80、および、波長多重光信号受信装置90を有している。この例では、波長多重光送信装置60から送信された波長多重光信号は、送信側光伝送路70を伝搬されて光増幅装置10に到達する。光増幅装置10では、前述したように、波長多重光信号が一括増幅された後、受信側光伝送路80を伝搬されて波長多重光信号受信装置90に到達し、そこで多重化されている信号が分離され、それぞれの信号が復号される。第1実施形態の光増幅装置10は、高利得および低消費電力を実現することができることから、このような光増幅装置10を用いた光伝送システム50では、システム全体の通信品質を高めるとともに、消費電力を削減して、システムの維持に必要な経費を節約することができる。

[0045] (C) 第2実施形態

図7は、第2実施形態の構成例について説明するための図である。なお、この図7において、図1と対応する部分には同一の符号を付してあるのでそ

の説明は省略する。図7に示す光増幅装置10Aでは、図1と比較すると、増幅光ファイバ12と光アイソレータ16との間に励起光減衰部100が追加されている。

[0046] 励起光減衰部100は、増幅光ファイバ12において使用されずに残留し、第1クラッド部12bを伝搬する残留励起光を減衰させ、残留励起光による光部品の発熱や損傷を防止する。

[0047] 図8は、励起光減衰部100の詳細な構成例を示す図である。図8(a)は励起光減衰部100を構成する前の状態を示している。この例では、増幅光ファイバ12の出力側端部と、光アイソレータ16の入力側に接続される光ファイバ101の端部とが融着部112により接合されている。より詳細には、増幅光ファイバ12は、端部から所定長の第2クラッド部12cが端面12dを切断面として除外され、また、光ファイバ101は端部から所定長の被覆部101cが端面101dを切断面として除外されている。そして、増幅光ファイバ12および光ファイバ101のコア部12aとコア101a、および、第1クラッド部12bとクラッド部101bが光学的に結合するように融着接続されている。これにより、光信号はコア部12aからコア101aへと伝搬され、また、励起光は第1クラッド部12bからクラッド部101bへと伝搬される。

[0048] 図8(b)は励起光減衰部100が構成された後の状態を示している。この図に示すように、増幅光ファイバ12の端面12dと光ファイバ101の端面101dの間には、第1クラッド部12bおよびクラッド部101bよりも屈折率が低い部材である、例えば、低屈折率ポリマー103が充填されている。なお、増幅光ファイバ12の第2クラッド部12cの屈折率を $n_1$ とし、第1クラッド部12bの屈折率を $n_2$ とし、低屈折率ポリマー103の屈折率を $n_3$ とし、光ファイバ101のクラッド部101bの屈折率を $n_4$ とし、被覆部101cの屈折率を $n_5$ とした場合、これらの屈折率 $n_1 \sim n_5$ の間には、以下の関係が成立するように各素材が選定されている。

[0049]  $n_1 \doteq n_3 < n_2 \quad \dots (1)$



$$n_2 \doteq n_4 \quad \dots (2)$$

$$n_4 < n_5 \quad \dots (3)$$

[0050] 図8(b)に破線で示すように、増幅光ファイバ12の第1クラッド部12bを伝搬する残留励起光は、融着部112を介して第1クラッド部12bからクラッド部101bに伝搬される。ここで、式(1)に示すように、 $n_1 < n_2$ の関係が成立することから、増幅光ファイバ12内の第1クラッド部12bを伝搬する残留励起光は、第1クラッド部12bから外部に漏れることはない。また、式(2)に示すように $n_2 \doteq n_4$ であり、式(1)に示すように $n_3 < n_2$ であるので、 $n_3 < n_2 \doteq n_4$ が成立する。このため、低屈折率ポリマー103内の第1クラッド部12bおよびクラッド部101bを伝搬する残留励起光は外部に漏れることはない。一方、式(3)に示すように、 $n_4 < n_5$ が成立することから、光ファイバ101内のクラッド部101bを伝搬する残留励起光は、クラッド部101bから被覆部101cに漏れ出し、その一部は被覆部101cにおいて熱に変換され、一部は被覆部101c外に放出される。このため、残留励起光は光ファイバ101内のクラッド部101bを伝搬するにつれて減衰される。なお、被覆部101cの外周部分に対して、残留励起光をヒートシンク等に伝達するための部材を付加するのが好ましい。そのような構成によれば、被覆部101cで発生した熱を迅速に外部に逃がすことができる。

[0051] つぎに、第2実施形態の動作について説明する。第2実施形態の基本的な動作は、図1に示す第1実施形態と同様であるが、第2実施形態では増幅光ファイバ12において使用されずに残留した残留励起光が、励起光減衰部100において減衰される。本願では、増幅光ファイバ12を、1550nm帯の信号を増幅するために通常使用される長さよりも短い長さに設定することで、増幅特性を広帯域化しているため、通常よりも高い強度を有する残留励起光が発生する。ここで、光アイソレータ16は、例えば、磁性ガーネットを用いて構成され、この磁性ガーネットは励起光の波長である900nm帯域(900~965nm程度の帯域を指す)に対する吸収特性を有してい

る。このため、励起光減衰部 100 を設けない場合、通常よりも高い強度を有する残留励起光が光アイソレータ 16 に入射されて吸収されることから発熱し、場合によっては光アイソレータ 16 を損傷してしまう。しかし、励起光減衰部 100 を設けることで、残留励起光を、例えば、光部品の耐力である 500 mW 以下に減衰させることができるため、光アイソレータ 16 が発熱したり、損傷したりすることを防止できる。なお、以上では、光部品の耐力である 500 mW 以下に減衰させるようにしたが、例えば、コアを伝搬する光信号の強度と同等かそれ以下に減衰させるようにしてもよい。

[0052] 以上に説明したように、本発明の第 2 実施形態によれば、増幅光ファイバ 12 と光アイソレータ 16 との間に励起光減衰部 100 を設け、増幅光ファイバ 12 から出力される残留励起光を減衰させるようにしたので、増幅光ファイバ 12 の後段に配置されている光アイソレータ 16 等の光学部品が残留励起光によって発熱したり、損傷したりすることを防止できる。

[0053] (D) 第 3 実施形態

図 9 は、第 3 実施形態の構成例について説明するための図である。なお、この図 9 において、図 1 と対応する部分には同一の符号を付してあるのでその説明は省略する。図 9 に示す光増幅装置 10B は、図 1 と比較すると、前方励起用のレーザダイオード 20 および励起光混合器 17 が除外され、後方励起用のレーザダイオード 120 および励起光混合器 117 が増幅光ファイバ 12 と光アイソレータ 16 の間に付加されている。また、光アイソレータ 15 と増幅光ファイバ 12 との間に励起光減衰部 100A が付加されている。なお、レーザダイオード 120 および励起光混合器 117 は、レーザダイオード 20 および励起光混合器 17 と同様の構成とされ、また、励起光減衰部 100A は、図 8 に示す励起光減衰部 100 を融着部 112 を中心として左右を反転させた構成とされている。また、光ファイバ 101 は光アイソレータ 15 の出力側に接続される光ファイバである。

[0054] つぎに、第 3 実施形態の動作について説明する。第 3 実施形態の基本的な動作は、図 8 に示す第 2 実施形態と同様であるが、第 2 実施形態が前方励起

型であるのに対して、第3実施形態は後方励起型である点が異なっている。すなわち、第3実施形態では、レーザダイオード120から9W~14W程度の励起光が射出され、射出された励起光は、励起光混合器117によって増幅光ファイバ12の出力側から入射される。そして、増幅光ファイバ12において使用されなかった励起光は、残留励起光として増幅光ファイバ12の入力側（図9の左側）から出力される。このような残留励起光は、励起光減衰部100Aにおいて減衰され、光部品のハイパワー光耐力以下（例えば、500mW以下）に減衰されるか、または、光アイソレータ15に入射される光信号と同等またはそれ以下になるように減衰される。このため、残留励起光によって、光アイソレータ15等の光部品が発熱したり、損傷したりすることを防止できる。

[0055] (E) 第4実施形態

図10は、第4実施形態の構成例について説明するための図である。第4実施形態では、図7に示す前方励起型光増幅装置10Aから出力ポート23を除外したものと、図9に示す後方励起型光増幅装置10Bから入力ポート11を除外したものとをカスケード（直列）に接続して構成されている。

[0056] つぎに、第4実施形態の動作について説明する。第4実施形態を構成する前方励起型光増幅装置10Aと後方励起型光増幅装置10Bのそれぞれの動作は前述した場合と同様である。第4実施形態では、雑音特性に優れた前方励起型光増幅装置10Aが前段に配置されて光信号を所定の利得で増幅した後、高出力特性に優れた後方励起型光増幅装置10Bが後段に配置されて所定のパワーに達するように増幅がなされる。なお、それぞれの光増幅装置では、前述したように、励起光減衰部100（または、励起光減衰部100A）において、例えば、500mW以下または光信号と同等もしくはそれ以下に残留励起光が減衰されるため、その後段に配置される光アイソレータ等の光学部品が発熱したり、損傷したりすることを防止できる。

[0057] なお、以上の第4実施形態では、利得等化器22をそれぞれの増幅装置に設けるようにしたが、例えば、前方励起型光増幅装置10Aおよび後方励起

型光増幅装置 10B のいずれか一方に設けるようにしたり、前方励起型光増幅装置 10A の増幅光ファイバ 12 の前段に設けるようにしたりしてもよい。なお、一方だけ設ける場合には、後方励起型光増幅装置 10B から出力される波長分割多重光信号に含まれる複数の波長の光信号の利得特性が平坦になるように（それぞれの波長の光信号の強度が等しくなるように）特性を設定すればよい。

[0058] (F) 第 5 実施形態

図 11 は第 5 実施形態の構成例を示している。なお、図 11 において図 1 と対応する部分には同一の符号を付してあるのでその説明は省略する。図 11 に示す光増幅装置 10C では、図 1 と比較すると、励起光混合器 117 が追加されている。また、励起光混合器 117 の残留励起光の出力端 117b ~ 117g には励起光減衰部 102 ~ 107 がそれぞれ接続されている。これ以外の構成は図 1 の場合と同様である。なお、励起光混合器 117 は、図 9 と同様に、励起光を増幅光ファイバ 12 に導入する目的で使用するものを、第 5 実施形態では、残留励起光を導出して減衰する目的で使用する。

[0059] 図 12 は、励起光混合器 117 の詳細な構成例を示している。この例では、励起光混合器 117 は光信号が出力される出力端 117a と、残留励起光が出力される出力端 117b ~ 117g を有している。増幅光ファイバ 12 のコア部 12a を伝搬する光信号は、出力端 117a から出力され、アイソレータ 16 に入力される。増幅光ファイバ 12 の第 1 クラッド部 12b から出力された残留励起光は、出力端 117b ~ 117g から出力される。また、図中に拡大してその断面を示すように、出力端 117a はシングルモードファイバによって構成され、出力端 117b ~ 117g はマルチモードファイバによって構成されている。図 11 の例では、出力端 117f ~ 117g には、レーザダイオード 20 からの残留励起光を減衰させるための励起光減衰部 102 ~ 107 がそれぞれ接続されている。

[0060] 図 13 は、図 11 に示す励起光減衰部 102 ~ 107 の構成例を示す側断面模式図である。なお、励起光減衰部 102 ~ 107 は同様の構成とされて

いるので、ここでは、励起光減衰部 102 を例に挙げて説明する。図 13 に示すように、励起光減衰部 102 は、出力端 117b の終端部 E1 およびその近傍の光ファイバ被覆部を收容する溝 102c が形成された放熱板 102b と、高屈折率ポリマー 102f と、溝 102c を覆う蓋 102a とを有する。なお、出力端 117b の終端部 E1 は、出力端 117b の第 2 クラッドが除外されて露出されたベアファイバ部分である。

[0061] 放熱板 102b は、溝 102c の内部に收容された終端部 E1 から漏出する残留励起光を吸収するとともに熱に変換し、残留励起光に起因する熱を外部に放散する。なお、放熱板 102b を形成する金属部材は、熱伝導性の高いものであって、例えば、アルミニウム、銅、鉄、および、ニッケルの少なくとも一つを含む金属部材である。その一例として、ステンレス鋼などがあげられる。

[0062] 放熱板 102b に形成された溝 102c は、終端部 E1 を收容する收容溝 102d と、終端部 E1 の近傍に位置する光ファイバ被覆部を支持する支持溝 102e とを有する。具体的には、支持溝 102e は、放熱板 102b の縁部に形成され、終端部 E1 を收容溝 102d 内に收容した場合に、この終端部 E1 近傍の光ファイバ被覆部を支持する。一方、收容溝 102d は、放熱板 102b の縁の内側領域に形成され、少なくとも終端部 E1 を收容する。このような收容溝 102d は、支持溝 102e に比して底深、かつ、幅広に形成される。この場合、終端部 E1 は、收容溝 102d の内壁に対して接触せずに收容できる。なお、收容溝 102d の内壁は、光を吸収し易い色（例えば黒色）に着色されることが望ましい。これによって、放熱板 102b は、終端部 E1 からの残留励起光を効率的に吸収できる。

[0063] また、励起光減衰部 102 の高屈折率ポリマー 102f は、收容溝 102d に收容された終端部 E1 と支持溝 102e に配置された光ファイバ被覆部とを覆うとともに、終端部 E1 を收容溝 102d 内に固定し、かつ、光ファイバ被覆部を支持溝 102e 内に固定する。また、高屈折率ポリマー 102f は、終端部 E1 における出力端 117b のクラッドに比して屈折率が高い

。したがって、終端部E1を伝搬する残留励起光は、終端部E1から高屈折率ポリマー102fに伝搬する。この結果、残留励起光は、終端部E1から放射され、放熱板102bおよび蓋102aに吸収される。

[0064] 蓋102aは、例えばアルミニウム、銅、鉄、およびニッケルの少なくとも一つを含む金属部材によって形成される。その一例として、ステンレス鋼などがあげられる。收容溝102dに対面する側の蓋102aの表面は、光を吸収し易い色（例えば黒色）に着色されることが望ましい。これにより、蓋102aは、終端部E1から除外した残留励起光を効率的に吸収できる。

[0065] なお、励起光減衰部103～107も、励起光減衰部102と同様の構成とされている。

[0066] つぎに、第5実施形態の動作について説明する。第5実施形態では、レーザダイオード20から出力された励起光のうち、増幅光ファイバ12で使用されずに残留励起光となったものについては、出力端117b～117gを介して励起光減衰部102～107に入射され、熱に変換されて減衰される。このため、増幅光ファイバ12から出力される残留励起光によって光アイソレータ16等の光部品が発熱等することを防止できる。このように、第5実施形態では、増幅光ファイバ12で使用されずに残留励起光となったものについては、出力端117f～117gに接続された励起光減衰部102～107によって熱に変換することから、残留励起光によって、光アイソレータ16等の光部品が発熱したり、損傷したりすることを防止できる。

[0067] なお、以上では、励起光混合器117は、6つの残留励起光の出力端117b～117gを有するようにしたが、これ以外の数であってもよいことは言うまでもない。

[0068] (G) 変形実施形態

[0069] なお、以上の各実施形態では、波長帯域が1530～1560nmであるC-Bandの波長分割多重光信号に対しては、増幅光ファイバ12の長さを略8m以下、より望ましくは、略1.8～3.8mの範囲に設定することにより、光信号を構成する各波長に対して所定のゲインを有することができ

る。この場合、吸収条長積は、主要なドーパントとしてのエルビウムについては、1535 nm近傍のコアを伝搬する信号光の波長に関して、条長が8 mの場合が略300 dBとなり、1.8~3.8 mの場合が略30~150 dBの範囲となる。なお、エルビウムに対してエネルギー伝達現象を利用してエルビウムの準位間で反転分布を形成させるために添加されるイッテルビウムについては、915 nm近傍の励起光に関して、条長が8 mのときのイッテルビウムのコアにおける吸収条長積は、略3100 dBとなり、また、1.8~3.8 mのときのコアにおける吸収条長積は略180~1500 dBの範囲となる。従って、ドーパントの濃度が異なる場合には、前述した吸収条長積となるように増幅光ファイバ12の長さを設定することで、前述の場合と同様の増幅特性を得ることができる。なお、増幅光ファイバ12の吸収条長積または長さを設定する際には、従来の構成で、最もゲインが低くなると想定される波長（例えば、C-Bandの場合では1530 nm）において所望のゲイン（例えば、30 dB）が得られるように設定すればよい。従来の構成で、最もゲインが低い波長において、所望のゲインを確保できれば、利得等化器22を通過後にも、他の波長に対しては所望のゲインを確保できるからである。あるいは、所望利得が得られる波長域が最も広くなるように短波長側の利得と長波長側の利得のバランスが取れる長さ（または吸収条長積）に設定してもよい。また、ここで、イッテルビウムの吸収条長積は、前述のようにコアにおける値（コアを伝搬する励起光についての値）で設定しても良いし、次のようにクラッド伝搬光についての値で設定してもよい。クラッド伝搬光についての値は、前述と同様、915 nm近傍の励起光に関して、条長が8 mのときが略20 dBとなり、また、1.8 m~3.8 mのときは略0.9~9.5 dBの範囲となる。なお、本実施形態では、励起光の波長を915 nmとしたが、イッテルビウムの吸収波長特性は910~960 nm程度の範囲においてほぼ平坦であるため、この波長範囲内の励起光についても同様に扱うことができる。

[0070] また、以上の各実施形態では、コア部12aにエルビウムとイッテルビウ

ムとが共添加されたダブルクラッド型の増幅光ファイバ12を用いる場合を例に挙げて説明したが、ツリウム（Tm：Thulium）、ネオジウム（Nd：Neodymium）、プラセオジウム（Pr：Praseodymium）等の希土類元素、あるいは、希土類元素と同様の増幅作用を有する他の物質を添加したりしてもよい。この場合、以上の各実施形態とは、増幅帯域は異なるが、本発明と同様の効果を得ることができる。

[0071] また、以上の各実施形態では、利得等化器22を用いるようにしたが、増幅光ファイバ12によるゲインが略平坦である場合には、利得等化器22を省略する構成としてもよい。あるいは、利得等化器22を光増幅装置10には含まれない独立した構成としてもよい。また、以上の各実施形態では、利得等化器22を光アイソレータ16と光カプラ14の間に設けるようにしたが、例えば、光カプラ14の後段に設けるようにしてもよい。また、EYDFを中心としてEYDFより入力側に利得等化器22を設置することや、EYDFを2分してその中段に利得等化器22を設置してさらなる高出力化を実現する構成も考えられる。

[0072] また、図6に示す実施形態では、図1に示す第1実施形態を光増幅装置として用いる場合を例に挙げて説明したが、図7, 9, 10, 11に示す光増幅装置として用いてもよいことは言うまでもない。

[0073] また、以上の各実施形態では、主に、C-Bandの波長分割多重光信号を増幅する場合を例に挙げて説明したが、吸収条長積を調整することにより、これ以外の波長分割多重光信号（例えば、S-Bandその他）にも対応可能であることは言うまでもない。

[0074] また、以上の各実施形態では、光増幅装置10をブースタアンプのみの構成としたが、例えば、雑音指数としてのNF（Noise Figure）を改善するために、例えば、ブースタアンプの前段に設けたプリアンプによって増幅した後に、ブースタアンプによってさらに増幅するようにしてもよい。

## 符号の説明

[0075] 10, 10A, 10B, 10C 光増幅装置



- 1 1 入力ポート（入力部）
- 1 2 増幅光ファイバ（ダブルクラッド型の光ファイバ）
  - 1 2 a コア部
  - 1 2 b 第1クラッド部
  - 1 2 c 第2クラッド部
- 1 3, 1 4 カプラ
- 1 5, 1 6 光アイソレータ
- 1 7 励起光混合器
- 1 8, 1 9 フォトダイオード
- 2 0 レーザダイオード（レーザ光源）
- 2 1 制御回路
- 2 2 利得等化器
- 2 3 出力ポート（出力部）
- 5 0 光伝送システム
- 6 0 波長多重光信号送信装置（光送信装置）
- 7 0 送信側光伝送路
- 8 0 受信側光伝送路
- 9 0 波長多重光信号受信装置（光受信装置）
- 1 0 0 励起光減衰部（減衰部）
- 1 0 2 ~ 1 0 7 励起光減衰部（減衰部）

## 請求の範囲

- [請求項1] 波長分割多重光信号を増幅する光増幅装置において、  
前記波長分割多重光信号を入力する入力部と、  
マルチモードレーザ光を発生するレーザ光源と、  
クラッド部に前記マルチモードレーザ光が入力され、希土類元素が添加されたコア部に前記波長分割多重光信号が入力され、前記マルチモードレーザ光による誘導放出によって前記波長分割多重光信号に含まれる複数の波長の光信号を増幅して出力するダブルクラッド型の光ファイバと、  
前記ダブルクラッド型の光ファイバによる増幅後の前記波長分割多重光信号の利得特性を平坦化する利得等化器と、  
増幅された前記波長分割多重光信号を出力する出力部と、  
を有することを特徴とする光増幅装置。
- [請求項2] 前記ダブルクラッド型の光ファイバから出力される残留励起光を減衰させる減衰部を有することを特徴とする請求項1記載の光増幅装置。
- [請求項3] 前記コア部には、前記希土類元素として、エルビウムとイッテルビウムが共添加されていることを特徴とする請求項2記載の光増幅装置。
- [請求項4] 前記ダブルクラッド型の光ファイバは、当該光ファイバの条長と吸収係数の所定波長帯におけるピーク値との積で表される吸収条長積が、前記波長分割多重光信号を構成する全ての波長に対して所定の利得を有する吸収条長積に設定されていることを特徴とする請求項3記載の光増幅装置。
- [請求項5] 前記波長多重光信号は、1528～1570nmの波長帯域内にあることを特徴とする請求項4記載の光増幅装置。
- [請求項6] 前記マルチモードレーザ光は、910～960nmの波長範囲内にあることを特徴とする請求項4記載の光増幅装置。

- [請求項7] 前記ダブルクラッド型の光ファイバは、前記エルビウムの前記コア部における吸収条長積が1535nm近傍の波長について略300dB以下に設定されていることを特徴とする請求項4記載の光増幅装置。
- [請求項8] 前記ダブルクラッド型の光ファイバは、前記エルビウムの前記コア部における吸収条長積が1535nm近傍の波長について略30～150dBの範囲に設定されていることを特徴とする請求項7記載の光増幅装置。
- [請求項9] 前記ダブルクラッド型の光ファイバは、前記イッテルビウムの前記クラッド部における吸収条長積が915nm近傍の波長について略20dB以下に設定されていることを特徴とする請求項4記載の光増幅装置。
- [請求項10] 前記ダブルクラッド型の光ファイバは、前記イッテルビウムの前記クラッド部における吸収条長積が915nm近傍の波長について略0.9～9.5dBの範囲に設定されていることを特徴とする請求項9記載の光増幅装置。
- [請求項11] 波長分割多重光信号を送信する光送信装置と、  
前記光送信装置から送信された波長分割多重光信号を増幅する光増幅装置であって、前記波長分割多重光信号を入力する入力部と、マルチモードレーザ光を発生するレーザ光源と、クラッド部に前記マルチモードレーザ光が入力され、希土類元素が添加されたコア部に前記波長分割多重光信号が入力され、前記マルチモードレーザ光による誘導放出によって前記波長分割多重光信号に含まれる複数の波長の光信号を増幅して出力するダブルクラッド型の光ファイバと、前記ダブルクラッド型の光ファイバによる増幅後の前記波長分割多重光信号の利得特性を平坦化する利得等化器と、増幅された前記波長分割多重光信号を出力する出力部と、を有することを特徴とする光増幅装置と、  
前記光増幅装置によって増幅された前記波長分割多重光信号を受信

する光受信装置と、  
を有することを特徴とする光伝送システム。

**補正された請求の範囲**  
**[2012年2月29日(29.02.2012)国際事務局受理]**

- [請求項 1] (補正後) 波長分割多重光信号を増幅する光増幅装置において、  
前記波長分割多重光信号を入力する入力部と、  
マルチモードレーザ光を発生するレーザ光源と、  
クラッド部に前記マルチモードレーザ光が入力され、希土類元素が添加されたコア部に前記波長分割多重光信号が入力され、前記マルチモードレーザ光による誘導放出によって前記波長分割多重光信号に含まれる複数の波長の光信号を増幅して出力するダブルクラッド型の光ファイバと、  
前記ダブルクラッド型の光ファイバによる増幅後の前記波長分割多重光信号の利得特性を平坦化する利得等化器と、  
増幅された前記波長分割多重光信号を出力する出力部と、  
前記ダブルクラッド型の光ファイバから出力される残留励起光を減衰させる残留励起光減衰部とを有し、  
ダブルクラッドファイバを伝搬したマルチモードレーザ光の残留励起光がアイソレータに入射する前に前記残留励起光減衰部に入射するように、前記残留励起光減衰部が設置されている  
ことを特徴とする光増幅装置。
- [請求項 2] (追加) 波長分割多重光信号を増幅する光増幅装置において、  
前記波長分割多重光信号を入力する入力部と、  
マルチモードレーザ光を発生するレーザ光源と、  
クラッド部に前記マルチモードレーザ光が入力され、希土類元素が添加されたコア部に前記波長分割多重光信号が入力され、前記マルチモードレーザ光による誘導放出によって前記波長分割多重光信号に含まれる複数の波長の光信号を増幅して出力するダブルクラッド型の光ファイバと、  
前記ダブルクラッド型の光ファイバによる増幅後の前記波長分割多重光信号の利得特性を平坦化する利得等化器と、  
増幅された前記波長分割多重光信号を出力する出力部と、  
前記ダブルクラッド型の光ファイバから出力される残留励起光を減衰させる残留励起光減衰部とを有し、  
ダブルクラッドファイバを伝搬したマルチモードレーザ光の残留励起光が励起光波長帯域において吸収特性を有する光部品に入射する前に前記残留励起光減衰部に入射するように、前記残留励起光減衰部が設置されている  
ことを特徴とする光増幅装置。

- [請求項3] (追加) 残留励起光減衰部は、  
クラッド部を伝搬する残留励起光をクラッドの外部に漏出させる残留励起光漏出部と、  
漏出された残留励起光を熱に変換する熱変換部を有することを特徴とする請求項1または2記載の光増幅装置。
- [請求項4] (追加) 前記残留励起光漏出部は、前記ダブルクラッド型の光ファイバに接続された光ファイバであって、波長多重信号光が伝搬するコアと残留励起光が伝搬するクラッドとを有し、当該クラッドの周囲が当該クラッドよりも屈折率の高い材質からなる被覆で覆われていることを特徴とする請求項1ないし3に記載の光増幅装置。
- [請求項5] (追加) 前記ダブルクラッド型の光ファイバに接続された励起光混合器を更に備え、  
前記励起光混合器は、波長多重信号光が伝搬するコアを有するシングルモードファイバ部と残留励起光が伝搬するマルチモードファイバ部とを有し、前記マルチモードファイバ部の出力端には前記残留励起光減衰部が配置され、前記マルチモードファイバ部の出力端から漏出する残留励起光を吸収熱変換して外部に放熱することを特徴とする請求項1または2に記載の光増幅装置。
- [請求項6] (補正後) 前記コア部には、前記希土類元素として、エルビウムとイッテルビウムが共添加されていることを特徴とする請求項1ないし5に記載の光増幅装置。
- [請求項7] (補正後) 前記ダブルクラッド型の光ファイバは、当該光ファイバの条長と吸収係数の所定波長帯におけるピーク値との積で表される吸収条長積が、前記波長分割多重光信号を構成する全ての波長に対して所定の利得を有する吸収条長積に設定されていることを特徴とする請求項6記載の光増幅装置。
- [請求項8] (補正後) 前記波長多重光信号は、1528～1570 nmの波長帯域内にあることを特徴とする請求項7記載の光増幅装置。
- [請求項9] (補正後) 前記マルチモードレーザ光は、910～960 nmの波長範囲内にあることを特徴とする請求項7記載の光増幅装置。
- [請求項10] (補正後) 前記ダブルクラッド型の光ファイバは、前記エルビウムの前記コア部における吸収条長積が1535 nm近傍の波長について略300 dB以下に設定されていることを特徴とする請求項7記載の光増幅装置。
- [請求項11] (補正後) 前記ダブルクラッド型の光ファイバは、前記エルビウムの前記コア部における吸収条長積が1535 nm近傍の波長について略30～150 dBの範囲に設定されていることを特徴とする請求項10記載の光増幅装置。

[請求項12] (補正後) 前記ダブルクラッド型の光ファイバは、前記イッテルビウムの前記クラッド部における吸収条長積が915nm近傍の波長について略20dB以下に設定されていることを特徴とする請求項7記載の光増幅装置。

[請求項13] (補正後) 前記ダブルクラッド型の光ファイバは、前記イッテルビウムの前記クラッド部における吸収条長積が915nm近傍の波長について略0.9～9.5dBの範囲に設定されていることを特徴とする請求項12記載の光増幅装置。

[請求項14] (補正後) 波長分割多重光信号を送信する光送信装置と、  
前記光送信装置から送信された波長分割多重光信号を増幅する光増幅装置であって、前記波長分割多重光信号を入力する入力部と、マルチモードレーザ光を発生するレーザ光源と、クラッド部に前記マルチモードレーザ光が入力され、希土類元素が添加されたコア部に前記波長分割多重光信号が入力され、前記マルチモードレーザ光による誘導放出によって前記波長分割多重光信号に含まれる複数の波長の光信号を増幅して出力するダブルクラッド型の光ファイバと、前記ダブルクラッド型の光ファイバによる増幅後の前記波長分割多重光信号の利得特性を平坦化する利得等化器と、増幅された前記波長分割多重光信号を出力する出力部と、前記ダブルクラッド型の光ファイバから出力される残留励起光を減衰させる残留励起光減衰部とを有し、ダブルクラッドファイバを伝搬したマルチモードレーザ光の残留励起光がアイソレータに入射する前に前記残留励起光減衰部に入射するように、前記残留励起光減衰部が設置されている光増幅装置と、  
前記光増幅装置によって増幅された前記波長分割多重光信号を受信する光受信装置と、  
を有することを特徴とする光伝送システム。

## 条約第19条(1)に基づく説明書

請求項1の補正により、残留励起光減衰部が、ダブルクラッドファイバを伝搬したマルチモードレーザ光の残留励起光がアイソレータに入射する前に残留励起光減衰部に入射するように設置されている構成に限定された。

上記構成によれば、光アイソレータ等の光部品が発熱したり、損傷したりするのを防止することができるという効果を奏することができる。

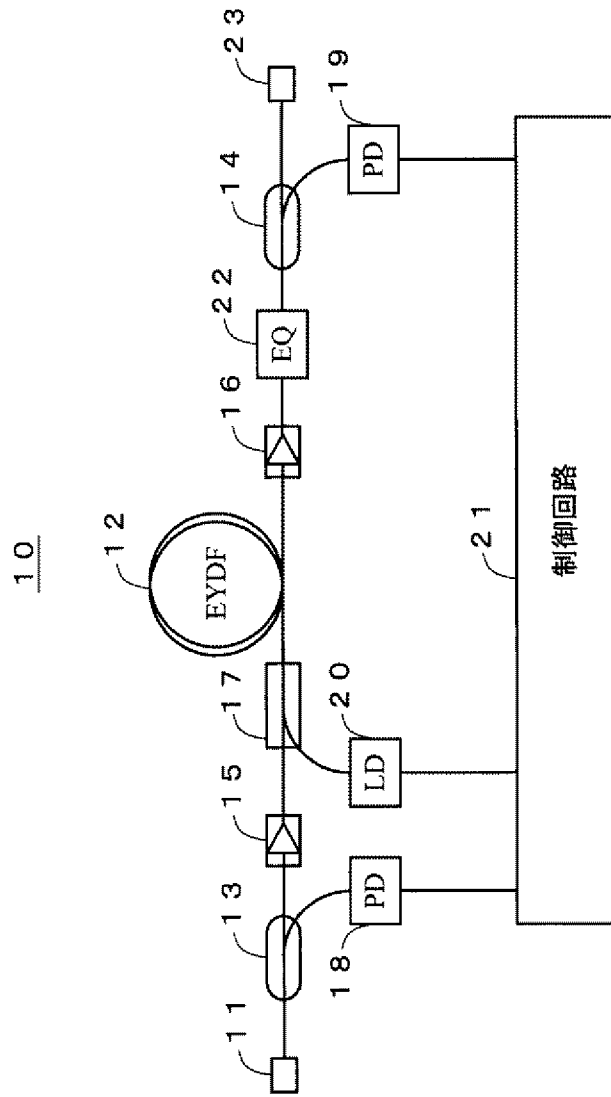
引用例1, 2, 4には、光増幅装置に残留励起光除去部を設けることについての開示は一切無い。また、引用例3には、組み合わされたポンプ光と信号線が融着接続59を介してエルビウム増幅器53に接続され、その後アイソレータに伝搬されることが開示されるのみであり、上記構成の開示も示唆もない。

また、引用例1～4には、上記本願発明独特の効果についての開示もない。

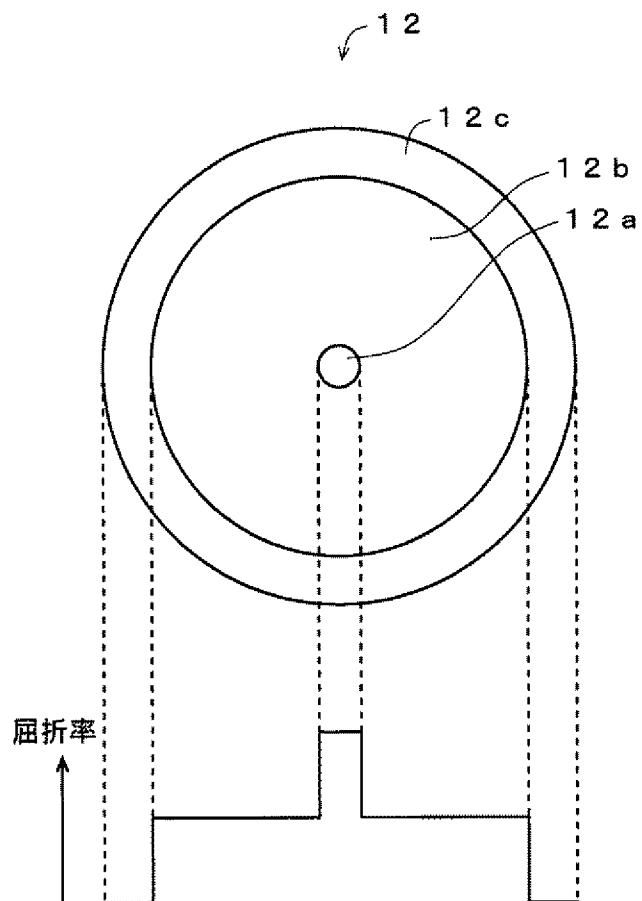
以上



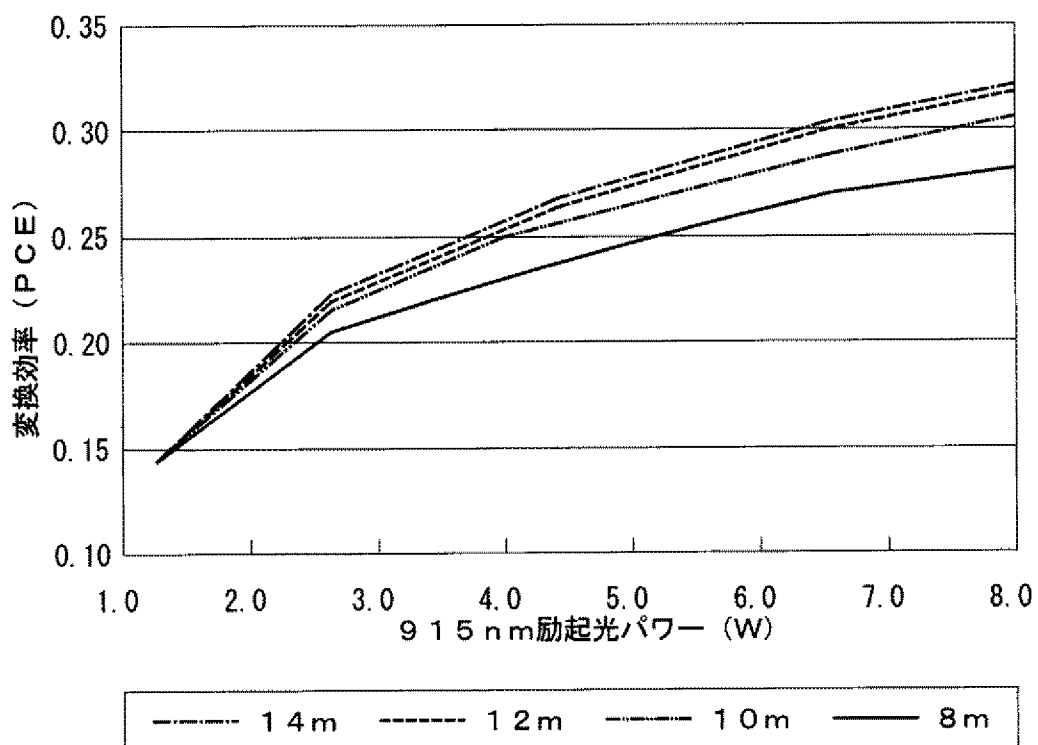
[図1]



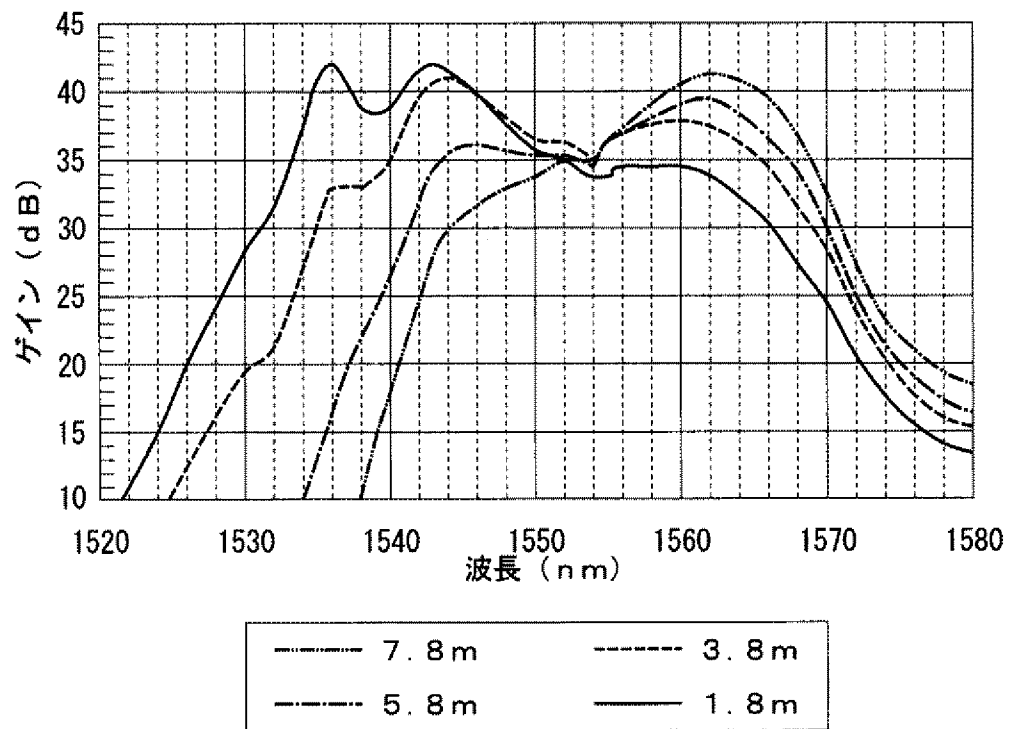
[図2]



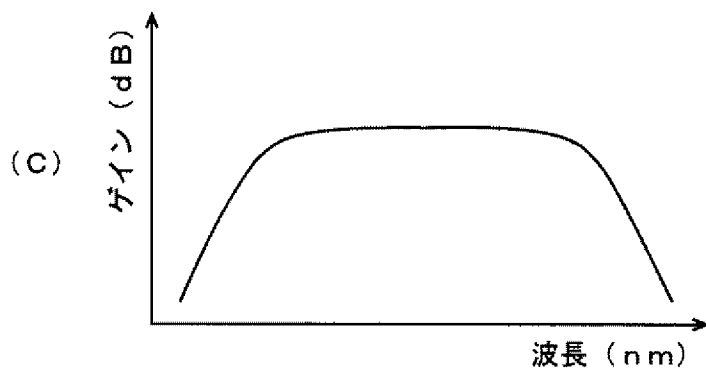
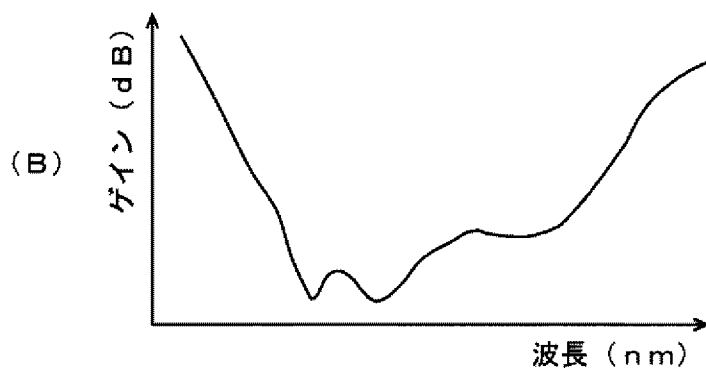
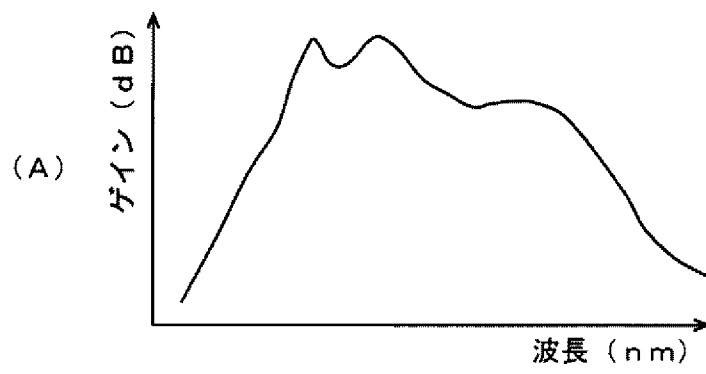
[図3]



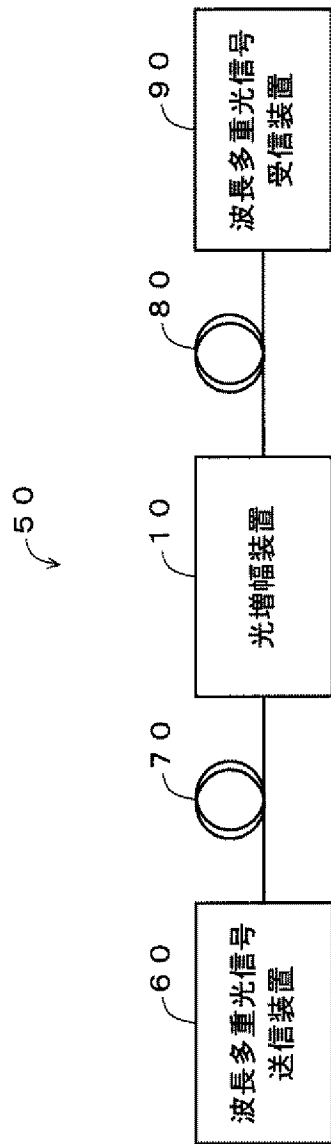
[図4]



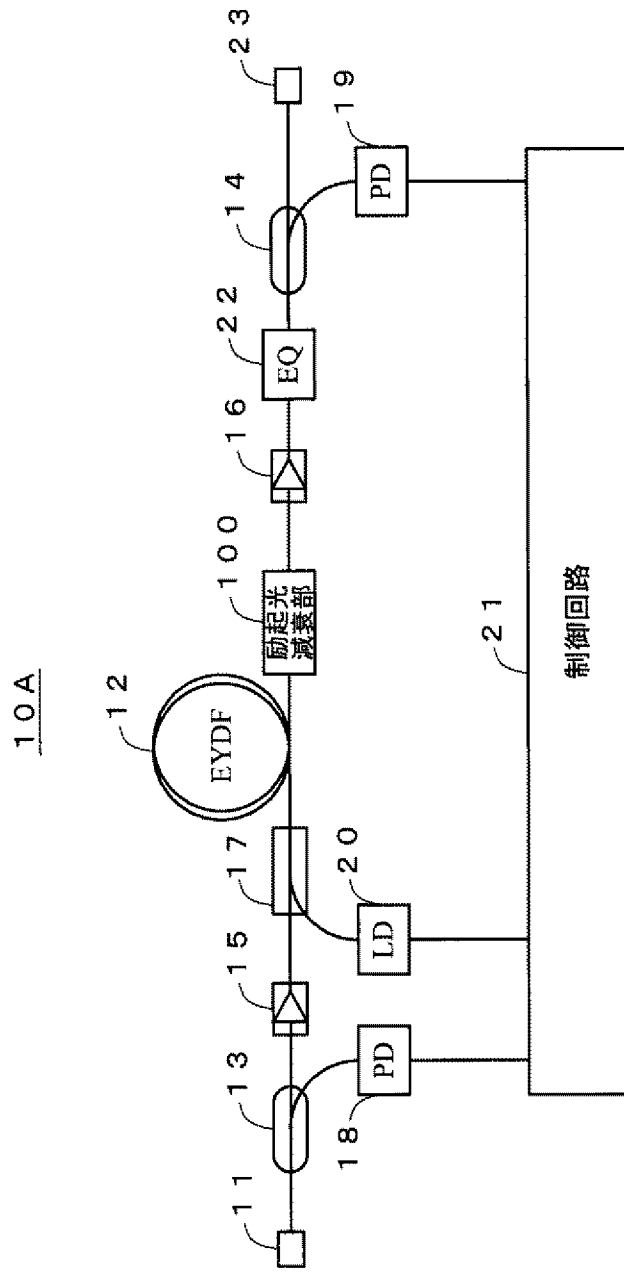
[図5]



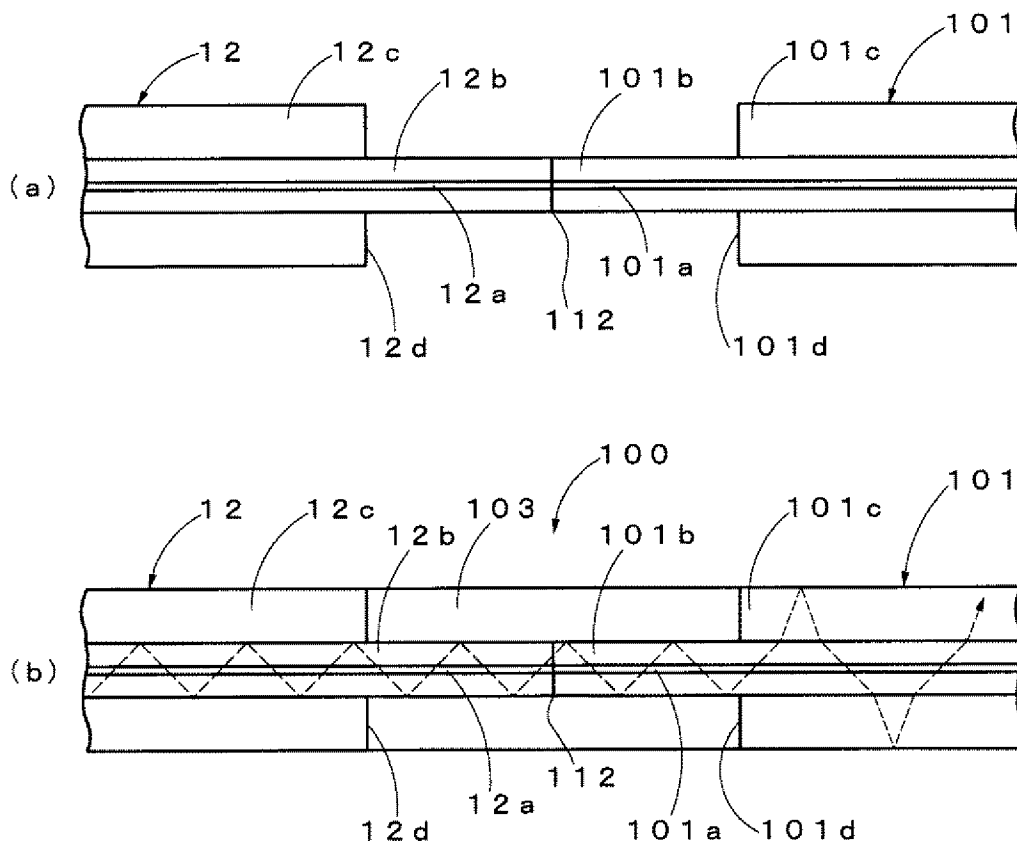
[図6]



[図7]



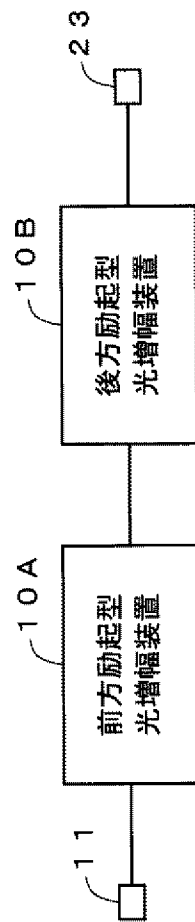
[図8]



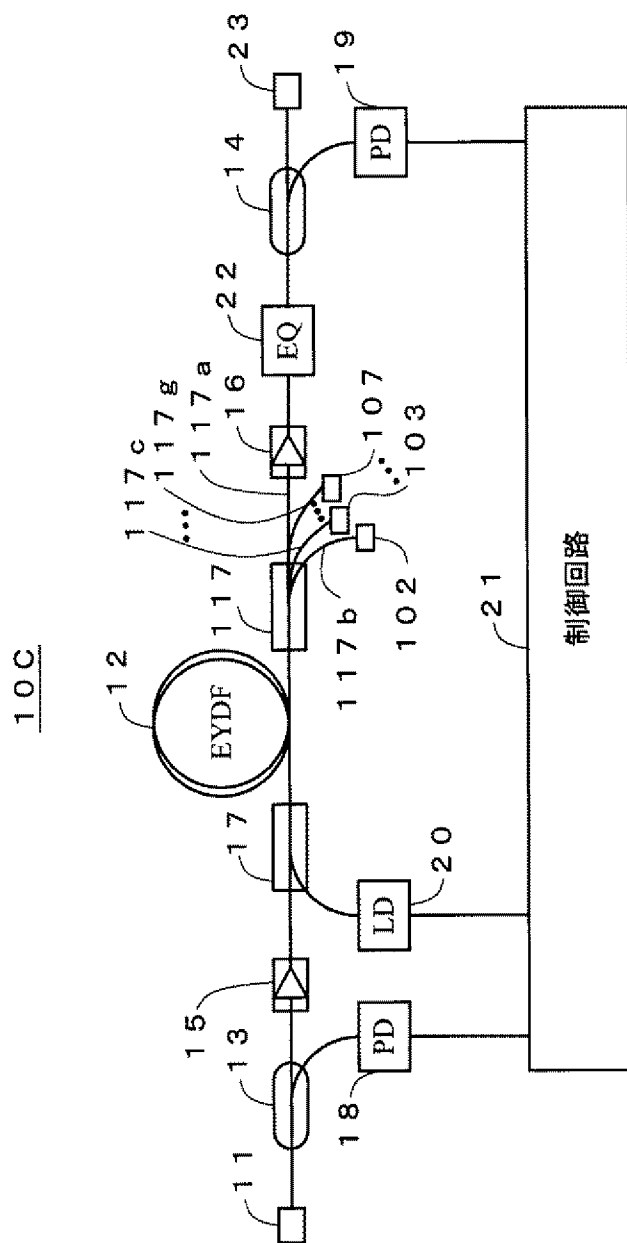




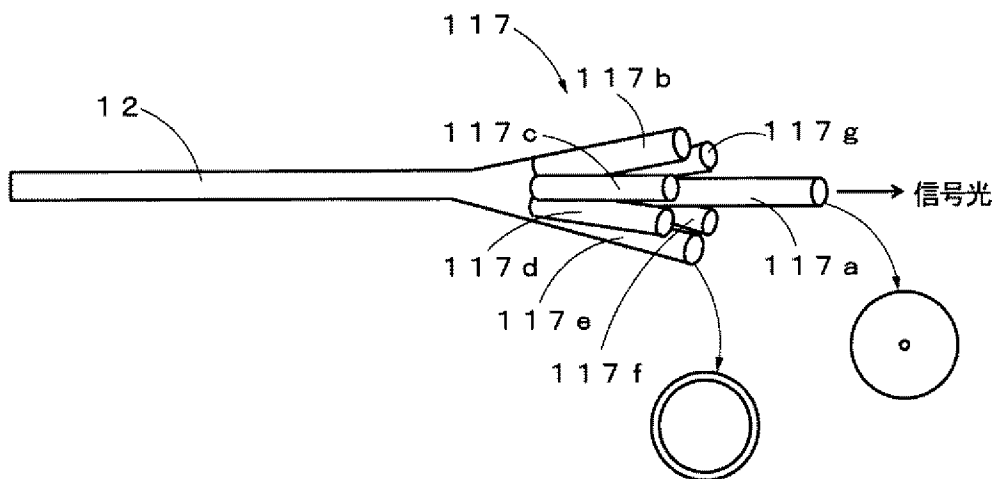
[図10]



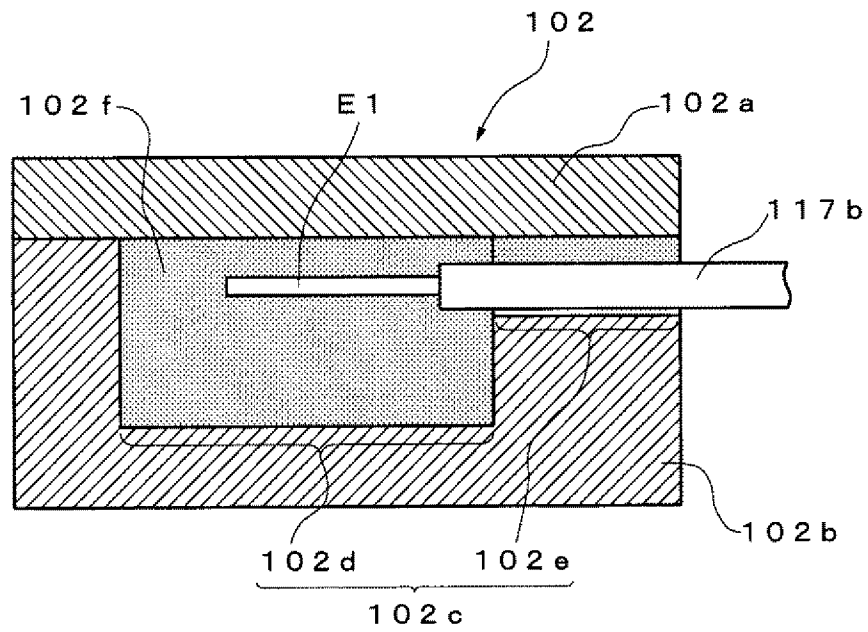
[図11]



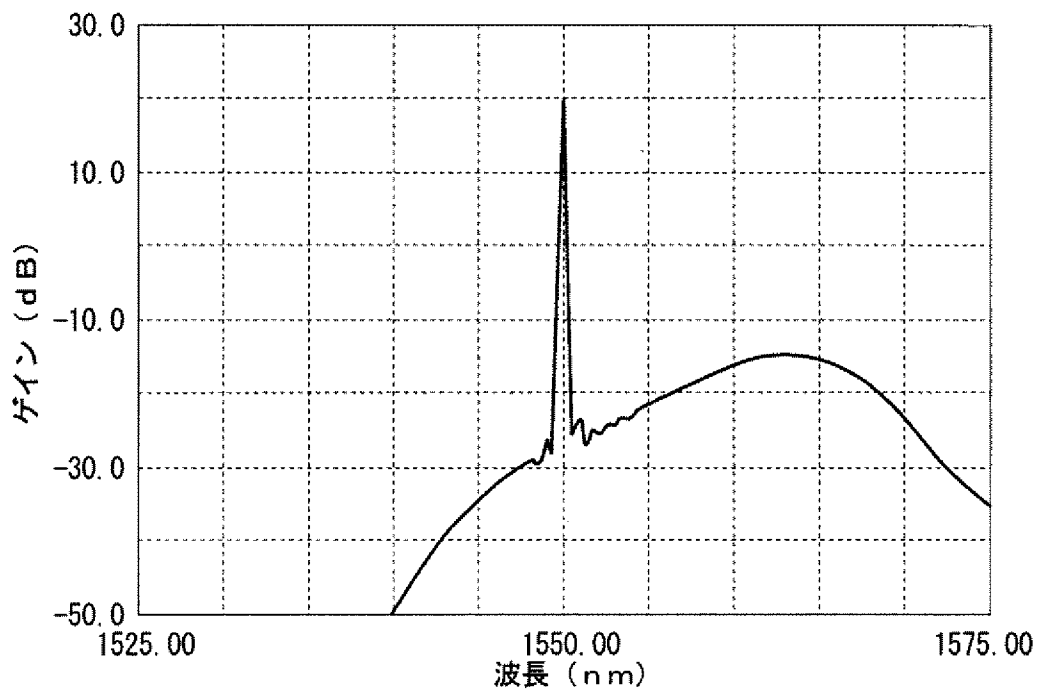
[図12]



[図13]



[図14]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2010/069352

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

H01S3/10(2006.01) i, H04J14/00(2006.01) 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)

H01S3/10, H04J14/00, 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	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

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

CiNii, JSTPlus (JDreamII)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	Raja Ahmad, et al, Broadband amplification of high power 40 Gb/s channels using multimode Er-Yb doped fiber, OPTICS EXPRESS, 2010.09.13, Vol. 18, No. 19, pp.19983-19993	1, 11 2-10
X Y	JP 2005-512332 A (High-Wave Optical Technologies), 28 April 2005 (28.04.2005), paragraphs [0004] to [0005]; fig. 1 & US 2005/0068610 A1 & EP 1461849 A & WO 2003/049240 A1 & FR 2833416 A & CA 2469591 A	1, 11 2-6

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  
18 November, 2010 (18.11.10)

Date of mailing of the international search report  
30 November, 2010 (30.11.10)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/069352

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 9-331118 A (Lucent Technologies Inc.), 22 December 1997 (22.12.1997), paragraph [0018]; fig. 5 & US 5727012 A & EP 794601 A1 & DE 69702675 D & DE 69702675 T	2-10
Y	JP 2008-305840 A (Fujikura Ltd.), 18 December 2008 (18.12.2008), paragraph [0014] (Family: none)	6
E,X	JP 2010-262988 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 18 November 2010 (18.11.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-11

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
 Int.Cl. H01S3/10(2006.01)i, H04J14/00(2006.01)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. H01S3/10, H04J14/00, 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 1971-2010年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2010年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2010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)  
 CiNii, JSTPlus(JDreamII)

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	Raja Ahmad, et al, Broadband amplification of high power 40 Gb/s channels using multimode Er-Yb doped fiber, OPTICS EXPRESS, 2010.09.13, Vol. 18, No. 19, pp.19983-19993	1, 11
Y		2-10
X	JP 2005-512332 A (ハイウエイブ・オプティカル・テクノロジーズ) 2005.04.28, 【0004】 - 【0005】, 図1 & US 2005/0068610 A1 & EP 1461849 A & WO 2003/049240 A1 & FR 2833416 A & CA 2469591 A	1, 11
Y		2-6

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	の日の後に公表された文献
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	「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
「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	「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
「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)	「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
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 18.11.2010	国際調査報告の発送日 30.11.2010
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 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) 傍島 正朗 電話番号 03-3581-1101 内線 3255

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
Y	JP 9-331118 A (ルーセント テクノロジーズ インコーポレーテッド) 1997.12.22, 【0018】, 図5 & US 5727012 A & EP 794601 A1 & DE 69702675 D & DE 69702675 T	2-10
Y	JP 2008-305840 A (株式会社フジクラ) 2008.12.18, 【0014】 (ファミリーなし)	6
E, X	JP 2010-262988 A (古河電気工業株式会社) 2010.11.18, 全文全図 (ファミリーなし)	1-11