

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5416286号
(P5416286)

(45) 発行日 平成26年2月12日 (2014. 2. 12)

(24) 登録日 平成25年11月22日 (2013. 11. 22)

(51) Int. Cl. F I
H O 1 S 3/10 (2006.01) H O 1 S 3/10 Z

請求項の数 14 (全 20 頁)

| | |
|--|--|
| <p>(21) 出願番号 特願2012-540628 (P2012-540628)</p> <p>(86) (22) 出願日 平成22年10月29日 (2010. 10. 29)</p> <p>(86) 国際出願番号 PCT/JP2010/069352</p> <p>(87) 国際公開番号 W02012/056573</p> <p>(87) 国際公開日 平成24年5月3日 (2012. 5. 3)</p> <p>審査請求日 平成25年3月21日 (2013. 3. 21)</p> <p>早期審査対象出願</p> | <p>(73) 特許権者 000005290 古河電気工業株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号</p> <p>(74) 代理人 100114890 弁理士 アインゼル・フェリックス＝ライ ンハルト</p> <p>(72) 発明者 鈴木 幹哉 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</p> <p>審査官 大森 伸一</p> |
|--|--|

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光増幅装置および光伝送システム

(57) 【特許請求の範囲】

【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、
 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、
前記残留励起光減衰部は、
前記クラッド部を伝搬する残留励起光を当該クラッド部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の一部を熱に変換する熱変換部とを有し、

10

20

前記残留励起光の一部は、前記残留励起光減衰部から出力されて前記アイソレータに入射する

ことを特徴とする光増幅装置。

【請求項 2】

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、

前記残留励起光減衰部は、

前記クラッド部を伝搬する残留励起光を当該クラッド部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の一部を熱に変換する熱変換部を有し、

前記残留励起光の一部は、前記残留励起光減衰部から出力されて前記光部品に入射することを特徴とする光増幅装置。

【請求項 3】

前記光部品は、磁性ガーネットからな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 のいずれか 1 項に記載の光増幅装置。

【請求項 5】

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であって、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を有し、マルチモードファイバ部の出力端には残留励起光減衰部を備え、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】

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 のいずれか 1 項に記載の光増幅装置。

【請求項 7】

前記ダブルクラッド型の光ファイバは、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】

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】

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

10

20

30

40

50

る請求項 6 記載の光増幅装置。

【請求項 1 0】

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 1 5 3 5 n m 近傍の波長について略 3 0 0 d B 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 1 1】

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 1 5 3 5 n m 近傍の波長について略 3 0 ~ 1 5 0 d B の範囲に設定されていることを特徴とする請求項 1 0 記載の光増幅装置。

【請求項 1 2】

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 9 1 5 n m 近傍の波長について略 2 0 d B 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 1 3】

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 9 1 5 n m 近傍の波長について略 0 . 9 ~ 9 . 5 d B の範囲に設定されていることを特徴とする請求項 1 2 記載の光増幅装置。

【請求項 1 4】

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、を有し、

前記残留励起光減衰部は、

前記クラッド部を伝搬する残留励起光を当該クラッド部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の一部を熱に変換する熱変換部とを有し、

前記残留励起光の一部は、前記残留励起光減衰部から出力されて前記アイソレータに入射することを特徴とする光伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

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】

【0 0 0 2】

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。

【0 0 0 3】

10

20

30

40

50

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（EDFA：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】

10

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1550～1560nm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、1550nm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

20

【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FTT×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】

30

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。

40

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

50

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。

10

【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。

20

【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30 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。

30

【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。

40

【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

50

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11に示す励起光混合器の構成例を示す図である。

【図13】図11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12mである場合において、16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10は、入力ポート11、増幅光ファイバ12、光カプラ13, 14、光アイソレータ15, 16、励起光混合器17、フォトダイオード18, 19、レーザダイオード20、制御回路21、利得等化器22、および、出力ポート23を有している。

【0022】

入力ポート11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1530~1560nm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)12は、波長分割多重光信号を、レーザダイオード20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12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12は、コア部12a、第1クラッド部12b、および、第2クラッド部12c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12a、第1クラッド部12b、および、第2クラッド部12cの順になっており、光信号は、コア部12aをシングルモードで伝搬され、

10

20

30

40

50

レーザダイオード 20 からの励起光は、コア部 12 a と第 1 クラッド部 12 b をマルチモードで伝搬される。コア部 12 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 12 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 12 c 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 12 b 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。

10

【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 900 nm 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。

20

【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 12 a 内と第 1 クラッド部 12 b 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 12 a 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。

30

【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。

40

【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

50

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、1550～1560nm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、10m以上(エルビウムの吸収条長積にして400dB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、915nmの励起光のパワーと、波長1550nm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。

10

【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。

20

【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。

30

40

【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

50

カポート 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 20 dB 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 12 a に入力し、コア部 12 a 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 12 a と第 1 クラッド部 12 b に入力され、コア部 12 a と第 1 クラッド部 12 b 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 12 a 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 12 a 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、7 W ~ 21 W 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 1.8 m に設定されている場合であって、光信号の強度が -3 dB m 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 ~ 1560 nm 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、1530 nm の波長に対しては約 27 dB のゲインで増幅され、1560 nm の波長に対しては約 34 dB 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 1.8 m 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 22 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 ~ 1560 nm の範囲では、1530 nm に対するゲインが約 27 dB で最も低いことから、利得等化器 22 通過後の 1530 ~ 1560 nm の範囲のゲインは、当該 27 dB を基準として平坦化され、波長によらず約 27 dB 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 20 dB 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】

10

20

30

40

50

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、光ファイバ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(AGC)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】

10

20

30

40

50

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。

10

【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】

$$n_1 \quad n_3 < n_2 \quad \dots (1)$$

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

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

【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 $n_2 \quad n_4$ であり、式(1)に示すように $n_3 < n_2$ であるので、 $n_3 < n_2 \quad n_4$ 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ようにするのが好ましい。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。

30

【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

40

50

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。

10

【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。

20

【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、500 mW 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。

30

【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。

40

【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、500 mW 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

50

たりすることを防止できる。

【 0 0 5 7 】

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。

【 0 0 5 8 】

(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。

【 0 0 5 9 】

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。

【 0 0 6 0 】

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収容する溝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。

【 0 0 6 1 】

放熱板102bは、溝102cの内部に収容された終端部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。

【 0 0 6 2 】

放熱板102bに形成された溝102cは、終端部E1を収容する収容溝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を収容溝102d内に収容した場合に、この終端部E1近傍の光ファイバ被覆部を支持する。一方、収容溝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を収容する。このような収容溝102dは、支持溝102eに比して底深、かつ、幅広に形

10

20

30

40

50

成される。この場合、終端部 E 1 は、収容溝 1 0 2 d の内壁に対して接触せずに収容できる。なお、収容溝 1 0 2 d 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 1 0 2 b は、終端部 E 1 からの残留励起光を効率的に吸収できる。

【 0 0 6 3 】

また、励起光減衰部 1 0 2 の高屈折率ポリマー 1 0 2 f は、収容溝 1 0 2 d に収容された終端部 E 1 と支持溝 1 0 2 e 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 E 1 を収容溝 1 0 2 d 内に固定し、かつ、光ファイバ被覆部を支持溝 1 0 2 e 内に固定する。また、高屈折率ポリマー 1 0 2 f は、終端部 E 1 における出力端 1 1 7 b のクラッドに比して屈折率が高い。したがって、終端部 E 1 を伝搬する残留励起光は、終端部 E 1 から高屈折率ポリマー 1 0 2 f に伝搬する。この結果、残留励起光は、終端部 E 1 から放射され、放熱板 1 0 2 b および蓋 1 0 2 a に吸収される。

10

【 0 0 6 4 】

蓋 1 0 2 a 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。収容溝 1 0 2 d に対面する側の蓋 1 0 2 a 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 1 0 2 a は、終端部 E 1 から除外した残留励起光を効率的に吸収できる。

【 0 0 6 5 】

なお、励起光減衰部 1 0 3 ~ 1 0 7 も、励起光減衰部 1 0 2 と同様の構成とされている。

20

【 0 0 6 6 】

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 2 0 から出力された励起光のうち、増幅光ファイバ 1 2 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 1 1 7 b ~ 1 1 7 g を介して励起光減衰部 1 0 2 ~ 1 0 7 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 1 2 から出力される残留励起光によって光アイソレータ 1 6 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 1 2 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 1 1 7 f ~ 1 1 7 g に接続された励起光減衰部 1 0 2 ~ 1 0 7 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 1 6 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。

30

【 0 0 6 7 】

なお、以上では、励起光混合器 1 1 7 は、6 つの残留励起光の出力端 1 1 7 b ~ 1 1 7 g 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。

【 0 0 6 8 】

(G) 変形実施形態

【 0 0 6 9 】

なお、以上の各実施形態では、波長帯域が 1 5 3 0 ~ 1 5 6 0 nm である C - B a n d の波長分割多重光信号に対しては、増幅光ファイバ 1 2 の長さを略 8 m 以下、より望ましくは、略 1 . 8 ~ 3 . 8 m 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、1 5 3 5 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 3 0 0 d B となり、1 . 8 ~ 3 . 8 m の場合が略 3 0 ~ 1 5 0 d B 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、9 1 5 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 3 1 0 0 d B 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 1 8 0 ~ 1 5 0 0 d B 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 1 2 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 1 2 の吸収条長積または長さを

40

50

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1530nm）において所望のゲイン（例えば、30dB）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、915nm近傍の励起光に関して、条長が8mのときが略20dBとなり、また、1.8m～3.8mのときは略0.9～9.5dBの範囲となる。なお、本実施形態では、励起光の波長を915nmとしたが、イッテルビウムの吸収波長特性は910～960nm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。

10

【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。

20

【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】

30

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いうまでもない。

【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。

40

【符号の説明】

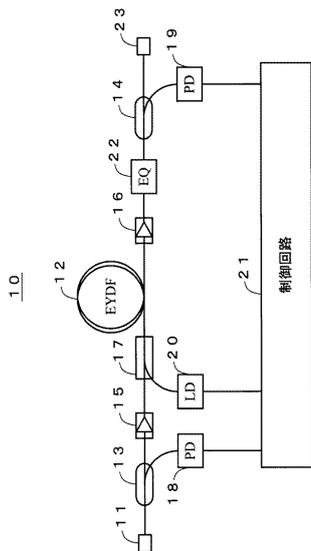
【0075】

- 10, 10A, 10B, 10C 光増幅装置
- 11 入力ポート（入力部）
- 12 増幅光ファイバ（ダブルクラッド型の光ファイバ）
- 12a コア部
- 12b 第1クラッド部
- 12c 第2クラッド部

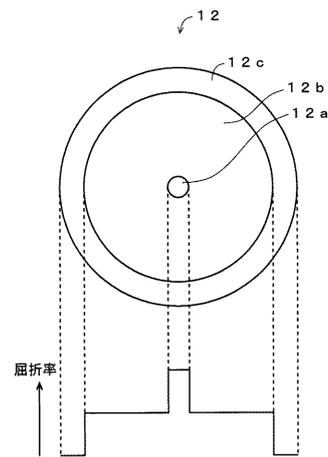
50

- 13, 14 カプラ
- 15, 16 光アイソレータ
- 17 励起光混合器
- 18, 19 フォトダイオード
- 20 レーザダイオード (レーザ光源)
- 21 制御回路
- 22 利得等化器
- 23 出力ポート (出力部)
- 50 光伝送システム
- 60 波長多重光信号送信装置 (光送信装置)
- 70 送信側光伝送路
- 80 受信側光伝送路
- 90 波長多重光信号受信装置 (光受信装置)
- 100 励起光減衰部 (減衰部)
- 102 ~ 107 励起光減衰部 (減衰部)

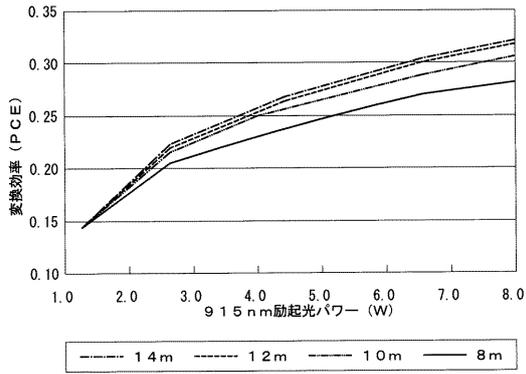
【図1】



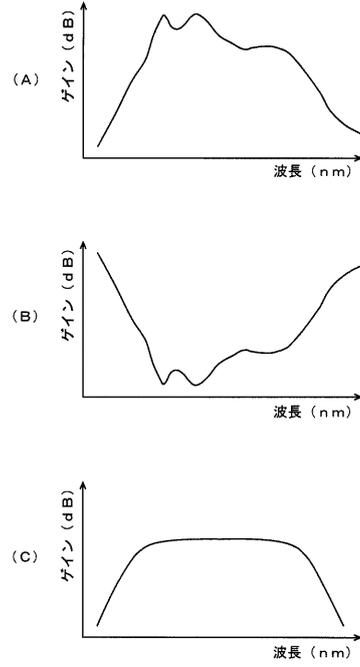
【図2】



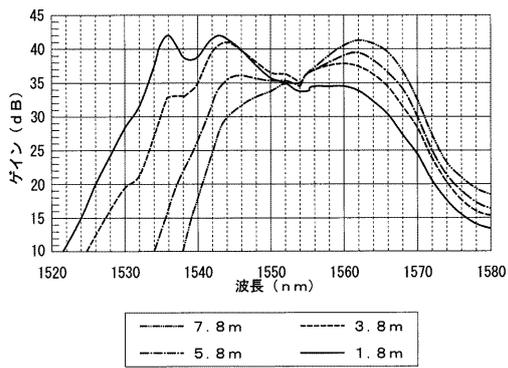
【図3】



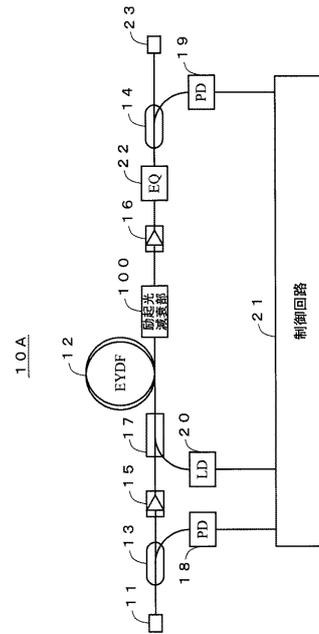
【図5】



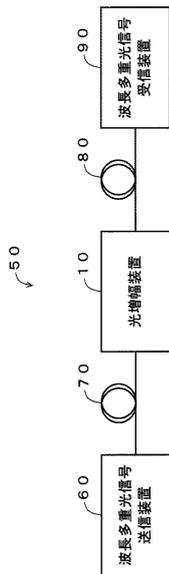
【図4】



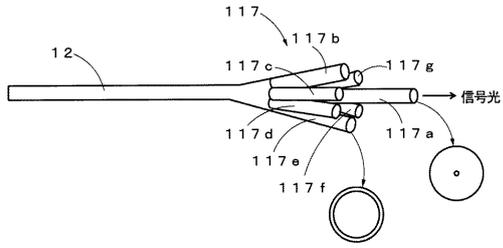
【図7】



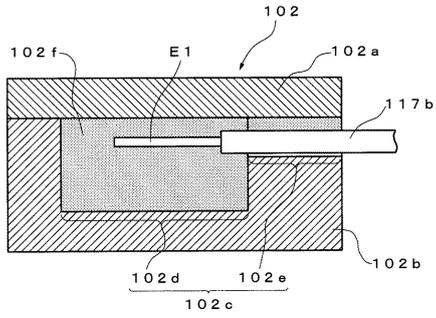
【図6】



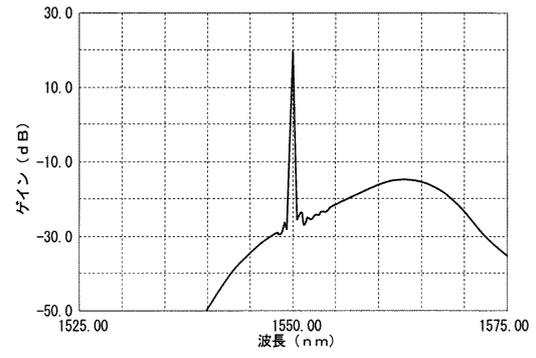
【図12】



【図13】



【図14】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平09 - 331118 (JP, A)

特表2005 - 512332 (JP, A)

特開2010 - 230650 (JP, A)

特開2007 - 271786 (JP, A)

Raja Ahmad, et al, Broadband amplification of high power 40 Gb/s channels using multimode Er-Yb doped fiber, OPTICS EXPRESS, 2010年 9月13日, Vol. 18, No. 19, pp.19983-19993

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 3/10