

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5367446号
(P5367446)

(45) 発行日 平成25年12月11日 (2013.12.11)

(24) 登録日 平成25年9月20日 (2013.9.20)

(51) Int. Cl.		F I			
HO 1 S	3/10	(2006.01)	HO 1 S	3/10	Z
HO 1 S	3/067	(2006.01)	HO 1 S	3/06	B
HO 1 S	3/042	(2006.01)	HO 1 S	3/04	L

請求項の数 7 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2009-111697 (P2009-111697)	(73) 特許権者	000005290
(22) 出願日	平成21年5月1日 (2009.5.1)		古河電気工業株式会社
(65) 公開番号	特開2010-263026 (P2010-263026A)		東京都千代田区丸の内二丁目2番3号
(43) 公開日	平成22年11月18日 (2010.11.18)	(74) 代理人	100114890
審査請求日	平成24年3月1日 (2012.3.1)		弁理士 アインゼル・フェリックス＝ライ ンハルト
		(74) 代理人	100123641
			弁理士 茜ヶ久保 公二
		(74) 代理人	100167852
			弁理士 宮城 康史
		(74) 代理人	100143959
			弁理士 住吉 秀一
		(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

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】

光信号を増幅する光増幅装置において、
 前記光信号を入力する入力部と、
 アンクルド型のマルチモード半導体レーザ素子を備え、マルチモードレーザ光を発する励起用レーザ光源と、
 前記励起用レーザ光源からの前記レーザ光に基づく誘導放出によって前記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、
 前記光ファイバによって増幅された前記光信号を出力する出力部と、
 前記光ファイバと前記出力部との間に配置されたパッシブ光部品と、を有し、
 前記励起用レーザ光源と前記光ファイバは、熱伝導性媒体を介して熱的に結合されており、
 前記光ファイバによって発生された熱によって、前記励起用レーザ光源を昇温させて、前記励起用レーザ光源の発振波長を変化させる、
 ことを特徴とする光増幅装置。

【請求項 2】

前記光ファイバによって発生された熱が前記励起用レーザ光源に伝達され、熱的な定常状態に達した際に前記励起用レーザ光源が発生するレーザ光の波長帯域が、前記光ファイバの吸収率が高い波長帯域と略一致するように設定されている、
 ことを特徴とする請求項 1 記載の光増幅装置。

10

20

【請求項 3】

前記熱伝導性媒体は、前記光ファイバが発生した熱を放熱するためのヒートシンクであり、当該ヒートシンクに前記励起用レーザ光源を配置することにより熱的に結合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 4】

前記励起用レーザ光源の温度を検出するための、前記励起用レーザ光源と熱的に結合された温度検出手段と、

前記温度検出手段による温度検出結果に基づいて、前記励起用レーザ光源が発生するレーザ光の波長帯域が、前記光ファイバの吸収率が高い波長帯域と略一致するように前記励起用レーザ光源を含む系の温度を調整する温度調整手段と、

を有し、

前記温度調整手段は、前記励起用レーザ光源のパワーを制御して前記光ファイバによって発生された熱によって昇温された前記ヒートシンクを冷却する冷却部を有し、前記冷却部によって前記励起用レーザ光源の発振波長を制御することを特徴とする請求項 3 に記載の光増幅装置。

【請求項 5】

前記光ファイバは、コアに Y b と E r が共添加されていることを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の光増幅装置。

【請求項 6】

前記光ファイバから出力される残留励起光のパワーが 5 0 0 mW 以下になるように設定されていることを特徴とする請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載の光増幅装置。

【請求項 7】

光信号を送信する光送信装置と、

前記請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項記載の光増幅装置と、

前記光増幅装置によって増幅された前記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。

【発明の詳細な説明】

【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)。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

10

20

30

40

50

【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】

【0005】

ところで、前述した光ファイバを用いた光増幅装置における映像の増幅において、画質を劣化させる要因として、光増幅装置で発生する雑音および信号の歪み等がある。光増幅装置の雑音を表す指数の一つに雑音指数（NF：Noise Figure）がある。NFが大きいと、映像信号に光増幅装置の雑音が重畳されるので、受信画面上にスノー状のノイズが表れる。信号歪みを表す指数にはCSO（Composite Second Order Distortion）およびCTB（Composite Triple Beat Distortion）があり、これらの歪みは画質に大きな影響を及ぼす。

10

【0006】

このようなアナログ伝送における画質劣化要因を減らすためには、光ファイバの長さを短くすることが望ましい。しかしながら、光ファイバの長さを短くすると、誘導放出に利用されないで残ってしまう残留励起光が発生する。図10は、中心波長が933nmの励起光によって励起した場合における光ファイバの長さ、残留励起光の強度の関係を示す図である。この図に示すように、光ファイバの長さが短くなるほど、残留励起光の強度が増加する傾向にある。このような残留励起光が発生すると、当該残留励起光に起因する熱やエネルギーにより、光ファイバ等に悪影響を与える場合があるという問題点がある。

20

【0007】

そこで、本発明が解決しようとする課題は、残留励起光の発生を抑制しつつ、アナログ特性を改善することが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、光信号を増幅する光増幅装置において、前記光信号を入力する入力部と、アンクルド型のマルチモード半導体レーザ素子を備え、マルチモードレーザ光を発生する励起用レーザ光源と、前記励起用レーザ光源からの前記レーザ光に基づく誘導放出によって前記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、前記光ファイバによって増幅された前記光信号を出力する出力部と、前記光ファイバと前記出力部との間に配置されたパッシブ光部品と、を有し、前記励起用レーザ光源と前記光ファイバは、熱伝導性媒体を介して熱的に結合されており、前記光ファイバによって発生された熱によって、前記励起用レーザ光源を昇温させて、前記励起用レーザ光源の発振波長を変化させることを特徴とする。

30

このような構成によれば、残留励起光の発生を抑制しつつ、アナログ特性を改善することが可能となる。

【0009】

また、他の発明は、上記発明に加えて、前記光ファイバによって発生された熱が前記励起用レーザ光源に伝達され、熱的な定常状態に達した際に前記励起用レーザ光源が発生するレーザ光の波長帯域が、前記光ファイバの吸収率が高い波長帯域と略一致するように設定されていることを特徴とする。

40

このような構成によれば、残留励起光を抑制しつつ、アナログ特性を改善するとともに、変換効率を向上させることが可能になる。

【0010】

また、他の発明は、上記発明に加えて、前記熱伝導性媒体は、前記光ファイバが発生した熱を放熱するためのヒートシンクであり、当該ヒートシンクに前記励起用レーザ光源を配置することにより熱的に結合することを特徴とする。

このような構成によれば、熱伝導性が高いヒートシンクを熱伝導性媒体として流用することで、部品点数を増やすことなく、両者を確実に熱的に結合することができる。

【0011】

また、他の発明は、上記発明に加えて、前記励起用レーザ光源の温度を検出するための

50

、前記励起用レーザ光源と熱的に結合された温度検出手段と、前記温度検出手段による温度検出結果に基づいて、前記励起用レーザ光源が発生するレーザ光の波長帯域が、前記光ファイバの吸収率が高い波長帯域と略一致するように前記励起用レーザ光源を含む系の温度を調整する温度調整手段と、を有し、前記温度調整手段は、前記励起用レーザ光源のパワーを制御して前記光ファイバによって発生された熱によって昇温された前記ヒートシンクを冷却する冷却部を有し、前記冷却部によって前記励起用レーザ光源の発振波長を制御することを特徴とする。

このような構成によれば、励起用レーザ光源の温度を常に一定に保つことができるので、例えば、環境温度等に影響されることなく、残留励起光を確実に抑制することができる。

10

また、他の発明は、上記発明に加えて、前記光ファイバは、コアにYbとErが共添加されていることを特徴とする。

【0012】

また、他の発明は、上記発明に加えて、前記光ファイバから出力される残留励起光のパワーが500mW以下になるように設定されていることを特徴とする。

この構成によれば、残留励起光が光ファイバ等に悪影響を与えることを防止できる。

【0013】

また、本発明の光伝送システムは、光信号を送信する光送信装置と、前記光増幅装置と、前記光増幅装置によって増幅された前記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。

20

この構成によれば、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】

【0014】

本発明の光増幅装置および光伝送システムによれば、残留励起光の発生を抑制しつつ、アナログ特性を改善することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】本発明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。

30

【図3】レーザダイオードが発生する励起光の波長特性の概略を示す図である。

【図4】ヒートシンクに配置される増幅光ファイバとレーザダイオードの関係の一例を示す図である。

【図5】増幅光ファイバの基底状態吸収および励起状態ゲインと波長との関係を示す図である。

【図6】本実施形態と従来例における増幅光ファイバ長と、残留励起光の関係を示す図である。

【図7】本実施形態の光増幅装置を用いた光伝送システムの構成例を示す図である。

【図8】ヒートシンクに配置される増幅光ファイバとレーザダイオードの関係の他の一例を示す図である。

40

【図9】ヒートシンクに配置される増幅光ファイバとレーザダイオードの関係のさらに他の一例を示す図である。

【図10】従来例における増幅光ファイバ長と、残留励起光の関係を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

次に、本発明の実施形態について説明する。

(A) 実施形態の構成

図1は本発明の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、光カップラ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

50

ド 20、制御回路 21、サーミスタ 22、冷却手段 23、および、出力ポート 24 を有している。

【0017】

入力ポート 11 は、例えば、光コネクタ等によって構成される。入力ポート 11 には、例えば、周波数が 91.25~343.25 MHz の範囲の 40 キャリアの正弦波からなる AM-VSB (Amplitude Modulation-Vestigial Side-Band) 信号によってレーザ光を変調した波長 1550 nm の光信号が入力される。増幅光ファイバ (EYDF: Erbium Ytterbium Doped Fiber) 12 は、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。

【0018】

図 2 は、増幅光ファイバ 12 の断面構造と、そ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、各部の屈折率は、コア部 12a が最も高く、続いて、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、レーザダイオード 20 からの励起光は、コア部 12a と第 1 クラッド部 12b をマルチモードで伝搬される。コア部 12a 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 12b 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 は、後述するようにヒートシンク 30 (図 4 参照) に取り付けられ、また、当該ヒートシンク 30 には、レーザダイオード 20 が熱的に結合 (以下、単に「熱結合」と称する) 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。

【0019】

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信号また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。

【0020】

光アイソレータ 15 は、光カプラ 13 からの光を透過させ、励起光混合器 17 および増幅光ファイバ 12 から戻ってくる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。図 3 は、レーザダイオード 20 が発生するレーザ光の波長特性の概略を示す図である。この図に示すように、レーザダイオード 20 が発生するレーザ光は、中心波長 λ_c を中心として、所定の広がりを持つ特性を有している。この例は、一例であって、これ以外の特性であってもよい。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。

【0021】

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。

【0022】

光アイソレータ 16 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。光カプラ 14 は、光アイソレータ 16 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 24 から出力する。出力ポート 24 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

10

20

30

40

50

を外部に出力する。フォトダイオード（PD）19は、光カプラ14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。制御回路21では、フォトダイオード19から供給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、出力信号の光強度を検出する。

【0023】

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、利得一定制御AGC（Automatic Gain Control）を実行する。また、サーミスタ22によって検出されたレーザダイオード20の温度に基づいて、冷却手段23を駆動し、レーザダイオード20の温度が所望の温度になるように制御する。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。

10

【0024】

サーミスタ（TH）22は、レーザダイオード20と熱的に結合され、レーザダイオード20の温度を検出し、制御回路21に供給する。冷却手段（FAN）23は、例えば、小型のモータと、送風用のファンによって構成され、制御回路21の制御に応じて駆動され、ヒートシンク30に送風することにより、レーザダイオード20が所望の温度になるように制御する。なお、冷却手段23の制御としては、例えば、温度の高低に応じて、単純にオン／オフする制御としたり、あるいは、温度の高低に応じて回転数を制御したりするようにしてもよい。

20

【0025】

図4は、ヒートシンク30の構成例を示す図である。ヒートシンク30は、例えば、アルミニウムまたは銅等の熱伝導性が良好な金属板によって形成されている。当該金属板の一方の面（図4の手前側の面）には、コイル状に巻回された増幅光ファイバ12の一方の直線部分が収容される直線溝部31と、他方の直線部分が収容される直線溝部32と、巻回された円形部分が収容される円形溝部33が形成されている。増幅光ファイバ12のコイル状に巻回された部分の内側の半径と、円形溝部33の内側の側面の半径は略同じとされているので、増幅光ファイバ12がヒートシンク30の円形溝部33に収容されると、増幅光ファイバ12の巻回された部分の内側と、円形溝部33の内側の側面とが接触し、これらの間で熱結合が図られる。なお、熱伝導性を高めるために、直線溝部31、32および円形溝部33の幅を、増幅光ファイバ12の太さと略同じとし、溝部の両側面が増幅光ファイバ12の両側に接するようにしてもよい。また、例えば、両者の間に熱伝導性シリコン等を介在させて、熱伝導率を一層高めるようにしてもよい。

30

【0026】

また、円形溝部33によって囲まれた凸状部の頂部の略中央には、レーザダイオード20が配置されている。なお、熱伝導性を高めるために、両者の間に熱伝導性シリコン等を介在させるようにしてもよいことは、前述の場合と同様である。なお、図4では示していないが、レーザダイオード20には、図1に示すサーミスタ22が熱的に結合され、レーザダイオード20の温度を検出可能とされている。また、同様に、図4では図示していないが、図1に示す冷却手段23が、例えば、レーザダイオード20に対して冷却可能な位置に配置されている。なお、ヒートシンク30の表側（図4の手前側）ではなく、裏側（図4の奥側）に冷却手段23を設けるようにしてもよい。あるいは、ヒートシンク30の裏側に複数のフィン（Fin）を設け、当該フィンに対して冷却手段23により冷却するようにしてもよい。

40

【0027】

（B）実施形態の動作

50

以下では、本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。本実施形態では、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。図5は、このような増幅光ファイバ12の基底状態吸収（Ground-State Absorption）と、励起状態ゲイン（Excited-State Gain）の波長による変化を示す図である。基底状態吸収を示す曲線は、910～960nm付近にフラットな帯域Bを有し、975nm付近にピークを有する。ところで、非冷却型マルチモードのレーザダイオード20は、温度の上昇に応じて、発生されるレーザ光の波長が長波長側にシフトする。例えば、温度が75℃上昇すると、22.5nm長波長側へシフトする。そのため、一般的には、レーザダイオード20の温度変化によって、吸収特性が変化しないようにするために、レーザダイオード20が発生する励起光の中心波長 λ_c は、図5に示すフラットな帯域B内に収まるように設計されることが一般的である。

10

【0028】

一方、本願では、動作中に熱を発生する増幅光ファイバ12と、レーザダイオード20とを、熱伝導性媒体であるヒートシンク30によって熱結合し、増幅光ファイバ12によって発生された熱を積極的に利用してレーザダイオード20を昇温する。そして、熱的な定常状態になった場合（増幅光ファイバ12から発生する熱と、ヒートシンク30から放射される熱が均衡し、レーザダイオード20の温度が一定になった場合）において、レーザダイオード20が発生する励起光の中心波長 λ_c が、増幅光ファイバ12の基底状態吸収のピーク波長 λ_a （図5の例では975nm）と略一致するように設定する。このように設定することにより、従来のようにフラットな帯域Bを使用する場合に比較して、励起光の吸収率を高めることができるため、アナログ特性を改善する目的で、増幅光ファイバ12の長さを短く設定した場合であっても、残留励起光の強度を減少させることができる。また、吸収率が高い帯域で、増幅光ファイバ12を使用することにより、変換効率を向上させることが可能になる。なお、温度が変動して、レーザダイオード20が発生する励起光の波長が変動した場合であっても、帯域Bよりも吸収率が高い範囲内に存在していれば、従来に比較して、残留励起光を減少させるとともに、変換効率を高めることができる。

20

【0029】

図6は、従来例および本実施形態における、残留励起光と、増幅光ファイバ12の長さの関係を示す図である。この図の上側の楕円内に示す点は、従来例における残留励起光とファイバ長との関係を示している。また、図の下側の楕円内に示す点は、本実施形態における残留励起光とファイバ長との関係を示している。これらの比較から、本願の場合では、増幅光ファイバ12の長さを短くしても、従来の場合ほど、残留励起光が増加しない。

30

【0030】

このように、本願では、レーザダイオード20と増幅光ファイバ12とをヒートシンク30を介して熱結合するとともに、これらが熱的な定常状態に達した場合にレーザダイオード20から発生される励起光の中心波長 λ_c が、増幅光ファイバ12の基底状態吸収のピーク波長 λ_a と略一致するように設定するようにしたので、アナログ特性を改善させつつ、残留励起光の増加を抑制することができる。また、増幅光ファイバ12の吸収特性のピーク位置を使用することで、変換効率を向上させることができる。

40

【0031】

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。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を用いることで、高利得を簡単に得ることができる。

【0032】

つぎに、本実施形態の詳細な動作について説明する。

【0033】

50

本実施形態では、例えば、周波数が91.25～343.25MHzの範囲の40キャリアの正弦波からなるAM-VSB信号によってレーザ光を変調した波長1550nmの光信号を増幅する場合を例に挙げて説明する。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。

【0034】

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。

10

【0035】

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。

20

【0036】

増幅光ファイバ12は、増幅動作中は発熱する。例えば、8mの長さの増幅光ファイバ12を、8Wの出力のレーザダイオード20によって励起した場合、その周囲温度は60℃近くまで上昇する。本実施形態では、増幅光ファイバ12は、図4に示す、ヒートシンク30に取り付けられているので、増幅光ファイバ12が発生した熱は、熱伝導性媒体としてのヒートシンク30を伝達する。ヒートシンク30の中心部には、レーザダイオード20が配置されており、レーザダイオード20は、ヒートシンク30と熱結合されているので、レーザダイオード20は、増幅光ファイバ12から伝達された熱によって温度が上昇する。また、ヒートシンク30を伝達する熱は、熱放射によって周囲に放射される。レーザダイオード20には、サーミスタ22が熱結合されており、素子温度を検出している。このようにして検出されたレーザダイオード20の温度は、制御回路21に供給される。制御回路21は、レーザダイオード20の温度が、予め設定されて記憶されている温度 T_c （例えば、50℃（ λ_c と λ_a が略一致する温度））と等しいか否かを判定し、温度 T_c よりも検出された温度が高い場合には、冷却手段23を駆動し、それ以外の場合には冷却手段23を駆動しない。このような制御により、レーザダイオード20の温度が温度 T_c になるように制御されるため、冷却手段23を含めた系が熱的定常状態に達した場合には、レーザダイオード20の素子温度は温度 T_c に等しくなる。

30

【0037】

レーザダイオード20の温度が上昇すると、レーザダイオード20が発生する励起光の波長が長波長側にシフトする。ここで、レーザダイオード20の温度が T_c と等しくなった場合に発生される励起光の中心波長 λ_c （図3参照）と、増幅光ファイバ12の基底状態吸収のピーク波長 λ_a （図5参照）とは略一致するように設定されている。この結果、レーザダイオード20から発生された励起光は、高い割合で増幅光ファイバ12に吸収され、光信号の増幅に利用される。このため、アナログ特性を改善する目的で、増幅光ファイバ12の長さを短く設定した場合であっても、残留励起光の強度を低下させることができる。図6は、前述したように、増幅光ファイバ12の長さ、残留励起光の強度との関係を示す図である。図6の上側の楕円で囲んだ点は、従来における増幅光ファイバ12の長さ、残留励起光の強度との関係を示しており、増幅光ファイバ12の長さが短くな

40

50

るにつれて、残留励起光の強度が顕著に増加している。一方、図6の下側の楕円で囲んだ点は、本実施形態における増幅光ファイバ12の長さ、残留励起光の強度との関係を示しており、増幅光ファイバ12の長さが短くなっても、残留励起光の強度が増加は僅少である。増幅光ファイバ12から出力される残留励起光のパワーは、光受動部品の耐力を考慮すると、500mW以下となるように設定することが望ましい。なお、500mWは、光受動部品のハイパワー耐力値として一般的に用いられている値であり、残留励起光を500mW以下に設定することで、光受動部品の損傷を防ぐとともに、長寿命化を図ることが可能になる。

【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を介して光カップラ14に入力される。光カップラ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、光カップラ14が20dBカップラである場合（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、残りが出力ポート24から出力される。

【0039】

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、光カップラ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、光増幅装置10のゲインを求める。そして、求めたゲインに基づいて、利得が一定になるようにする制御である利得一定制御（AGC）を実行する。または、出力光の強度のみを検出して、出力強度を一定に保つ出力一定制御（ALC：Automatic Output Power Level Control）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。

【0040】

以上に説明したように、本発明の実施形態によれば、レーザダイオード20と増幅光ファイバ12を、熱伝導性媒体としてのヒートシンク30によって熱結合し、増幅光ファイバ12によって発生された熱がレーザダイオード20に伝達され、熱的な定常状態に達した際にレーザダイオード20が発生する励起光の中心波長 λ_c が、増幅光ファイバ12の励起光の吸収率のピーク波長 λ_a と略一致するようにしたので、アナログ特性を改善する目的で、増幅光ファイバ12の長さを短くした場合であっても、残留励起光の強度が増大することを防止できる。

【0041】

また、本実施形態では、増幅光ファイバ12とレーザダイオード20とを、ヒートシンク30を介して熱結合するようにした。ヒートシンク30は、一般的に、熱伝導性が高いアルミニウム等の金属によって構成されているので、増幅光ファイバ12によって発生した熱をレーザダイオード20に迅速に伝達し、遅延なく温度を制御することができる。

【0042】

また、本実施形態では、レーザダイオード20にサーミスタ22を熱結合し、サーミスタ22によって検出された温度に基づいて、冷却手段23を制御するようにしたので、レーザダイオード20が常に一定の温度になるようにすることができる。このような制御により、環境温度等に影響されることなく、残留励起光の強度が低いレベルで一定になるように制御することができる。また、増幅光ファイバ12の変換効率を高いレベルに維持することができる。

【0043】

また、本実施形態では、レーザダイオード20としてアンクルド型を使用するため、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。なお、本実施形態では、冷却手段2

10

20

30

40

50

3を使用するが、冷却手段23の消費電力は、ペルチェ素子に比較すると小さいため、たとえ、冷却手段23が頻繁に（または連続して）稼働される場合であっても、ペルチェ素子に比較して消費電力を減らすことができる。

【0044】

また、本実施形態では、図4に示すように、増幅光ファイバ12の励起光が入力される側が手前に配置されるように増幅光ファイバ12を巻回した。増幅光ファイバ12は、励起光が入力される側の温度が高く、入力端から離れるに従って温度が低下する分布を有する。従って、増幅光ファイバ12の温度が高い側を、レーザダイオード20に近い側に配置することにより、増幅光ファイバ12の熱を効率よくレーザダイオード20に伝達することが可能になる。

10

【0045】

図7は、本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、光送信装置60、送信側光伝送路70、本実施形態の光増幅装置10、受信側光伝送路80、および、光信号受信装置90を有している。この例では、光送信装置60から送信された光信号は、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、光信号が増幅された後、受信側光伝送路80を伝搬されて光信号受信装置90に到達し、そこで信号が復調される。本実施形態の光増幅装置10は、良好なアナログ特性を有するとともに、低消費電力であることから、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

20

【0046】

(C) 変形実施形態

【0047】

なお、以上の実施形態では、図4に示すようなヒートシンク30を用いるようにしたが、これ以外にも、例えば、図8に示すような構成としてもよい。図8の例では、ヒートシンク130は、例えば、アルミニウムまたは銅等の熱伝導性の金属板によって形成されている。当該金属板の一方の面には、増幅光ファイバ12の一端部が埋め込まれる直線溝部131が形成されており、当該直線溝部131に増幅光ファイバ12の励起光が入力される側の直線部分が埋め込まれる。直線溝部131から上方向に伸出した増幅光ファイバ12は、螺旋を描くように、内側から外側に向かって回旋され、その半径が徐々に大きくなり、他端部が直線溝部131と同じ方向に向かってヒートシンク130の外部に向かって伸出する。なお、増幅光ファイバ12の励起光が入力される直線部分は、直線溝部131内に埋め込まれておりその表面は、ヒートシンク130の表面と略同一の高さとされているので、螺旋状の部分は当該直線部分を避けるために曲げることなく配置が可能となる。増幅光ファイバ12は、例えば、接着剤等によってヒートシンク130に取り付けられる。増幅光ファイバ12の螺旋状の部分の中央付近には、レーザダイオード20がヒートシンク130と熱的に結合するように、例えば、熱伝導率を高めるための熱伝導性シリコンを介して配置されている。なお、前述の場合と同様に、レーザダイオード20には、図1に示すサーミスタ22が熱的に結合され、レーザダイオード20の温度を検出可能とされている。また、図1に示す冷却手段23が、例えば、レーザダイオード20に対して冷却可能な位置に配置されている。なお、ヒートシンク130の表側ではなく、裏側に設けるようにしたり、あるいは、ヒートシンク130の裏側に複数のフィンを設け、当該フィンに対して冷却手段23により冷却するようにしたりしてもよい。

30

40

【0048】

図9は、ヒートシンクのさらに他の実施形態を示している。図8の例では、増幅光ファイバ12の一部のみを、ヒートシンク130内に埋め込む構成としたが、図9では、増幅光ファイバ12の全体をヒートシンク230内に埋め込む構成としている。すなわち、この例では、ヒートシンク230には、増幅光ファイバ12の一方の直線部分が収容される直線溝部231と、他方の直線部分が収容される直線溝部232と、螺旋状に巻回された

50

部分が収容される螺旋状溝部 233 とが形成されている。なお、増幅光ファイバ 12 の一端部が埋め込まれる直線溝部 231 は、他の部分に比較して、ファイバの太さの分だけ溝の深さが深く形成されている。このようにして、ヒートシンク 230 内に埋め込む構成とすることで、増幅光ファイバ 12 とヒートシンクの接触面積を増大させて、熱伝導率を高めることができる。また、図 9 には示していないが、増幅光ファイバ 12 を埋め込んだ後に、レーザダイオード 20 に対応する開口部を有する、例えば、樹脂のシート等によって、ヒートシンク 230 の表面を封止することにより、増幅光ファイバ 12 が傷つくことを防止することができる。また、熱伝導性を有する樹脂を用いることにより、増幅光ファイバ 12 とヒートシンク 230 との熱結合をさらに強めることができる。

【0049】

10

なお、図 8 および図 9 の例では、増幅光ファイバ 12 の励起光が入力される側が内側になるようにして、螺旋状に巻回するようにしたので、増幅光ファイバ 12 の温度が高くなる部分をレーザダイオード 20 の近傍に配置することにより、熱を効率良くレーザダイオード 20 に伝達することができる。

【0050】

また、以上の実施形態では、増幅光ファイバ 12 とレーザダイオード 20 とを熱結合するようにしたが、これ以外にも、増幅光ファイバ 12 の出力側に位置しているパッシブ光部品（例えば、光アイソレータ 16 または光カップラ 14）と、レーザダイオード 20 とを熱結合するようにしてもよい。出力側に位置しているパッシブ光部品も発熱するからである。なお、熱結合の方法としては、前述したように、ヒートシンクを介して熱結合するようにしたり、あるいは、レーザダイオード 20 とパッシブ光部品とを直接熱結合したりするようにしてもよい。さらに、図 4、図 8、図 9 に示すヒートシンク 30、130、230 のレーザダイオード 20 の近傍にパッシブ光部品を配置し、増幅光ファイバ 12 とパッシブ光部品の双方からの熱を利用するようにしてもよい。なお、増幅光ファイバ 12 の場合にはレーザダイオード 20 から出力される波長のシフトに応じて吸収率が変動して発熱量が変化するが、出力側に位置しているパッシブ光部品の発熱量は波長のシフトに対して安定していることから、パッシブ光部品とレーザダイオード 20 とを熱結合することにより、安定した残留励起光の低減制御が可能になる。

20

【0051】

また、以上の実施形態では、サーミスタ 22 および冷却手段 23 を設けて、これらに基づいて温度制御を行うようにしたが、例えば、温度制御を実行しなくても、レーザダイオード 20 の温度を所望の温度に保つことができる場合には、これらについては設ける必要がない。

30

【0052】

また、以上の実施形態では、熱伝導性媒体として、ヒートシンクを用いるようにしたが、熱伝導性媒体としては、ヒートシンク以外の媒体を使用するようにしてもよい。具体的には、例えば、光増幅装置 10 が収容される金属製の筐体を熱伝導性媒体として使用してもよい。また、熱伝導性媒体としては、金属に限定されるものではなく、例えば、空気を熱伝導媒体として使用するようにしてもよい。すなわち、レーザダイオード 20 を増幅光ファイバ 12 またはパッシブ光部品の近傍に単に配置するようにしてもよい。なお、これ以外にも、熱伝導媒体としては、例えば、水または有機溶媒等の液体や樹脂等が存在する。これらを使用することが可能であることはいうまでもない。

40

【0053】

また、以上の実施形態では、増幅光ファイバ 12 の励起光が入力される側を、レーザダイオード 20 の近くに配置する構成としたが、レーザダイオード 20 の温度が所望の温度以上になる場合には、励起光が入力される側を、レーザダイオード 20 から遠い位置に配置してもよい。また、レーザダイオード 20 の取り付け位置についても、図 4、8、9 の位置に限定されるものではなく、例えば、ヒートシンクの四隅のいずれかに取り付けたり、あるいは、ヒートシンクの裏側面に取り付けたりしてもよい。

【0054】

50

また、以上の実施形態では、出力制御（例えば、A L C等）と温度制御との関係については説明していないが、出力制御については制御の応答速度が速く、一方、温度制御については応答速度が出力制御に比較すると遅い。そこで、例えば、出力を一定に制御するためには、短期的には出力制御に基づいて制御を行うとともに、長期的には温度制御によってレーザダイオード20の温度が所望の温度になるように制御することで、残留励起光の強度を減少させつつ、アナログ特性を改善することができる。なお、レーザダイオード20の温度を所望の温度にすることにより、残留励起光の強度を減少させるのみならず、変換効率を高めることができるので、温度制御を優先して行うことが望ましい。

【0055】

また、以上の実施形態では、レーザダイオード20が発生する励起光は、図3に示す波長特性を有するとして説明したが、これとは異なる特性を有する場合（例えば、顕著なピーク波長が存在しない場合）には、温度上昇により、波長がシフトしたときに、増幅光ファイバ12による吸収率が最も高くなるように設定すればよい。すなわち、温度上昇時に、図3に示すような波長特性と、図5に示すような吸収特性との重複する領域が最も多くなるように設定すればよい。

【0056】

また、以上の実施形態では、励起方式として前方励起方式を採用したが、例えば、後方励起方式や双方向励起方式を採用するようにしてもよい。後方励起方式は、前方励起方式に比較するとノイズ特性は劣るものの、高出力化が可能となる。また、双方向励起方式は、前方励起方式と後方励起方式の双方の特徴を兼備する増幅が可能となる。

【0057】

また、以上の実施形態では、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N F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。

【0058】

なお、以上の実施形態では、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場合を例に挙げて説明したが、ツリウム（T m : Thulium）、ネオジウム（N d : Neodymium）、プラセオジウム（P r : 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。

【符号の説明】

【0059】

- 10 光増幅装置
- 11 入力ポート（入力部）
- 12 増幅光ファイバ（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
- 13 光カプラ
- 14 光カプラ（パッシブ光部品）
- 15 光アイソレータ
- 16 光アイソレータ（パッシブ光部品）
- 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（温度調整手段の一部）
- 22 サーミスタ（温度検出手段）
- 23 冷却手段（温度調整手段の一部）
- 24 出力ポート（出力部）

10

20

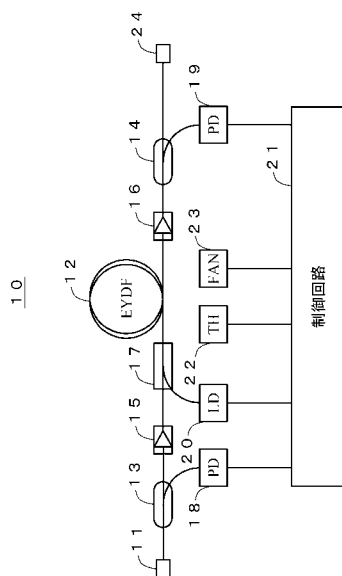
30

40

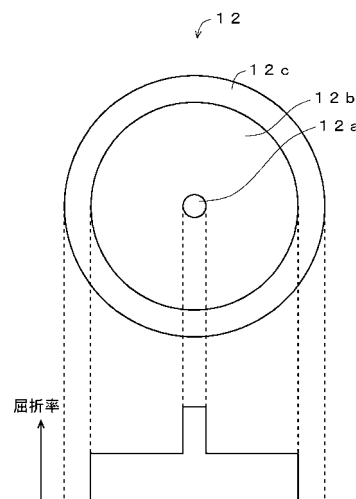
50

- 3 0, 1 3 0, 2 3 0 ヒートシンク (熱伝導性媒体)
 5 0 光伝送システム
 6 0 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 光信号受信装置 (光受信装置)

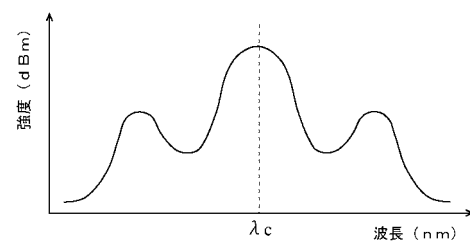
【図 1】



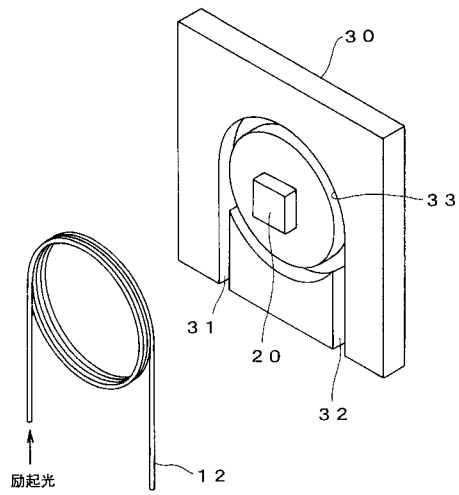
【図 2】



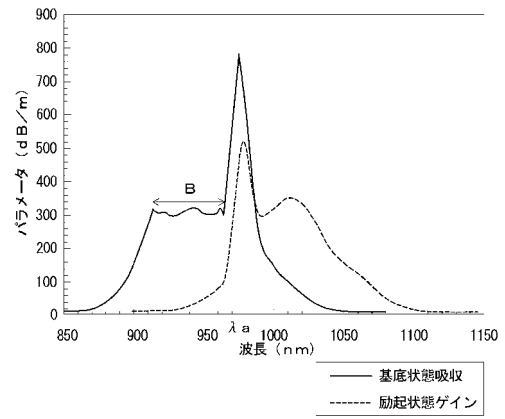
【図 3】



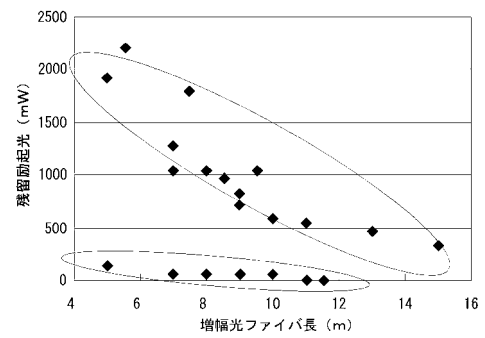
【図 4】



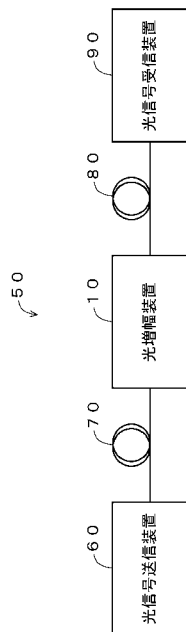
【図 5】



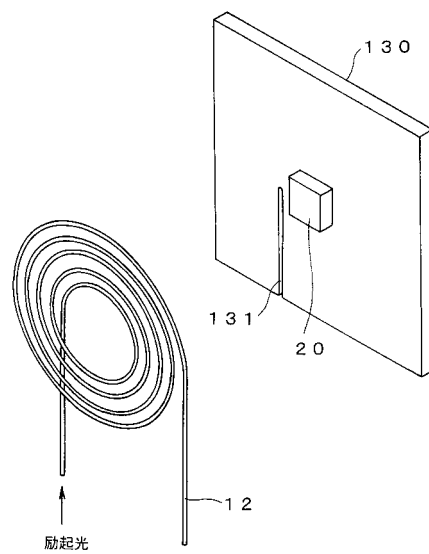
【図 6】



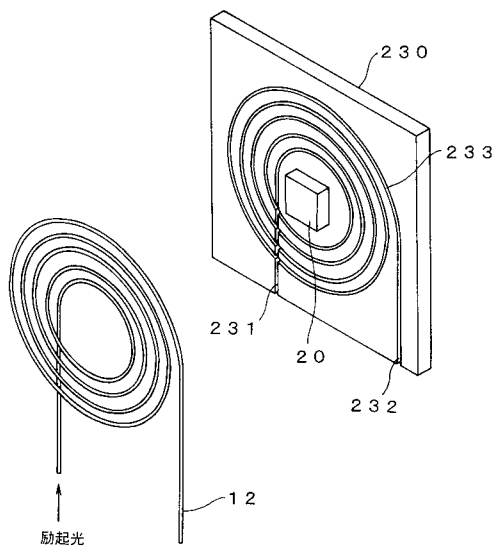
【図 7】



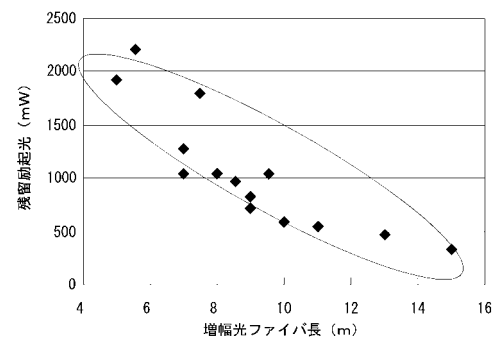
【図 8】



【図 9】



【図 1 0】



フロントページの続き

審査官 古田 敦浩

- (56)参考文献 特開平09-258279 (JP, A)
特開平10-079542 (JP, A)
特開平10-223960 (JP, A)
特開2003-209316 (JP, A)
特開2009-059938 (JP, A)
特開2008-244223 (JP, A)
特開2008-244483 (JP, A)
特開2005-072197 (JP, A)
特開2001-044539 (JP, A)
特開平11-195827 (JP, A)
特開平09-050055 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01S 3/00 - 3/30