

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3556026号

(P3556026)

(45) 発行日 平成16年8月18日(2004.8.18)

(24) 登録日 平成16年5月21日(2004.5.21)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

F I

H O 1 S 3/07

H O 1 S 3/07

G O 2 F 1/35

G O 2 F 1/35 5 O 1

H O 1 S 3/094

H O 1 S 3/10 Z

H O 1 S 3/10

H O 1 S 3/17

H O 1 S 3/17

H O 1 S 3/094 S

請求項の数 5 (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平7-281182  
 (22) 出願日 平成7年10月30日(1995.10.30)  
 (65) 公開番号 特開平9-129948  
 (43) 公開日 平成9年5月16日(1997.5.16)  
 審査請求日 平成13年8月20日(2001.8.20)

(73) 特許権者 000005223  
 富士通株式会社  
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
 1号  
 (74) 代理人 100094514  
 弁理士 林 恒徳  
 (72) 発明者 稲垣 真也  
 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番  
 地 富士通株式会社内  
 (72) 発明者 宿南 宣文  
 北海道札幌市中央区北一条西2丁目1番地  
 富士通北海道デジタル・テクノロジ株  
 式会社内

審査官 柏崎 康司

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 複数の波長信号を一括して増幅する多波長一括光増幅器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

エルビウムドープファイバを用いた複数波長の光信号を一括して増幅する光増幅器であつて、

前記エルビウムドープファイバの光導波部を、エルビウムとゲルマニウムがドープされた中心部を成す第1のガラス材料層と、前記第1のガラス材料層の外側にエルビウムとアルミニウムがドープされた第2のガラス材料層で形成し、

それぞれ0.98 μm、1.48 μmの励起波長帯の第1、第2の励起光を出力する励起光源を有し、

前記励起光源より出力される第1、第2の励起光を、それぞれ独立に励起光パワーを制御可能に、前記エルビウムドープファイバに供給する ように構成されたことを特徴とする光増幅器。

【請求項2】

請求項1に記載の光増幅器において、

前記ゲルマニウムがドープされた中心部を成す第1のガラス材料層をGeO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>ガラスとし、前記アルミニウムがドープされた第2のガラス材料層をAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>ガラスとしたことを特徴とする光増幅器。

【請求項3】

請求項1に記載の光増幅器において、

前記ゲルマニウムがドープされた中心部を成す第1のガラス材料層をGeO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

10

20

3 - SiO<sub>2</sub> ガラスとし、前記アルミニウムがドーブされた第 2 のガラス材料層を Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiO<sub>2</sub> ガラスとしたことを特徴とする光増幅器。

**【請求項 4】**

タンデムに接続された、それぞれエルビウムドーブファイバを有する第 1 の光増幅器と第 2 の光増幅器を有し、

前記第 1 の光増幅器は、前記エルビウムドーブファイバの光導波部が、エルビウムとゲルマニウムがドーブされた中心部を成す第 1 のガラス材料層と、前記第 1 のガラス材料層の外側にエルビウムとアルミニウムがドーブされた第 2 のガラス材料層で形成し、それぞれ 0.98 μm、1.48 μm の励起波長帯の第 1、第 2 の励起光を出力する励起光源を有し、前記励起光源より出力される第 1、第 2 の励起光を、それぞれ独立に励起光パワーを制御可能に、前記エルビウムドーブファイバに供給するように構成し、前記ゲルマニウムがドーブされた中心部を成す第 1 のガラス材料層を GeO<sub>2</sub> - SiO<sub>2</sub> ガラスとし、前記アルミニウムがドーブされた第 2 のガラス材料層を Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiO<sub>2</sub> ガラスとする光増幅器であって、

前記第 2 の光増幅器は、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - GeO<sub>2</sub> - SiO<sub>2</sub> ガラスのエルビウムドーブファイバによる光増幅器である

ことを特徴とする光増幅器。

**【請求項 5】**

タンデムに接続された、それぞれエルビウムドーブファイバを有する第 1 の光増幅器と第 2 の光増幅器を有し、

前記第 1 の光増幅器は、前記エルビウムドーブファイバの光導波部が、エルビウムとゲルマニウムがドーブされた中心部を成す第 1 のガラス材料層と、前記第 1 のガラス材料層の外側にエルビウムとアルミニウムがドーブされた第 2 のガラス材料層で形成され、それぞれ 0.98 μm、1.48 μm の励起波長帯の第 1、第 2 の励起光を出力する第 1、第 2 の励起光源を有し、前記第 1、第 2 の励起光源より出力される第 1、第 2 の励起光を、それぞれ独立に励起光パワーを制御可能に、前記エルビウムドーブファイバに供給するように構成され、前記ゲルマニウムがドーブされた中心部を成す第 1 のガラス材料層を GeO<sub>2</sub> - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiO<sub>2</sub> ガラスとし、前記アルミニウムがドーブされた第 2 のガラス材料層を Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiO<sub>2</sub> ガラスとする光増幅器であって、

前記第 2 の光増幅器は、GeO<sub>2</sub> - SiO<sub>2</sub> ガラスのエルビウムドーブファイバによる光増幅器である

ことを特徴とする光増幅器。

**【発明の詳細な説明】**

**【0001】**

**【発明の属する技術分野】**

本発明は、エルビウム (Er) をドーブした光ファイバによる光増幅器、特に複数の波長信号を一括して増幅する多波長一括光増幅器に関する。

**【0002】**

**【従来の技術】**

エルビウム (Er) をドーブした光ファイバによる光増幅器が光通信に採用され、更に近年光通信システムの大容量化に対応として、複数波長の信号を一括して増幅することの開発が進められている。かかる複数波長の信号を一括して増幅により、エルビウムドーブファイバを用いた光増幅器を単一で済ませることが可能であり、経済的利点大きい。

**【0003】**

しかし、このような多波長一括光増幅器に対する課題として個々の信号光出力の利得制御性がある。利得制御の手法として先に本発明者等により 0.98 μm と 1.48 μm の 2 波長励起の方法が提案されている (例えば、電子通信学会予稿集論文「0.98 μm と 1.48 μm 帯両波長励起による EDF A の多波長一括増幅特性」95 年 3 月 10 日発行)。

**【0004】**

10

20

30

40

50

かかる論文の図3は、本発明者等により測定した $0.98\mu\text{m}$ と $1.48\mu\text{m}$ の2波長励起におけるそれぞれの励起光パワと総出力の関係を示している。これを図10に拡大して示すと、図10において、横軸に $0.98\mu\text{m}$ 帯励起光パワ、縦軸に $1.48\mu\text{m}$ 帯励起光パワを示し、2つの信号光出力の和としての総出力がプロットされている。

【0005】

図において、例として $0.98\mu\text{m}$ 帯励起光パワを $12.5\text{mW}$ 、 $1.48\mu\text{m}$ 帯励起光パワを $22.5\text{mW}$ とする時、総出力 $11\text{dBm}$ が得られる。図10は、この様な関係を測定してプロットしたものである。

【0006】

一方、多波長一括増幅器において、それぞれの波長に対し、利得が一定即ち、複数波長間で利得差がないことが望ましい。図10において、 $G = 0$ は、 $0.98\mu\text{m}$ と $1.48\mu\text{m}$ の2波長間で利得差が無い点をプロットして得られる特性線である。

10

【0007】

したがって、図10において、利得差  $G = 0$ の線上で $0.98\mu\text{m}$ 帯励起光パワを $22\text{mW}$ から $50\text{mW}$ まで変化させることにより、光出力を $12.5\text{dBm}$ から $13.7\text{dBm}$ まで約 $1\text{dBm}$ の範囲で制御できることが読み取れる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、近年更に、利得の制御範囲を拡大できる、例えば $6\text{dBm}$ 程度の範囲を利得制御できるシステムの提供が望まれている。

20

【0009】

このような要求に対して、先に本発明者等が提案した方式では、必ずしも未だ十分ではない。したがって、本発明の目的は、 $1\text{dBm}$ 以上のより大きい範囲での利得制御を可能とする多波長信号を一括増幅する光増幅器を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】

かかる本発明の課題を解決する光増幅器は、基本構成として第一にエルビウムドープファイバを用いた複数波長の光信号を一括して増幅する光増幅器であって、エルビウムドープファイバがその断面方向において、エルビウムがドープされているガラス材料として複数種類で構成され、同時に励起波長帯も複数種類である。

30

【0011】

あるいは、エルビウムドープファイバがその断面方向において、エルビウムの吸収及び放射の波長特性が異なる複数のドープ領域を有し、同時に励起波長帯も複数種類である。

【0012】

かかる構成は、従来例においては、エルビウムがドープされているガラス材料が均一であることに起因し、利得制御の範囲が大きくとれないという本発明者の認識に基づき、エルビウムがドープされているガラス材料を少なくとも2種類以上とし、あるいは、エルビウムの異なる濃度のドープ領域を複数有するようにし、且つ励起波長帯も複数種類とするものであり、これにより、制御範囲を大きくすることを可能としたものである。

【0013】

即ち、エルビウムがドープされているガラス材料として複数種類又は、複数のドープ領域を有し、それらのドープ濃度を異ならしめることにより、ガラス材料が均一であることを回避して利得制御の範囲を大きくしている。

40

【0014】

【発明の実施の形態】

以下本発明の実施の形態を図にしたがって、説明する。尚、図において同一及び類似のものには、同一の参照番号及び記号を付して説明する。ここで本発明の実施の形態を説明するに当たって、先ず従来の光増幅器の特性を検討しながら本発明の原理について説明する。

【0015】

50

光増幅器の利得の波長特性は、マクロ的に見ると図2に示されるように、エルビウムドープファイバの励起率で決まる。ここで励起率は、次のように定義される。

【0016】

即ち、ドープされているエルビウムが励起光の注入に対し、エネルギー順位N1からそれより高いエネルギー順位N2に移る場合は、励起光の吸収が行われる。一方、エネルギー順位N2にあるエルビウム電子が、励起光によりエネルギー順位N1に落ちる時は、光の放射が行われる。したがって、エネルギー順位N2にある量N2に対するエネルギー順位N1及びエネルギー順位N2にある量の和(N1 + N2)との比を励起率と呼んでいる。

【0017】

したがって、エルビウムドープファイバの励起率が一定であれば、これに対応して図2に示すように利得が決められてしまうことが知られている。

【0018】

これに対し、本発明者は、図3の(A)~(C)に例示するように、エルビウムドープファイバのガラス材料により吸収及び放射の断面積特性(励起光の吸収、放射の割合が、吸収及び放射の断面積に対応する)が異なる、これにより励起率が同じであっても利得の波長依存性が異なることに注目した。

【0019】

図3(A)~(C)は、それぞれGeO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>ガラス、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-GeO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>ガラス、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>ガラスの吸収及び放射の断面積特性を示している。

【0020】

図1は、本発明者による上記の認識に基づく、本発明の複数波長光信号を一括して増幅する光増幅器の原理構成図である。

【0021】

図1において、(1)はエルビウムドープファイバ1の断面を示す図であり、コア30を含む光導波部10とその周囲に形成されるクラッド部20を有する。

【0022】

図1(2)は、光導波部10の拡大図であり、その中心部にエルビウムがドープされたガラス材Iの層とその周囲のリング部のエルビウムがドープされたガラス材IIの層を有する。更に、ガラス材IIの層の外周の層IIIは、エルビウムがドープされない、例えばシリカガラスで形成される。

【0023】

上記のガラス材Iとガラス材IIは異なる材料で形成される。即ち、図3について説明したような、それぞれ励起光の吸収/放射特性の異なるエルビウムがドープされたガラス材が選択される。

【0024】

更に、本発明にしたがう多波長一括光増幅器は、図1に示す原理構成のエルビウムドープファイバを用い、図4の原理図に示されるように、エルビウムドープファイバに供給される複数種(図4では2種)の波長帯の励起光の光パワーを独立して制御可能に構成される。

【0025】

即ち、図4において、1は図1に示すエルビウムドープファイバ、21、26はアイソレータ、22、24は波長多重化部、23は0.98μmまたは0.51μmの励起光の発生部、25は1.48μmの励起光の発生部である。

【0026】

第一の波長多重化部22で0.98μmあるいは0.5μmの励起光を前方向にエルビウムドープファイバ1に送り、第二の波長多重化部24で1.48μmの励起光を後方向にエルビウムドープファイバ1に送りドープされたエルビウムを励起する。

【0027】

10

20

30

40

50

更に後に実施例において説明するようにエルビウムドープファイバ1において波長帯によりモードフィールド径が異なる。例えば0.98 μm帯波長あるいは0.5 μm帯波長は、1.48 μm帯波長と比較して小さいため、0.98 μmあるいは0.5 μmは中心部のエルビウムドープ層（ガラス材Iの層）を選択的に励起可能である。これに対し、1.48 μm帯波長は、外周のリング部のエルビウムドープ層（ガラス材IIの層）を選択的に励起可能である。

【0028】

これにより、中心部とリング部で励起率を独立に制御することができより広範囲の利得制御が可能となる。

【0029】

【実施例】

実施例1

図5に本発明の第一の実施例としてのエルビウムドープファイバ1の光導波部分10の断面構造を示す。図5において、破線円40内が図1に示す光導波部分10である。図5において、本実施例では、中心部領域41に $GeO_2 - SiO_2$ のガラス材層が配置されている。42はリング状に配置される $Al_2O_3 - SiO_2$ のガラス材層である。

【0030】

これらガラス材層41及び42にはエルビウムがドープされている。光導波部分10の他の部分はシリカガラスで構成され、中心部のコア部を生成する領域には、不純物としてGeがドープされている。

【0031】

尚、上記のように、 $GeO_2 - SiO_2$ を中心部のガラス材層41とし、 $Al_2O_3 - SiO_2$ を、リング部のガラス材層42としているのは、次の理由に基づく。

【0032】

図5に示されるように、屈折率分布の0.98 μm帯励起光のモードフィールド43は、1.48 μm帯励起光のモードフィールド44より狭い。したがって、0.98 μm帯励起光は中心部のエルビウムドープのガラス材層41に対して、選択的に励起が可能であり、1.48 μm帯励起光は、リング状のエルビウムドープのガラス材層42に対して選択的に励起が可能である。

【0033】

したがって、図5のエルビウムドープファイバを利用して構成される光増幅器は、図4の原理構成図において、エルビウムドープファイバ1を図5に示す構成とし、更に励起光発生器23から0.98 μm帯励起光を前方向に供給し、励起光発生器25から1.48 μm帯励起光を後方向に供給することにより、それぞれの励起光パワをガラス材層41及び42に対して、独立して制御が可能である。

【0034】

図6は、上記図5の実施例の効果を説明する図である。図6は横軸に信号光入力、縦軸に光出力とし、2つの波長帯励起光による利得差が無い( $G = 0$ )時の最小利得と最大利得の関係を示すグラフである。

【0035】

図6において、(I)は導波部の中心部のみエルビウムをドープした種類のガラス材層からなる従来のエルビウムドープファイバを用いた光増幅器の特性である。この特性(I)は、-9~-6 dBmの信号光入力に対し、利得制御幅は、先に図10において説明したように約1 dBmである。

【0036】

これに対し、本発明の図5にエルビウムドープファイバ1を用い、図4のように構成された光増幅器では、-12~-6 dBmの信号光入力に対し、4~7.5 dBm(平均約5.8 dBm)の利得制御幅を得ることが出来る。

【0037】

10

20

30

40

50

## 実施例 2

図 5 において、中心部のエルビウムをドーブしたガラス材料層 4 1 を  $\text{GeO}_2 - \text{SiO}_2$  から  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{GeO}_2 - \text{SiO}_2$  に変え、 $1.55 \mu\text{m}$  付近での利得をより広帯域とした例である。尚、光増幅器としての全体構成は実施例 1 と同様である。広帯域となるのは、図 3 において、図 3 (A)、図 3 (B) との比較により  $\text{GeO}_2 - \text{SiO}_2$  の例に対し、 $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{GeO}_2 - \text{SiO}_2$  の方が、吸収 / 放射断面積の帯域が広がっているためである。

【0038】

## 実施例 3

図 7 は、本発明の一実施例として、本発明にしたがう実施例 1 のエルビウムドーブファイバを用いた光増幅器 5 0 に、 $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{GeO}_2 - \text{SiO}_2$  ガラスにエルビウムをドーブしたエルビウムドーブファイバを用いた従来の光増幅器 5 1 を縦続したものである。

【0039】

かかる実施例では、エルビウムドーブの  $\text{GeO}_2 - \text{SiO}_2$  ガラス、エルビウムドーブの  $\text{GeO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$  ガラス及びエルビウムドーブの  $\text{Al} - \text{Si}$  ガラスの 3 つのエルビウムドーブ層の吸収 / 放射断面積をすべて利得制御に使うようにすることが出来る。

【0040】

## 実施例 4

また、図示省略するが、上記図 5 に示す例と同様にして実施例 2 の光増幅器と  $\text{Ge} - \text{Si}$  ガラスにエルビウムをドーブしたエルビウムドーブファイバを用いた光増幅器を縦続して構成することが可能である。この場合にも、エルビウムドーブ  $\text{Ge} - \text{Si}$  ガラス、エルビウムドーブ  $\text{GeO}_2 - \text{SiO}_2$  ガラス及びエルビウムドーブ  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{GeO}_2 - \text{SiO}_2$  ガラスの吸収 / 放射断面積を使うようにすることが出来る。

【0041】

## 実施例 5

図 8、図 9 は、 $0.5 \mu\text{m}$ 、 $0.98 \mu\text{m}$ 、 $1.48 \mu\text{m}$  帯励起光の 3 つのモードフィールドの差を利用し、それぞれのモードフィールドの差が大きいところで、ガラス材料を変えてエルビウムをドーブしたファイバを適用する光増幅器の実施例である。

【0042】

即ち、図 8 にオイテ、光導波部 1 0 の断面図の 6 0 ~ 6 2 は、それぞれ異なるガラス材料にエルビウムがドーブされた領域である。更に、6 3 ~ 6 5 は、それぞれ  $0.5 \mu\text{m}$ 、 $0.98 \mu\text{m}$ 、 $1.48 \mu\text{m}$  帯の屈折率分布のモードフィールドである。

【0043】

図 9 は図 8 のエルビウムドーブファイバを利用する光増幅器の構成であり、他の実施例構成と異なる点は、カップラ 2 6 と励起光発生器 2 7、2 8 を有し、励起光発生器 2 7、2 8 からのそれぞれ  $0.5 \mu\text{m}$  帯波長及び  $0.98 \mu\text{m}$  帯波長の励起光を混合し、波長分割変調器 2 2 を通して前方向に、エルビウムドーブファイバ 1 に対して供給する構成である。

【0044】

尚、 $0.5 \mu\text{m}$  帯波長の励起光を発生する励起光発生器 2 8 は、レーザダイオード単体による構成とせず、倍波共振レーザ SHG ( $1.064 \mu\text{m}$  の YAG レーザ出力を倍波長にする装置) により構成することも可能である。

【0045】

尚、かかる実施例 2 ~ 5 の場合も、図示は省略するが実施例 1 における図 6 に示した従来装置との比較における利得制御幅が大きくなるという本発明の効果は同様である。

【0046】

## 【発明の効果】

以上、図に従い本発明の実施例を説明したように、従来の方法では利得制御範囲として 1

10

20

30

40

50

d B 程度でしかなかったが、本発明の適用により大きな範囲の利得制御が可能である。

【0047】

また、上記実施例では、異なるエルビウムがドーブされたガラス材料を二種以上使用することにより利得を一定に制御することを説明した。しかし、本発明はこれに限られない。即ち、本発明者によりエルビウムのドーブ濃度に比例して励起光の吸収及び放射断面積が大きくなることが実験により確かめられている。

【0048】

したがって、ガラス材料を変える代わりにエルビウムのドーブ量を変えることによっても同様に利得制御の範囲を大きくすることが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の原理を説明するエルビウムドーブファイバの断面構成例である。

【図2】励起率の変化による利得の依存性変化を説明する図である。

【図3】ガラス材料による励起光の吸収・放射特性の相違を説明する図である。

【図4】本発明の原理を説明するエルビウムドーブファイバを用いた光増幅器の構成例である。

【図5】第1の実施例における光導波部分の断面構造を示す図である。

【図6】本発明の効果を説明する図である。

【図7】本発明の第3の実施例の構成図である。

【図8】本発明の第5の実施例におけるエルビウムドーブファイバの光導波部分の断面構成を示す図である。

【図9】図8のエルビウムドーブファイバを用いた光増幅器の構成例である。

【図10】0.98  $\mu\text{m}$ と1.48  $\mu\text{m}$ の2波長励起におけるそれぞれの励起光パワと総出力の関係である。

【符号の説明】

1 エルビウムドーブファイバ

10 光導波部

21、26 アイソレータ

22、24 波長多重変調器

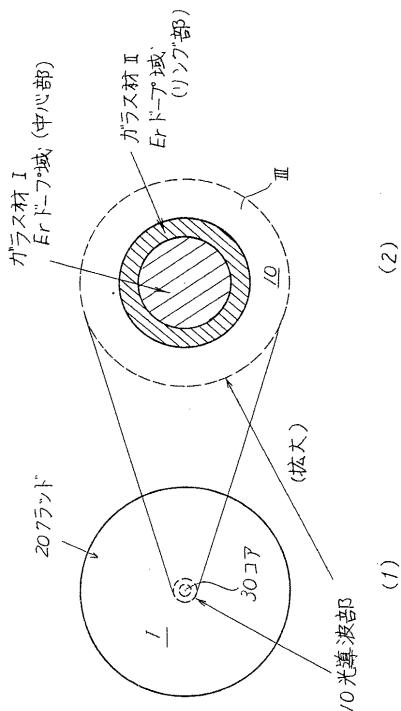
23、25 励起光発生部

10

20

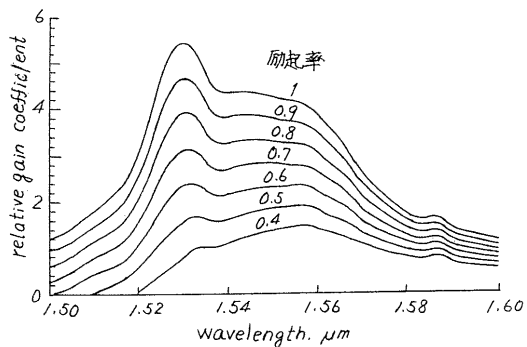
【 図 1 】

本発明の原理図 (その1)



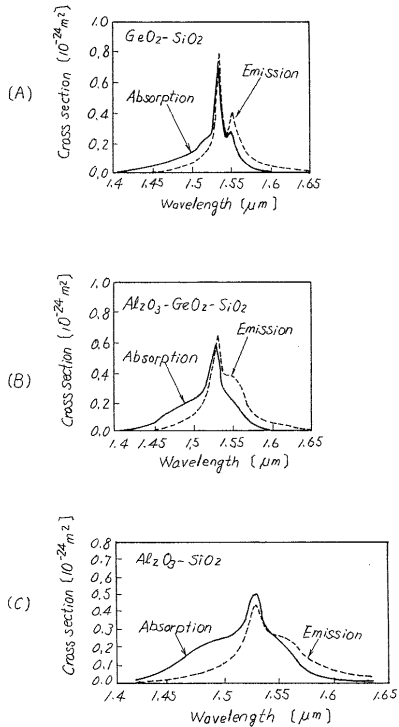
【 図 2 】

励起率変化による利得の波長依存性変化



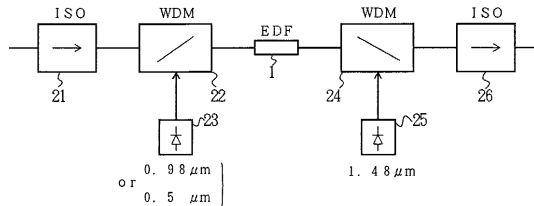
【 図 3 】

ガラス材料による励起光の吸収・放射特性の相違



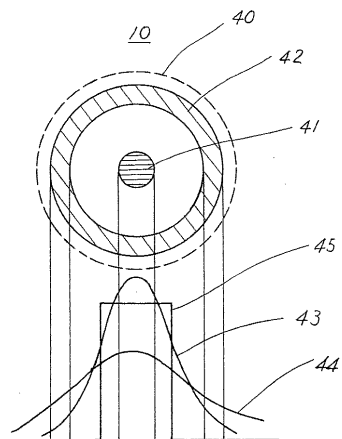
【 図 4 】

本発明の原理図 (その2)



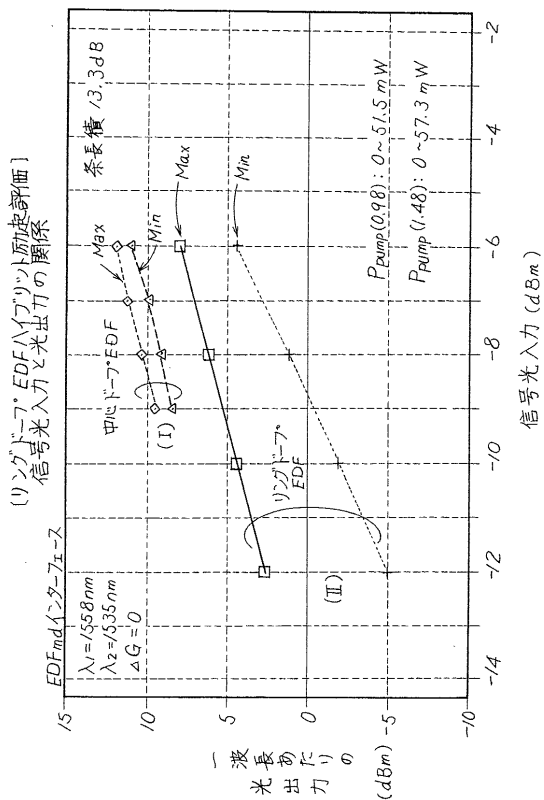
【 図 5 】

才1の実施例における光導波部分の断面構造



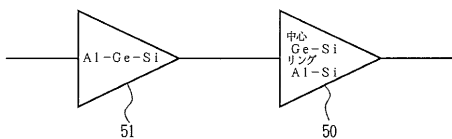
【 図 6 】

本発明の効果を示す図



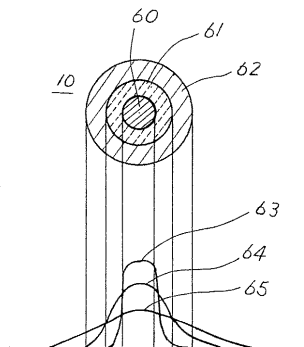
【 図 7 】

本発明の第3の実施例構成図



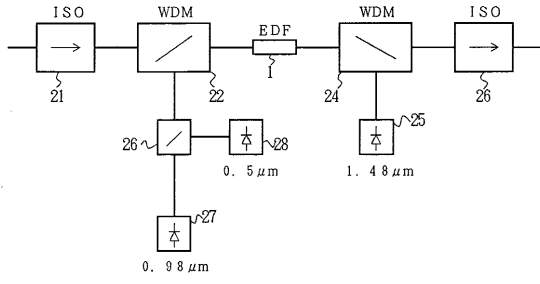
【 図 8 】

本発明の第5の実施例におけるエルビウムドープファイバの光導波部分の断面構成図



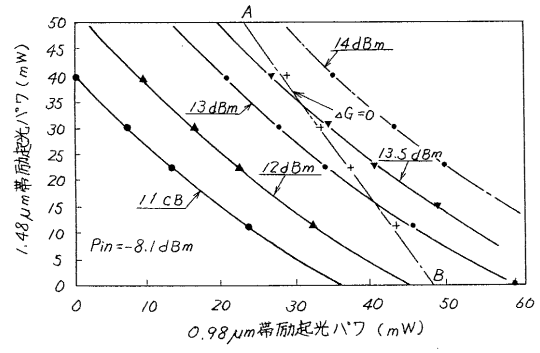
【 図 9 】

図8のエルビウムドープファイバを用いた光増幅器の構成例



【 図 10 】

0.98 μmと1.48 μmの2波長励起におけるそれぞれの励起光パワーと総出力の関係



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平07 - 176812 (JP, A)  
特開平08 - 274390 (JP, A)  
特開平05 - 259557 (JP, A)  
特開平04 - 312988 (JP, A)  
特開平01 - 145881 (JP, A)  
特開平06 - 085358 (JP, A)  
特開平06 - 224511 (JP, A)  
特開平08 - 274390 (JP, A)  
特開平01 - 145881 (JP, A)  
特開平04 - 273187 (JP, A)  
特開平06 - 069571 (JP, A)  
特開平04 - 291972 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, DB名)

H01S 3/00-3/30