(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第4075113号
(P4075113)

(45)発行日　平成20年4月16日(2008.4.16)　(24)登録日　平成20年2月8日(2008.2.8)

(51)Int.Cl.			F I		
H01S	3/10	(2006.01)	H01S	3/10	Z
G02B	6/00	(2006.01)	G02B	6/00	E
G02B	6/036	(2006.01)	G02B	6/22	

請求項の数 4　(全 10 頁)

(21)出願番号　特願平9-305614
(22)出願日　平成9年11月7日(1997.11.7)
(65)公開番号　特開平11-145539
(43)公開日　平成11年5月28日(1999.5.28)
審査請求日　平成16年6月22日(2004.6.22)

(73)特許権者　000002130
住友電気工業株式会社
大阪府大阪市中央区北浜四丁目５番３３号
(74)代理人　100088155
弁理士　長谷川　芳樹
(74)代理人　100089978
弁理士　塩田　辰也
(74)代理人　100092657
弁理士　寺崎　史朗
(74)代理人　100094318
弁理士　山田　行一
(72)発明者　角井　素貴
神奈川県横浜市栄区田谷町１番地　住友電気工業株式会社　横浜製作所内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】光ファイバ増幅器及びエルビウム添加光ファイバ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

所定の基準軸に沿って伸びたコア領域、当該コア領域の外周に設けられたクラッド領域、前記コア領域及び前記クラッド領域中の前記コア領域に隣接する領域の双方にエルビウムを添加することにより構成したエルビウム添加部を有し、石英系ガラスをホストガラスとするエルビウム添加光ファイバと、

このエルビウム添加光ファイバの入力側及び出力側の少なくとも一方側に接続されたＷＤＭカプラと、

このＷＤＭカプラに接続され、波長１．４８μｍ帯の励起光を出力する励起用光源と、

前記エルビウム添加光ファイバを飽和させ、信号光の波長略１５７０ｎｍ～略１６００ｎｍの範囲において、光ファイバ増幅器の利得を平坦化するエルビウム添加光ファイバ飽和手段と、

を具備したことを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項２】

前記エルビウムのファイバ断面の半径方向の分布は、入射される信号光のモードフィールド径より外に及んでいることを特徴とする請求項１記載の光ファイバ増幅器。

【請求項３】

前記エルビウムが添加された領域と同じ領域に、Ａｌが所定量添加されていることを特徴とする請求項１記載の光ファイバ増幅器。

【請求項４】

前記エルビウム添加光ファイバ飽和手段は、前記エルビウム添加光ファイバを飽和させ、当該エルビウム添加光ファイバの長手方向に平均化した反転分布を略４０％とすることを特徴とする請求項１記載の光ファイバ増幅器。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】

本発明は、波長多重方式の光伝送システムにおいて、異なる波長を有する複数の信号光（多波長の信号光）を一括増幅する光ファイバ増幅器及び増幅用光ファイバであるエルビウム添加光ファイバに関するものである。

【０００２】

【従来の技術】

光通信の大容量高速化に伴い、波長多重（ＷＤＭ：Wavelength division Multiplexing）伝送方式に関する研究・開発がなされている。このＷＤＭ伝送方式において、最も重要な光素子の一つが、多波長の信号光を一括増幅する光増幅器である。この光増幅器は、高利得・低雑音であって、信号光波長帯域において、利得スペクトルが平坦であることが要求されるため、従来より、希土類元素としてのＥｒ（エルビウム）元素を添加したエルビウム添加光ファイバ（ＥＤＦ：Er-Doped Fiber）を採用した光ファイバ増幅器（ＥＤＦＡ：Er-Doped Fiber Amplifier）が用いられている。

【０００３】

上記ＥＤＦは、図６に示すように、コア領域２１ａと、当該コア領域２１ａの外周に設けられたクラッド領域２１ｂと、励起光強度の高いコア領域２１ａの中心部分にのみにＥｒが添加されたＥｒ層２２と、からなるものである。このＥＤＦにおける信号光強度分布及び添加Ｅｒ濃度分布を示したのが図７であり、この図において、横軸はＥＤＦの縦断面における半径方向位置を表し、縦軸は信号光光強度と添加Ｅｒ濃度をともに表している。図７より明らかなように、コア領域２１ａの中心部分にＥｒが一様な濃度で添加されている。

【０００４】

ここで、上記ＥＤＦを用いたＥＤＦＡに関しては、例えば、「M.Fukusima et al."Flat gain Erbium-doped fiber amplifier in 1570nm-1600nm region for dense WDM transmission systems",OFC'97,Postdeadline papers 3.1997(古河電工)」（以後、従来例１と呼ぶ）、「小野　他　”1.58μｍ帯Ｅｒ添加光ファイバ増幅器”９７年春季電子情報通信学会総合大会C-3-86(ＮＴＴ)」（以後、従来例２と呼ぶ）等に記載がなされている。

【０００５】

上記従来例１では、波長＝１５７０ｎｍ～１６００ｎｍの範囲に存在する信号光を増幅する場合には、波長１５６４ｎｍの大パワーのダミー信号光を入射させ、これにより、ＥＤＦを強く飽和させて当該ＥＤＦ内の長手方向に平均化した反転分布を４０％程度まで低下させ、上記波長の範囲で利得を平坦化した光増幅を行えることが述べられている。このとき、上記ＥＤＦを強く飽和させることにより、単位長当たりの利得が低下するため、所望の利得を得るべく、ＥＤＦ長を長く設定する必要がある。

【０００６】

また、上記従来例２では、ＥＤＦを長尺化することにより、励起光が届かない励起光の弱い領域、すなわち飽和の強い領域を形成し（ＥＤＦを強く飽和させ）、これにより、上記とほぼ同様な波長帯において、利得を平坦化した光増幅を行えることが述べられている。このとき、ＥＤＦの単位長当たりの利得は低いため、上記ＥＤＦを構成するホストガラスを石英系ガラスとしたもの（石英系ＥＤＦ）では、所望の利得を得るために必要なＥＤＦの長さは、２００ｍ程度であり、上記ホストガラスをフッ化物ガラスとしたもの（フッ化物ＥＤＦ）では、石英系ＥＤＦの１／５の長さである４０ｍ程度であることが述べられている。なお、上記石英系ＥＤＦでは、利得平坦化の目的で、さらに所定量のＡｌ（アルミニウム）が添加されている。

【０００７】

【発明が解決しようとする課題】
このように、従来例１、２では、所望の利得を得るには、最も多用される石英系ＥＤＦのままではＥＤＦを長くしなければならず、短尺化を図れないといった問題があった。
【０００８】
また、従来例２のように、ホストガラスをフッ化物ガラスとすれば、ＥＤＦの短尺化を図れるが、当該フッ化物ガラスは、信頼性に劣るとともに製造コストが高く、実用性に劣るといった問題があった。
【０００９】
本発明は、上記問題点を解消するためになされたものであり、短尺化されると共に実用性に優れたエルビウム添加光ファイバを備えて、所望の平坦化した利得を得ることができる光ファイバ増幅器、及び、増幅用光ファイバであるエルビウム添加光ファイバを提供することを目的とする。
【００１０】
【課題を解決するための手段】
本発明に係る光ファイバ増幅器は、所定の基準軸に沿って伸びたコア領域、当該コア領域の外周に設けられたクラッド領域、コア領域及びクラッド領域中のコア領域に隣接する領域の双方にエルビウムを添加することにより構成したエルビウム添加部を有し、石英系ガラスをホストガラスとするエルビウム添加光ファイバと、このエルビウム添加光ファイバの入力側及び出力側の少なくとも一方側に接続されたＷＤＭカプラと、このＷＤＭカプラに接続され、波長１．４８μｍ帯の励起光を出力する励起用光源と、エルビウム添加光ファイバを飽和させ、信号光の波長略１５７０ｎｍ～略１６００ｎｍの範囲において、光ファイバ増幅器の利得を平坦化するエルビウム添加光ファイバ飽和手段と、を具備した。
【００１１】
この光ファイバ増幅器によれば、エルビウム添加光ファイバ飽和手段により、エルビウム添加光ファイバを強く飽和させる（エルビウム添加光ファイバの長手方向に平均化した反転分布を低下させる）ため、信号光の波長略１５７０ｎｍ～略１６００ｎｍの範囲において、平坦化された増幅器利得が得られるようになる。ここで、従来技術では、ＥＤＦを強く飽和させることにより単位長当たりの利得が低下するため、所望の利得を得るべく、ＥＤＦ長を長く設定する必要があったが、一方、本発明では、エルビウム添加範囲がクラッド領域にまで広げられるため、信号光とエルビウム添加部分との重なり合う部分が大きくなり、単位長さ当たりの利得が増やされるようになる。従って、エルビウム添加光ファイバの長さを長くして利得の増加を図るという必要がなくなり、短尺化が図られるようになると共に、エルビウム添加光ファイバの長さの短尺化を図るべくホストガラスに例えばフッ化物ガラスを用いるという必要がなくなり、信頼性の確保及び製造コストの上昇防止が図られるようになる。また、エルビウム添加範囲を広げることにより単位長さ当たりの利得を増やすようにすれば、短尺化が図られると共に、この短尺化により背景損失の影響が低減されるようになる。従って、従来技術のようにエルビウム添加光ファイバの長さを長くすることにより利得を増やす場合に比して、短尺化により背景損失の影響が抑えられる分、さらに有利となる。
【００１２】
このとき、エルビウムのファイバ断面の半径方向の分布が、入射される信号光のモードフィールド径より外に及んでいると、上述した信号光とエルビウム添加部分との重なり合う部分が非常に大きくなるため、エルビウム添加光ファイバの必要長が非常に短くなり、ホストガラスを例えばフッ化物ガラスとした場合と同程度まで短くされるようになる。
【００１３】
また、このとき、エルビウムが添加された領域と同じ領域に、Ａｌが所定量添加されていることが好ましい。
【００１８】
【発明の実施の形態】
以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明に

おいて、同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【００１９】

図１は、本発明に係る光ファイバ増幅器（ＥＤＦＡ）を表した構成図である。このＥＤＦＡは、半導体レーザ（図示せず）から出射され、光ファイバ伝送路２を伝送されてきた多波長の信号光を入力して一括増幅し、光ファイバ伝送路７に出力するものであり、活性元素としてエルビウムを添加したエルビウム添加光ファイバ（ＥＤＦ）１の入力には、融着部１０を介して、ＷＤＭカプラ４の出力が接続されている。このＷＤＭカプラ４の一方の入力には、上記ＥＤＦ１に励起光を供給するための励起用レーザ光源８が接続されていると共に、他方の入力には、アイソレータ３の出力が接続されている。

【００２０】

一方、上記ＥＤＦ１の出力には、融着部１０を介して、ＷＤＭカプラ５の一端子が接続されており、このＷＤＭカプラ５の他方の入力には、上記ＥＤＦ１に励起光を供給するための励起用レーザ光源９が接続されていると共に、カプラ５の出力には、アイソレータ６の入力が接続されている。

【００２１】

上記アイソレータ３，６は、光を一方向にのみ透過させるものであって、アイソレータ３は、光ファイバ伝送路２側からＥＤＦ１側への方向には光を通過させるが、その逆方向には光を通過させないものであり、アイソレータ６は、ＥＤＦ１側から光ファイバ伝送路７側への方向には光を通過させるが、その逆方向には光を通過させないものである。

【００２２】

また、上記ＷＤＭカプラ４は、励起用レーザ光源８からの励起光をＥＤＦ１側へ出力すると共に、アイソレータ３を透過した信号光を入力してＥＤＦ１側へ通過させる。また、上記ＷＤＭカプラ５は、励起用レーザ光源９からの励起光をＥＤＦ１に出力すると共に、ＥＤＦ１で増幅された信号光を入力してアイソレータ６へ通過させる。

【００２３】

上記ＥＤＦ１は、上記励起用レーザ光源８，９からの励起光（波長１．４８μｍ帯）により双方向励起され、これにより反転分布が形成される。そして、この反転分布が形成されている時に、多波長信号光（波長１．５８μｍ帯：各信号光の中心波長が略１５７０ｎｍ～略１６００ｎｍの範囲内にある複数の信号光）が入力すると、その信号光を一括増幅して出力する。

【００２４】

このＥＤＦ１は、ホストガラスを石英系ガラスとしたものであり、この石英系ガラスは、信頼性が高く且つ製造コストが安いという特性を有している。

【００２５】

当該ＥＤＦ１は、図２に示すように、所定の基準軸１ｃに沿って伸び（紙面に垂直な方向に伸び）、屈折率n_1を有するコア領域１ａと、当該コア領域１ａの外周に設けられ、屈折率n_2（＜n_1）を有するクラッド領域１ｂと、後述の所定領域（所定位置）にＥｒが添加されたＥｒ（エルビウム）層１２と、から構成されており、利得平坦化の目的で、上記Ｅｒ層１２と同じ領域にさらにＡｌ（アルミニウム）が所定量添加されている。

【００２６】

上記Ｅｒ層１２は、図２に示すように、その軸心がコア領域１ａの軸心１ｃと同軸の断面円形状となっている。

【００２７】

特に、本実施形態においては、上記Ｅｒ層１２は、短尺化を図るべく、コア領域１ａ及びクラッド領域１ｂ、すなわちコア領域１ａの外側部分まで拡大されている。

【００２８】

このＥＤＦ１における信号光強度分布及び添加Ｅｒ濃度分布を示したのが図３であり、この図において、横軸はＥＤＦ１の縦断面における半径方向位置を表し、縦軸は信号光光強度と添加Ｅｒ濃度をともに表している。図３より明らかなように、コア領域１ａの外側部分までＥｒが添加されている。

【００２９】
なお、Ｅｒ層１２は、本実施形態においては、より好ましいとして、その軸心がコア領域１ａの軸心１ｃと同軸の断面円形状となっているが、必ずしも断面円形状でなくても良く、またコア領域１ａの軸心１ｃと同軸でなくても良い。
【００３０】
斯くの如く構成されたＥＤＦＡは、以下のように作用する。すなわち、図１を参照すれば、励起用レーザ光源８から出力された励起光がＷＤＭカプラ４を介してＥＤＦ１に供給され、また励起用レーザ光源９から出力された励起光がＷＤＭカプラ５を介して上記ＥＤＦ１に供給されている時に、半導体レーザから光ファイバ伝送路２を伝送されてきた多波長信号光がＥＤＦＡに入力すると、その多波長信号光はアイソレータ３を通過し、ＥＤＦ１に入力して一括増幅される。続いて、このＥＤＦ１から出力された多波長信号光は、ＷＤＭカプラ５、アイソレータ６を順次通過し、光ファイバ伝送路７に出力される。
【００３１】
このとき、本実施形態においては、エルビウム添加光ファイバ飽和手段として、励起用レーザ光源８，９からの励起光を弱めてＥＤＦ１を強く飽和させる励起光調整手段を用いている。この励起光調整手段は、例えば、励起用レーザ光源８，９にコントローラ８ａ，９ａを設けて当該コントローラ８ａ，９ａにより電流を調整して励起光を最適化するというものであり、これにより、上記ＥＤＦ１が強く飽和し（ＥＤＦ１の長手方向に平均化した反転分布が低下し）、１．５８μｍ帯の波長の範囲において、利得を平坦化した光増幅を行うことができる。ここで、本実施形態においては、ＥＤＦ１の長手方向に平均化した反転分布が４０％程度に最適化している。なお、反転分布の定義式は以下の式（１）で表される。
【００３２】
$$\text{反転分布} = N_2 / (N_1 + N_2) \quad \cdots (1)$$
但し、N_1は基底準位のＥｒ密度をＥＤＦの長手方向に平均化したもの
N_2は励起準位のＥｒ密度をＥＤＦの長手方向に平均化したもの
また、ＥＤＦ１を強く飽和させる他の方法としては、例えば、従来例１で説明したダミー信号光を入射させる等の方法がある。
【００３３】
次に、上記ＥＤＦＡの利得Ｇについて説明する。上記ＥＤＦＡの利得Ｇは以下の式（２）で表される。
【００３４】
$$G = \zeta \cdot (\sigma_e \cdot N_2 - \sigma_a \cdot N_1) \cdot L - \alpha \cdot L \quad \cdots (2)$$
但し、ζは信号光とＥｒ添加部分との重なりを表す閉じ込め係数
σ_eは誘導放出断面積
σ_aは吸収断面積
N_1は基底準位のＥｒ密度をＥＤＦの長手方向に平均化したもの
N_2は励起準位のＥｒ密度をＥＤＦの長手方向に平均化したもの
ＬはＥＤＦの長さ
αは単位長さ当たりの背景損失である。
【００３５】
ここで、従来技術では、上記利得Ｇを増やすために、上記ＥＤＦの長さＬを大きくするようにしていたが、本実施形態では、ＥＤＦの長さＬを大きくすることなくＥｒ添加部分の直径（以下Ｅｒ添加径と記す）を広げ、これにより、上記信号光及び励起光とＥｒ添加部分との重なりを表す閉じ込め係数ζを大きくして、上記利得Ｇを増やすようにしている。
【００３６】
本発明者は、上記作用・効果を確認すべく、以下の条件で、図１に示したＥＤＦＡを動作させた。すなわち、励起光の波長を１．４８μｍ帯として、双方向からＥＤＦ１に対して２００ｍＷづつの励起光パワーで供給する一方で、信号光の波長を１５６８、１５７０

、１５７２、１５７４ｎｍの２ｎｍ刻みの４波ＷＤＭ信号とすると共に、信号光入力を－１０ｄＢｍ／ｃｈ×４波、すなわちトータル信号光入力を－４ｄＢｍとし、さらに上記ＷＤＭカプラ４，５として、１．４８／１．５５μｍＷＤＭカプラを用いた。

【００３７】

また、上記ＥＤＦ１としては、以下の表１に示す諸元のＥＤＦを用いた。

【００３８】

【表１】

コアの径	２．２μｍ
信号光 モードフィールド径（ＭＦＤ）	４．０μｍ
Ｅｒ濃度	１３００ｐｐｍ
Ａｌ濃度	６．０ｗｔ・％
背景損失	７．５ｄＢ／ｋｍ

【００３９】

なお、表１に示す信号光のモードフィールド径（ＭＦＤ）は、波長１５７０ｎｍにおけるものである。また、一般にＭＦＤは、波長にほぼ正比例するので、励起光のＭＦＤは、信号光の波長を１５７０ｎｍとすると、信号光のＭＦＤの１．４８／１．５７倍で与えられ、この値は、信号光のＭＦＤよりも小さい。

【００４０】

図４及び図５は、Ｅｒ添加径を最大８μｍまで変化させた時の最大信号光出力と、ＥＤＦ長との関係を表したものであり、図４にＥｒ添加径と最大信号光出力との関係を、図５にＥｒ添加径とＥＤＦ長との関係を、それぞれ示す。上記最大信号光出力とは、あるＥｒ添加径のＥＤＦに対して一定の信号光入力と励起光入力とを与えて、ＥＤＦの長さを変化させた時の光出力の最大値のことであり、上記ＥＤＦ長とは、上記最大信号光出力を得るのに必要なＥＤＦの長さのことである。

【００４１】

ここで、通常のＡｌ添加石英系ＥＤＦ（従来例２に記載のもの）では、Ｅｒ添加径が１．０～１．４μｍ程度である。従って、上記動作条件では、図５に示すように、４５ｍを越えるＥＤＦ長が必要となる。特に、Ｅｒ添加径を１．０μｍとした場合には、図５に示すように、１００ｍを越えるＥＤＦ長が必要となる。このとき、７．５ｄＢ／ｋｍ程度の背景損失の影響が現れるため、ＥＤＦＡとしての最大信号光出力は、図４に示すように、低い値となっている。

【００４２】

一方、図５に示すように、Ｅｒ添加径を広げれば、ＥＤＦ長を低減できるというのが判る。特に、Ｅｒ添加径を信号光のＭＦＤと同程度まで広げると、図５に示すように、ＥＤＦ長は９ｍ程度となり、通常のＡｌ添加石英系ＥＤＦ長の１／５以下となる。これは、従来例２で説明した、通常のＡｌ添加石英系ＥＤＦに対してホストガラスをフッ化物ガラスとした場合と比較しても、同比率の改善となっている。

【００４３】

すなわち、Ｅｒ添加径を信号光のＭＦＤと同程度まで広げれば、信頼性に劣ると共に製造コストの高いフッ化物ＥＤＦを用いることなく、通常の実用性に優れた石英系ＥＤＦであっても、ＥＤＦ長をフッ化物ＥＤＦと同程度に短くすることができることになる。さらにＥｒ添加径を広げれば、図５に示すように、未だ若干ＥＤＦを短縮することが可能であ

る。

【００４４】

そして、このように、Ｅｒ添加径を広げることにより上記係数ζを大きくし、上記利得Ｇを大きくすれば、ＥＤＦを短尺化できるため、上記背景損失の影響α・Ｌを低減できる（上記式（２）参照）。従って、従来技術のようにＥＤＦの長さＬを大きくすることにより上記利得Ｇを増やすのに比して、背景損失の影響α・Ｌを抑えることができる分、さらに有利である。

【００４５】

因みに、Ｅｒ添加濃度は、現状の製造プロセスでは、上記表１に示した値がほぼ限界に当たる濃度である。また、このＥｒ添加濃度としては、製造上の実績を考慮すると、１０００ｐｐｍ前後が望ましい。

【００４６】

以上、本発明者によってなされた発明を実施形態に基づき具体的に説明したが、本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能であるというのはいうまでもなく、例えば、上記実施形態においては、ＥＤＦＡを、ＥＤＦ１の入力側及び出力側の両方から励起光を供給する双方向励起型としているが、例えば励起用レーザ光源９及びＷＤＭカプラ５の無い前方励起や励起用レーザ光源８及びＷＤＭカプラ４の無い後方励起に対しても同様に適用できる。

【００４７】

また、光通信システムでは、シングルモード光ファイバが主流なため、本発明のＥＤＦＡを、シングルモード光ファイバの光通信システムに適用するのが好適であるが、マルチモード光ファイバの光通信システムに対しても適用できる。

【００４８】

なお、特開平４－２０９３８号公報には、活性元素イオンが主として光ファイバのクラッドにドープされているものの開示があり、また特開平３－２８９６３３号公報には、活性元素が主として光ファイバのコアとクラッドの境界近傍にドープされているものの開示があり、また特開平４ー１９９０３１号公報には、光ファイバのクラッドに希土類元素をドープした時でも、一定程度の光増幅ができるという開示があるが、これらは、コア領域及びクラッド領域の双方にエルビウムを添加すると共にエルビウム添加光ファイバを飽和させることによって、エルビウム添加光ファイバを短尺化すると共に実用性に優れたものとしつつ、信号光の波長略１５７０ｎｍ～略１６００ｎｍの範囲において、所望の平坦化した増幅器利得を得ることができるという本発明とは、全く異なるものである。

【００４９】

【発明の効果】

以上、詳細に説明した通り本発明の光ファイバ増幅器は、エルビウム添加光ファイバ飽和手段によって、エルビウム添加光ファイバを強く飽和させるため、信号光の波長略１５７０ｎｍ～略１６００ｎｍの範囲において、利得を平坦化した光増幅を行なうことができる。このとき、コア領域及びクラッド領域の双方にエルビウムを添加しているため、信号光とエルビウム添加部分との重なり合う部分が大きくなる。このため、単位長さ当たりの利得が増え、エルビウム添加光ファイバの長さを長くして利得の増加を図るという必要がない。その結果、エルビウム添加光ファイバの短尺化を図り得ると共に、エルビウム添加光ファイバの長さの短尺化を図るべくホストガラスに例えばフッ化物ガラスを用いるという必要がなく、エルビウム添加光ファイバを実用性に優れたものとし得るようになっている。すなわち、短尺化されると共に実用性に優れたエルビウム添加光ファイバを備えて、所望の平坦化した利得を得ることができる光ファイバ増幅器を提供することができる。

【００５０】

また、エルビウム添加範囲を広げることにより単位長さ当たりの利得を増やすようにすれば、短尺化が図られると共に、この短尺化により背景損失の影響が低減されるようになる。このため、従来技術のようにエルビウム添加光ファイバの長さを長くすることにより利得を増やす場合に比して、短尺化により背景損失の影響が抑えられる分、本発明の光フ

ァイバ増幅器は、さらに有利である。

【図面の簡単な説明】

【図１】　本発明に係る光ファイバ増幅器を表した構成図である。

【図２】　図１中のエルビウム添加光ファイバを表した断面図である。

【図３】　エルビウム添加光ファイバにおける信号光強度及び添加エルビウム濃度を表した分布図である。

【図４】　エルビウム添加径と最大信号光出力との関係を表した特性図である。

【図５】　エルビウム添加径と最大信号光出力を得るのに必要なエルビウム添加光ファイバ長との関係を表した特性図である。

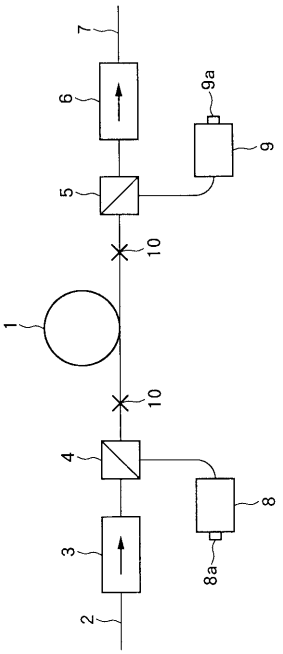
【図６】　従来技術におけるエルビウム添加光ファイバを表した断面図である。

【図７】　従来技術のエルビウム添加光ファイバにおける信号光強度及び添加エルビウム濃度を表した分布図である。

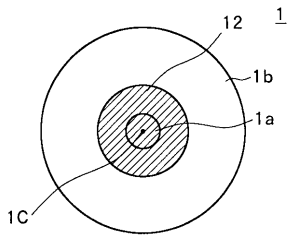
【符号の説明】

１…エルビウム添加光ファイバ、１ａ…コア領域、１ｂ…クラッド領域、１ｃ…基準軸、４，５…ＷＤＭカプラ、８，９…励起用光源、８ａ，９ａ…エルビウム添加光ファイバ飽和手段、１２…エルビウム添加部。

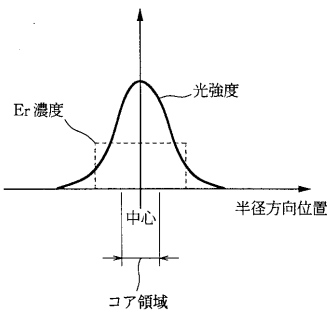
【図１】



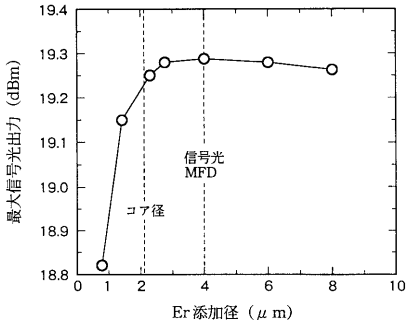
【図２】



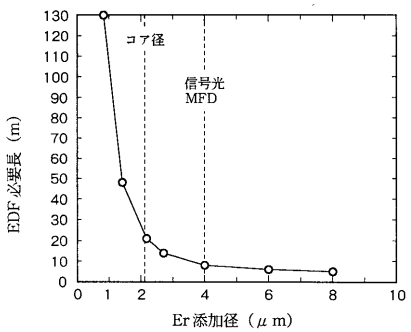
【図３】



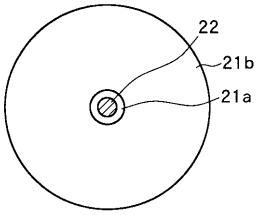
【図４】


最大信号光出力（dBm）
19.4
19.3
19.2
19.1
19.0
18.9
18.8
0 1 2 4 6 8 10
Er添加径（μm）
信号光
MFD
コア径

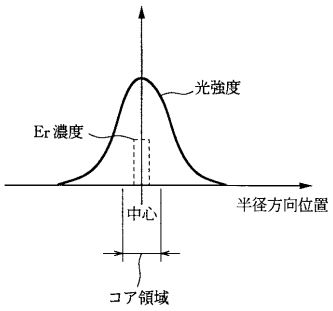
【図５】


EDF必要長（m）
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0 1 2 4 6 8 10
Er添加径（μm）
コア径
信号光
MFD

【図６】


22
21b
21a

【図７】


光強度
Er濃度
半径方向位置
中心
コア領域

フロントページの続き

審査官　傍島　正朗

(56)参考文献　特開平０９－１９７１３１（ＪＰ，Ａ）
特開平０７－０１５０５９（ＪＰ，Ａ）
特開平０４－２９１９７２（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－１５７０６４（ＪＰ，Ａ）
Fukushima, M., et al., Flat gain Erbium-doped fiber amplifier in 1570nm-1600nm region for dense WDM transmission systems, OFC'97:Optical fiber communication conference and exhibit:Feb 1997, Dallas, TX, IEEE, １９９７年１０月, PD3

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