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

特許第3952440号

(P3952440)

(45)発行日　平成19年8月1日(2007.8.1)　(24)登録日　平成19年5月11日(2007.5.11)

(51)Int.Cl.		F I		
H01S 3/23	(2006.01)	H01S	3/23	
H01S 3/06	(2006.01)	H01S	3/06	B
H01S 3/10	(2006.01)	H01S	3/10	Z

請求項の数 14　(全 9 頁)

(21)出願番号　特願2001-163602(P2001-163602)
(22)出願日　平成13年5月31日(2001.5.31)
(65)公開番号　特開2002-33541(P2002-33541A)
(43)公開日　平成14年1月31日(2002.1.31)
審査請求日　平成15年6月11日(2003.6.11)
(31)優先権主張番号　09/584901
(32)優先日　平成12年5月31日(2000.5.31)
(33)優先権主張国　米国(US)

(73)特許権者　500587067
アギア　システムズ　インコーポレーテッド
アメリカ合衆国．１８１０９　ペンシルヴァニア，アレンタウン，アメリカン　パークウェイ　エヌイー　１１１０
(74)代理人　100064447
弁理士　岡部　正夫
(74)代理人　100085176
弁理士　加藤　伸晃
(74)代理人　100106703
弁理士　産形　和央
(74)代理人　100096943
弁理士　臼井　伸一

最終頁に続く

(54)【発明の名称】高パワー多タップコドープ光増幅器

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

希土類ドープ利得媒体及び光ポンピング源を含む前置増幅段を含み、前記前置増幅段は少くとも１つの光信号入力を受け、前記少くとも１つの入力信号に対し、あらかじめ決められた量の光利得を生成させ、少くとも１つの前置増幅された光出力信号を出力として供給するためのもので、

前置増幅段出力及びＮth出力段を越えたＮth出力に結合された入力を含む複数のＮ連結出力段を含むパワー光増幅器を含み、前記パワー増幅器は更に、パワー増幅器及びＮth出力のいずれか１つに結合された少くとも１つのポンピング源を含み、各段は、

少くとも１つの光入力信号及び少くとも１つのポンピング源からのポンピング信号を入力として受けるための希土類－イッテリビウムコドープ利得媒体を含み、前記コドープ利得媒体は前記少くとも１つのポンピング信号の存在下で少くとも１つの光入力信号を増幅し、増幅された出力信号を形成するためのもので、

増幅された出力信号のあらかじめ決められた割合Ｋｎ％を分離し、残った増幅された出力信号を、もしあるなら複数のＮ連結出力段の以下の段に供給するためのコドープ利得媒体に結合された光パワー分離器を含み、前記光パワー分離器は、（１）少くとも１つの入力信号及び少くとも１つのポンピング信号の両方を、単一の入力信号路上で受け、前記信号を前記少くとも１つのポンピング信号を第１の出力路上の出力として、前記少くとも１つの入力信号を第２の出力路上の出力として分離するための入力デマルチプレクサ、（２）増幅された入力信号のあらかじめ決められた割合Ｋｎ％を、付随した増幅された出力路

に結合させるため、第２の出力路に沿って配置された光タップ及び（３）　第１の出力路に沿ったポンピング信号及び残りの増幅された入力信号を別々の入力として受け、両方の信号を出力増幅器信号路上に結合するための出力マルチプレクサを含む
光増幅器。
【請求項２】
　光パワー増幅器はそれへの入力に結合された単一ポンピング源を含む請求項１記載の光増幅器。
【請求項３】
　光パワー増幅器は複数のＮ連結出力段のＮth出力に結合された単一のポンピング源を含む請求項１記載の光増幅器。
【請求項４】
　光パワー増幅器はそれへの入力に結合された第１のポンピング源及び複数のＮ連結出力段のＮth出力に結合された第２のポンピング源を含む請求項１記載の光増幅器。
【請求項５】
　少くとも１つの光パワー分離器は更に、入力デマルチプレクサ及び光タップ間に配置された光アイソレータを含む請求項１記載の光増幅器。
【請求項６】
　あらかじめ決められた分離割合Ｋｎ％は、複数のＮ出力段のその後の各増幅段に対し増加する請求項１記載の光増幅器。
【請求項７】
　希土類ドープ前置増幅段はエルビウムドープ前置増幅器を含む請求項１記載の光増幅器。
【請求項８】
　希土類ドープ前置増幅器はファイバ増幅器を含む請求項１記載の光増幅器。
【請求項９】
　希土類ドープ前置増幅器は集積化された導波路増幅器を含む請求項１記載の光増幅器。
【請求項１０】
　光パワー増幅器の各段中の希土類－イッテリビウムコドープ利得媒体は、エルビウム－イッテリビウムコドープ利得媒体を含む請求項１記載の光増幅器。
【請求項１１】
　各コドープ利得媒体は光ファイバを含む請求項１記載の光増幅器。
【請求項１２】
　各コドープ利得媒体は集積化された導波路構造を含む請求項１記載の光増幅器。
【請求項１３】
　少くとも１つの入力光信号は複数のｍ光信号を含み、それぞれに異なる波長λ１－λｍが付随する請求項１記載の光増幅器。
【請求項１４】
　各パワー分離器は更に、複数のｍ増幅光信号を分離するため、出力における波長デマルチプレクサを含む請求項１３記載の光増幅器。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
本出願は１９９９年９月２４日に申請された暫定出願第６０／１５５，９８６号の優先権を主張するものである。
【０００２】
【技術分野】
本発明は希土類ドープファイバ前置増幅器（低雑音）段及び高パワー希土類イッテリビウムコドープ、多タップ出力段を含む高パワードープファイバ増幅器に関する。
【０００３】
【本発明の背景】
最近の１０年間、一般に希土類ドープファイバ増幅器、特にエルビウムドープファイバ増

幅器（ＥＤＦＡ）は、遠距離通信リンク間の弱い光信号、特に１５５０ｎｍ波長又はその近くの信号を増幅するための手段として、光通信システム中で広く用いられてきた。これらの増幅器の各種の設計が、効率の良い動作特性を得るために提案されてきた。ここで、効率は高い光利得、低雑音指数、高出力パワー及びポンピング効率に関して測定される。最近、マルチＷＤＭシステム及びアナログＣＡＴＶシステムのような用途にＥＤＦＡを用いたことにより、受信機におけるスプリット損を克服し、比較的高い光パワーを得るために、高光パワーが（低雑音とともに）本質的になってきた。高パワーレベルは９８０ｎｍ又は１４８０ｎｍ波長付近のポンピングパワーを増すことにより、実現される。しかし、これらの波長で放射させるために従来用いられてきた半導体レーザは、パワーの測量性及び全体の寿命の点で問題があった。

【０００４】

これらの新しい用途に対して、パワーを増加させる別の方法として、ファイバ増幅器のコドーピングが提案された。このときほとんどの場合、Er^{+3}及びYb^{+3}のコドーピングが用いられる。ガラス中のYb^{+3}の広い吸収帯（８００ないし１１００ｎｍ）のため、そのようなコドーピングによりポンピングの吸収量とポンピング波長を選択する柔軟性が増す。リンを含むガラスファイバにおいて、イッテリビウムは１０６４ｎｍ付近のダイオードポンピングYb又はNdドープレーザ源から得られるポンピングパワーを吸収し、１５５０ｎｍ付近のパワー用途のために、エルビウムイオンに高率よくエネルギーを移すことができる。現在まで、１０６４ｎｍYb又はNdクラッドポンピングレーザでポンピングされるEr^{+3}－Yb^{+3}コドーピングされたいくつかのファイバ増幅器が、コポンピング、逆ポンピング又は横方向ポンピング方式とともに示された。これらの増幅器をＷＤＭ又はＣＡＴＶシステムに用いる時、出力パワーはカプラにより、多くのチャネル中に分割される（たとえば１×８，１×１６パワースプリッタ）。しかし、増幅器の特性を制限する問題が、これらの機構に存在する。具体的には、シングル光ファイバ中に高パワー信号を伝搬させると、（４波混合のような）非線形性が生じ、それは増幅器の特性を低下させる。また、増幅器出力パワーは以下のスプリッタに付随したスプリッタ損により、直接減少する。更に、より高いパワーレベルを含む状況においては（たとえば数ワット）、特別に設計された光学要素（たとえば高パワーコネクタ、カプラ）を必要とする可能性がある。

【０００５】

従って、ＣＡＴＶ及びＷＤＭシステムのような高パワー、多出力用途で有用な光増幅器設計を実現する必要性が、従来技術に残っている。

【０００６】

【本発明の要約】

従来技術に残る必要性は、本発明によって解決される。本発明は希土類ドープファイバ前置増幅（低雑音）段及び多タップ高パワー希土類－イッテリビウムコドープ出力段を含む高ドープファイバ増幅器に係る。

【０００７】

本発明に従うと、多タップ高パワー出力増幅段は、それぞれ独立に増幅されるコドープファイバの複数の連結部分を含む。増幅された出力信号は２つの隣接したドープファイバが接続される各領域で分岐される。

【０００８】

本発明の一実施例において、連結された領域は、一対のマルチプレクサとアイソレータを含み、増幅された情報の信号のみを除き、ポンピングされた信号のほとんどをドープされたファイバ内に残し、次の段に結合されるようにするのに用いられる。

【０００９】

好ましい実施例において、共伝搬ポンピング信号及び逆伝搬ポンピング信号は、連結されたコドープファイバ部分のストリングに、入力として供給される。

【００１０】

本発明の他の実施例は、以下の議論及び添付図面を参照することにより、明らかになるであろう。

【００１１】
【詳細な記述】
以下の議論を通して、本発明の課題は、E_r^{+3}ドープ前置増幅段及びE_r^{+3}－Y_b^{+3}コドープ並列多出力段に関するものである。いずれかの段に対するドーパントとして使用できる各種の他の組成は、当業者にはよく知られていることを理解する必要がある。たとえば、プラセオジムは（それだけあるいはエルビウム又は他の希土類ドーパントとともに）使用できる別のドーパントである。各種の組合せが可能で、全て“低雑音”前置増幅段及び“高パワー”多タップ出力段の両方を実現するために、本発明の構成で使用できる。
【００１２】
本発明の原理を最も良く理解するために、従来のよく知られた２段ドープファイバ増幅器の動作を復習するのは有用である。そのような従来技術の２段ドープファイバ増幅器１０の一例が、図１に示されている。前置増幅段１２はエルビウムドープファイバ１４の部分及び入力アイソレータ１６を含む。増幅を起させるための適当な波長（たとえば９８０ｎｍ）におけるポンピング信号が、ポンピング源１８により供給される。この例では、エルビウムドープファイバ１４への共伝搬入力として供給される。（１５５０ｎｍの波長における）入力光信号P_{in}は最初アイソレータ１６を通過することにより、前置増幅段１２への入力として供給され、次にE_rドープファイバ１４に入る。前置増幅段１２内に共伝搬増幅構成を用いることにより、低雑音増幅が得られる。図１においてP'_{in}と印された前置増幅された出力信号は、その後中間アイソレータ２０を通り、次に高パワー増幅段２２への入力として供給される。高パワー段２２はE_r－Y_bコドープファイバ２４の部分を含み、それは以下の事実により、（出力パワーの測量性の点で）より高い動作特性をもたらすことが知られている。すなわち、イッテリビウムは１０６４ｎｍ付近のネオジウムドープ源から得られるポンピングパワーを吸収でき、１５５０ｎｍ付近のパワー用途用に、エルビウムイオンにそのパワーを効率よく移すことができる。ポンピング源２６はコドープファイバ２４への１０６４ｎｍにおける逆伝搬ポンピング信号として供給されるように示されている。高パワー増幅出力信号P_{out}は次に、１×Ｍスプリッタ２８への入力として供給され、従って複数のＭ個の出力信号を生じ、それぞれがシステム中の別々の受信機として指定されている。好ましい実施例において、１×Ｍスプリッタ２８は各出力チャネル３０がP_{out}／Ｍのパワーをもつ信号を運ぶように、等しいパワー分割とする。伝搬損失を克服するため、各チャネルはある量のパワーを得る必要があり、受信機で比較的高いパワーを示さなければならないから、そのようなスプリッタに付随したチャネルＭの数は限られる。
【００１３】
図２は図１の従来技術の増幅段２２のような高パワー増幅段からの出力パワーのグラフである。具体的には、６．５ｍ長のE_r－Y_bコドープファイバ増幅器についてで、１５５２ｎｍにおける注入信号パワー（Ｐ’in）及び３５０ｍWの入力パワーをもつ１０６０ｎｍの波長におけるポンピング信号を特徴とする。図中▲ドットのグラフに示されるように、増幅器は－２５ｄＢｍ入力パワーに対して９ｄＢｍ出力パワーであり、１０ｄＢｍ入力パワーに対して３０ｄＢｍ出力パワーであり、出力パワーにおいて２１ｄＢｍ出力パワーの差異（増加）を生じる。増幅器出力は５ｄＢｍより大きな入力パワーの飽和点に到達し、飽和領域における入力パワーのどんな変化も、出力パワーには無視しうる変化しか生じない。
【００１４】
図３は、３つの異なる従来技術構成について入力パワーの機能としての雑音指数（波長１５５２ｎｍでのｄＢｍで測定）のグラフを示す。▲ドットのグラフは、E_r－Y_bコドープファイバ増幅器に関して、全パワーレンジにわたって比較的高い雑音指数（平均値１０ｄＢ）を示す。■ドットのグラフは、E_rドープファイバ増幅器に関し、同じパワーレンジにわたって平均５ｄＢの低い雑音指数を示す。図１に示されるような２つのタイプの増幅器を組み合わせた構成は、●ドットのグラフに関し、－１０ｄＢｍから５ｄＢｍの入力パワー値に対してE_rドープファイバ増幅器と類似した雑音指数を示し、５ｄＢｍから

１５ｄＢｍの入力パワー値にわたって増加する（$Ｅ_{r}$－$Ｙ_{b}$コドープファイバ増幅器と類似した傾きで増加する）。

【００１５】

図４は本発明に従って形成された２段高パワードープファイバ増幅器４０の例を示す。図示されるように、増幅器４０は直列に配置された前置増幅段４２及び多タップ高パワー増幅段４４を含み、出力段増幅に対し、出力信号路に沿って直列に多タップされるようになっている。具体的には、前置増幅段４２は従来技術の増幅器１０について議論した前置増幅器１２と本質的に同一である。すなわち、前置増幅段４２は$Ｅ_{r}$－ドープファイバ４６の部分と９８０ｎｍでファイバ４６に共伝搬信号を供給するためのポンピング源４８を直列に含む。入力アイソレータ５０も前置増幅段４２中に含まれる。$Ｐ'_{in}$と印された前置増幅段４２からの出力は、その後中間アイソレータ５２を通過し、多タップ出力段４４への入力として供給される。

【００１６】

図示されるように、多タップ出力段４４は複数の連結されたコドープファイバ部分５４_{1}，５４_{2}・・・５４_{N}を含む。この場合４つのコドープファイバの別々の部分が示されている。第１のポンピング源５６は複数の連結されたコドープファイバ部分５４へ共伝搬ポンピング信号を供給するために用いられ、特に第１のコドープファイバ部分５４_{1}への入力として結合される。第２のポンピング源５８は複数の連結されたコドープファイバ部分５４に逆伝搬ポンピング信号を供給するために用いられ、特に最後のコドープファイバ部分５４_{4}への入力として結合される。別々のパワー分離器６０_{i}が隣接したコドープファイバ部分間に配置されるように、一組のパワー分離器６０が多タップパワー出力増幅器中に配置される。すなわち、第１のパワー分離器６０_{1}がコドープファイバ部分５４_{1}及び５４_{2}間に配置され、第２のパワー分離器６０_{2}がコドープファイバ部分５４_{2}及び５４_{3}間に配置され、最後に第３のパワー分離器６０_{3}がコドープファイバ部分５４_{3}及び５４_{4}間に配置される。各パワー分離器は増幅された出力信号のあらかじめ決められた割合（割合は図４中でＫ１％，Ｋ２％，Ｋ３％及びＫ４％と印されている）を除く機能を果す。

【００１７】

図５は本発明の多タップ出力増幅段中の光タップとして使用してよいパワー分離器６０の例を示す。図示されるように、ポンピング信号Ｐ及びメッセージ信号Ｓの両方が分離器６０に入力として供給され、ここでは入力路は図４に示されるようにドープファイバ部分５４の１つである。波長デマルチプレクサ６２はこれらの信号を別々の光路に分割するのに用いられ、ポンピング信号Ｐはポンピング路６４に沿って保たれ、メッセージ信号（Ｓ）は別々の信号路６６上にそらされる。次に、光カプラ６８はある割合のメッセージ信号（図５中に$Ｋ_{n}$％と印されている）を分離するのに用いられる。メッセージ信号がデマルチプレクサ６２中に反射して戻るのを防止するため、デマルチプレクサ６２及びカプラ６８間にアイソレータ７０を配置してよい。メッセージ信号Ｓのあらかじめ決められた割合をぬき出すのに続き、ポンピング信号Ｐ及び残ったメッセージ信号Ｓは、光マルチプレクサ７２中で再び結合され、出力信号路７４中に結合される。出力信号７４は以下の増幅段への入力信号路となるかあるいはもしそれが最後の段なら、パワー増幅器４４からの最後の出力信号となる。

【００１８】

戻って図４を参照すると、上述のように信号路７４に沿って伝搬する最後の出力信号は、なおポンピング信号及びメッセージ信号の両方を含む。従って、最後のデマルチプレクサ７６は光信号中の残ったあらゆるポンピング信号Ｐを除去するために用いられる。

【００１９】

本発明の構成はそれぞれ別々の信号波長$λ_{1}$・・・$λ_{m}$で動作する複数のメッセージ入力信号とともに用いてもよい。この場合、各パワー分離器６０_{i}の次に、その出力信号路７４_{i}に沿って、図４に示されるように、デマルチプレクサ８０_{i}が続いてもよい。

【００２０】

本発明の好ましい実施例において、各分離器のタップ値Ｋは、入力からの距離が増すにつれ増加する。すなわちＫ１＜Ｋ２＜Ｋ３である。このようにして、各種の雑音源がメッセージ信号に重畳され、伝送誤りを生じないように、最終出力において、十分なメッセージ信号強度が残る。

【００２１】

上述のように、実施例は通常複数の個別の要素を含む。本発明の増幅器を、集積化された増幅器構成に形成することも可能である。一般に、本発明の精神及び視野は、特許請求の範囲によってのみ限定されると考えられる。

【図面の簡単な説明】

【図１】従来技術の２段ハイブリッド光増幅器の例を示す図である。

【図２】E_r－Y_b ドープファイバ増幅器及びE_r ドープファイバ増幅器とともに連結段E_r／E_r－Y_b ファイバ増幅器について、“パワー入力”対“パワー出力”を比較するグラフを示す図である。

【図３】同じ３つの増幅器構成（すなわち、E_r－Y_b ドープファイバ増幅器、E_r ドープファイバ増幅器及び連結段E_r／E_r－Y_b ファイバ増幅器）について、雑音指数値を比較したグラフの図である。

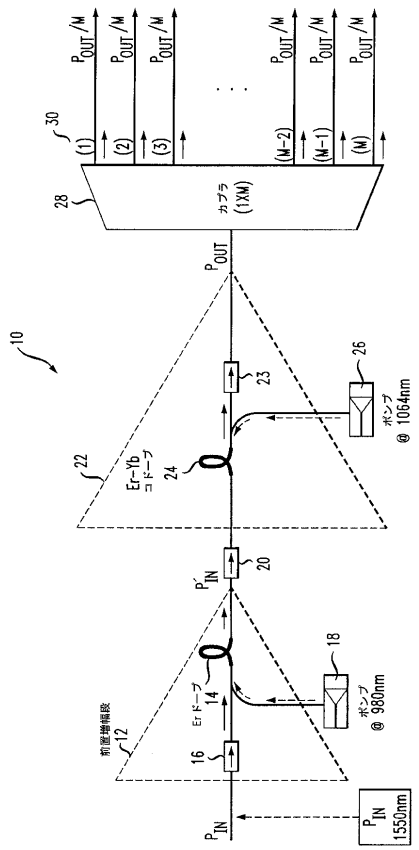
【図４】E_r ドープファイバ前置増幅段及び多タップE_r－Y_b ドープファイバ出力段を含む本発明の２段ドープファイバ増幅器の例を示す図である。

【図５】図４の構成中でタップとして有用な信号分離構成の例を示す図である。

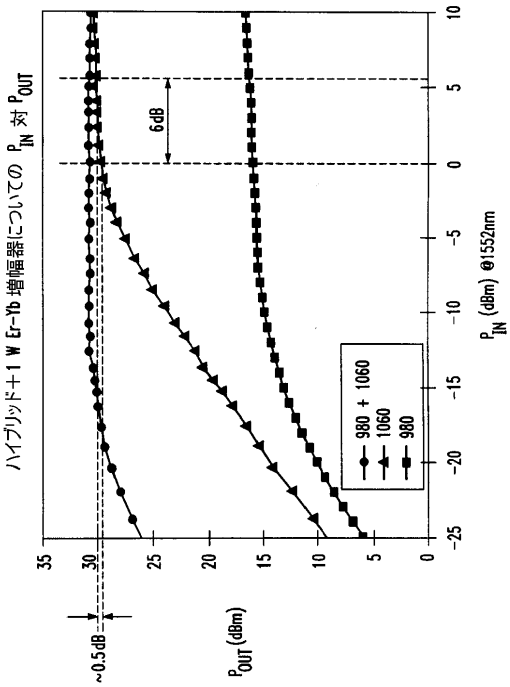
【符号の説明】

１０　２段ドープファイバ増幅器、増幅器
１２　前置増幅段、前置増幅器
１４　エルビウムドープファイバ
１６　入力アイソレータ
１８　ポンピング源
２０　中間アイソレータ
２２　高パワー増幅段，高パワー段，増幅段
２４　E_r－Y_b コドープファイバ
２６　ポンピング源
２８　１×Ｍ　スプリッタ
３０　出力チャネル
４０　２段高パワードープファイバ増幅器，増幅器
４２　前置増幅段
４４　多タップ高パワー増幅段、多タップ出力段
４６　E_r－ドープファイバ，ファイバ
４８　ポンピング源
５０　入力アイソレータ
５２　中間アイソレータ
54_1，54_2・・・54_N　コドープファイバ部分
５６，５８　ポンピング源
60_1，60_2，60_3・・・60_i　パワー分離器，分離器
６２　デマルチプレクサ
６４　ポンピング路
６６　信号路
６８　カプラ
７０　アイソレータ
７２　光マルチプレクサ
７４　出力信号路，出力信号、信号路
７６　デマルチプレクサ
80_1，80_2・・・80_i　デマルチプレクサ

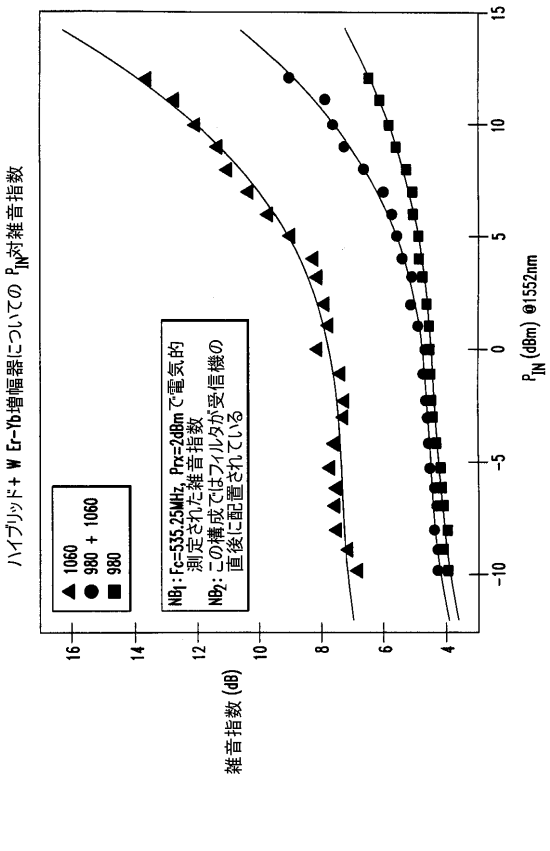
【図１】


10
30
28
カプラ
(1XM)
(1)
(2)
(3)
(M-2)
(M-1)
(M)
P_{OUT}/M
P_{OUT}
22
Er-Yb
コドープ
24
23
26
ポンプ
@ 1064nm
P'_{IN}
20
18
ポンプ
@ 980nm
前置増幅段
12
Er ドープ
14
16
P_{IN}
P_{IN}
1550nm

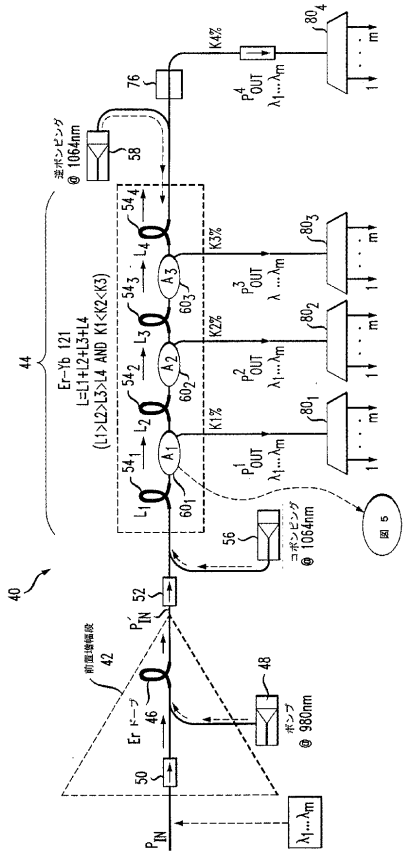
【図２】


ハイブリッド＋1 W Er-Yb 増幅器についての P_{IN} 対 P_{OUT}
6dB
~0.5dB
P_{OUT} (dBm)
P_{IN} (dBm) @1552nm
980 + 1060
1060
980

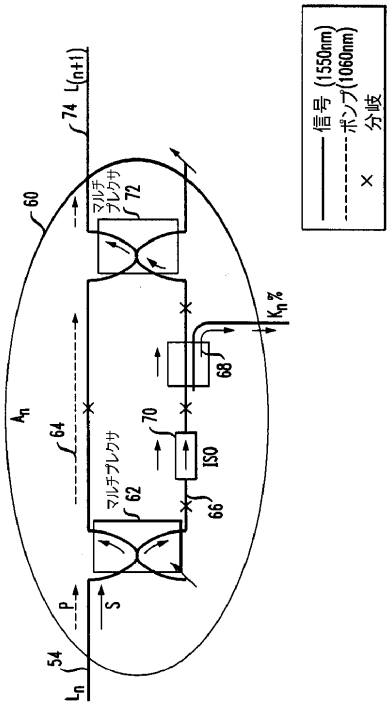
【図３】


ハイブリッド＋ W Er-Yb増幅器についての P_{IN}対雑音指数
1060
980 + 1060
980
NB1：Fc=535.25MHz, Prx=2dBmで電気的測定された雑音指数
NB2：この構成ではフィルタが受信機の直後に配置されている
雑音指数 (dB)
P_{IN} (dBm) @1552nm

【図４】


40
44
Er-Yb 121
L=L1+L2+L3+L4
(L1>L2>L3>L4 AND K1<K2<K3)
P_{IN}
$\lambda_1 \ldots \lambda_m$
前置増幅段
42
Er ドープ
46
48
ポンプ
@ 980nm
50
P'_{IN}
52
56
コポンピング
@ 1064nm
L_1
L_2
L_3
L_4
A_1
A_2
A_3
60_1
60_2
60_3
54_1
54_2
54_3
54_4
K1%
K2%
K3%
K4%
P^1_{OUT}
P^2_{OUT}
P^3_{OUT}
P^4_{OUT}
80_1
80_2
80_3
80_4
逆ポンピング
@ 1064nm
58
76
図５

【図５】


信号 (1550nm)
ポンプ(1060nm)
分岐
L(n+1)
74
60
マルチプレクサ
72
K_n%
68
A_n
64
70
150
マルチプレクサ
62
66
P
S
54
L_n

フロントページの続き

(74)代理人 100091889
弁理士 藤野 育男
(74)代理人 100101498
弁理士 越智 隆夫
(74)代理人 100096688
弁理士 本宮 照久
(74)代理人 100102808
弁理士 高梨 憲通
(74)代理人 100104352
弁理士 朝日 伸光
(74)代理人 100107401
弁理士 高橋 誠一郎
(74)代理人 100106183
弁理士 吉澤 弘司
(72)発明者 ジーン－マーク ピエール デラヴュークス
アメリカ合衆国 ０８９７４ ニュージャーシィ，ピッツタウン，ホワイトブリッジ ロード １６
(72)発明者 アイデン イエニエイ
アメリカ合衆国 １８０１７ ペンシルヴァニア，ベスレヘム，ジョンストン ドライヴ １４５０ ビー

審査官 前川 慎喜

(56)参考文献 特開平０８－１１６１１２（ＪＰ，Ａ）
特開２０００－１０１１７４（ＪＰ，Ａ）
特開平０８－２０４６４７（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－１３６４９１（ＪＰ，Ａ）
特開平０７－１２８５４１（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－３４７６０１（ＪＰ，Ａ）
22nd European Conference on Optical Communication - ECOC'96, Oslo, vol.5, pp.23-26

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