

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5036009号  
(P5036009)

(45) 発行日 平成24年9月26日 (2012.9.26)

(24) 登録日 平成24年7月13日 (2012.7.13)

(51) Int. Cl.	F I				
HO 4 J 14/02 (2006.01)	HO 4 B	9/00		E	
HO 4 J 14/00 (2006.01)	HO 4 B	9/00		J	
HO 4 B 10/17 (2006.01)	HO 4 B	9/00		M	
HO 4 B 10/16 (2006.01)	HO 4 B	9/00		V	
HO 4 B 10/18 (2006.01)	HO 1 S	3/06		B	

請求項の数 16 (全 12 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2009-529391 (P2009-529391)	(73) 特許権者	502101180
(86) (22) 出願日	平成19年9月20日 (2007.9.20)		タイコ エレクトロニクス サブシー コ
(65) 公表番号	特表2010-504707 (P2010-504707A)		ミュニケーションズ エルエルシー
(43) 公表日	平成22年2月12日 (2010.2.12)		アメリカ合衆国 07960 ニュージャ
(86) 国際出願番号	PCT/US2007/079006		ージー州 モリスタウン マウント ケン
(87) 国際公開番号	W02008/036804		ブル アヴェニュー 412 スイート
(87) 国際公開日	平成20年3月27日 (2008.3.27)		100エス
審査請求日	平成22年9月3日 (2010.9.3)	(74) 代理人	100073184
(31) 優先権主張番号	11/534,026		弁理士 柳田 征史
(32) 優先日	平成18年9月21日 (2006.9.21)	(74) 代理人	100090468
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 佐久間 剛
		(72) 発明者	ニソフ, モルテン
			アメリカ合衆国 ニュージャージー州 O
			7712 オーション マーク プレイス
			6

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 利得等化のためのシステム及び方法並びにこれを組み込んでいる光通信システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光通信システムにおいて、  
 信号帯域幅内の相異なる付随波長において複数の光信号を含む集合光信号を送信するように構成された送信器、  
 前記集合光信号を受信し、前記複数の光信号上の変調されたデータを検出するように構成された受信器、及び  
 前記送信器と前記受信器の間にかかる伝送路、  
 を備え、  
 前記伝送路が、長さが少なくとも120kmの伝送スパンによって隔てられている少なくとも第1及び第2の増幅器であって、前記少なくとも第1の増幅器がハイブリッドラマン/EDFA増幅器である前記少なくとも第1及び第2の増幅器を有し、  
 前記増幅器が、  
 前記信号帯域幅の少なくとも一領域においてラマン利得を与えるために少なくとも1つのラマンポンプによってポンピングされるように構成された伝送ファイバセグメントを有するラマン部、  
 前記信号帯域幅の少なくとも一領域においてEDFA利得を与えるために少なくとも1つのEDFAポンプによってポンピングされるように構成された少なくとも1つのエルビウムドープファイバを有するEDFA部、及び  
 前記ハイブリッドラマン/EDFA増幅器の前記ラマン部と前記EDFA部の間に結

合された利得平坦化フィルタ、  
を有し、

前記 E D F A 部の出力には利得平坦化フィルタが結合されておらず、前記少なくとも 1 つのラマンポンプ及び前記少なくとも 1 つの E D F A ポンプがそれぞれ、前記ラマン部によって発生される増幅自然放出 ( A S E ) 雑音が前記 E D F A 部によって発生される A S E 雑音を上回る増幅器利得を達成するために、前記伝送ファイバセグメント及び前記エルビウムドープファイバをポンピングするように構成されることを特徴とするシステム。

【請求項 2】

前記少なくとも 1 つの E D F A ポンプが約 4 0 0 m W より低いポンプパワーで前記エルビウムドープファイバをポンピングするように構成されることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

10

【請求項 3】

前記伝送路の長さが少なくとも 6 0 0 k m であり、水域にかかることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 4】

前記少なくとも第 1 の増幅器が、前記ラマンポンプを 1 つだけ、及び前記 E D F A ポンプを 1 つだけ有することを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 5】

前記少なくとも 1 つのラマンポンプが約 1 4 5 0 n m の波長で前記伝送ファイバセグメントをポンピングするように構成され、前記少なくとも 1 つの E D F A ポンプが約 9 8 0 n m の波長で前記エルビウムドープファイバをポンピングするように構成されることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

20

【請求項 6】

前記利得平坦化フィルタが、第 1 のアイソレータを介して前記ラマン部の出力に結合され、第 2 のアイソレータを介して前記 E D F A 部の入力に結合されることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 7】

前記システムが前記伝送路のドープセグメントを有するリモート光ポンピング増幅器をさらに備え、前記ドープセグメントが、前記信号帯域幅内の少なくとも一領域に利得を与えるために少なくとも 1 つのポンプによってポンピングされるように構成されることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

30

【請求項 8】

前記少なくとも 1 つのポンプが前記少なくとも 1 つのラマンポンプを含むことを特徴とする請求項 7 に記載のシステム。

【請求項 9】

光通信システムにおいて、  
信号帯域幅内の相異なる付随波長において複数の光信号を含む集合光信号を送信するように構成された送信器、

前記集合光信号を受信し、前記複数の光信号上の変調されたデータを検出するように構成された受信器、及び

40

前記送信器と前記受信器の間に少なくとも 6 0 0 k m の長さにわたってかかりかつ水域にかかる伝送路、  
を備え、

前記伝送路が複数のハイブリッドラマン / E D F A 増幅器を有し、

前記増幅器の順次するそれぞれが、長さが少なくとも 1 2 0 k m の伝送スパンによって隔てられており、

前記増幅器のそれぞれが、

前記信号帯域幅の少なくとも一領域においてラマン利得を与えるために少なくとも 1 つのラマンポンプによってポンピングされるように構成された伝送ファイバセグメントを有するラマン部、

50

前記信号帯域幅の少なくとも一領域において E D F A 利得を与えるために約 4 0 0 m W より低いポンピングパワーで少なくとも 1 つの E D F A ポンプによってポンピングされるように構成された少なくとも 1 つのエルビウムドープファイバを有する E D F A 部、及び

前記ハイブリッドラマン / E D F A 増幅器の前記ラマン部と前記 E D F A 部の間に結合された利得平坦化フィルタ、  
を有し、

前記 E D F A 部の出力には利得平坦化フィルタが結合されておらず、且つ前記ラマン部によって発生される増幅自然放出 ( A S E ) 雑音が前記 E D F A 部によって発生される A S E 雑音を上回ることを特徴とするシステム。

10

【請求項 1 0】

前記増幅器のそれぞれが、前記ラマンポンプを 1 つだけ、及び前記 E D F A ポンプを 1 つだけ有することを特徴とする請求項 9 に記載のシステム。

【請求項 1 1】

前記少なくとも 1 つのラマンポンプが約 1 4 5 0 n m の波長で前記伝送ファイバセグメントをポンピングするように構成され、前記少なくとも 1 つの E D F A ポンプが約 9 8 0 n m の波長で前記エルビウムドープファイバをポンピングするように構成されることを特徴とする請求項 9 に記載のシステム。

【請求項 1 2】

前記利得平坦化フィルタが、第 1 のアイソレータを介して前記ラマン部の出力に結合され、第 2 のアイソレータを介して前記 E D F A 部の入力に結合されることを特徴とする請求項 9 に記載のシステム。

20

【請求項 1 3】

前記システムが前記伝送路のドープトセグメントを有するリモート光ポンピング増幅器をさらに備え、前記ドープトセグメントが前記信号帯域幅内の少なくとも一領域に利得を与えるために少なくとも 1 つのポンプによってポンピングされるように構成されることを特徴とする請求項 9 に記載のシステム。

【請求項 1 4】

前記少なくとも 1 つのポンプが前記少なくとも 1 つのラマンポンプを含むことを特徴とする請求項 1 3 に記載のシステム。

30

【請求項 1 5】

E D F A 利得部の入力に出力が結合されているラマン利得部を有するハイブリッドラマン / E D F A 増幅器を用いて少なくとも 1 2 0 k m の伝送スパンに光信号を投入するために前記光信号を増幅する方法において、前記方法が、

前記ハイブリッドラマン / E D F A の前記ラマン利得部と前記 E D F A 利得部の間でのみ増幅器利得を平坦化する工程、及び

約 4 0 0 m W より低いポンプパワーで前記 E D F A 利得部をポンピングする工程、

前記ラマン利得部によって発生される増幅自然放出 ( A S E ) 雑音が前記 E D F A 利得部によって発生される A S E 雑音を上回る増幅器利得を達成するように前記ラマン利得部をポンピングする工程

40

を含むことを特徴とする方法。

【請求項 1 6】

前記増幅器がリモート光ポンピング増幅器を有し、前記方法が、前記ラマン利得部によって発生される増幅自然放出 ( A S E ) 雑音が前記 E D F A 利得部によって発生される A S E 雑音を上回る増幅器利得を達成するように前記ラマン利得部及び前記リモート光ポンピング増幅器をポンピングする工程をさらに含むことを特徴とする請求項 1 5 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

50

本発明は情報の光伝送に関し、さらに詳しくは、利得等化のためのシステム及び方法並びにこれを組み込んでいる光通信システムに関する。

【背景技術】

【0002】

長距離光通信システム、例えば長さが約600kmをこえるシステムには、散乱、吸収及び曲げを含む、様々な要因から生じる信号減衰の問題がある。減衰を補償するため、長距離システムは送信器と受信器の間の伝送路に沿って間隔をおいて配置された一連の光増幅器を備えることができる。増幅器は受信器における確実な信号検出を可能にする態様で光信号を増幅する。

【0003】

エルビウムドープファイバ増幅器(EDFA)は長距離システムに特に有用であることがわかっている。一般に、EDFAは1つ以上のポンプ源からの光によって「ポンピング」されるエルビウムドープファイバセグメントを有する。ポンプ源、例えばレーザはドープトセグメント内のエルビウム原子を励起し、励起されたエルビウム原子は次いでドープトセグメントを通過する光信号を増幅するためにはたらく。

【0004】

ラマン増幅器も知られている。ラマン増幅は、光伝送ファイバセグメントが適切な1つまたは複数の波長においてポンピングされたときに、光伝送ファイバセグメント全体にわたっておこる。それぞれのラマン増幅器は1つ以上のポンプを有することができる。利得は、誘導ラマン散乱過程によってポンプ波長より長い波長スペクトルにわたって達成される。ラマン増幅器にともなうパワー効率はEDFAで達成される効率より低い、伝送ファイバにおける分布増幅を用いることでラマン増幅器はより優れた雑音性能を提供できる。

【0005】

ハイブリッドラマン/EDFA(HRE)増幅器はラマン増幅器とEDFAの両者の特長を組み合わせる。HREにおいて、ラマン部は一般にEDFAの前の前置増幅器としてはたらく。EDFA構成へのラマン増幅の付加により、EDFAだけを使用する場合に比較して、伝送路上の増幅器間隔を経済的に拡大することが可能になる。

【0006】

波長分割多重化(WDM)光通信システムでは、いくつかの光信号が相異なる波長/チャンネルにおいて同じファイバ上を伝送される。理想的には、WDMシステムの光増幅器はシステム帯域幅内のそれぞれのチャンネルを同じ利得レベルで増幅するべきである。伝送されるチャンネルの増幅が一樣ではないと、伝送路を伝搬するにしたがって累積する低増幅により、チャンネルは最終的に失われることがあり得る。

【0007】

残念なことに、EDFA及びラマン増幅器、したがってHREはWDMシステムにともなうシステム帯域幅にかけて平坦ではない利得特性を示す。しかし、利得平坦化フィルタの使用によって利得平坦化すなわち利得等化を達成できる。利得平坦化フィルタは利得レベルをシステム帯域幅にわたって実質的に平坦にする。例えば、多段EDFAにおいてはEDFA段間に利得平坦化フィルタを設けることができる。EDFAが単段構成であることが多きHRE構成においては、HREのEDFA部の出力に利得平坦化フィルタが設けられている。

【0008】

遠距離海中システムは非常に長いスパンからなり、したがってポンプパワーが限られることになり得る。すなわち、増幅器に利用できるポンプパワーは最適伝送性能を達成するのに必要であろうレベルより低い最大レベルに実際上制限され得る。HREを組み込んでいそのようなシステムにおいて、ラマン前置増幅器の恩恵を完全に受けるためには、限られたポンプパワーの効率的使用が望ましいことになり得る。

【0009】

しかし、(本明細書で後フィルタリングと称される)HREのEDFA部の出力に利得

10

20

30

40

50

平坦化フィルタを設けると、EDFA部で与えられたパワーのかなりの部分がフィルタで除去され、実効的にポンプパワーを無駄にする結果になる。例えば、図6は、後フィルタリング手法を用いる等化で失われるパワーを示す信号パワー対波長のグラフ600を示す。プロット602は利得平坦化フィルタの入力に与えられるEDFA出力パワースペクトルを示し、プロット604は利得平坦化フィルタの出力におけるパワースペクトルを示す。プロット602とプロット604の間の領域606が後フィルタリングの結果の信号パワーの損失を表す。図示されるように、フィルタの出力におけるパワースペクトル604はフィルタの入力におけるパワースペクトル602に比較して平坦化されているが、利得平坦化はかなりの信号パワー損失をともなって達成される。図示される例示実施形態においては、5.65 dBmの信号パワーが後フィルタリング手法によって実効的に失われる

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

したがって、より有効な増幅器ポンプパワーの使用を可能にする、長距離海中WDM光通信システムに用いられるハイブリッドラマン/EDFAにおける利得等化のためのシステム及び方法が必要とされている。そのようなシステムを組み込んでいる海中WDM光通信システムも必要とされている。

【課題を解決するための手段】

【0011】

20

本発明の一態様にしたがえば、信号帯域幅内の相異なる付随波長における複数の信号を含む集合光信号を送信するように構成された送信器、集合光信号を受信して複数の光信号上の変調されたデータを検出するように構成された受信器及び送信器と受信器の間に張り渡された伝送路を備える光通信システムが提供される。伝送路には少なくとも1つの増幅器が設けられる。増幅器は、信号帯域幅の少なくとも一領域にラマン利得を与えるために少なくとも1つのラマンポンプによってポンピングされるように構成された伝送ファイバセグメントを有するラマン部、信号帯域幅の少なくとも一領域にEDFA利得を与えるために少なくとも1つのEDFAポンプによってポンピングされるように構成された少なくとも1つのエルビウムドープファイバを有するEDFA部及びラマン部とEDFA部の間に結合された利得平坦化フィルタを有し、EDFA部の出力には利得平坦化フィルタが結合

30

【0012】

本発明の別の態様にしたがえば、信号帯域幅内の複数の波長にラマン利得を与えるために少なくとも1つのラマンポンプによってポンピングされるように構成された伝送ファイバセグメントを有するラマン部、信号帯域幅内の複数の波長にEDFA利得を与えるために少なくとも1つのEDFAポンプによってポンピングされるように構成された少なくとも1つのエルビウムドープファイバを有するEDFA部及びラマン部とEDFA部の間に結合された利得平坦化フィルタを有し、EDFA部の出力には利得平坦化フィルタが結合

【0013】

40

本発明のまた別の態様にしたがえば、EDFA利得部の入力に出力が結合されたラマン利得部を有する増幅器を用いて少なくとも120 kmの伝送スパンに信号を投入するために光信号を増幅する、ラマン利得部とEDFA利得部の間だけで増幅器利得を平坦化する工程及び約400 mWより低いポンプパワーでEDFA利得部をポンピングする工程を含む、方法が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】図1は本発明にしたがう光通信システムの一例示実施形態の簡略化したブロック図である。

【図2】図2は本発明にしたがう一例示ハイブリッドラマン/EDFA増幅器のブロック

50

図である。

【図3】図3は本発明にしたがうハイブリッドラマン/EDFA増幅器のラマン部及びEDFA部によって発生されるASE及びMPIのレベルを示す、光信号対雑音比の逆数(1/OSNR)対スパン長のグラフを示す。

【図4】図4は本発明にしたがうハイブリッドラマン/EDFA増幅器のラマン部及びEDFA部によって発生されるASE及びMPIのレベルを示す、光信号対雑音比の逆数(1/OSNR)対波長のグラフを示す。

【図5】図5は後フィルタリングを用いる従来技術のハイブリッドラマン/EDFA増幅器のラマン部及びEDFA部によって発生されるASE及びMPIのレベルを示す、光信号対雑音比の逆数(1/OSNR)対波長のグラフを示す。

【図6】図6は後フィルタリングを用いる従来技術の構成におけるパワー損失を示す、信号パワー対波長のグラフを示す。

【図7】図7は本発明にしたがう別の例示増幅器のブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

参照されるべき以下の詳細な説明は、同様の参照数字は同様の要素を表す、図面とともに読まれるべきである。

【0016】

図1を参照すれば、本発明にしたがう例示光通信システム100が示されている。当業者であれば、システム100は説明を容易にするために極めて簡略化された2局間システムとして示されていることを認めるであろう。本発明が広範な光ネットワーク及び光システムに組み込まれ得ることは当然である。

【0017】

図示される例示光通信システム100は光伝送路104を介して接続された送信器102及び受信器106を備える。送信器102において、信号帯域幅内の複数の相異なる波長/チャンネルのそれぞれの上でデータを変調することによって複数の個別光信号を発生させることができる。送信器102は個別のチャンネルを結合して集合光信号にし、光情報路104を通して受信器106に集合光信号を送信する。システム100は独立の送信器102及び受信器106を備えるとして示されているが、当業者であれば、光情報路を通した双方向通信を容易にするために送信器102及び受信器106をそれぞれトランシーバとして構成できることを認めるであろう。

【0018】

システムの特性及び要件に依存して、光通信路104は、光伝送ファイバ110、本発明にしたがう光増幅器/中継器108-1、108-2、108-3、108-(N-1)、108-N、光フィルタ並びにその他の能動コンポーネント及び受動コンポーネントを備えることができる。明解さのため、光伝送路104には光増幅器/中継器108-1、108-2、108-3、108-(N-1)、108-N及び光伝送ファイバ110だけが示される。本明細書では本発明にしたがう光増幅器構成を一層詳細に説明する。伝送路に備えられるその他のコンポーネントについての構成は当業者に知られている。

【0019】

システム100は、例えば送信器から受信器までの長さが約600kmをこえる、長距離システムとして構成でき、水域112にかかることができる。水域、例えば大洋にかけて用いられる場合、増幅器/中継器108-1、108-2、108-3、108-(N-1)、108-Nは大洋底114に置くことができ、伝送路104は、送信器102と受信器106に結合するために水112から上がるための海岸上陸地点116、118間にかかることができる。複数の光伝送コンポーネントを伝送路104に結合することができ、水中及び/または陸上に配置できることは当然であろう。

【0020】

一般に、光増幅器間隔は伝送スパン長を定める。図示される例示実施形態は複数のスパン124-1、124-2、124-3、...、124-(I-1)、124-Iを有する。当業

10

20

30

40

50

者であれば、スパン長が特定のシステムにおいてかなり変わり得ることを認めるであろう。例えば、長距離システムにおいて、いくつかのスパンは約20 kmと短くすることができ、いくつかのスパンは100 kmをこえることがあり得る。スパン長が変動することから、信号減衰はスパン間で変動する。

#### 【0021】

増幅器108-1, 108-2, 108-3, 108-(N-1), 108-Nは信号帯域幅内の光信号波長を増幅することによって信号減衰を補償するように構成することができる。本発明にしたがう増幅器108の一例示実施形態が図2に示される。図示される例示実施形態はラマン増幅器部202及びEDFA部204を有するハイブリッドラマン/EDFA増幅器(HRE)として構成される。ラマン部202は伝送路104を通して伝搬している光信号を増幅するためにラマン利得が発生される伝送ファイバセグメント206を有することができる。1つ以上のラマンポンプ源210からのエネルギーをカプラ208によって伝送ファイバ110のセグメント206に結合させることができる。EDFA部204は単段EDFAまたは多段EDFAとすることができ、1つ以上のEDFAポンプ源212, カプラ214, エルビウムドープファイバセグメント216及びアイソレータ218を有することができる。当業者には、局所制御または遠隔制御できる、ラマンポンプ源及びEDFAポンプ源のための様々な構成が知られている。また、ポンプ源は既知の構成で光伝送路104に結合させることができる。

10

#### 【0022】

図示される例示実施形態はラマン部202とEDFA部204の間に結合された利得平坦化フィルタ(GFF)220を有する(本明細書では前フィルタリングと称される)。図示されるように、ラマン部202の出力がアイソレータ222を介してGFFの入力に光結合され、EDFA部204の入力がアイソレータ224を介してGFFの出力に光結合される。一般に、GFFはラマン部の増幅された出力を受け取り、ラマン部からGFFが受け取った入力に比して整形されたスペクトルを有する、EDFA部への入力を供給する。ラマン部及びEDFA部の利得の結合形状が平坦化されるようにGFF挿入損失プロファイルを設計することができる。例えば、ラマン利得部202及びEDFA利得部204の利得特性を考慮して、EDFA部204によるGFFの出力の増幅が所望のレベルまで平坦化された増幅器出力226を提供するようにGFFの伝送特性を選ぶことができる。

20

30

#### 【0023】

フィルタ素子の入力に印加される信号の利得対波長変動を抑制するための1つ以上の個別フィルタ素子を有する様々なGFF構成が知られている。本発明にしたがう特定の用途におけるGFFで達成される利得平坦化の程度は、フィルタの入力の総合利得形状、特定のフィルタ構成等に強く依存し得る。一実施形態において、利得はピーク間で約1 dBより小さい変動を示すように平坦化され得る。スパンが非常に長く、大量の利得補償損失をもつ増幅器では、平坦化された利得変動が、スパンが短い場合に比して、悪化し得る。

#### 【0024】

例えば図2に示されるように、HREのラマン部とEDFA部の間にGFFを配置し、EDFA部の出力におけるGFFを回避することで、妥当なポンプパワーを用いてHREが伝送路に高信号パワーを供給することが可能になる。長距離海中システムにおいて、HREのEDFA部をポンピングするために利用できるポンプパワーは実際上約400 mWより低い値に制限され得る。本発明にしたがうシステムの一例示実施形態において、120 kmをこえる伝送スパンを約400 mWより低いEDFA部へのポンプパワーを用いて達成することができる。

40

#### 【0025】

ポンプパワー効率における上記の利点は、GFFがEDFA部の出力に設けられる構成に比して、増幅器の総合雑音性能を有意に低下させずに達成することができる。HREによって発生される雑音への寄与因子には、ラマン部及びEDFA部で発生する増幅自然放出(ASE)雑音及びラマン部で発生されるマルチパス干渉(MPI)雑音がある。図3

50

は、本発明にしたがう、96チャンネル用に設計された前フィルタリングHREのラマン部及びEDFA部で発生されるASE及びMPIのレベルを示すシミュレートされた光信号対雑音比の逆数(1/OSNR)対スパン長の、対数スケールでのグラフ300を示す。グラフ300において、それぞれのマーカーはチャンネルを表す。円形マーカー302, 308及び314はHREのラマン部で発生するASEを示し、方形マーカー304, 312及び318はHREのEDFA部で発生するASEを示し、菱形マーカー306, 310及び316はHREのラマン部で発生するMPIを示す。

#### 【0026】

図示されるように、120km以上のスパン長では、HREのラマン部によるASE雑音がHREのEDFA部によるASE雑音より支配的である。スパン長が120kmをこえて長くなるとともに、EDFA部は利得形状が極端になり、範囲が広がるOSNRを示すが、ラマン部で発生するASEはEDFAでのASEのレベルの2倍より大きいままである。ラマン部による雑音はEDFA部による雑音より支配的である場合、ラマン部とEDFA部の間にGFFを設ければ、EDFA部の出力にGFFを設ける場合に比して、総合増幅器雑音性能に与える悪影響が最小限になる。すなわち、本発明にしたがう構成がそのようなシステムに用いられれば、妥当なポンプパワーを用い、システムの総合雑音性能を有意に低下させずに、より高い信号パワーを伝送路に投入することができる。

#### 【0027】

例えば図4は、本発明にしたがって前フィルタリングを用いる150kmHREについての光信号対雑音比の逆数(1/OSNR)対波長の、対数スケールでのグラフ400を示す。プロット402及び404はそれぞれラマン部で発生するASE及びMPIのレベルを示し、プロット406はEDFA部で発生するASEのレベルを示す。プロット408はラマン部のASE402及びMPI404並びにEDFA部のASE406から得られる総合増幅器雑音性能を示す。図5は、後フィルタリングを用いるHREについての光信号対雑音比の逆数(1/OSNR)対波長の、対数スケールでのグラフ500を示す。プロット502及び504はそれぞれラマン部で発生するASE及びMPIのレベルを示し、プロット506はEDFA部で発生するASEのレベルを示す。プロット508はラマン部のASE502及びMPI504並びにEDFA部のASE506から得られる総合増幅器雑音性能を示す。図4及び5に示されるプロットは、単段増幅器について計算した、総投入パワーが21dBmのHREを用いてシミュレートした96チャンネルを有するシステムから得られたデータを用いて作成した。シミュレートしたHREのラマン部は1450nmでポンピングし、EDFA部は980nmでポンピングした。シミュレートしたシステムのGFFは図示される信号帯域幅において5.3dBの平均損失及び7.9dBのピーク損失を与えた。

#### 【0028】

GFFがラマン部とEDFA部の間に結合された、図4に関連するシステムに対しては、所要の投入パワーを達成するためにEDFAポンプパワーを295mWに設定した。GFFがEDFA部の出力に設けられた、図5に関連するシステムに対しては、所要の投入パワーを達成するためにEDFAポンプパワーを1072mWに設定した。図4及び5に示されるように、ラマン部による雑音寄与402, 404及び502, 504は、EDFA部で発生するASE雑音406, 506に対して支配的であり、GFFの位置による変化はなかった。GFFがEDFA部の後に配置された場合には、図5に示されるように、EDFA部で発生するASE雑音に改善が見られるが、プロット408及び508に示されるように、図4及び5に関連するシステムの総合雑音性能はほぼ同等である。したがって、本発明にしたがうシステムにより、システム雑音性能に有意な影響を与えずに、EDFA部の出力にGFFを有するシステムよりかなり低いポンプパワーの使用が可能になる。ポンプパワーが制限される場合、例えば長距離海中システムにおいて、本発明にしたがうシステムにともなう効率により、EDFA部の出力にGFFを有するシステムに比して、システム最大展開距離に大きな利点を得ることができる。

#### 【0029】

10

20

30

40

50

本発明にしたがう前フィルタリングの利点はリモート光ポンピング増幅器（R O P A）を備えるシステムにおいても得ることができる。例えば図7は、ラマン部202aの伝送ファイバセグメント206aで発生するラマン利得がR O P A 702による利得で増補される、増幅器/中継器構成108aを示す。R O P Aの構成は当業者には既知であり、一般に、伝送ファイバ110に組み込まれたドーフトファイバセグメント704，例えばエルビウムドーフトファイバセグメントを有する。図示される例示実施形態において、ドーフトファイバセグメント704は伝送ファイバセグメント708と206aの間に配置される。

#### 【0030】

伝送ファイバセグメント206a及びドーフトファイバセグメント704を通過して伝搬している光信号を増幅するために1つ以上のポンプ源でこれらのファイバをポンピングすることができる。図示される例示実施形態において、単ラマン/R O P Aポンプ源706が増幅器/中継器108aに設けられる。セグメント206a及びドーフトセグメント704のいずれをもポンピングするためのエネルギーはカブラ208によってポンプ源706から結合させることができる。伝送ファイバを通過して光信号が伝搬するとともに、ドーフトファイバセグメント704のポンピングによって信号に利得が与えられ、伝送ファイバセグメント206aのポンピングによってラマン利得が与えられる。一実施形態において、R O P Aのドーフトセグメント704はポンプ源706から20～120kmの距離において伝送路に物理的に配置することができる。単ラマン/R O P Aポンプ源706が示されているが、ラマン部202a及びR O P A 702に対して独立のポンプ源を設ける

#### 【0031】

図示される例示実施形態108aにおいて、利得平坦化フィルタ（G F F）220は、前フィルタリングを提供するため、ラマン部202aとE D F A部204の間に設けられる。総合増幅器雑音はR O P A及びラマン部のA S E雑音成分に支配され得るから、前フィルタリングはE D F A部204の出力におけるG F Fを回避する一方で上述したようなポンプパワー効率に関する利点を提供する。

#### 【0032】

本明細書に説明した実施形態は本発明を利用する多くの実施形態の内のいくつかにすぎず、限定ではなく、例証として本明細書に述べられている。本発明の精神及び範囲を実質的に逸脱せずに、当業者には容易に明らかであろう、多くのその他の実施形態がなされ得る。

#### 【符号の説明】

#### 【0033】

- 100 光通信システム
- 102 送信器
- 104 光伝送路
- 106 受信器
- 108 光増幅器
- 110 光伝送ファイバ
- 202 ラマン部
- 204 E D F A部
- 206 伝送ファイバセグメント
- 208, 214 カブラ
- 210 ラマンポンプ源
- 212 E D F Aポンプ源
- 216 エルビウムドーフトファイバセグメント
- 218, 222, 224 アイソレータ
- 220 利得平坦化フィルタ（G F F）

10

20

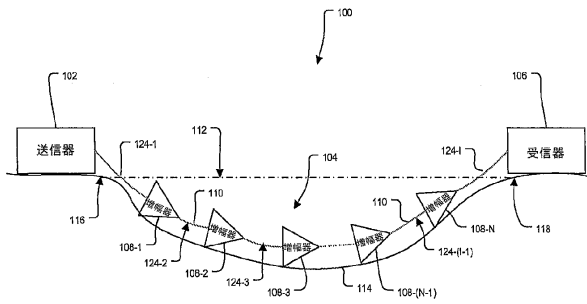
30

40

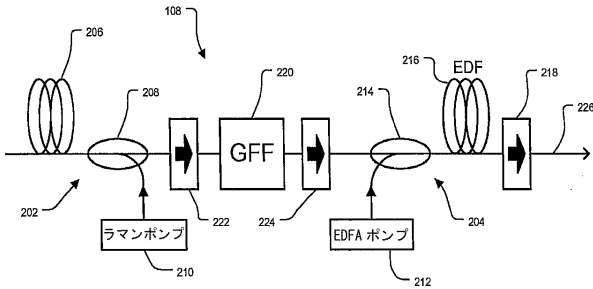
50

2 2 6 増幅器出力

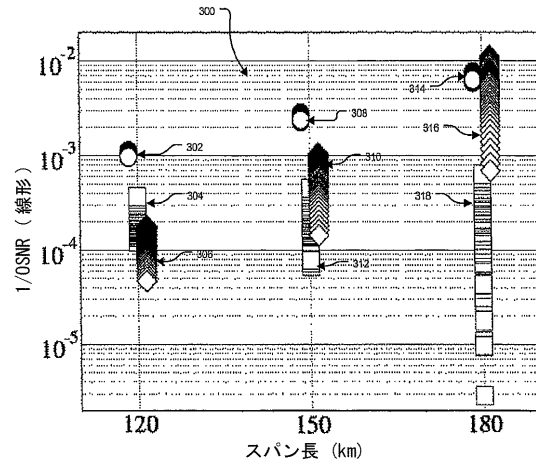
【図1】



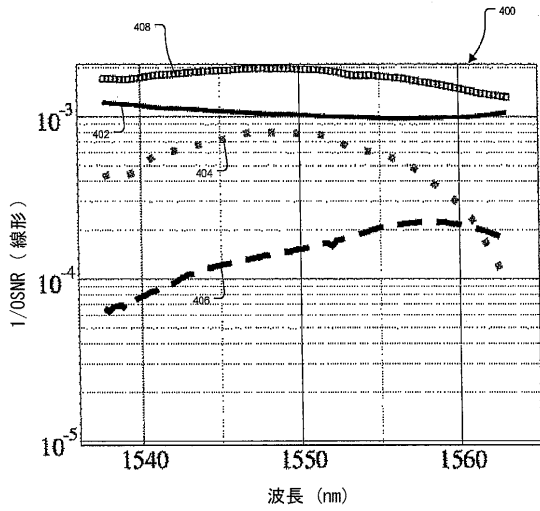
【図2】



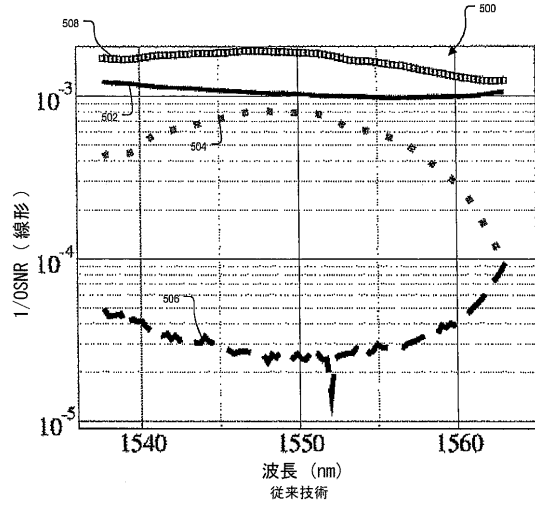
【図3】



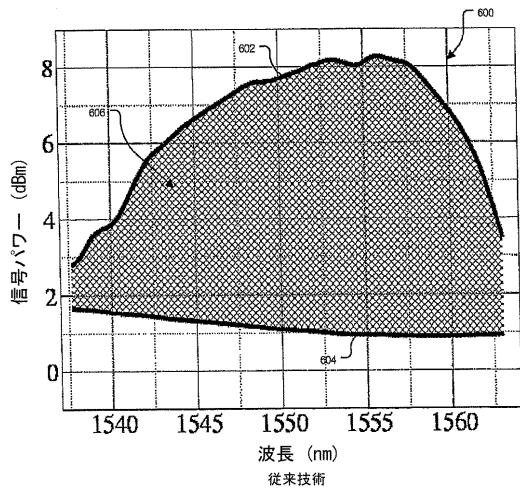
【 図 4 】



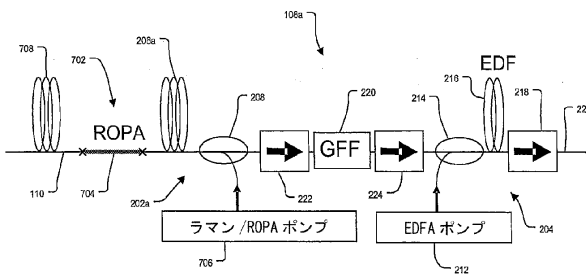
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



## フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I

H 0 4 B 10/02 (2006.01)

H 0 1 S 3/067 (2006.01)

(72)発明者 ピリペツキー, アレクセイ エヌ

アメリカ合衆国 ニュージャージー州 0 7 7 2 2 コルツ ネット バーチ レイン 7

(72)発明者 ルセロ, アラン ジェイ

アメリカ合衆国 ニュージャージー州 0 8 8 1 6 イースト ブランズウィック サウス ウッド  
ランド アヴェニュー 8

審査官 工藤 一光

(56)参考文献 特開2003-298159(JP,A)

特開2004-282025(JP,A)

特開2002-341390(JP,A)

特表2004-519702(JP,A)

特表2002-520888(JP,A)

特開2006-108499(JP,A)

特開2005-70522(JP,A)

米国特許出願公開第2002/131160(US,A1)

Alan J. Lucero, Dmitri G. Foursa, Dmitriy Kovsh, Morten Nissov, Alexei N. Pilipetskii  
, Long-Haul Raman-assisted EDFA Systems with Ultra-long Spans, Optical Fiber Communica  
tion and the National Fiber Optic Engineers Conference, 2007, 米国, IEEE, 2007年  
3月25日, OFC/NFOEC 2007, p. 1 - 3

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04B10/00-10/28

H04J14/00-14/08

H01S3/067

H01S3/30