

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2021-518056
(P2021-518056A)

(43) 公表日 令和3年7月29日(2021.7.29)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)
HO 1 S	3/10	(2006.01)	HO 1 S	3/10	D	2H250
GO 2 F	1/35	(2006.01)	GO 2 F	1/35	501	2K102
GO 2 B	6/02	(2006.01)	GO 2 B	6/02	461	5F172
GO 2 B	6/036	(2006.01)	GO 2 B	6/036		5K102
HO 4 B	10/291	(2013.01)	HO 4 B	10/291		

審査請求 有 予備審査請求 未請求 (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2020-554911 (P2020-554911)
 (86) (22) 出願日 平成30年4月11日 (2018.4.11)
 (85) 翻訳文提出日 令和2年10月6日 (2020.10.6)
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2018/015208
 (87) 国際公開番号 WO2019/198171
 (87) 国際公開日 令和1年10月17日 (2019.10.17)

(71) 出願人 000004237
 日本電気株式会社
 東京都港区芝五丁目7番1号
 (74) 代理人 100103894
 弁理士 冢入 健
 (72) 発明者 ル タヤンディエ ドゥ ガボリ エマニ
 ユエル
 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株
 式会社内
 (72) 発明者 松本 恵一
 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株
 式会社内

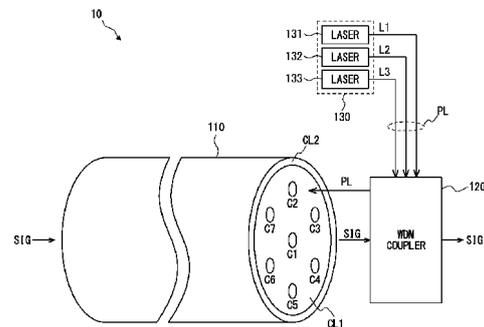
Fターム(参考) 2H250 AC66 AC93 AC96 AH34
 2K102 AA15 BA13 BB01 BC01 BD02
 CA20 CA21 DA06 DC08 EB20
 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光増幅器、光通信システム及び光増幅方法

(57) 【要約】

消費電力及びサイズを抑えつつラマン増幅を行うことができる光増幅器を提供する。マルチコアファイバ(110)は、ダブルクラッド構造を有する。ダブルクラッド構造は、多重光信号(SIG)を伝送するコア(C1~C7)と、コア(C1~C7)を含むクラッド(CL1)と、を有する。光源(130)は、マルチコアファイバ(110)における誘導ラマン散乱により多重光信号(SIG)を増幅するための励起光(PL)を出力する。励起光(PL)は、マルチモードレーザ光(L1~L3)を多重化することで生成される。WDMカプラ(120)は、励起光(PL)をマルチコアファイバ(110)のクラッド(CL1)に結合する。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

ダブルクラッド構造を有し、前記ダブルクラッド構造は光信号が伝送される複数のコアと前記コアを含むクラッドとを有する、マルチコアファイバと、

前記マルチコアファイバにおいて誘導ラマン散乱によって前記光信号を増幅するために用いられる、複数の第 1 のマルチモードレーザ光を多重化して生成される第 1 の励起光を出力する第 1 の光源と、

前記マルチコアファイバの前記クラッドに前記第 1 の励起光を結合する第 1 の光カプラと、を備える、

光増幅器。

10

【請求項 2】

前記第 1 のマルチモードレーザ光のスペクトルの一部又は全部は重複している、請求項 1 に記載の光増幅器。

【請求項 3】

前記第 1 のマルチモードレーザ光が波長多重又はモード多重されて、前記第 1 の励起光が生成される、

請求項 1 又は 2 に記載の光増幅器。

【請求項 4】

前記光信号は、前記マルチコアファイバを通じて第 1 の方向に伝送され、

前記第 1 の励起光は、前記マルチコアファイバを通じて、前記第 1 の方向とは反対の第 2 の方向に伝送される、

請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の光増幅器。

20

【請求項 5】

前記第 1 の光カプラは、前記マルチコアファイバの第 1 の端部に配置され、前記マルチコアファイバで伝送及び増幅された前記光信号は、前記マルチコアファイバの前記第 1 の端部から出力される、

請求項 4 に記載の光増幅器。

【請求項 6】

前記クラッドの直径は、前記第 1 の方向に連続的に増加する、

請求項 4 又は 5 に記載の光増幅器。

30

【請求項 7】

前記マルチコアファイバは、マルチコアファイバの複数の領域を有し、

前記領域の前記クラッドの直径は、それぞれ、前記第 1 の方向で異なり、かつ、増加する、

請求項 4 又は 5 に記載の光増幅器。

【請求項 8】

前記マルチコアファイバにおいて前記誘導ラマン散乱によって前記光信号を増幅するために用いられる、複数の第 2 のマルチモードレーザ光を多重化して生成される第 2 の励起光を出力する第 2 の光源と、

前記マルチコアファイバの前記クラッドに前記第 2 の励起光を結合する第 2 の光カプラと、をさらに備え、

前記第 2 の励起光は、前記マルチコアファイバを通じて前記第 1 の方向に伝送される、

請求項 4 乃至 7 のいずれか一項に記載の光増幅器。

40

【請求項 9】

前記第 2 のマルチモードレーザ光のスペクトルの一部又は全部は重複している、

請求項 8 に記載の光増幅器。

【請求項 10】

前記第 2 のマルチモードレーザ光が波長多重又はモード多重されて、前記第 2 の励起光が生成される、

請求項 8 又は 9 に記載の光増幅器。

50

【請求項 1 1】

前第 2 の光カプラは、前記マルチコアファイバの第 2 の端部に配置され、前記光信号は、前記マルチコアファイバの前記第 2 の端部に入力される、
請求項 8 乃至 1 0 のいずれか一項に記載の光増幅器。

【請求項 1 2】

前記マルチコアファイバは、マルチコアファイバ増幅器の一部と、マルチコアファイバの一部と、を含み、

前記マルチコアファイバ増幅器の一部の前記コアには、希土類元素がドープされており、

前記マルチコアファイバの一部は、前記マルチコアファイバ増幅器の一部と前記第 1 の光カプラとの間に接続される、

請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載の光増幅器。

【請求項 1 3】

光信号を出力する第 1 の光通信装置と、

前記第 1 の光通信装置から出力される前記光信号を増幅する少なくとも 1 つの光増幅器と、

前記光増幅器で増幅された光信号を受信する第 2 の光通信装置と、を備え、

前記光増幅器は、

ダブルクラッド構造を有し、前記ダブルクラッド構造は光信号が伝送される複数のコアとコアを含むクラッドとを有する、マルチコアファイバと、

前記マルチコアファイバにおいて誘導ラマン散乱によって前記光信号を増幅するために用いられる、複数の第 1 のマルチモードレーザ光を多重化して生成される第 1 の励起光を出力する第 1 の光源と、

前記マルチコアファイバの前記クラッドに前記第 1 の励起光を結合する第 1 の光カプラと、を備える、

光通信システム。

【請求項 1 4】

2 つ以上の前記光増幅器が、前記第 1 及び第 2 の光通信装置の間に直列的に配置される

、

請求項 1 3 に記載の光通信システム。

【請求項 1 5】

複数の第 1 のマルチモードレーザ光を多重化して第 1 の励起光を生成し、

マルチコアファイバのクラッドに前記第 1 の励起光を結合し、

前記マルチコアファイバはダブルクラッド構造を有し、

前記ダブルクラッド構造は光信号が伝送される複数のコアと、前記コアを含むクラッドと、を有し、

前記第 1 の励起光は、前記マルチコアファイバにおいて誘導ラマン散乱によって前記光信号を増幅するために用いられる、

光増幅方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0 0 0 1】**

本発明は、光増幅器、光通信システムおよび光増幅方法に関する。

【背景技術】**【0 0 0 2】**

光通信分野では、光ファイバリンクの容量を増加させることが望ましい。これは、光ファイバリンク上で伝送される信号のスペクトル効率 (S E : Spectral Efficiency) を増加させることで実現できる。これを達成する一般的な方法は、送信される情報に対してより効率的な変調フォーマットを使用することである。この変調フォーマットは、波長分割多重 (W D M : Wavelength Division Multiplexing) と組み合わせて用いることができる

10

20

30

40

50

。また、長距離伝送の可能性を維持しつつ、1本のファイバによる伝送容量を増大させるため、空間分割多重 (SDM: Space Division Multiplexing) が用いられる。

【0003】

非特許文献1では、40波長の128Gb/s PM-QPSK (Polarization Multiplexed - Quadrature Phase Shift Keying: 偏波多重直交位相シフトキーイング) 信号を6,160km以上の伝送に用いられる、7つのコアを含むマルチコアファイバ (MCF: Multi Core Fiber) で実装されたSDMが開示されている。MCFは、同一ファイバ内で光信号を伝送するいくつかのコアと、MCFを利得媒体とするファイバ増幅器からなるマルチコア (MC: multicore) - エルビウムドープファイバ増幅器 (EDFA: Erbium Doped Fiber Amplifier) からなる。MC-EDFAは、直接コア励起法により、分離された励起光源で1つのMCF利得媒体を含む各コアを励起する。また、特許文献1では、コアに希土類元素をドープした他のマルチコアファイバ増幅器が提案されている。

10

【0004】

非特許文献1のシステムによれば、システムの容量を、MCFのコア数倍、すなわち非特許文献1のコア数の7倍にすることができる。MCFを用いることにより、各コアにおけるWDMに加えて、多数のコアを用いて光信号を空間的に多重化することが可能である。これにより、伝送距離を犠牲にすることなく、ファイバの伝送容量を増大させることができる。

【0005】

非特許文献2は、個別コア励起 (ICP: Individual Core Pumping)、共有コア励起 (SCP: Shared Core Pumping) 及び共通クラッド励起 (CCP: Common Cladding Pumping) などの様々な異なる増幅方法を開示している。非特許文献2では、これらの技術をMC-EDFAに適用している。

20

【0006】

さらに、ラマン増幅も、優れた雑音特性を有する、広く知られた増幅プロセスである。ラマン増幅方式の一例が非特許文献3によって提案されている。この方式は、誘導ラマン散乱 (SRS: Stimulated Raman Scattering) に依拠し、ファイバ中のフォノン放出により、短波長励起光 (高周波) が長波長 (低周波) の信号を非線形状態で増幅する。

典型的には、1430nm~1490nmの範囲の励起光を使用して、C及びLバンドの一方または両方の信号を増幅する。ラマン増幅は伝送ファイバ内の広範囲で起こるため、分布増幅である。ラマン増幅の雑音特性はEDFAの雑音特性より優れている。ハイブリッドEDFA/ラマン増幅を実現するために、EDFAにラマン増幅を適用することができる。しかし、非特許文献3に記載されるように、ラマン増幅はEDFAよりも消費電力が大きい。そのため、電源供給が制限されると、低雑音特性のラマン増幅の利用は制限される。

30

【0007】

さらに、ラマン増幅に関連する2つの問題が知られている。第1には、異なる波長の励起光が波長多重される (すなわちWDM) ことである。

しかし、高出力励起光は広いスペクトルを有するので、多重化された励起光のスペクトルはいくつかの領域で重複し得る。重複したスペクトル部分の波長領域における多重化は、異なる励起光の重複の抑制につながり、増幅には使用されない。これにより、非効率的な消費電力が増加する。

40

【0008】

第2に、ラマン増幅は、信号有効領域による励起光パワーの比である、ファイバコアに依存した励起光のパワー密度に依存する。このため、伝送光信号の劣化が激しいことからファイバコア直径を調整することができず、ラマン増幅を伝送距離に応じて調整することができない。したがって、ラマン増幅の設計は、伝送距離パラメータの観点から、信号対雑音及び電力消費の点で最適に設計できない。

【0009】

加えて、特許文献2及び非特許文献4において、MCFによるSDMに対するラマン増

50

幅が提案されている。この場合には、MCF内のコアのそれぞれに励起光を与え、各コアでラマン増幅を行う。よって、MCFによるSDMに対するラマン増幅は、大容量化及び並列化を実現できる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】米国特許公開第2008/0018989号明細書

【特許文献2】米国特許公開第2007/0268569号明細書

【非特許文献】

【0011】

【非特許文献1】H. Takahashi et al., "First Demonstration of MC-EDFA-Repeatered SDM Transmission of 40 x 128-Gbit/s PDM-QPSK Signals per Core over 6,160-km 7-core MCF", ECOC 2012, paper Th.3.C.3.

【非特許文献2】E. Le Taillandier de Gabory et al., "Transmission of 256Gb/s PM-16QAM Signal through 7-Core MCF and MC-EDFA with Common Cladding and Variable Shared Core Pumping for Reduction of Power Consumption", ECOC 2017, paper M.1.E.2

【非特許文献3】J-X. Cai et al., "49.3 Tb/s Transmission Over 9100 km Using C+L EDFA and 54 Tb/s Transmission Over 9150 km Using Hybrid-Raman EDFA", Journal of Lightwave technology, Vol. 33, No. 13, pages 2724-2734.

【非特許文献4】T. Mizuno et al., "Hybrid Cladding-pumped EDFA/Raman for SDM Transmission Systems Using Core-by-core Gain Control Scheme", ECOC 2017, paper M.1.E.3

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

しかし、上述のラマン増幅には、いくつかの問題がある。非特許文献3に記載されるように、ラマン増幅はEDFAよりも消費電力が大きい。そのため、電源供給が制限されると、低雑音特性のラマン増幅の利用は制限される。また、非特許文献4におけるMCFによるSDMに対するラマン増幅は、大容量化及び並列化を実現できる。しかしながら、各コアに励起光を供給する必要があるため、励起光を供給するための多数の装置が必要となる。その結果、コストが高くなり、装置の設置面積が大きくなる。そのため、ラマン増幅器の消費電力、コスト及びサイズの低減が求められている。

【0013】

本発明は、上記の事情に鑑みてなされたものであり、消費電力及びサイズを抑えつつラマン増幅を行うことができる光増幅器を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明の一態様である光増幅器は、ダブルクラッド構造を有し、前記ダブルクラッド構造は光信号が伝送される複数のコアと前記コアを含むクラッドとを有する、マルチコアファイバと、前記マルチコアファイバにおいて誘導ラマン散乱によって前記光信号を増幅するために用いられる、複数の第1のマルチモードレーザ光を多重化して生成される第1の励起光を出力する第1の光源と、前記マルチコアファイバの前記クラッドに前記第1の励起光を結合する第1の光カップラと、を備える、ものである。

【0015】

本発明の一態様である光通信システムは、光信号を出力する第1の光通信装置と、前記第1の光通信装置から出力される前記光信号を増幅する少なくとも1つの光増幅器と、前記光増幅器で増幅された光信号を受信する第2の光通信装置と、を備え、前記光増幅器は、ダブルクラッド構造を有し、前記ダブルクラッド構造は光信号が伝送される複数のコアとコアを含むクラッドとを有する、マルチコアファイバと、前記マルチコアファイバにおいて誘導ラマン散乱によって前記光信号を増幅するために用いられる、複数の第1のマル

10

20

30

40

50

チモードレーザ光を多重化して生成される第 1 の励起光を出力する第 1 の光源と、前記マルチコアファイバの前記クラッドに前記第 1 の励起光を結合する第 1 の光カプラと、を備えるものである。

【 0 0 1 6 】

本発明の一態様である光増幅方法は、複数の第 1 のマルチモードレーザ光を多重化して第 1 の励起光を生成し、マルチコアファイバのクラッドに前記第 1 の励起光を結合し、前記マルチコアファイバはダブルクラッド構造を有し、前記ダブルクラッド構造は光信号が伝送される複数のコアと、前記コアを含むクラッドと、を有し、前記第 1 の励起光は、前記マルチコアファイバにおいて誘導ラマン散乱によって前記光信号を増幅するために用いられるものである。

10

【発明の効果】

【 0 0 1 7 】

本発明によれば、消費電力及びサイズを抑えつつラマン増幅を行うことができる光増幅器を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 8 】

【図 1】実施の形態 1 にかかる光通信システムを模式的に示すブロック図である。

【図 2】実施の形態 1 にかかるファイバラマン増幅器の構成を示す図である。

【図 3】実施の形態 1 にかかるファイバラマン増幅器の構成を示す図である。

【図 4】実施の形態 1 にかかる繰り返し配置された F R A の構成を示す図である。

20

【図 5】実施の形態 1 にかかるファイバラマン増幅器及び比較例のシミュレーション結果を示す図である。

【図 6】実施の形態 2 にかかるファイバラマン増幅器の構成を示す図である。

【図 7】レーザから放射された光及び励起光のスペクトルを示す図である。

【図 8】レーザの消費電力の比較を示す図である。

【図 9】実施の形態 3 にかかるファイバラマン増幅器の構成を示す図である。

【図 10】実施の形態 4 にかかるファイバラマン増幅器の構成を示す図である。

【図 11】多重光信号のパワーのシミュレーションを示す図である。

【図 12】実施の形態 5 にかかるファイバラマン増幅器の構成を示す図である。

30

【図 13】多重光信号のパワーのシミュレーションを示す図である。

【図 14】実施の形態 6 にかかるファイバラマン増幅器の構成を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 9 】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。なお、図中、同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明は適宜省略する。

【 0 0 2 0 】

実施の形態 1

実施の形態 1 にかかるファイバラマン増幅器について説明する。図 1 は、実施の形態 1 にかかる光通信システム 100 を模式的に示す図である。光通信システム 100 は、光通信装置 101 及び 102、ファイバラマン増幅器 (F R A : Fiber Raman Amplifier) 100 を有する。

40

【 0 0 2 1 】

光通信装置 101 及び 102 は、複数のトランスポンダを有する、光トランシーバとして構成される。本実施の形態では、簡略化のため、光通信装置 101 が、F R A 10 を介して、光通信装置 102 へ多重光信号 S I G を出力する例について説明する。なお、光通信装置 102 が F R A を介して光通信装置 101 へ多重光信号を出力してもよいことは、言うまでもない。

【 0 0 2 2 】

光通信装置 101 は、トランスポンダから出射された光信号を多重化して得られる多重光信号 S I G を出力する。ここで、トランスポンダから出射される光信号は、波長多重方

50

式（例えば、波長分割多重（WDM：Wavelength Division Multiplexing）と特定の多重方式（例えば、空間分割多重（SDM：Space Division Multiplexing））とにより多重化される。

【0023】

光通信装置101から出力された多重光信号SIGは、光通信装置102に送信される間に減衰する。よって、本構成では、多重光信号SIGの減衰を補償するために、少なくとも一つのFRA10が光通信デバイス101と光通信デバイス102との間に設けられる。

【0024】

FRA10は、誘導ラマン散乱（SRS：Stimulated Raman Scattering）により多重光信号SIGを増幅する光増幅器として構成されている。なお、SRSによる増幅をラマン増幅と称する。FRA10は、多重光信号SIGを増幅して光通信装置102に出力する。これにより、光通信装置102は、適切な復調を行うのに十分なパワーを有する多重光信号SIGを受信することができる。

10

【0025】

FRA10の構成について説明する。図2及び図3に、実施の形態1にかかるFRA10の構成を示す。FRA10は、マルチコアファイバ（MCF：Multicore Fiber）110、WDMカプラ120及び光源130を有する。

【0026】

MCF110は、ダブルクラッド構造を有し、7つのコアC1～C7を有する。MCF110の長さは、一般に数十キロメートル、例えば80キロメートルである。光通信装置101から出力される多重光信号SIGは、コアC1～C7を介して伝送される。つまり、WDMによって多重化された多重光信号SIG中の光信号はコアC1～C7に分配されるため、MCF110中でSDMによって多重化される。

20

【0027】

本構成では、コアC1～C7は内側クラッドCL1に含まれ、内側クラッドCL1は外側クラッドCL2に含まれる。外側クラッドCL2の屈折率は内側クラッドCL1の屈折率よりも低い。例えば、外側クラッドCL2は、内側クラッドCL1の表面に低屈折率樹脂の層を塗布して形成してもよい。

【0028】

また、ダブルクラッド構造は、単一のクラッドと、この単一クラッドを囲む空気（空気層または空気孔）とによって構成されてもよい。この場合、空気の屈折率は一般に単一のクラッドよりも低いので、単一のクラッドを内側クラッドCL1として機能させることができ、かつ、空気を外側クラッドCL2として機能させることができる。

30

【0029】

光源130（第1の光源とも称する）は、レーザ装置やレーザダイオードなどの複数のレーザを有する。本実施の形態では、光源130は、マルチモードレーザである3つのレーザ131～133を有する。レーザ131～133は、それぞれ、励起光としてMCF110に供給されるマルチモードレーザ光であるレーザ光L1～L3（第1のマルチモードレーザ光とも称する）を出力する。なお、レーザの数は適宜変更可能である。

40

【0030】

例えば、レーザ131～133から出射されるレーザ光L1～L3の中心波長は、所定の範囲内において異なっている。この範囲は、典型的には1430nm～1490nmである。レーザ光L1～L3のそれぞれのパワーは、典型的には数ワットである。レーザ131～133のそれぞれは、非特許文献3及び非特許文献4で用いられるレーザのような単一モードレーザに比べて電力効率が高い。レーザ光のスペクトルの全部又は一部は、重ね合わされてもよい。

【0031】

MCF110の出力（第1の端部とも称する）及び光源130の出力は、WDMカプラ120に接続される。WDMカプラ120は、MCF110を介して伝送された多重光信

50

号SIGを光通信装置102に出力できる。WDMカブラ120は、レーザ131～133から出射されたレーザ光L1～L3を合波する。この場合、レーザ光L1～L3を波長多重することができる。また、レーザ光L1～L3は、波長多重される前に偏波多重されてもよい。

【0032】

WDMカブラ120（第1の光カブラとも称する）は、合波されたレーザ光をMCF110の内側クラッドCL1に結合することで、合波されたレーザ光は内側クラッドCL1を介してMCF110の入力に伝送される（第2の端部とも称する）。これにより、励起光PL（第1の励起光とも称する）である合波されたレーザ光を用いて、コアC1～C7の全てを同時に励起する。MCF110はダブルクラッド構造を有しているため、ダブルクラッド構造を有しないMCFと同様に、内側クラッドCL1の外部において無駄になることなく、内側クラッドCL1を介して励起光PLを伝送することができる。

10

【0033】

ここで、多重光信号SIGの伝送方向を順方向（第1の方向とも称する）とする。順方向とは反対の方向を逆方向（第2の方向とも称する）とする。MCF110では、励起光PLは逆方向に伝送される。

【0034】

本実施の形態では、光通信装置101及び102は、37.5GHzのチャネル幅でPM-16QAM（位相変調-16直交振幅変調：Phase Modulation-16 Quadrature Amplitude Modulation）の変調方式を用いた200Gb/sの光信号を送受信することができる。各光通信装置から出力される多重光信号は、100波長の光信号を含む。コアC1～C7のそれぞれは、最大20Tb/sの光信号を送信することができるので、MCF110の総容量は最大で140Tb/sとなる。

20

【0035】

次に、FRA10の利点を検討するため、励起光がコアによって伝送される比較例について説明する。この例では、非特許文献4のように、MCFのコアでラマン増幅が直接的に行われる。この場合では、1コア当たり3つのレーザ光を波長多重することで、広帯域化及び高利得化を図っている。よって、比較例では、1コア当たり3つのレーザが必要である。したがって、140Tb/sの総容量をMCF110によって実現する場合、 $3 \times 7 = 21$ 個のレーザが必要である。

30

【0036】

これに対し、FRA10によれば、多重光信号SIGのラマン増幅は、より少数の励起用レーザで実現することができる。これにより、FRA全体のサイズを抑制し、低コストで製造する上で有利である。

【0037】

また、光通信装置101と光通信装置102との間の距離が数百km以上の場合には、光通信装置101と光通信装置102との間に複数のFRAを直列的に配置してもよい。図4に、実施の形態1にかかる繰り返し配置されたFRAの構成を示す。図4に示すように、N（Nは、2以上の整数）個のFRA10__1～10__Nが直列的に配置されている。

40

【0038】

上述のように、1つのFRA10は、80kmの1つのMCF110をカバーすることができる。これにより、FRA10__1～10__Nは、 $N \times 80$ kmをカバーすることができる。例えば、光通信装置101と光通信装置102との間の距離が400kmである場合には、Nは5に設定される。本構成によれば、多重光信号SIGはFRA10__1～10__Nで繰り返し増幅されるので、長距離伝送による多重光信号SIGの減衰を適切に補償することができる。

【0039】

図5に、本構成及び比較例のシミュレーション結果を示す。図5において、実線は実施の形態1にかかるFRAに含まれるレーザの数を表す。破線は、比較例にかかるFRAを

50

直列的に配置した場合のレーザ数を示す。

【 0 0 4 0 】

比較例では、F R A の数が1つ増えると、レーザの数は21個増える。N = 5 のとき、レーザの数は105個にもなる。これに対し、本構成によれば、F R A の数が1つ増えるとレーザの数は3個しか増えない。N = 5 のとき、レーザの数はわずか15個である。

【 0 0 4 1 】

よって、F R A を直列的に配置しても、本構成では、励起用レーザの数を減らすことができ、F R A の全体サイズ及びコストを抑えることができる。

【 0 0 4 2 】

実施の形態2

次に、実施の形態2にかかるファイバマン増幅器について説明する。図6に、実施の形態2にかかるF R A 20の構成を模式的に示す。F R A 20は、F R A 10のWDMカプラ120及び光源130を、空間分割多重(SDM: Space Division Multiplex)カプラ220(第1の光カプラとも称する)及び光源230(第1の光源とも称する)に置き換えた構成を有する。

【 0 0 4 3 】

光源230は、レーザ131及び132とモードカプラ230Aとを有する。換言すれば、光源130と比較して、光源230は、レーザ133を除去し、かつ、モードカプラ230Aを追加した構成を有する。レーザ131及び132から出射されたレーザ光L1及びL2は、入力において空間分割多重を行うモードカプラ230Aによりモード多重される。励起光PLである多重光は、SDMカプラ220の入力に供給される。SDMカプラ220は、励起光PLをMCF110の内側クラッドCL1に結合する。

【 0 0 4 4 】

よって、本構成によれば、実施の形態1と同様に、MCFを通じて伝送される多重光信号SIGは、適宜SR5によって増幅される。

【 0 0 4 5 】

また、F R A 20の利点について説明する。図7に、光L1及びL2と励起光PLとのスペクトルを示す。図7では、F R A 20内の励起光PLをPL__2で示している。また、図7には、例えばWDMカプラ120によりレーザ光L1及びL2が波長多重された励起光PL__Cが、比較例Aとして示されている。

【 0 0 4 6 】

図7に示すように、励起光PL__2及びPL__Cのピークは、カプラの挿入損失により、レーザ光L1及びL2のピークよりも低くなる。また、励起光PL__2及びPL__Cのピークはほぼ一致している。しかし、2つのピーク間の中央領域では、励起光PL__2のパワーは、励起光PL__Cのパワーよりも大きい。これは、励起光PL__2が波長多重ではなくモード多重されており、レーザ光L1及びL2を追加損失なく多重化できるためである。

【 0 0 4 7 】

その結果、本構成によれば、F R A 10に比べて、レーザが発するレーザ光のパワーを低減することができる。図8に、レーザの消費電力の比較を示す。図8では、非特許文献4の2つのレーザの消費電力を比較例Bとして示している。図8に示すように、F R A 20は消費電力をさらに低減することができる。

【 0 0 4 8 】

実施の形態3

次に、実施の形態3にかかるファイバマン増幅器について説明する。図9に、実施の形態3にかかるF R A 30の構成を示す。F R A 30は、F R A 10のMCF110を、MCF310に置換し、かつ、MC-EDFA(マルチコア-エルビウムドープファイバ増幅器: Multi Core - Erbium Doped Fiber Amplifier)340を追加した構成を有する。本構成において、MC-EDFA340は、MCF310を介してSR5により増幅された多重光信号SIGをさらに増幅する。なお、図9では、簡略化のため、外側クラッドC

10

20

30

40

50

L 2 を省略している。

【 0 0 4 9 】

M C F 1 1 0 と同様に、M C F 3 1 0 もコア C 1 ~ C 7 を有する。しかし、M C F 3 1 0 の内側クラッド C L 1 の入力端の直径 D 1 は、出力端の直径 D 2 よりも小さい。内側クラッド C L 1 の直径は、順方向（または逆方向）に連続的に変化する。具体的には、内側クラッド C L 1 の直径は、入力端から出力端に向かって連続的に増加する。

【 0 0 5 0 】

この場合、実施の形態 1 と同様に、励起光 P L は逆方向へ伝送される。M C F 3 1 0 の出力端における励起光 P L のパワー密度は、大きな直径 D 2 により低下し、これによりラマン増幅の利得も低下する。また、M C F 3 1 0 の出力端からの距離が長くなると、S R S による消費のために、励起光のパワーが低下する。

10

【 0 0 5 1 】

すなわち、逆方向においては、励起光 P L のパワーが減少するのにしたがって、内側クラッド C L 1 の直径も減少する。よって、励起光 P L のパワー密度（すなわち、ラマン増幅の利得）は、逆方向の長い距離において平均化される。また、内側クラッド C L 1 の直径の変化を適切に設計することにより、励起光 P L （すなわち、S R S による振幅利得）のパワー密度を長い距離において一定に保つことができる。

【 0 0 5 2 】

励起光 P L のパワー密度は平均化されるか、一定であるため、多重光信号 S I G の伝送特性を変化させることなく、安定に保つことができる。したがって、本構成によれば、S R S によって、多重光信号 S I G をより高品質に増幅することができる。

20

【 0 0 5 3 】

実施の形態 4

次に、実施の形態 4 にかかるファイバラマン増幅器について説明する。図 1 0 に、実施の形態 4 にかかる F R A 4 0 の構成を示す。F R A 4 0 は、ファイバラマン増幅器 3 0 の M C F 3 1 0 を M C F 4 1 0 に置換した構成を有する。

【 0 0 5 4 】

M C F 4 1 0 は、M C F 4 1 0 A 及び 4 1 0 B を有する。M C F 4 1 0 A は、M C F 4 1 0 の入力側に配置される。M C F 4 1 0 B は、M C F 4 1 0 の出力側に配置される。M C F 4 1 0 A 及び 4 1 0 B は、スプライス点 4 1 0 C でスプライスされる。

30

【 0 0 5 5 】

M C F 3 1 0 と同様に、M C F 4 1 0 A 及び 4 1 0 B もコア C 1 ~ C 7 を有する。M C F 4 1 0 A 及び 4 1 0 B のそれぞれの内側クラッドの直径は一定である。しかし、M C F 4 1 0 A の内側クラッドの直径 D 3 は、M C F 4 1 0 B の内側クラッドの直径 D 4 よりも小さい。

【 0 0 5 6 】

M C F 3 1 0 と同様に、励起光 P L のパワー密度は、M C F 4 1 0 内で、内側クラッドの直径の変化によって制御できる。したがって、実施の形態 3 と同様に、励起光 P L のパワー密度を平均化し、又は、一定とすることができる。よって、本構成によれば、S R S によって、光信号をより高品質に増幅することができる。

40

【 0 0 5 7 】

本構成では、内側クラッドの直径は段階的に変化している。その結果、F R A 3 0 よりも励起光 P L のパワー密度を、より大まかに制御することができる。

【 0 0 5 8 】

図 1 1 に、多重光信号のパワーのシミュレーションを示す。図 1 1 では、F R A 3 0 、F R A 4 0 、E D F A のみ（E D F A - O N L Y ）の場合及び比較例が示されている。E D F A のみの場合は、F R A 3 0 の M C - E D F A 3 4 0 のみによって多重化がされる場合である。比較例は、非特許文献 4 の場合である。

【 0 0 5 9 】

ここでは、長さ 8 0 k m の M C F を有する 3 つの F R A を直列に配置することで、多重

50

光信号 S I G のパワーは、M C - E D F A によって 8 0 k m 毎に最大まで増幅される。8 0 k m の M C F での損失は 0 . 2 d B / k m である。

【 0 0 6 0 】

図 1 1 に示すように、E D F A のみの場合には、F R A で減衰が補償されないため、多重光信号 S I G のパワーが最も小さく、ダイナミックレンジが最大となる。非特許文献 4 の比較例では、E D F A のみの場合よりも 4 0 k m 後にパワーが大きくなるように、多重光信号 S I G が S R S で増幅される。一般に、送信時の最小電力が大きくなるほど、受信点における O S N R (光信号対雑音比 : Optical Signal to Noise Ratio) などの多重光信号 S I G の品質が高くなる。したがって、比較例の多重光信号 S I G の品質は、E D F A のみの場合よりも高くなる。

10

【 0 0 6 1 】

また、F R A 3 0 及び 4 0 では、M C F の内側クラッドの直径によって、逆方向へのラマン増幅が制御されている。これにより、F R A 3 0 及び 4 0 では、多重光信号 S I G のパワーが比較例に比べて好適に補償される。その結果、F R A 3 0 及び 4 0 のそれぞれにおける多重光信号 S I G の最小パワーは、比較例よりも大きくなる。したがって、F R A 3 0 及び 4 0 によれば、受信点における多重光信号 S I G の品質をより高めることができる。

【 0 0 6 2 】

しかし、上述したように、F R A 4 0 における励起光 P L のパワー密度は、F R A 3 0 よりも大まかに制御されているため、F R A 4 0 における多重光信号 S I G のパワーは、底部においては、F R A 3 0 よりも減少する。

20

【 0 0 6 3 】

しかし、F R A 3 0 の M C F 3 1 0 の構成は、M C F 4 1 0 の構成よりも複雑である。このため、連続的に直径が変化する M C F 3 1 0 の製造は比較的困難である。これに対し、M C F 4 1 0 は、互いに直径の異なる M C F 4 1 0 A 及び 4 1 0 B をスプライスした単純な構成である。よって、励起光 P L のパワー密度の平均化の効果は M C F 3 1 0 よりも劣るものの、M C F 4 1 0 の方が M C F 3 1 0 よりも容易に製造できる。

【 0 0 6 4 】

したがって、本構成によれば、低コスト製造と多重光信号の高品質な増幅とを両立可能な F R A を提供することができる。

30

【 0 0 6 5 】

実施の形態 5

次に、実施の形態 5 にかかるファイバラマン増幅器について説明する。図 1 2 に、実施の形態 5 にかかる F R A 5 0 の構成を示す。F R A 5 0 は、F R A 3 0 の M C F 3 1 0 を M C F 1 1 0 に置換し、光源 1 3 0 を光源 5 3 0 及び 5 5 0 に置換し、かつ、W D M カブラ 5 6 0 を追加した構成を有する。W D M カブラ 5 6 0 は、M C F 1 1 0 の入力端に配置される。

【 0 0 6 6 】

光源 5 3 0 (第 1 の光源とも称する) は、レーザ L 1 3 1 及び L 1 3 2 と同一のレーザ 5 3 1 及び 5 3 2 (第 1 のレーザとも称する) を有する。レーザ 5 3 1 及び 5 3 2 は、それぞれレーザ光 L 1 1 1 及び L 1 2 を出射する。レーザ光 L 1 1 及び L 1 2 は W D M カブラ 1 2 0 で多重化され、多重化された励起光 P L 1 (第 1 の励起光とも称する) は内側クラッド C L 1 に結合される。励起光 P L 1 は、逆方向に伝送される。

40

【 0 0 6 7 】

光源 5 5 0 (第 2 の光源とも称する) は、レーザ L 1 3 1 及び L 1 3 2 と同一のレーザ 5 5 1 及び 5 5 2 (第 2 のレーザとも称する) を有する。レーザ 5 5 1 及び 5 5 2 は、それぞれレーザ光 L 2 1 及び L 2 2 (第 2 のマルチモードレーザ光とも称する) を出射する。レーザ光 L 2 1 及び L 2 2 は W D M カブラ 5 6 0 (第 2 の光カブラとも称する) で多重化され、多重化された励起光 P L 2 (第 2 の励起光とも称する) は内側クラッド C L 1 に結合される。励起光 P L 2 は、順方向に伝送される。

50

【 0 0 6 8 】

上述したように、MCF 1 1 0の出力端からの距離（またはWDM 1 2 0）が長くなるほど、励起光 PL 1のパワー密度は小さくなる。一方、MCF 1 1 0の出力端からの距離（またはWDM 1 2 0）が長くなると、励起光 PL 1のパワー密度は大きくなる。つまり、励起光 PL 1のパワー密度の減少を、励起光 PL 2の増加で補うことができる。これにより、励起光 PL 1及び PL 2の合計パワー密度を平均化することができる。また、MCF 1 1 0を適切に設計して励起光のパワーを設定することで、励起光 PL 1及び PL 2（すなわち、ラマン増幅の利得）の合計パワー密度をより長い距離で一定に保つことができる。

【 0 0 6 9 】

図 1 3 に、多重光信号のパワーのシミュレーションを示す。図 1 3 では、FRA 3 0、4 0 及び 5 0、ならびに EDFA のみ（EDFA - ONLY）の場合が示されている。

図 1 1 に示すように、EDFA のみの場合は、FRA 3 0 の MC - EDFA 3 4 0 のみによって多重化される場合である。図 1 3 に示すように、8 0 km の長さの MCF を有する 3 つの FRA を直列的に配置することで、多重光信号 SIG のパワーが 8 0 km 毎に最大まで増幅される。

【 0 0 7 0 】

図 1 3 に示すように、EDFA のみの場合には、FRA で減衰が補償されないため、多重光信号 SIG のパワーのダイナミックレンジが最も小さくなる。FRA 5 0 では、ラマン増幅が PL 2 で励起される、入力端（0 km）1 5 km までの多重光信号のパワーが大きくなる。PL 2 により励起されたラマン増幅でパワーの減少を補償することができるので、多重光信号 SIG のパワーを減少させることができる。なお、電力の削減は、光通信デバイス 1 0 1 の出力電力と前段の FRA の MC - EDFA 3 4 0 による増幅とを適宜制御することで、実現することができる。

【 0 0 7 1 】

一般に、Kerr 効果に起因する非線形劣化による信号の歪みは、光信号の増幅を抑制することにより低減できる。したがって、本構成によれば、受信点における多重光信号の品質をさらに向上させることができる。

【 0 0 7 2 】

実施の形態 6

次に、実施の形態 6 にかかるファイバラマン増幅器について説明する。図 1 4 に、実施の形態 6 にかかる FRA 6 0 の構成を示す。FRA 6 0 は、FRA 1 0 の MCF 1 1 0 を、MCF 6 1 0 に置換した構成を有する。

【 0 0 7 3 】

MCF 6 1 0 は、MCF 6 1 0 A、MC - EDFA 6 1 0 B 及び MCF 6 1 0 C を有し、MCF 6 1 0 A、MC - EDFA 6 1 0 B 及び MCF 6 1 0 C は順方向に直列的に接続されている。MCF 6 1 0 A 及び MCF 6 1 0 C は、MCF 1 1 0 と同様の構成を有する。MC - EDFA 6 1 0 B は、MCF 1 1 0 と同様に、コア C 1 ~ C 7 を有する。MC - EDFA 6 1 0 B の長さは、通常、数十メートルである。MCF 6 1 0 C の長さは、通常、数十キロメートルである。

【 0 0 7 4 】

光源 1 3 0 では、レーザ 1 3 1 の中心波長は、EDFA による増幅に適した 1 4 8 0 nm である。レーザ 1 3 1 の出力パワーは、レーザ 1 3 2 及び 1 3 3 の出力パワーよりも高く設定されている。

【 0 0 7 5 】

次に、MCF 6 1 0 における光増幅について説明する。逆方向に伝送される励起光 PL は、ラマン増幅によって、MCF 6 1 0 C で減衰する。しかし、レーザ 1 3 1 の出力パワーはレーザ 1 3 2 及び 1 3 3 の出力パワーよりも高く、レーザ光 L 1 は MCF 6 1 0 C では完全には減衰しないので、残存したレーザ光 L 1 が MC - EDFA 6 1 0 B に入射する。よって、MC - EDFA 6 1 0 B は残存したレーザ光 L 1 によって励起され、多重光信

10

20

30

40

50

号SIGはMC - EDFA 610Bによって増幅される。

【0076】

本構成によれば、多重光信号SIGは、MCF 610Cでのラマン増幅のみならず、MC - EDFA 610Bを励起するためのレーザを追加配置することなく、MC - EDFA 610Bでも増幅することができる。

【0077】

MC - EDFA 610Bを励起するための追加のレーザが必要な場合、追加のレーザは、光源130から数十キロメートル離れた位置に配置される。この場合、離れた場所に電力を供給する必要があるため、電源の構成は比較的大きなものとなる。これに対し、本構成によれば、MC - EDFA 610Bを励起するための追加のレーザを必要としないので、FRAのサイズを抑制することができる。

10

【0078】

上述したように、本構成によれば、コンパクトな構成で光信号を効果的に増幅することができる。

【0079】

その他の実施の形態

本発明は、本発明は上記実施の形態に限られたものではなく、趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更することが可能である。例えば、コアの数は、2以上の任意の数とすることができる。

【0080】

実施の形態1、2及び6において、MC - EDFAは、実施の形態3～5と同様に配置することができる。なお、MC - EDFAの個数は1個に限定されるものではなく、上述の実施の形態にかかるMC - EDFAを複数個、FRA内に配置してもよい。この場合、FRAと光通信装置との間にMC - EDFAを直列に配置してもよい。また、EDFAに換えて、エルビウム以外の希土類元素をドープした他のファイバンプを用いてもよい。

20

【0081】

光源130及び530は、レーザ光をモード多重する光源230のような構成であってもよい。この場合、WDMカプラ120をSDMカプラ220等のSDMカプラに置き換えてもよい。

【0082】

実施の形態5では、光源550は、レーザ光をモード多重する光源230のような構成であってもよい。この場合、WDMカプラ560をSDMカプラ220等のSDMカプラに置き換えてもよい。また、光源560におけるレーザ光のスペクトルの全部または一部を重ね合わせてもよい。

30

【符号の説明】

【0083】

10、10__1～10__N、20、30、40、50、60 ファイバラマン増幅器(FRA)

100 光通信システム

101、102 光通信装置

110、310、410、410A、410B、610、610A、610C マルチコアファイバ(MCF)

120、560 WDMカプラ

130、230、550 光源

131～132、531、532、551、552 レーザ

220 SDMカプラ

230A モードカプラ

340、610B マルチコア - エルビウムドープファイバ増幅器(MC - EDFA)

C1～C7 コア

CL1 内側クラッド

40

50

C L 2 外側クラッド
L 1 ~ L 3、L 1 1、L 1 2、L 2 1、L 2 2 レーザ光
P L、P L 1、P L 2 励起光

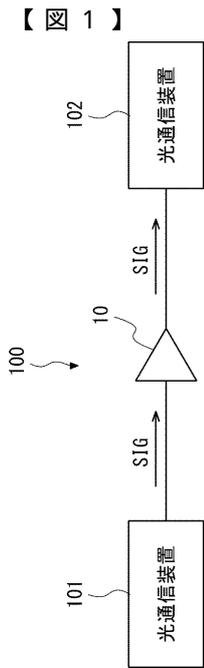


Fig.1

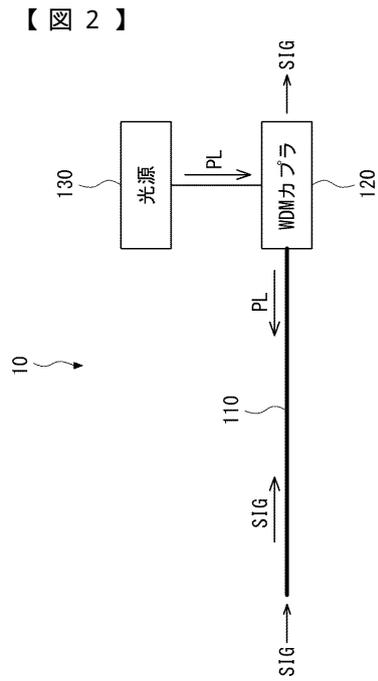


Fig.2

【図3】

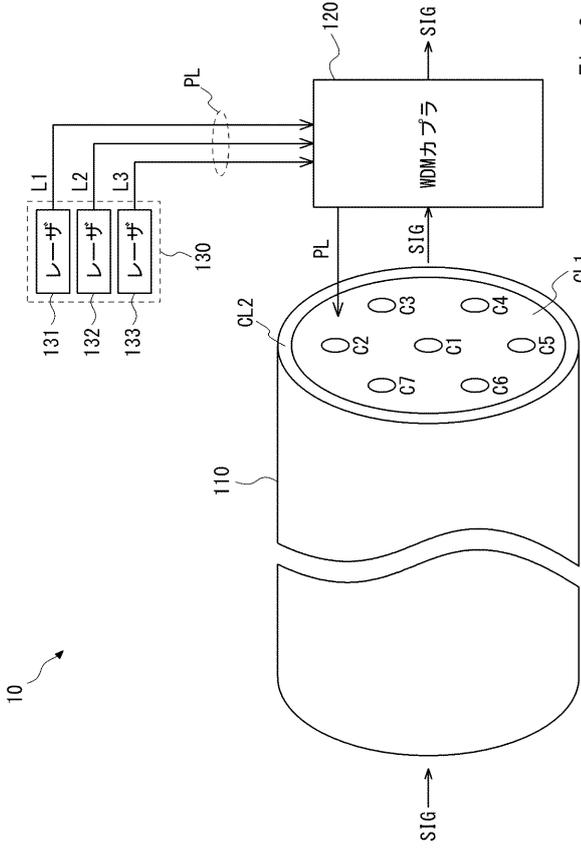


Fig. 3

【図4】

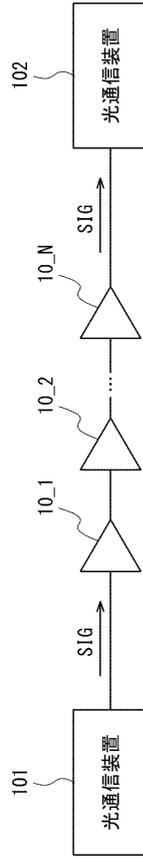


Fig. 4

【図5】

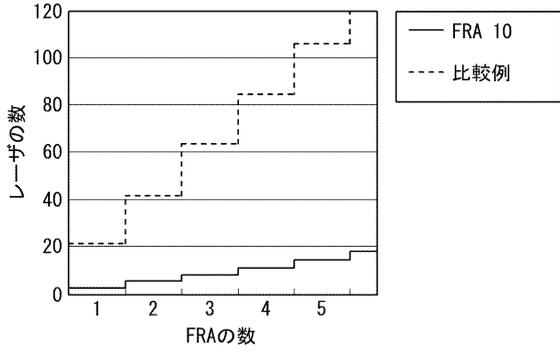


Fig. 5

【図6】

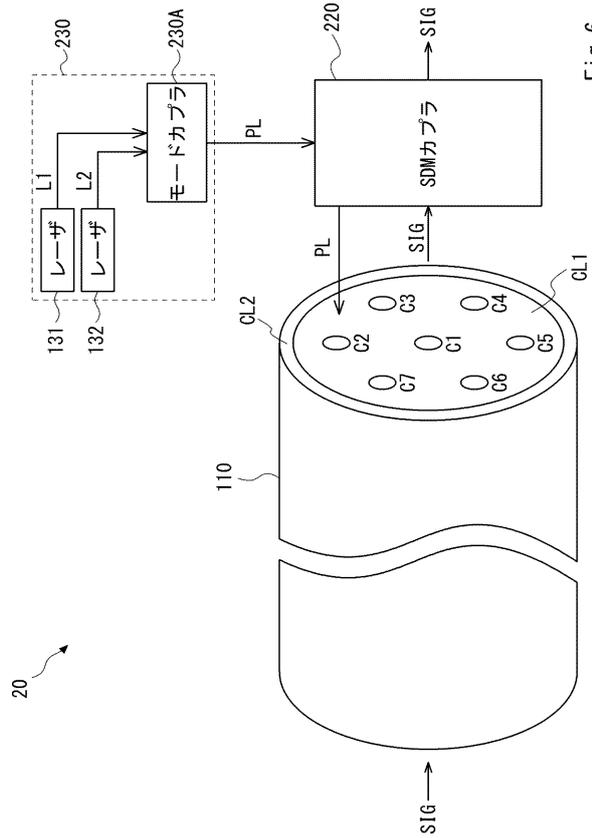


Fig. 6

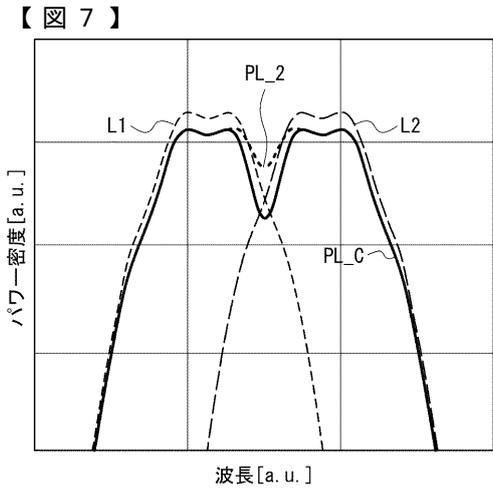


Fig. 7

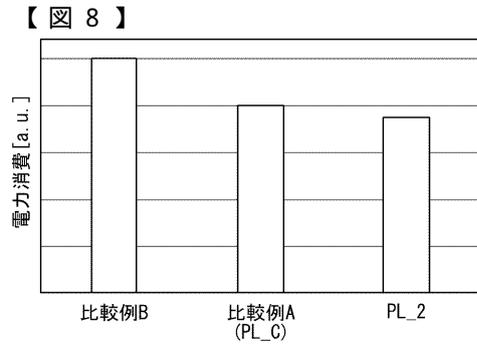


Fig. 8

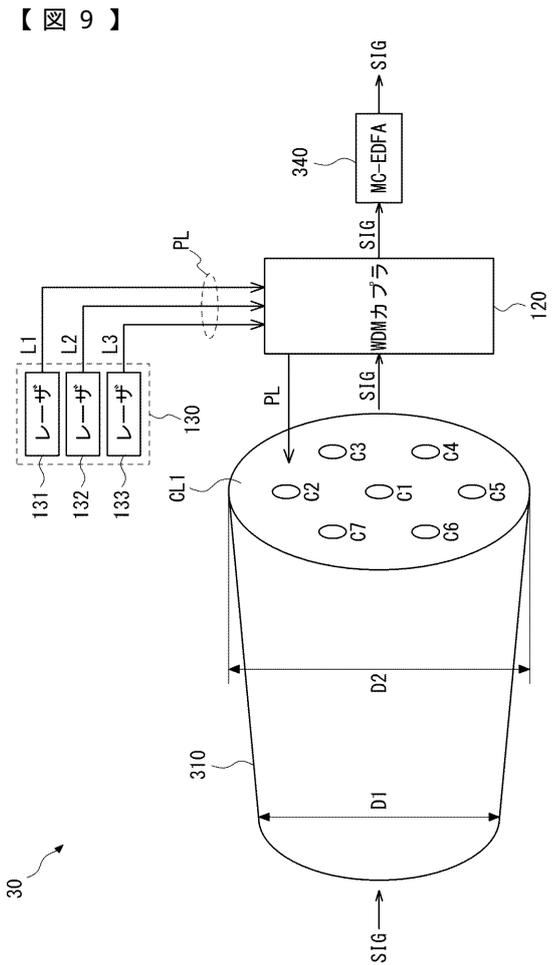


Fig. 9

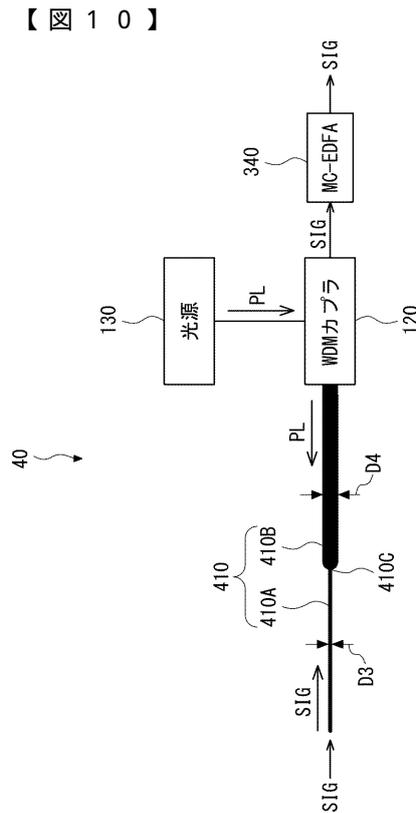


Fig. 10

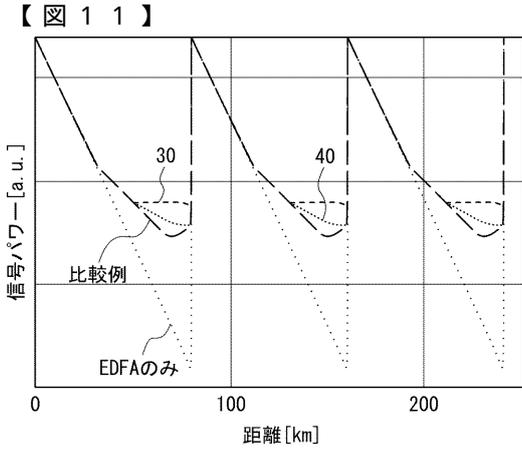


Fig. 11

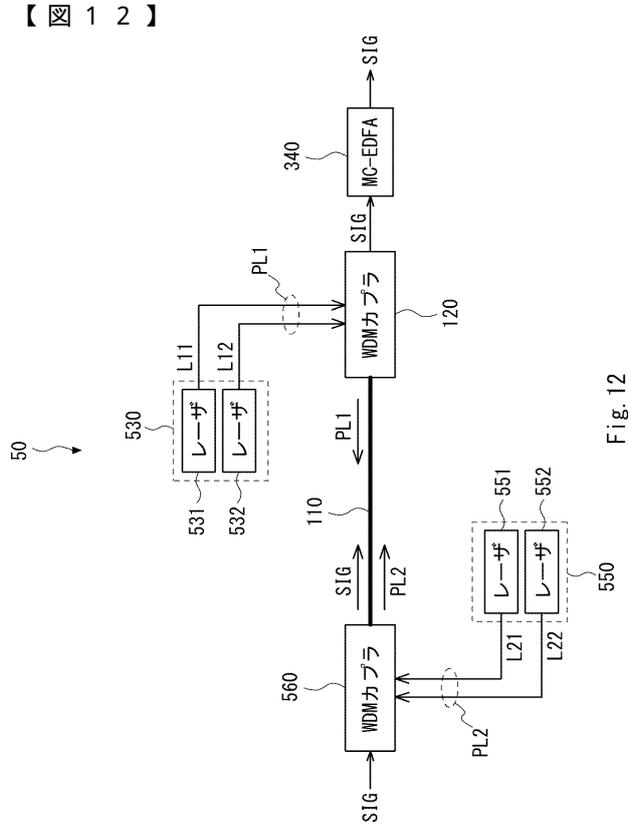


Fig. 12

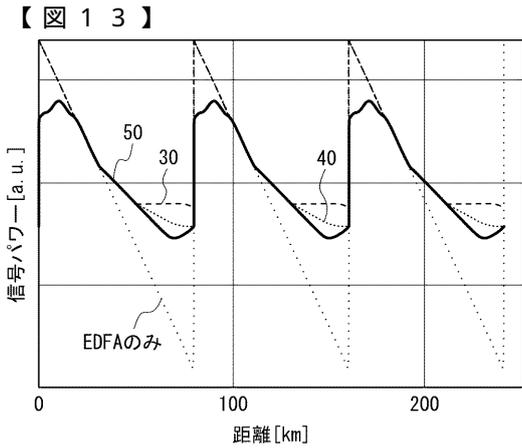


Fig. 13

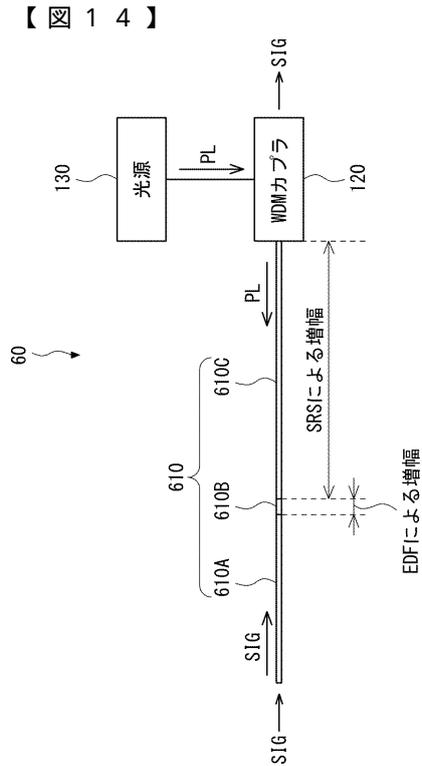


Fig. 14

【手続補正書】

【提出日】令和2年10月6日(2020.10.6)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

ダブルクラッド構造を有し、前記ダブルクラッド構造は光信号が伝送される複数のコアと前記コアを含むクラッドとを有する、マルチコアファイバと、

前記マルチコアファイバにおいて誘導ラマン散乱によって前記光信号を増幅するために用いられる、複数の第1のマルチモードレーザ光を多重化して生成される第1の励起光を出力する第1の光源と、

前記マルチコアファイバの前記クラッドに前記第1の励起光を結合する第1の光カプラと、を備える、

光増幅器。

【請求項2】

前記第1のマルチモードレーザ光のスペクトルの一部又は全部は重複している、請求項1に記載の光増幅器。

【請求項3】

前記第1のマルチモードレーザ光が波長多重又はモード多重されて、前記第1の励起光が生成される、

請求項1又は2に記載の光増幅器。

【請求項4】

前記光信号は、前記マルチコアファイバを通じて第1の方向に伝送され、

前記第1の励起光は、前記マルチコアファイバを通じて、前記第1の方向とは反対の第2の方向に伝送される、

請求項1乃至3のいずれか一項に記載の光増幅器。

【請求項5】

前記第1の光カプラは、前記マルチコアファイバの第1の端部に配置され、前記マルチコアファイバで伝送及び増幅された前記光信号は、前記マルチコアファイバの前記第1の端部から出力される、

請求項4に記載の光増幅器。

【請求項6】

前記クラッドの直径は、前記第1の方向に連続的に増加する、

請求項4又は5に記載の光増幅器。

【請求項7】

前記マルチコアファイバは、マルチコアファイバの複数の領域を有し、

前記領域の前記クラッドの直径は、それぞれ、前記第1の方向で異なり、かつ、増加する、

請求項4又は5に記載の光増幅器。

【請求項8】

前記マルチコアファイバにおいて前記誘導ラマン散乱によって前記光信号を増幅するために用いられる、複数の第2のマルチモードレーザ光を多重化して生成される第2の励起光を出力する第2の光源と、

前記マルチコアファイバの前記クラッドに前記第2の励起光を結合する第2の光カプラと、をさらに備え、

前記第2の励起光は、前記マルチコアファイバを通じて前記第1の方向に伝送される、

請求項4乃至7のいずれか一項に記載の光増幅器。

【請求項 9】

光信号を出力する第 1 の光通信装置と、
前記第 1 の光通信装置から出力される前記光信号を増幅する少なくとも 1 つの光増幅器と、

前記光増幅器で増幅された光信号を受信する第 2 の光通信装置と、を備え、

前記光増幅器は、

ダブルクラッド構造を有し、前記ダブルクラッド構造は光信号が伝送される複数のコアとコアを含むクラッドとを有する、マルチコアファイバと、

前記マルチコアファイバにおいて誘導ラマン散乱によって前記光信号を増幅するために用いられる、複数の第 1 のマルチモードレーザ光を多重化して生成される第 1 の励起光を出力する第 1 の光源と、

前記マルチコアファイバの前記クラッドに前記第 1 の励起光を結合する第 1 の光カップラと、を備える、

光通信システム。

【請求項 10】

複数の第 1 のマルチモードレーザ光を多重化して第 1 の励起光を生成し、

マルチコアファイバのクラッドに前記第 1 の励起光を結合し、

前記マルチコアファイバはダブルクラッド構造を有し、

前記ダブルクラッド構造は光信号が伝送される複数のコアと、前記コアを含むクラッドと、を有し、

前記第 1 の励起光は、前記マルチコアファイバにおいて誘導ラマン散乱によって前記光信号を増幅するために用いられる、

光増幅方法。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0058

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0058】

図 11 に、多重光信号のパワーのシミュレーションを示す。図 11 では、FRA30、FRA40、EDFAのみ (EDFA-ONLY) の場合及び比較例が示されている。EDFA のみの場合は、FRA30のMC-EDFA340のみによって増幅される場合である。比較例は、非特許文献 4 の場合である。

【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0068

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0068】

上述したように、MCF110の出力端からの距離 (またはWDMカップラ120) が長くなるほど、励起光 PL1 のパワー密度は小さくなる。一方、MCF110の出力端からの距離 (またはWDMカップラ120) が長くなると、励起光 PL2 のパワー密度は大きくなる。つまり、励起光 PL1 のパワー密度の減少を、励起光 PL2 の増加で補うことができる。これにより、励起光 PL1 及び PL2 の合計パワー密度を平均化することができる。また、MCF110を適切に設計して励起光のパワーを設定することで、励起光 PL1 及び PL2 (すなわち、ラマン増幅の利得) の合計パワー密度をより長い距離で一定に保つことができる。

【手続補正 4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0069

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0069】

図13に、多重光信号のパワーのシミュレーションを示す。図13では、FRA30、40及び50、ならびにEDFAのみ(EDFA-ONLY)の場合が示されている。

図11に示すように、EDFAのみの場合は、FRA30のMC-EDFA340のみによって増幅される場合である。図13に示すように、80kmの長さのMCFを有する3つのFRAを直列的に配置することで、多重光信号SIGのパワーが80km毎に最大まで増幅される。

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2018/015208

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl. H01S3/10(2006.01) i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl. H01S3/00-3/02, 3/04-3/0959, 3/098-3/102, 3/105-3/131, 3/136-3/213, 3/23-5/50 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2018 Registered utility model specifications of Japan 1996-2018 Published registered utility model applications of Japan 1994-2018 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	US 2016/0054519 A1 (FUJITSU LIMITED) 2016.02.25, paragraphs 0003, 0037-0047, 0076, 0080, 0105-0106, 0115, 0120-0125, figs. 1-2, 5, 10, 12, 14-15 & JP 2016-42164 A	1-5, 13, 15 8-12, 14 6-7
Y	JP 2009-31796 A (FUJITSU LIMITED) 2009.02.12, claim 1, fig. 1 (No Family)	8-11
Y	EP 0734105 A2 (FUJITSU LIMITED) 1996.09.25, page 14, lines 6-9, fig. 5 & JP 9-179152 A & US 2002/0109909 A1	12
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
Date of the actual completion of the international search 06.06.2018	Date of mailing of the international search report 19.06.2018	
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer TAKAMUKU, Kenshi Telephone No. +81-3-3581-1101 Ext. 3255	2K 3715

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No. PCT/JP2018/015208
--

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2003/0179440 A1 (FOURSA, Dmitri) 2003.09.25, paragraph 0027, fig. 4 & JP 2003-298159 A & EP 1359647 A2 & CA 2422206 A1	14
A	WO 2013/090549 A2 (OFS FITELE, LLC) 2013.06.20, the whole document & JP 2015-510253 A & US 2014/0168756 A1 & EP 2791719 A2	1-15
A	JP 2011-228541 A (PHOTONIC SCIENCE TECHNOLOGY INC.) 2011.11.10, the whole document (No Family)	1-15
A	JP 2002-270928 A (MITSUBISHI CABLE INDUSTRIES, LTD.) 2002.09.20, the whole document (No Family)	1-15
A	US 6999481 B1 (HEIDELBERGER DRUCKMASCHINEN AG) 2006.02.14, the whole document & JP 2000-513157 A & WO 98/056083 A1 & EP 986844 A1 & DE 19723267 A1	1-15
A	US 2015/0085352 A1 (ALCATEL-LUCENT USA INC.) 2015.03.26, the whole document (No Family)	1-15

フロントページの続き

(81)指定国・地域 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT

(出願人による申告)平成28年度、国立研究開発法人情報通信研究機構「高度通信・放送研究開発委託研究/空間多重フォトニックノード基盤技術の研究開発」、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

Fターム(参考) 5F172 AM04 AM08 BB13 BB17 BB18 BB94 BB95 NQ63
5K102 AA03 AA15 AA17 AA53 AD01 AK05 KA06 PB17 PH13 PH14
PH48