(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年2月1日(01.02.2018)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2018/020629 A1

(51) 国際特許分類:
H01S 3/10 (2006.01) *H04B 10/291* (2013.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2016/072108

(22) 国際出願日： 2016年7月28日(28.07.2016)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(71) 出願人: ＫＤＤＩ株式会社 **(KDDI CORPORATION)** [JP/JP]; 〒1638003 東京都新宿区西新宿二丁目３番２号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 多賀 秀徳 **(TAGA, Hidenori)**; 〒3568502 埼玉県ふじみ野市大原二丁目１番１５号 株式会社ＫＤＤＩ研究所内 Saitama (JP). 五十嵐 浩司 **(IGARASHI, Koji)**; 〒3568502 埼玉県ふじみ野市大原二丁目１番１５号株式会社ＫＤＤＩ研究所内 Saitama (JP). 釣谷 剛宏 **(TSURITANI, Takehiro)**; 〒3568502 埼玉県ふじみ野市大原二丁目１番１５号株式会社ＫＤＤＩ研究所内 Saitama (JP).

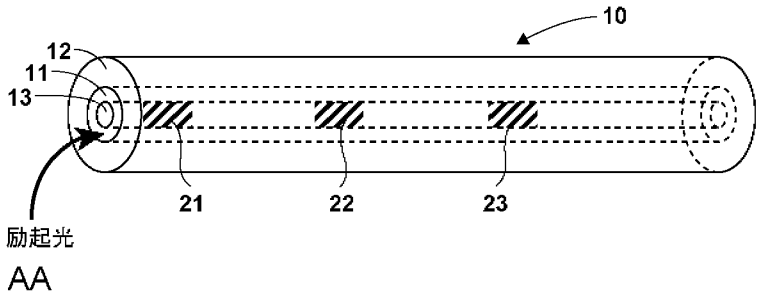
(74) 代理人: 大塚 康徳, 外 **(OHTSUKA, Yasunori** et al.); 〒1020094 東京都千代田区紀尾井町３番６号 紀尾井町パークビル７Ｆ Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): 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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS,

(54) Title: OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM, OPTICAL AMPLIFIER, AND EXCITATION LIGHT CONTROL METHOD FOR OPTICAL AMPLIFIER

(54) 発明の名称： 光伝送システム、光増幅器及びその励起光制御方法



(57) Abstract: Disclosed is an optical amplifier wherein a core, to which a rare earth element is added, is used as an amplification medium of an optical signal, and excitation light for having the rare earth element in the excited state is supplied via a cladding on the outer side of the core. The optical amplifier is provided with coupling means that couple the excitation light with the core mode of the core, said excitation light having been supplied to the cladding and propagated in the cladding in cladding mode. The plurality of coupling means are provided in the long axis direction of the optical amplifier.

(57) 要約： 希土類元素が添加されたコアを光信号の増幅媒体とし、前記希土類元素を励起状態にするための励起光が前記コアの外側のクラッドを経由して供給される光増幅器は、前記クラッドに供給されクラッドモードで該クラッド内を伝搬している励起光を前記コアのコアモードに結合させる結合手段を備え、前記結合手段は、前記光増幅器の長軸方向において複数設けられる。

WO 2018/020629 A1

［続葉有］

MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

明　細　書

発明の名称 ： 光伝送システム、光増幅器及びその励起光制御方法

技術分野

[0001] 本発明は、光ファイバを使用した光伝送システムに関し、特に、伝送路に使用される光増幅器及びその励起光制御方法に関する。

背景技術

[0002] 光ファイバは、クラッド中にクラッドの屈折率より高い屈折率を有する単一のコア部分を形成し、コア部分を光信号が全反射を繰り返しながら伝搬することで長距離の伝送を行う。光信号の伝送に際して光ファイバの損失によって生じる減衰は、一定距離ごとに介在する光増幅器（例えば、特許文献１参照）によって補償することで、更なる長距離の伝送を行うことが可能となる。

[0003] 光増幅器には、例えば、希土類添加光ファイバを使用することで、励起光を用いて希土類元素へのエネルギ供給を行い、増幅作用を希土類元素に起させるように構成されている。光増幅器の励起方法には、図１５に示すように、光ファイバ１に対して、光信号の伝搬元側から励起光を供給することで信号光と励起光が同じ方向に伝搬する前方励起、光信号の伝搬先側から励起光を供給することで信号光と励起光が逆方向に伝搬する後方励起、両方から励起光を供給する双方向励起がある。また、励起光は、信号光と一緒に希土類が添加された光ファイバのコア内を伝搬する場合もあれば、信号光とは別にコア外部のクラッド内を伝搬する場合もある。いずれの場合においても、図１６に示すように、励起光が供給される位置から光ファイバの長軸方向に離れるにしたがって、そのパワーは指数的に減衰するという性質がある。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開２０００－７７７５８号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] これまで、励起光のパワーを光ファイバの長軸方向に対して自由に制御するためには、励起光が供給される位置を光ファイバの長軸方向に複数設けるように構成する必要があった。この場合、光増幅器としての機構が非常に複雑化してしまう。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明の一側面によると、希土類元素が添加されたコアを光信号の増幅媒体とし、前記希土類元素を励起状態にするための励起光が前記コアの外側のクラッドを経由して供給される光増幅器は、前記クラッドに供給されクラッドモードで該クラッド内を伝搬している励起光を前記コアのコアモードに結合させる結合手段を備え、前記結合手段は、前記光増幅器の長軸方向において複数設けられる。

[0007] 本発明のその他の特徴及び利点は、添付図面を参照とした以下の説明により明らかになるであろう。なお、添付図面においては、同じ若しくは同様の構成には、同じ参照番号を付す。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]一実施形態による光増幅器の増幅原理を示す構成説明図である。

[図2]長周期ファイバグレーティングの透過特性を示すグラフである。

[図3]逆結合長周期ファイバグレーティングの透過特性を示すグラフである。

[図4]一実施形態による光増幅器の増幅原理を示す構成説明図である。

[図5]図４の光増幅器の断面説明図である。

[図6]一実施形態による光増幅器の構成説明図である。

[図7]励起光パワーの長軸方向依存性を示すグラフである。

[図8]Ｃバンド帯域及びＬバンド帯域を一括して増幅する光増幅器の構成概念図である。

[図9]Ｃバンド帯域及びＬバンド帯域の信号光パワーの長軸方向における変化、及び、コア内の励起光パワーの変化を示すグラフである。

[図10]Ｃバンド帯域及びＬバンド帯域を一括して増幅する光伝送システムの

モデル図である。

[図11]従来技術によるＣ帯域及びＬ帯域を一括して増幅する光伝送システムのモデル図である。

[図12]一実施形態によるマルチモード光増幅器の構成概念図である。

[図13]マルチモード光増幅器を使用したマルチモード光伝送システムのモデル図である。

[図14]マルチコアファイバの構造を示す斜視説明図である。

[図15]光増幅器の励起方法を示すモデル図である。

[図16]光ファイバに供給された励起光の減衰状態を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0009] ＜第一実施形態＞

本実施形態による光増幅器の増幅原理について、図１を参照しながら説明する。光増幅器は、長尺円柱状のクラッド１１と、その中心に配置され希土類元素が添加されたコア１３とから成る光ファイバ１０で構成される。コア１３を光信号の増幅媒体とするとともに、励起光源（図示せず）からの励起光がクラッド１１の端部の一か所（図示せず）から供給されることで、クラッド１１内を励起光が伝搬するようになっている。コア１３には、長軸方向の適宜位置に結合領域２０が形成されている。結合領域２０は、クラッドモードでクラッド１１内を伝搬している励起光をコア１３のコアモードに結合させる作用を備え、例えば逆結合長周期ファイバグレーティング構造で構成されている。

[0010] 逆結合長周期ファイバグレーティング構造２０は、コアモードからクラッドモードの特定モードと結合することにより特定波長で放射損失を生じさせ、これにより帯域阻止光フィルタとなる長周期ファイバグレーティングについて、逆に特定のクラッドモードからコアモードへ逆結合するように使用するものである。光ファイバのコアに長周期ファイバグレーティングを作製した場合、コアを伝搬する信号光は、図２に示すように、位相整合条件を満たした特定の波長がコアモードからクラッドモードへ変換放射され損失が発生

する。

[0011] 上述したコア１３の構造によれば、クラッド１１に入射し複数のクラッドモードで伝搬する光は、逆結合長周期ファイバグレーティング構造２０において特定のクラッドモードの特定波長の光がコア１３内のコアモードに逆結合し、図３に示すように、長周期ファイバグレーティングとは逆の特性が得られる。すなわち、コア１３の逆結合長周期ファイバグレーティング構造２０において、クラッドモードとして伝搬する励起光の特定波長（共振波長成分）の光がコアモードに逆結合する。

[0012] なお、クラッド１１内を伝搬する励起光のクラッドモードはマルチモードであり、複数の伝搬モードが存在し、逆結合長周期グレーティングはそれらのクラッドモードのうち、位相整合条件を満足する特定のクラッドモードのみをコアモードに結合させることになる。励起光の特定波長がクラッド１１からコア１３内に積極的に透過する構成とすることで、クラッドモードからコアモードに効率的に結合できるようにしている。クラッド１１からコア１３内に透過する光の波長およびクラッドモードは、逆結合長周期ファイバグレーティング構造２０に形成される周期的な屈折率変調による光学特性に依存する。

[0013] すなわち、逆結合長周期ファイバグレーティング構造２０によるクラッドモードからコアモードへの結合効率、並びに、どのクラッドモードからどのコアモードへ結合させるかは、長周期グレーティングの設計によって変えることが可能な変数であり、グレーティングを設ける長軸方向の位置も変数として自由に選択することが可能である。したがって、複数の逆結合長周期ファイバグレーティング構造２０をコア１３内に設け、それらの光学特性や設置位置を組み合わせることによって、光ファイバ１０のコア１３内の励起光パワーの長軸方向の分布を任意のプロファイルに制御することが可能となる。

[0014] 例えば、同一の光学特性を備えた単一のグレーティングをコア１３に分布させて複数設けることで、クラッドを伝搬する一つのクラッドモードの光が

コア１３を伝搬するシングルモードに各逆結合長周期ファイバグレーティング構造で結合させることができる。この場合、一定間隔で周期的に繰り返して単一のグレーティングを形成する。これにより、コア１３に結合する励起光により増幅減衰を繰り返すＣバンド帯域の信号光について、逆結合長周期ファイバグレーティング出口付近での利得を調整し易く（均一な利得を得易く）することができる。

[0015] また、コア１３に設けられた逆結合長周期ファイバグレーティング構造は、異なる光学特性を備えた複数のグレーティングから成るグレーティング群（例えば、グレーティングＡ、グレーティングＢ、グレーティングＣ）であってもよい。この場合においても、グレーティング群を周期的に繰り返して（例えば、ＡＢＣ、ＡＢＣの順に）形成することで、コア１３に結合する励起光により増幅減衰を繰り返すＣバンド帯域の信号光について利得を調整し易くすることができる。

[0016] 逆結合長周期ファイバグレーティング構造２０は、光ファイバ１０のコア１３に対して、レーザ光の干渉によって生じる干渉縞を照射することで形成され得る。つまり、干渉縞に基づいてコアの屈折率が周期的に変化するように構成されている。干渉縞は、短波長レーザ光の光路を二分割させた後の干渉（二光束干渉法）や、短波長レーザ光からの照射光が位相マスクを介する干渉（位相マスク法）で得ることができる。例えば、光ファイバの長軸方向に複数の逆結合長周期ファイバグレーティング構造２０を作製する場合は、長軸方向に位相マスクをずらしながら製作する。同じ光学特性のグレーティングを作製する場合は同じ位相マスクを使用し、異なる光学特性のグレーティングを作製する場合は異なる位相マスクを使用する。

[0017] また、上述した逆結合長周期ファイバグレーティング構造２０に代えて、図４及び図５に示すように、クラッド１１を加工することで形成した結合領域を使用しても良い。この結合領域は、光ファイバ１０のクラッド１１に励起光の伝搬方向に対してＶ字となるＶ溝１５をコア１３近傍位置まで作製することで形成される。クラッド１１に励起光の伝搬方向に対して傾斜面とな

るＶ溝１５が存在することで、Ｖ溝１５の近傍においてクラッドモードの電磁界分布が変化し、コアモードの電磁界分布と重なる部分の範囲が大きくなる。その重なりを通じてクラッドモードからコアモード（シングルモード）への結合が生じ、クラッドモードを伝搬している励起光がコア１３のコアモードを伝搬するようになる。図４は、クラッドモードからコアモードへの結合を模式的に示したものであり、矢印は結合の様子を幾何学的に模式的に示したものである。

[0018] 続いて、光増幅器の具体的な構成例について、図６を参照して説明する。光増幅器は、希土類元素が添加されたコア１３と、コア１３の外側に形成されたインナークラッド１１と、インナークラッド１１の外側に形成されたアウタークラッド１２とを備えた光ファイバ１０で構成される。コア１３を光信号の増幅媒体とするとともに、インナークラッド１１の端部の一か所に励起光が供給されることで、インナークラッド１１内を励起光が伝搬するように構成されている。尚、この例では、コア１３を伝搬する光信号はシングルモードとなっている。コア１３の外側に形成されたクラッドについて、インナークラッド１１とアウタークラッド１２との二層構造（デュアルクラッド構造）としたのは、インナークラッド１１内を励起光が伝搬することによる励起光の閉じ込め効率を高めるためである。

[0019] コア１３では、LP_{01}モードの励起光によって希土類元素が励起され、LP_{01}モードの信号光が増幅される。LP_{01}モードの信号光は、インナークラッド１１を伝搬する励起光のコア１３への染み出しによっても増幅され得るが、インナークラッド１１からコア１３への染み出しによる励起光パワーは小さいため、それによる利得も小さいものとなってしまい、効率の悪い増幅しかできない。

[0020] そこで、本実施形態においては、クラッドモードでインナークラッド１１内を伝搬している励起光をコア１３のコアモードに結合させる結合領域として、光増幅器の長軸方向に間隔をおいて分布する光学特性の異なる複数（３個）の逆結合長周期ファイバグレーティング構造２１～２３をコア１３に作

製している。一番目（左側位置）の逆結合長周期ファイバグレーティング構造２１では、クラッドLP_{01}モードがコアLP_{01}モードに結合されるようになっている。二番目（中央位置）の逆結合長周期ファイバグレーティング構造２２では、クラッドLP_{02}モードがコアLP_{01}モードに結合されるようになっている。三番目（右側位置）の逆結合長周期ファイバグレーティング構造２３では、クラッドLP_{03}モードがコアLP_{01}モードに結合されるようになっている。上述したモード番号の組み合わせは一例であり、他のモード番号同士の組み合わせであってもよい。

[0021] また、本実施形態では、希土類元素が添加されたコア１３にグレーティングが書き込まれているが、グレーティングが書き込まれる部分には希土類元素が添加されておらず、その直前後のコア１３には希土類元素が添加されている構成であってもよい。

[0022] また、本実施例では、インナークラッド１１への励起光の閉じ込め効率を高めるため、クラッドを二層としたデュアルクラッド構造としているが、単純な一層クラッドで構成してもよい。

[0023] 図７は、上述した光増幅器で得られるコアLP_{01}モードの励起光パワーの長軸方向の変化を模式的に示したものである。参考のため、通常の前方励起の場合の励起光パワー、及び、通常のクラッド励起の場合の励起光パワーも示す。この光増幅器では、光学特性の異なる３個の逆結合長周期ファイバグレーティング構造を設けることで、各グレーティング挿入位置で励起光パワーが上昇し、その後に減衰するようになる。励起光パワーのピーク値は、グレーティング挿入位置によって自由に設定することができる。この例では、各グレーティング挿入位置における各ピーク値が異なるようにしているが、全てのグレーティング挿入位置でピーク値を等しくすることも可能である。

[0024] 光増幅器で得られるコアLP_{01}モードの励起光パワーは、グレーティング挿入位置で励起光パワーが上昇するので、通常のクラッド励起の場合にコアへ染み出してくる励起光パワーに比較して大きな値とすることができる。また、光増幅器で得られるコアLP_{01}モードの励起光パワーは、通常の前方励起の場合

の励起光パワーが指数的に減衰するのに対して、グレーティング挿入位置で自由に励起光パワーを上昇させることができるので、高い励起光パワーを得るとともに、従前方法では得られない単純な指数的減少以外の励起光パワー変化のプロファイルとすることができる。

[0025] ＜第二実施形態＞

図８の光増幅器は、Ｃバンド帯域（１５３０～１５６５ｎｍ）とＬバンド帯域（１５６５～１６２５ｎｍ）の光信号の増幅を１台で行う。図６と同じ構成をとる部分については同一符号を付している。通常のＬバンド増幅器では、比較的長尺の希土類添加ファイバを使用する。Ｌバンド帯域では、Ｃバンド帯域に比べて、単位長あたりの希土類添加ファイバの利得が小さい。しかしながら、長尺にわたって累積していくことで最終的には大きな利得が得られるように構成される。この時、Ｃバンド帯域では、希土類添加ファイバの前半の短い部分で既に十分に大きな利得が得られてしまい、信号光のパワーが励起光のパワーよりも大きくなってしまう現象が生じ、後半では信号光パワーが希土類元素に吸収されてしまい、最終的にはＣバンド帯域での利得が得られなくなる。

[0026] 本実施形態では、Ｃバンド帯域の増幅において、信号光が吸収されてしまってＣバンド帯域の利得がなくなるのを防ぐため、コア１３に複数の逆結合長周期ファイバグレーティング群２１～２４（結合領域）を長軸方向に周期的に分布して作製することで、周期的に大きなパワーの励起光をコア１３内に導入するように構成した。その結果、Ｌバンド帯域の信号光の利得を得るために長尺の希土類添加ファイバを用いた場合であっても、Ｃバンド帯域の信号光が吸収によって消えずに最後まで残るようになる。よって、Ｃバンド帯域及びＬバンド帯域の信号光の一括増幅が可能になる。

[0027] 図９は、光ファイバの長軸方向の関数として示したコア内の励起光パワーの変化、Ｃバンド帯域の信号光パワーの変化、Ｌバンド帯域の信号光パワーの変化をそれぞれ模式的に示したグラフである。光ファイバ１０の各逆結合長周期ファイバグレーティング構造２１～２４の挿入位置でグラッド１１か

らの励起光が結合してコア１３内の励起光パワーが上昇する。Ｃバンド帯域の信号光パワーは、コア１３内において、結合された励起光パワーを受けて上昇しその後に減衰することを繰り返す。したがって、逆結合長周期ファイバグレーティング構造２１～２４を周期的に配置することで、周期的に励起光パワーを上昇させて信号光パワーの利得を同じ割合で調整することができる。Ｌバンド帯域の信号光パワーは、コア１３内において、インナークラッド１１からコア１３へ染み出してくる励起光パワー（クラッド励起）による利得が長尺にわたって累積していくことで最終的には大きな利得が得られるようになる。

[0028] ＜第三実施形態＞

図１０は、図８のＣバンド帯域及びＬバンド帯域の光信号を一括して増幅する光増幅器１０を使用して光伝送システムを構成したものである。光増幅器１０の入力側に接続された光ファイバ１には、Ｃバンド帯域及びＬバンド帯域波長多重化装置２を介して複数のＣバンド帯域の光送信端局装置３と複数のＬバンド帯域の光送信端局装置３が接続されている。光増幅器１０の出力側に接続された光ファイバ１には、Ｃバンド帯域及びＬバンド帯域波長分離装置５を介して複数のＣバンド帯域の光受信端局装置６と複数のＬバンド帯域の光受信端局装置６が接続されている。この構成の光伝送システムによれば、Ｃバンド帯域及びＬバンド帯域波長多重化装置２により多重化されて光ファイバ１を伝搬する光信号（Ｃバンド帯域及びＬバンド帯域の光信号）に対して、光増幅器１０で一括して増幅することが可能となる。

[0029] これに対して従前技術によれば、図１１に示すように、Ｃバンド帯域及びＬバンド帯域波長多重化装置２により多重化されて光ファイバ１を伝搬する光信号に対して増幅作用を行う場合は、Ｃ／Ｌ分離器５１でＣバンド帯域とＬバンド帯域に分離した後に、それぞれの増幅器５０で増幅させ、Ｃ／Ｌ多重器５２で多重化する必要があった。図１１中、図１０と同じ構成をとる部分は同一符号を付している。本実施形態の光伝送システムによれば、図８に示したＣバンド帯域及びＬバンド帯域の光信号を一括して増幅する光増幅器

１０を使用することで、Ｃ／Ｌ分離器５１及びＣ／Ｌ多重器５２が不要となるので構成を簡略化でき、伝送システムの構築にかかわるコストを削減することが可能となる。

[0030] また、Ｃ／Ｌ分離器５１とＣ／Ｌ多重器５２においては、Ｃバンドとしバンドとの境界部分において、バンド間の干渉を抑圧するためのギャップ（いわゆるガードバンド）を設ける必要があり、ガードバンドに含まれる波長帯域を使用することはできない。これに対して、本実施形態ではガードバンドが不要であり、ガードバンドのために波長帯域を無駄にする必要がなくなるという効果がある。

[0031] ＜第四実施形態＞

上述した実施形態では、光ファイバ１０のコア１３内を伝搬する光信号がシングルモードであった。これに対して、光信号がマルチモードの場合に多モード増幅を行うマルチモード光増幅器３０を図１２に示す。本実施形態によるマルチモード光増幅器３０では、マルチモードの各モードの利得を制御するため、複数のクラッドモードから複数のコアモードへそれぞれ結合する光学特性の異なる複数の逆結合長周期グレーティング構造３１～３４をコア１３に設けている。

[0032] 各逆結合長周期グレーティング群３１～３４はピッチL1、L2、L3を隔てて作製され、各ピッチは隣接するグレーティングの各周期の広い方より広いピッチを設けることでグレーティング間の干渉を防止する。個々のグレーティング構造は、それぞれ特定のクラッドモードから特定のコアモードへと励起光を結合させるように構成されている。図１２の例では、一番目の逆結合長周期グレーティング構造３１でクラッドLP_{01}モードがコアLP_{01}モードに、二番目の逆結合長周期グレーティング構造３２でクラッドLP_{11}モードがコアLP_{11}モードに、三番目の逆結合長周期グレーティング構造３３でクラッドLP_{02}モードがコアLP_{02}モードに、四番目の逆結合長周期グレーティング構造３４でクラッドLP_{22}モードがコアLP_{22}モードにそれぞれ結合される。なお、これはあくまで一例であり、他のモード番号の組み合わせでも構わない。また、コアモード

のそれぞれに対応するグレーティング構造を配置する順番も任意であり、図１２に示す順番での配置は一例に過ぎない。

[0033] ある特定のコアモードに結合されるクラッドモードの数も変数の一つであり、例えばコアLP_{01}モードには、クラッドLP_{01}モード、クラッドLP_{11}モード、クラッドLP_{21}モードの三種のモードが結合するという構成も可能である。このような構成をとることで、多モード増幅される任意のコアモードのそれぞれについて、必要な量の励起光パワーを、任意のクラッドモードから相互に独立に供給することで結合強度を調整できるので、多モード増幅器のモード間利得偏差の制御を容易に行うことができる。

[0034] ＜第五実施形態＞

図１３は、図１２に示した、コア１３内を伝搬するマルチモードの光信号を一括して多モード増幅するマルチモード光増幅器３０を使用した光伝送システムの構成図である。マルチモード光増幅器３０の入力側に接続された光ファイバ１には、波長多重化装置２及びモード多重化装置８を介して複数の光送信端局装置３が接続される。マルチモード光増幅器３０の出力側に接続された光ファイバ１には、波長分離装置５及びモード分離装置９を介して複数の光受信端局装置６が接続されている。図１３中、図１０と同一の構成をとる部分は、同一符号を付している。本実施形態によれば、マルチモード光増幅器３０を使用することで、多モード増幅される任意のコアモードのそれぞれについて、必要な量の励起光パワーを、任意のクラッドモードから相互に独立に供給することができる。したがって、これまで実現が困難であったモード間の利得偏差を等化したマルチモード光伝送システムの実現が可能となる。

[0035] 上述した光増幅器の各実施形態は、全てクラッド中のコア部分が単一の場合であったが、図１４に示すような、クラッド１１中に複数のコア１３が存在している、いわゆるマルチコアファイバ４０においても各コア１３に逆結合長周期グレーティング構造２０を分布させて設けることで、各コア１３について同様の効果を得ることが可能である。

[0036] マルチコア光ファイバ４０は、円柱状に形成されたクラッド１１中に、軸方向に沿った複数のコア１３を有している。マルチコア光ファイバ４０に内在する複数のコア１３は、クラッド１１の屈折率より高い屈折率で形成され、マルチコア光ファイバ４０の中心軸に対して同心円状に配置されている。この例では、中心軸の周囲に６個のコア１３が同心円状にそれぞれ等間隔に配置されている。

[0037] マルチコア光ファイバ４０にグレーティング構造を作製するに際して、干渉縞による焦点面（高いコントラストが得られる範囲）は、照射方向に１０ミクロン程度であり、マルチコア光ファイバ４０の全てのコア１３に対して同時に干渉縞焦点面を位置させることは不可能である。そこで、各コア１３にグレーティング構造を作製するためには、各コア１３の空間的な位置と、干渉縞焦点面の位置とを相対的に変化させながらレーザ光の照射を行うことが必要となる。

[0038] 例えば、マルチコア光ファイバ４０を、中心軸を中心に回転させる。これにより、中心軸に対して同心状に配置された各コア１３に干渉縞焦点面を位置させるようにして、全てのコア１３へ逆結合長周期ファイバグレーティング構造を順次形成することができる。

[0039] 上述した各光増幅器によれば、希土類が添加されている光ファイバのコア１３に、クラッドモードからコアモードへ励起光を結合するための結合領域２０（例えば、逆結合長周期ファイバグレーティング構造）を設けることで、励起光がクラッドモードからコアモードに効率的に結合できるようにし、励起光パワーが減衰することなく光ファイバの長軸方向に対して制御することができる。

[0040] 本発明は上記実施の形態に制限されるものではなく、本発明の精神及び範囲から離脱することなく、様々な変更及び変形が可能である。従って、本発明の範囲を公にするために、以下の請求項を添付する。

請求の範囲

[請求項1] 希土類元素が添加されたコアを光信号の増幅媒体とし、前記希土類元素を励起状態にするための励起光が前記コアの外側のクラッドを経由して供給される光増幅器において、

前記クラッドに供給されクラッドモードで該クラッド内を伝搬している励起光を前記コアのコアモードに結合させる結合手段を備え、

前記結合手段は、前記光増幅器の長軸方向において複数設けられる光増幅器。

[請求項2] 前記結合手段は、前記コアに設けられたグレーティング構造である請求項１に記載の光増幅器。

[請求項3] 前記コアに設けられたグレーティング構造は、同一の光学特性を備えた単一のグレーティングである請求項２に記載の光増幅器。

[請求項4] 前記コアに設けられたグレーティング構造は、異なる光学特性を備えた複数のグレーティングから成るグレーティング群である請求項２に記載の光増幅器。

[請求項5] 前記グレーティング構造は、前記同一のグレーティングを周期的に繰り返して形成される請求項３に記載の光増幅器。

[請求項6] 前記グレーティング構造は、前記グレーティング群を周期的に繰り返して形成される請求項４に記載の光増幅器。

[請求項7] 前記結合手段は、前記クラッドに設けられ、前記励起光の伝搬方向に対して傾斜面となるＶ溝で構成されている請求項１に記載の光増幅器。

[請求項8] 希土類元素が添加されたコアを光信号の増幅媒体とし、前記希土類元素を励起状態にするための励起光が前記コアの外側のクラッドを経由して供給される光増幅器において、

前記クラッドに供給されクラッドモードでクラッド内を伝搬する励起光を、前記コアの長軸方向における任意位置でコアモードに結合させて励起効率を制御する光増幅器の励起光制御方法。

[請求項9] Ｃバンド帯域の光信号については、前記クラッド内を伝搬する励起光がコアモードに結合することで励起効率を制御するとともに、

Ｌバンド帯域の光信号については、前記クラッド内を伝搬する励起光がコアに漏れ出すクラッド励起により励起を行うことで、

前記Ｃバンド帯域及びＬバンド帯域の光信号を同時に増幅可能とする請求項８に記載の光増幅器の励起光制御方法。

[請求項10] コアを伝搬する光信号のコアモードが複数存在する場合に、各クラッドモードから各コアモードに結合する結合強度を、各モードペアに対応する結合によって個別に調整することで、コアモード毎の利得を制御する請求項８又は９に記載の光増幅器の励起光制御方法。

[請求項11] クラッドモードの励起光のコアモードへの結合は、コアに設けられたグレーティング構造で行われる請求項８ないし１０のいずれか１項に記載の光増幅器の励起光制御方法。

[請求項12] 希土類元素が添加されたコアを光信号の増幅媒体とし、前記希土類元素を励起状態にするための励起光が前記コアの外側のクラッドを経由して供給される光増幅器を使用して光信号を伝搬する光伝送システムにおいて、

Ｃバンド帯域の光信号については、前記クラッド内を伝搬する励起光がコアモードに結合することで励起効率を制御するとともに、

Ｌバンド帯域の光信号については、前記クラッド内を伝搬する励起光がコアに漏れ出すクラッド励起により励起を行うことで、

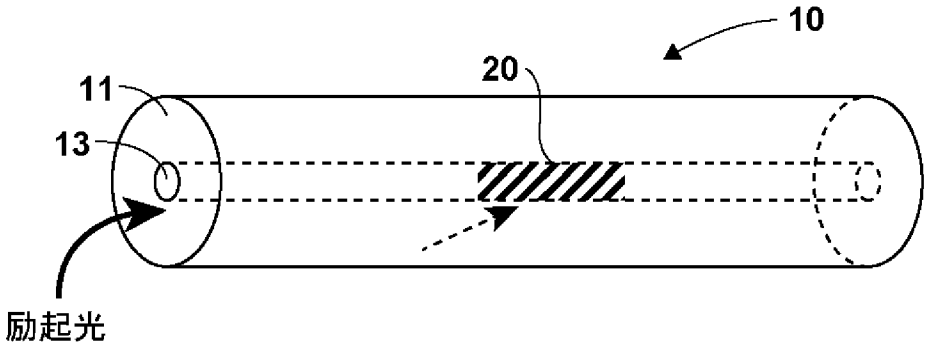
前記Ｃバンド帯域及びＬバンド帯域の光信号を同時に増幅可能とし、

伝送路内の光増幅点においてＣバンド帯域とＬバンド帯域の光信号を分離することなく伝送することを特徴とする光伝送システム。

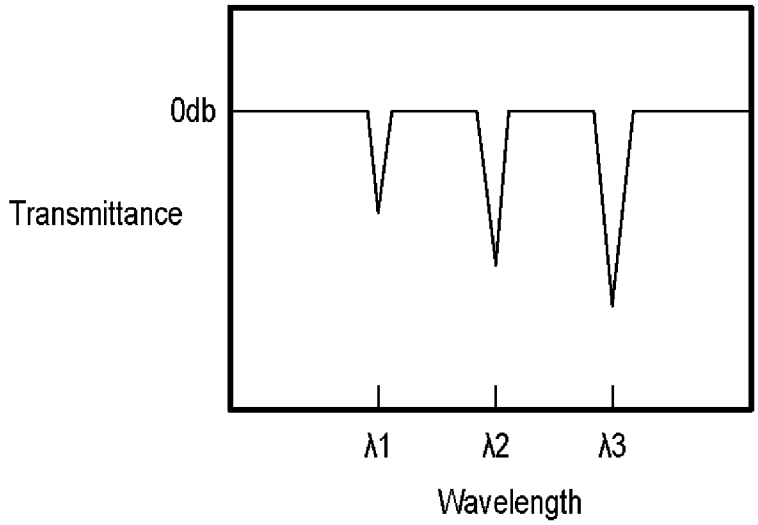
[請求項13] コアを伝搬する光信号のコアモードが複数存在する場合に、各クラッドモードから各コアモードに結合する結合強度を、各モードペアに対応する結合によって個別に調整することで、コアモード毎の利得を

制御しモード間利得偏差の補償を行う請求項１２に記載の光伝送システム。

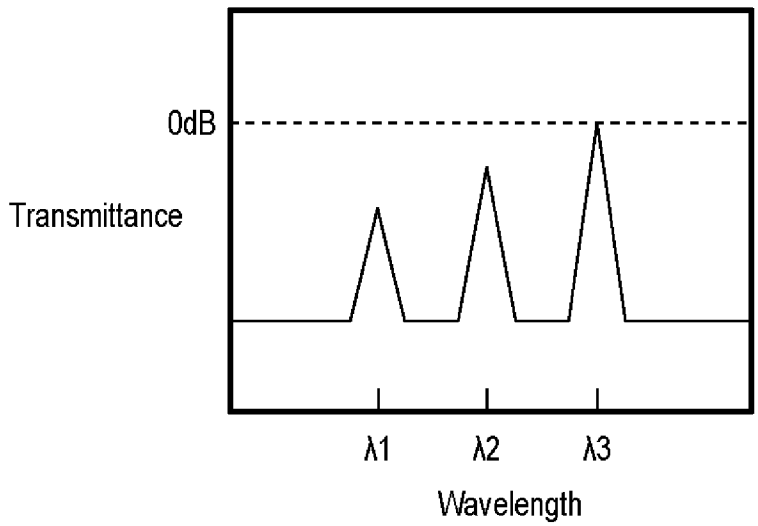
[図1]


10
20
11
13
励起光

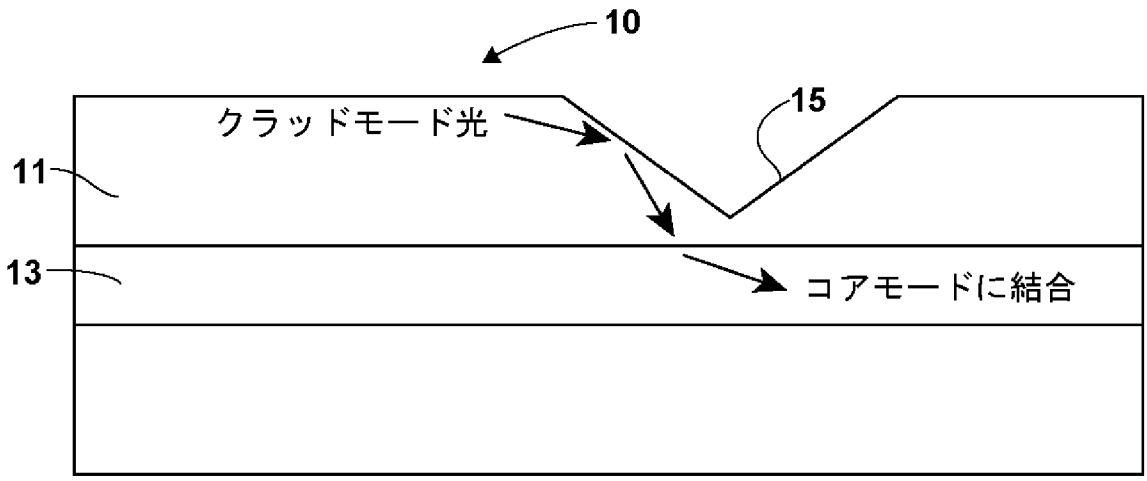
[図2]


0db
Transmittance
λ1
λ2
λ3
Wavelength

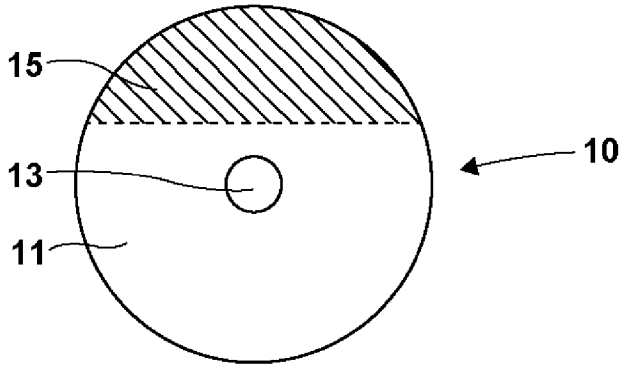
[図3]


0dB
Transmittance
λ1
λ2
λ3
Wavelength

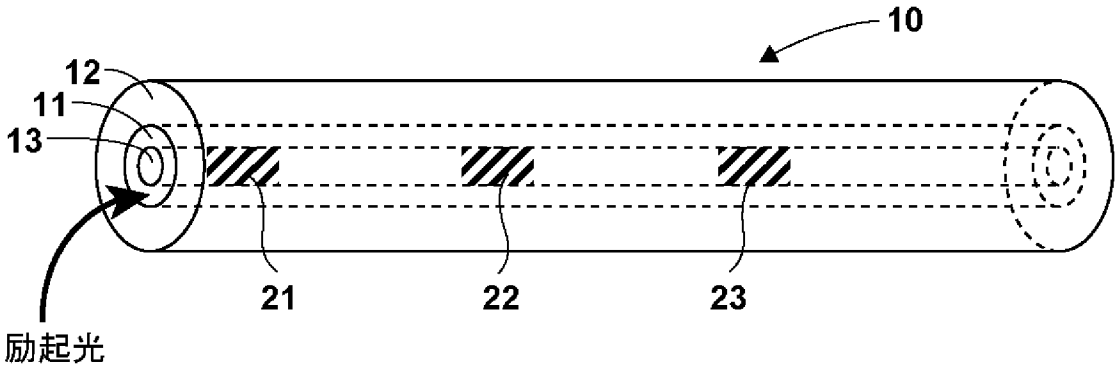
[図4]



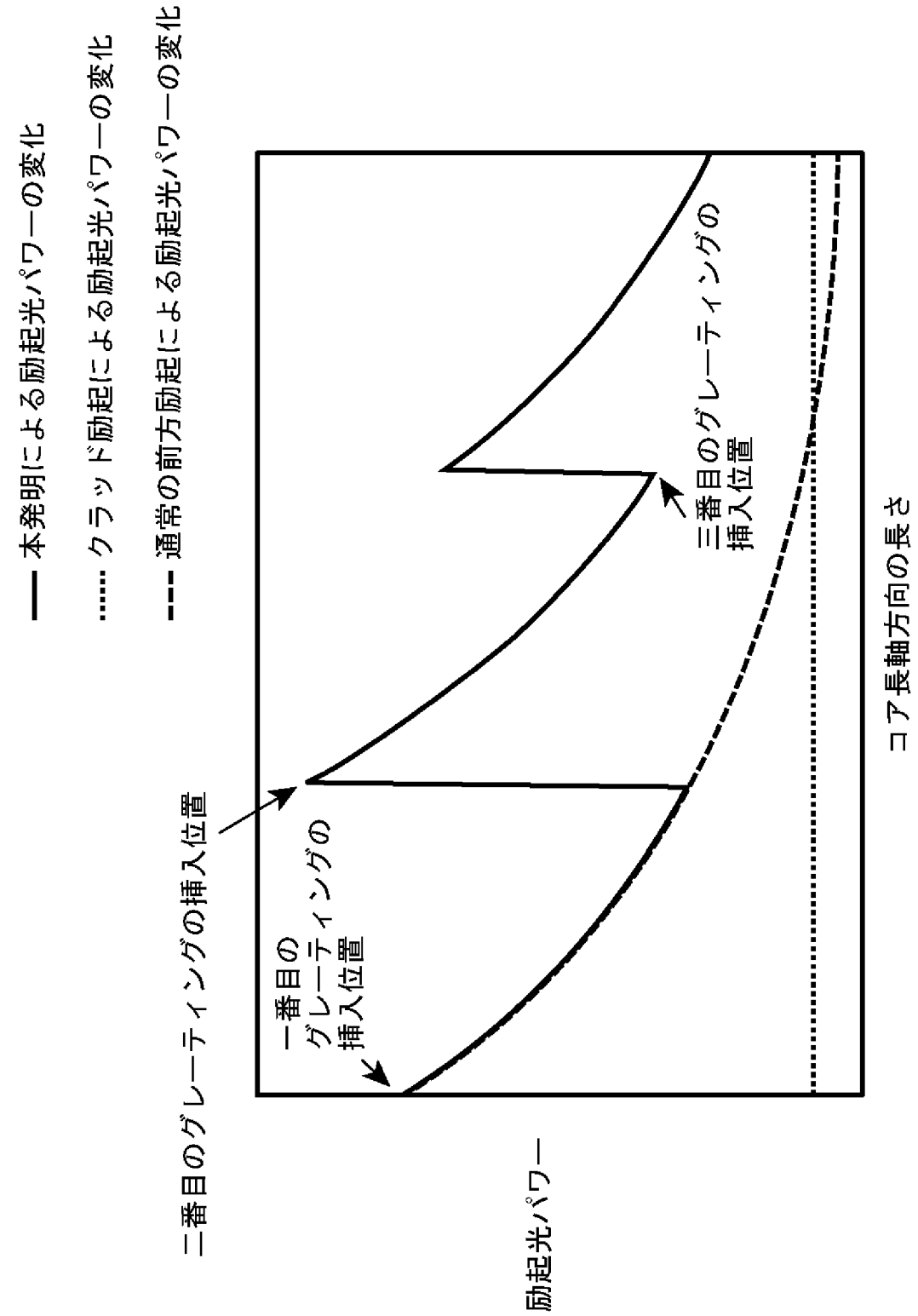
[図5]



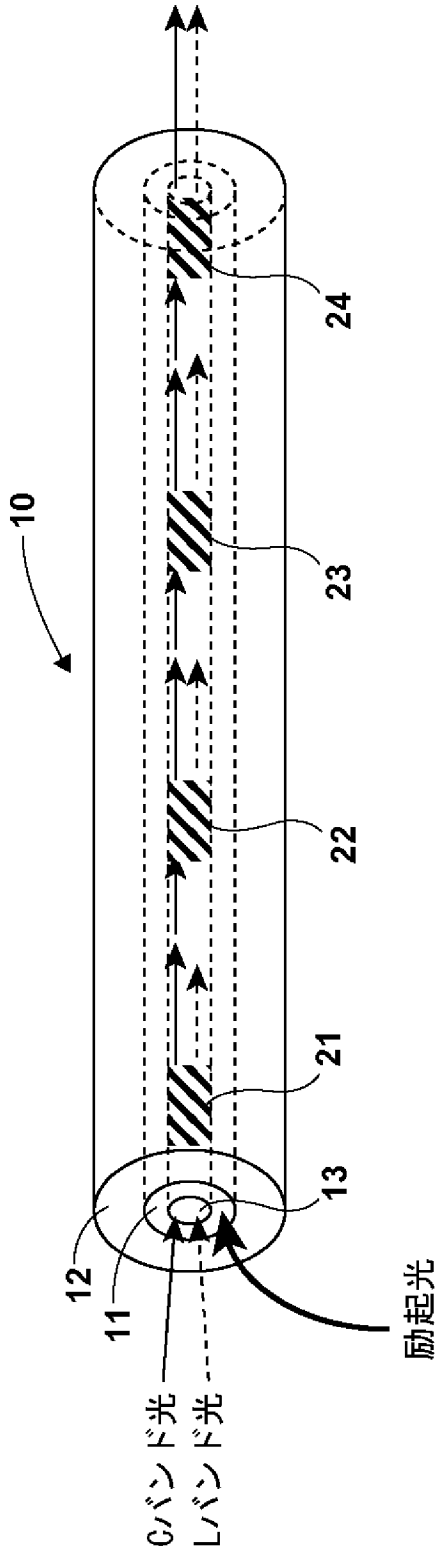
[図6]



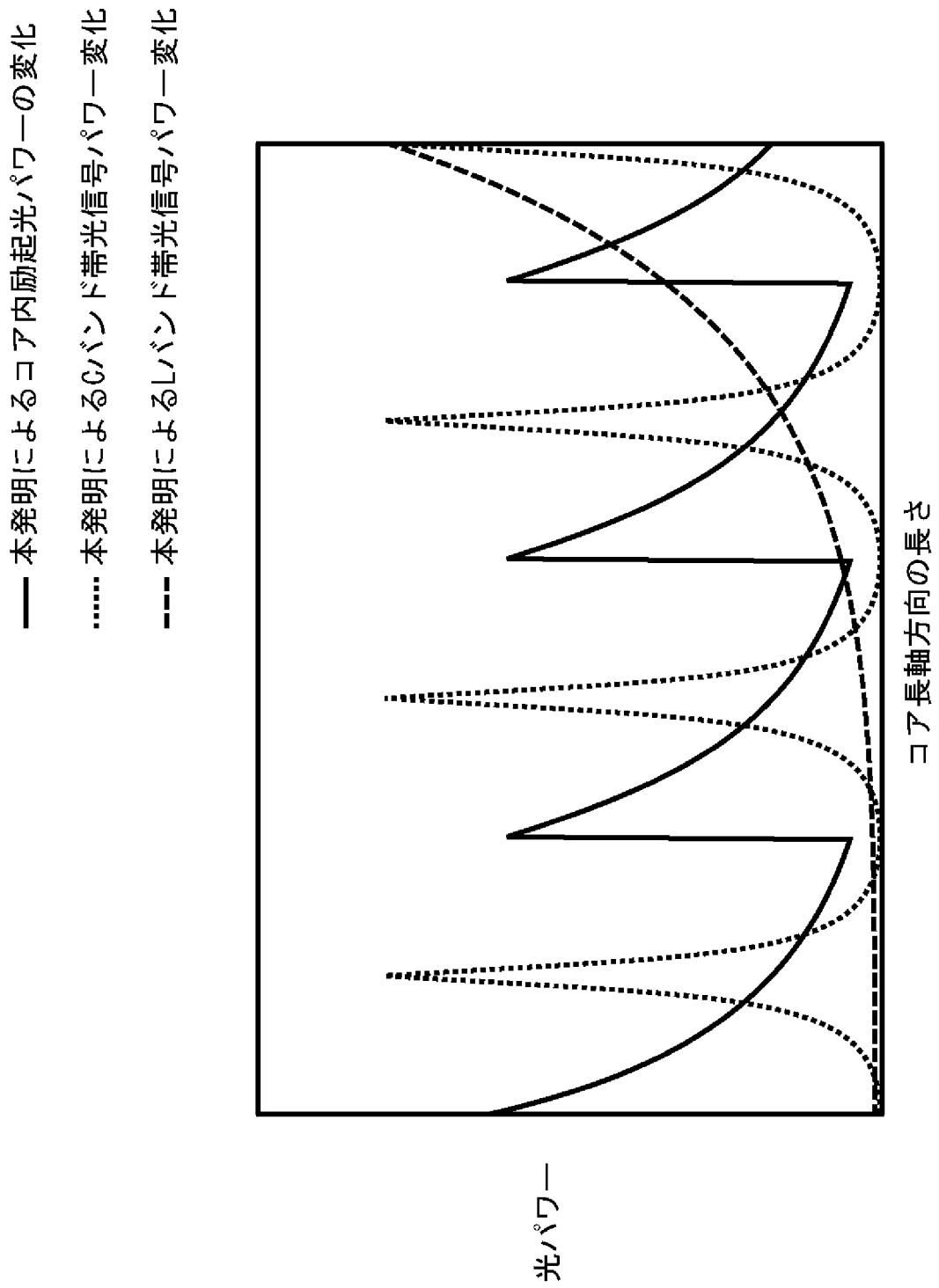
[図7]


本発明による励起光パワーの変化
クラッド励起による励起光パワーの変化
通常の前方励起による励起光パワーの変化
二番目のグレーティングの挿入位置
一番目の
グレーティングの
挿入位置
三番目のグレーティングの
挿入位置
励起光パワー
コア長軸方向の長さ

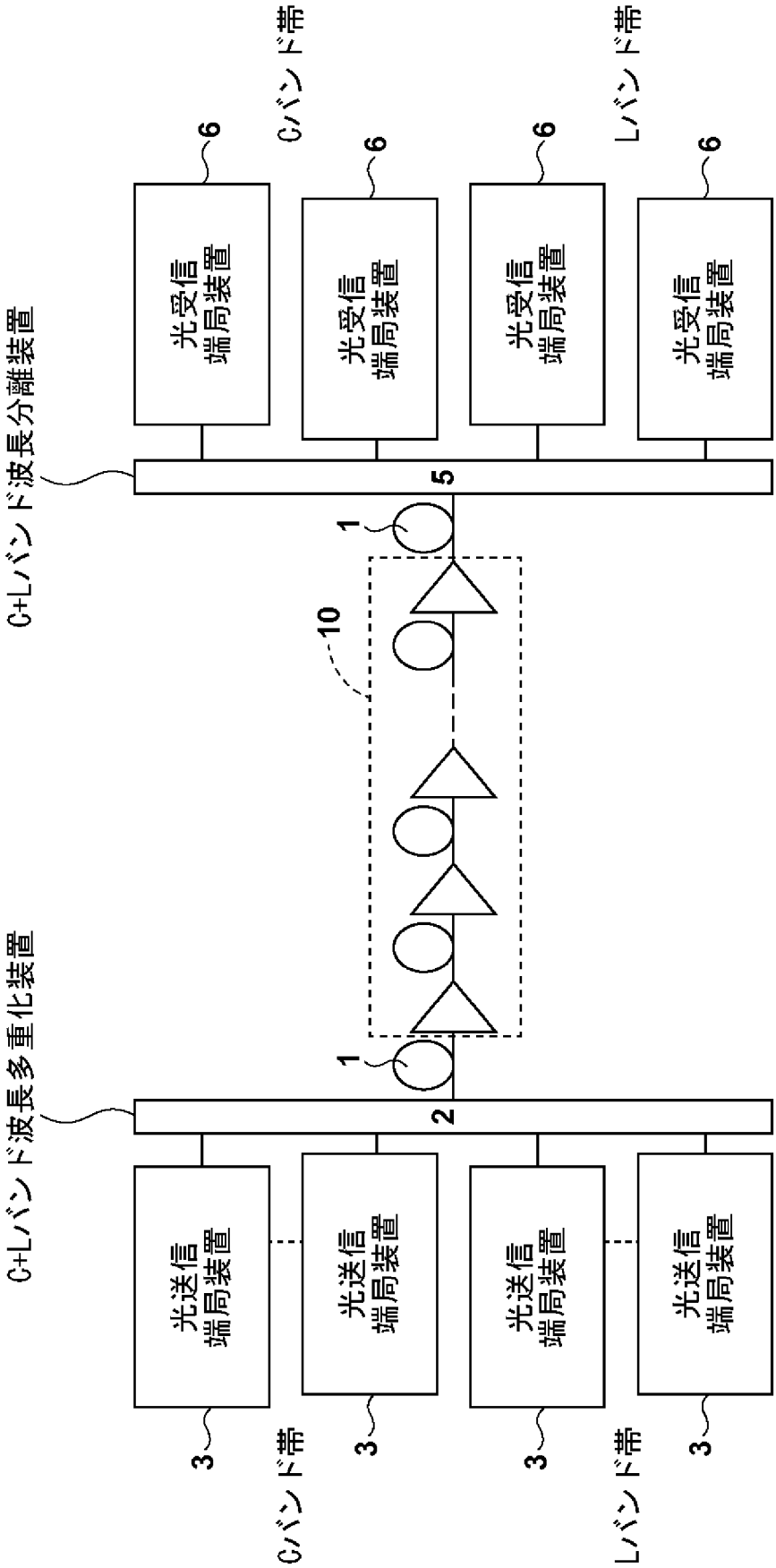
[図8]



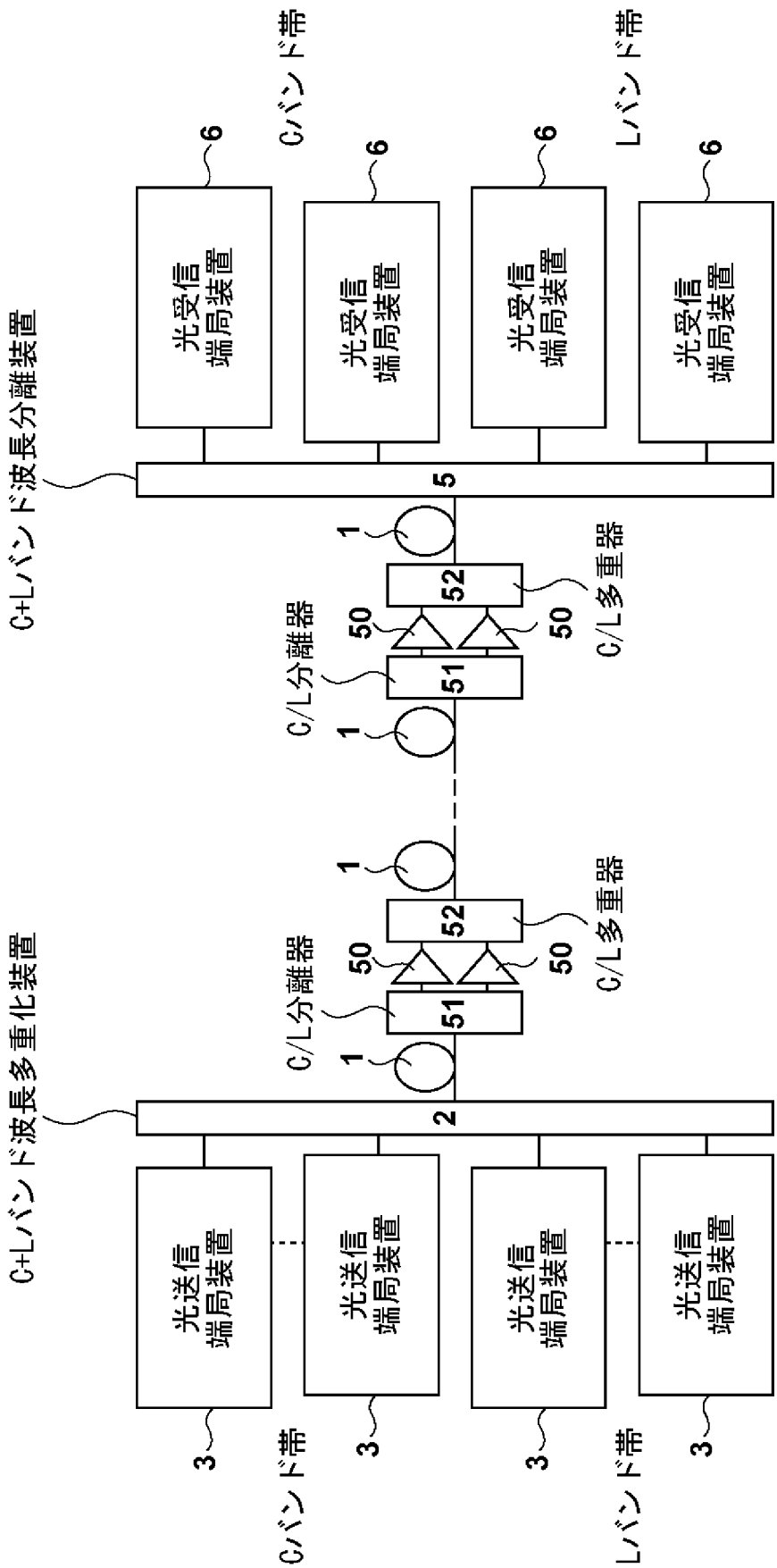
[図9]


本発明によるコア内励起光パワーの変化
本発明によるCバンド帯光信号パワー変化
本発明によるLバンド帯光信号パワー変化
光パワー
コア長軸方向の長さ

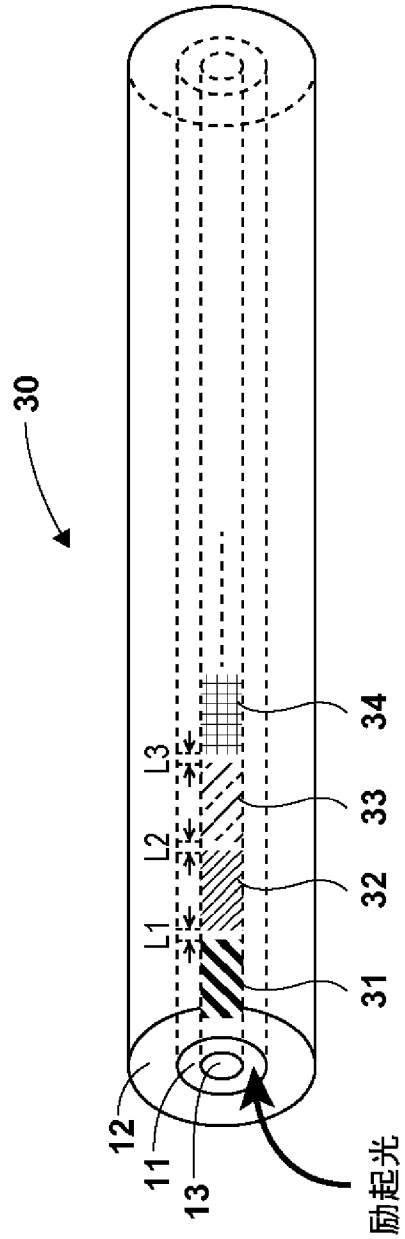
[図10]


C+Lバンド波長多重化装置
C+Lバンド波長分離装置
光送信端局装置
光受信端局装置
Cバンド帯
Lバンド帯
1
2
3
5
6
10

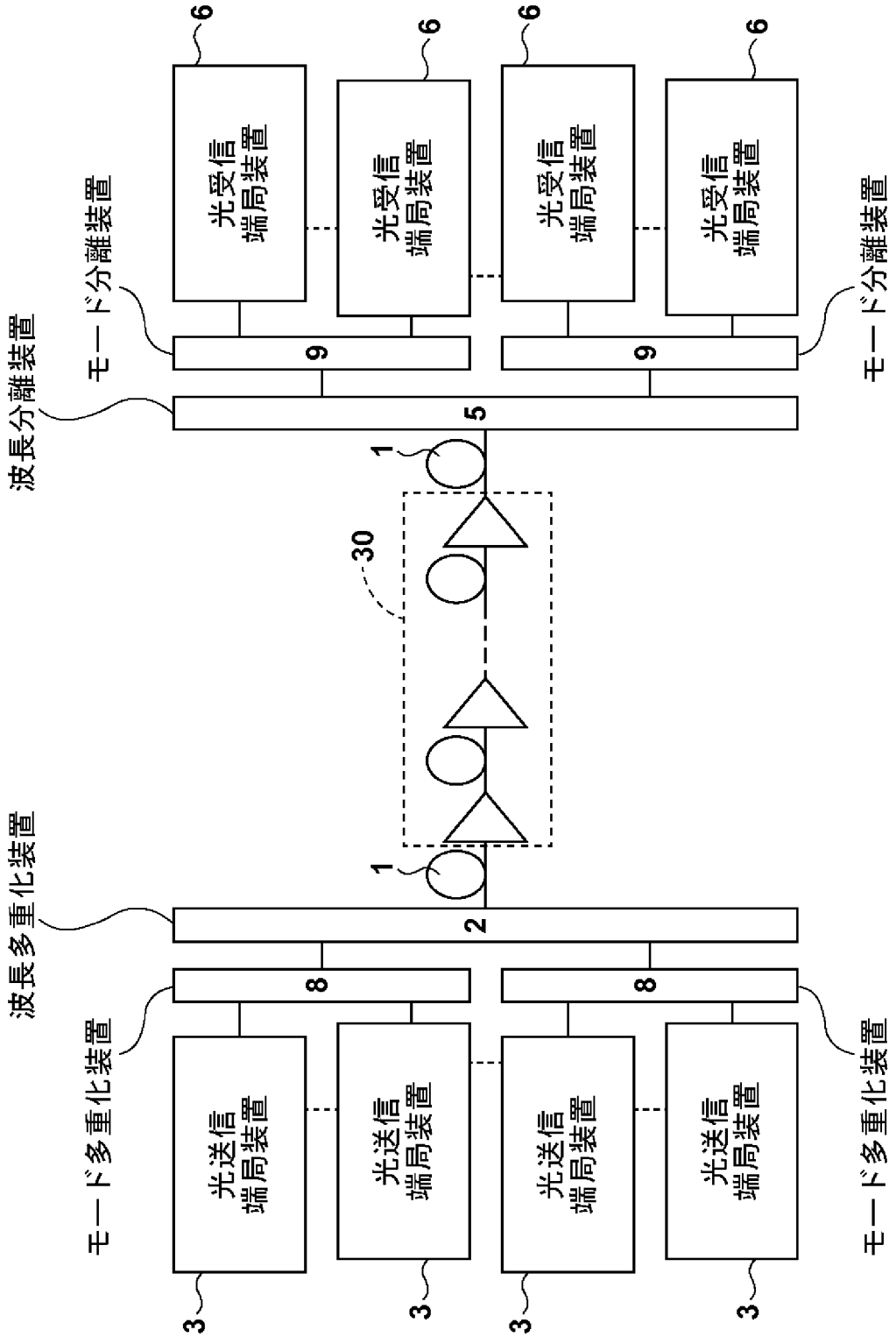
[図11]


C+Lバンド波長多重化装置
C+Lバンド波長分離装置
光送信
端局装置
光受信
端局装置
Cバンド帯
Lバンド帯
C/L分離器
C/L多重器
2
3
5
6
50
51
52
1

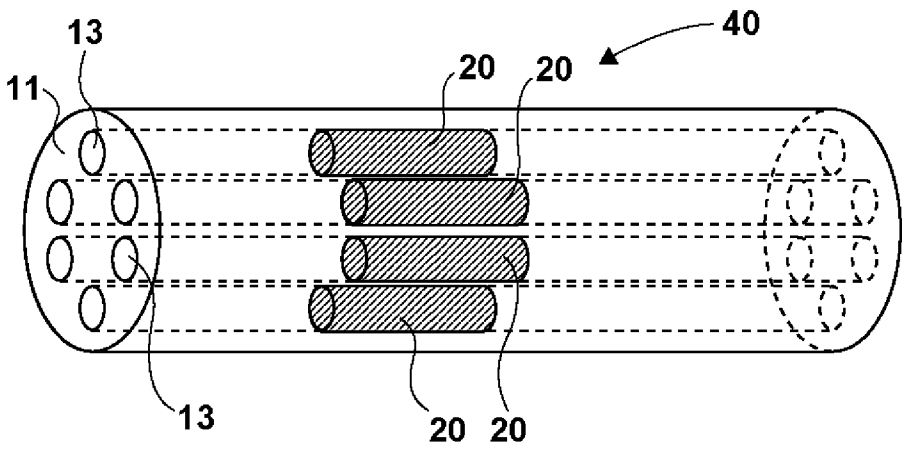
[図12]



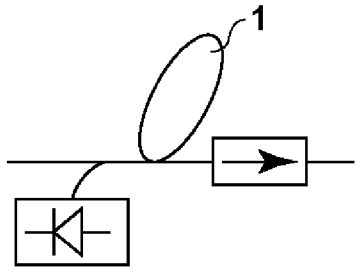
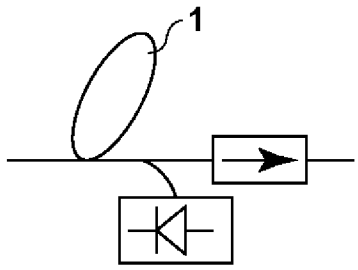
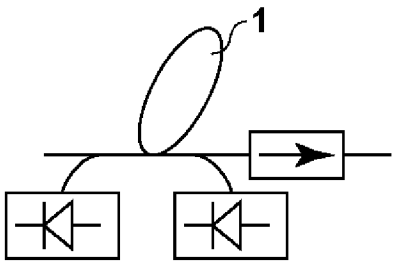
[図13]


光送信
端局装置
光受信
端局装置
モード多重化装置
モード分離装置
波長多重化装置
波長分離装置
1
2
3
5
6
8
9
30

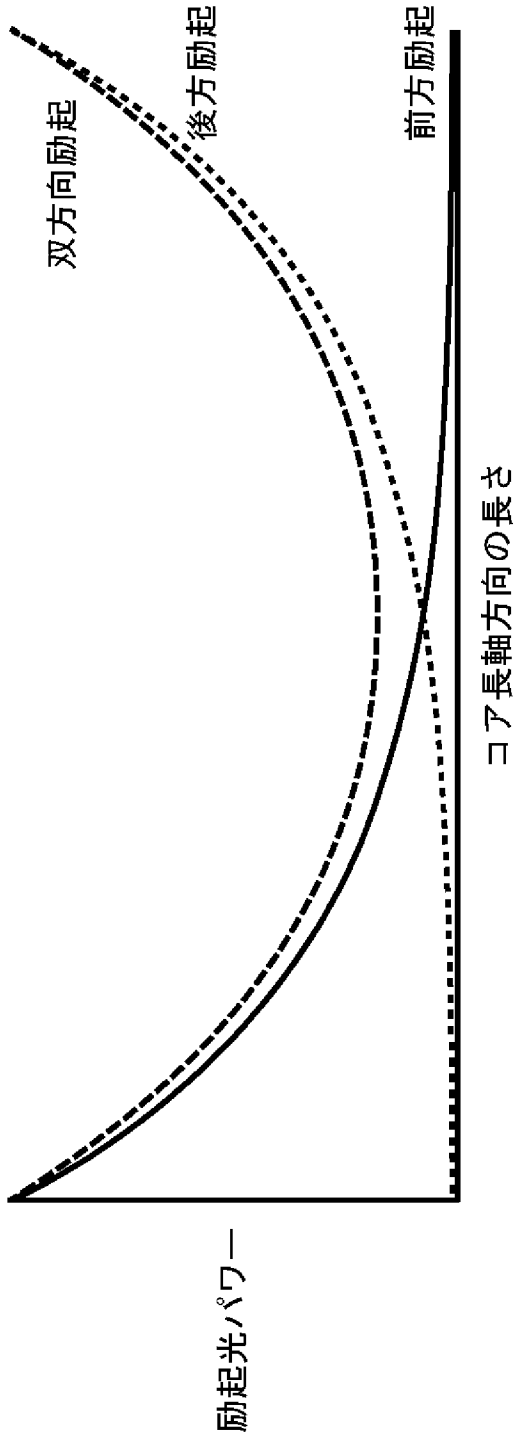
[図14]



[図15]

前方励起	
後方励起	
双方向励起	

[図16]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/072108

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01S3/10(2006.01)i, *H04B10/291*(2013.01)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)
H01S3/067, H01S3/10, G02F1/35-1/39, G02B6/02-6/036, H04B10/291

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
JSTPlus/JST7580(JDreamIII), IEEE Xplore

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2016-127241 A (KDDI Corp.), 11 July 2016 (11.07.2016), claims 1 to 9; paragraphs [0010], [0021] to [0027], [0044] to [0053]; fig. 1, 6 (Family: none)	1-6,8-13 7
Y	JP 2007-214431 A (Hitachi Cable Ltd.), 23 August 2007 (23.08.2007), paragraph [0012]; fig. 5(b) & US 2007/0189340 A1 paragraph [0011]; fig. 5(b) & CN 101017952 A	7
E,X	JP 2016-167489 A (KDDI Corp.), 15 September 2016 (15.09.2016), entire text; all drawings (Family: none)	1-13

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ 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	Date of mailing of the international search report
06 October 2016 (06.10.16)	18 October 2016 (18.10.16)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Authorized officer Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2015)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/072108

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2000-286489 A (KDD Kabushiki Kaisha), 13 October 2000 (13.10.2000), entire text; all drawings (Family: none)	1-13
A	JP 2001-267665 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 28 September 2001 (28.09.2001), entire text; all drawings & US 2001/0026396 A1 & EP 1137127 A2 & AU 2804701 A & CN 1314597 A	1-13

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１６／０７２１０８

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01S3/10(2006.01)i, H04B10/291(2013.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01S3/067, H01S3/10, G02F1/35-1/39, G02B6/02-6/036, H04B10/291

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報　　１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報　　１９７１－２０１６年
日本国実用新案登録公報　　１９９６－２０１６年
日本国登録実用新案公報　　１９９４－２０１６年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

JSTPlus/JST7580 (JDreamIII), IEEE Xplore

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X	JP 2016-127241 A（ＫＤＤＩ株式会社）2016.07.11, 請求項1-9,[0010],[0021]-[0027],[0044]-[0053],図1,6	1-6,8-13
Y	(ファミリーなし)	7
Y	JP 2007-214431 A（日立電線株式会社）2007.08.23, [0012],図5(b) & US 2007/0189340 A1 [0011], Fig.5(b) & CN 101017952 A	7

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　　☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
０６．１０．２０１６	１８．１０．２０１６

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　２Ｋ　４０８５
林　祥恵
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２５５

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
E, X	JP 2016-167489 A（ＫＤＤＩ株式会社）2016.09.15, 全文、全図（ファミリーなし）	1-13
A	JP 2000-286489 A（ケイディディ株式会社）2000.10.13, 全文、全図（ファミリーなし）	1-13
A	JP 2001-267665 A（住友電気工業株式会社）2001.09.28, 全文、全図 & US 2001/0026396 A1 & EP 1137127 A2 & AU 2804701 A & CN 1314597 A	1-13