

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2018-205338
(P2018-205338A)

(43) 公開日 平成30年12月27日(2018.12.27)

(51) Int.Cl.			F I		テーマコード (参考)
GO2F	1/39	(2006.01)	GO2F	1/39	2K102
GO2F	1/01	(2006.01)	GO2F	1/01	B 5F173
HO1S	5/06	(2006.01)	HO1S	5/06	5K102
GO2F	1/37	(2006.01)	GO2F	1/37	
HO4B	10/291	(2013.01)	HO4B	10/291	

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2017-106559 (P2017-106559)
(22) 出願日 平成29年5月30日 (2017.5.30)

(71) 出願人 000004226
日本電信電話株式会社
東京都千代田区大手町一丁目5番1号
(74) 代理人 110001243
特許業務法人 谷・阿部特許事務所
(72) 発明者 阿部 真志
東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
(72) 発明者 風間 拓志
東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
(72) 発明者 梅木 毅伺
東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内

最終頁に続く

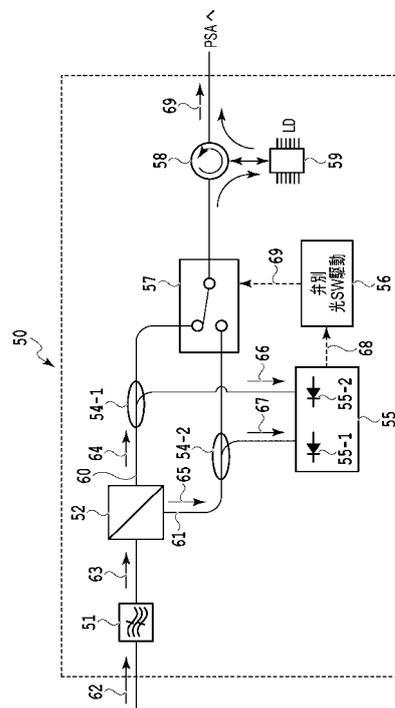
(54) 【発明の名称】 偏波無依存化した励起光再生装置および光中継増幅器

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 偏波多重光信号の光増幅を行う位相感応光増幅器に用いる励起光再生装置において、励起光再生を安定した励起光再生装置を提供する。

【解決手段】 本発明の励起光再生装置 50 は、励起光の直交する 2 つの偏波成分を P B S 5 2 により分離し、励起光に注入同期するスレーブレザ 5 9 の発振偏光方向と同一の偏光に揃える。同一の偏光に揃えられた 2 つの偏波成分を選択または合成し、スレーブレザへ注入される励起光レベル低下を最小限に抑える。一例では P B S で分離された直交する 2 つの偏波成分を、いずれか一方のより大きいレベルの偏波成分が選択されるように光スイッチ 5 7 で光路を切替え、スレーブレザへ励起光が注入されるよう動作する。

【選択図】 図 5



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

励起光を再生する励起光再生成装置であって、
 前記励起光を、直交する 2 つの偏波成分に分離する偏波分離手段と、
 前記直交する 2 つの偏波成分の各々の光量に基づいて、前記直交する 2 つの偏波成分の一方を選択する光スイッチと、
 前記選択された偏波成分の光の注入同期によって発振する半導体レーザと
 を備えたことを特徴とする励起光再生成装置。

【請求項 2】

前記直交する 2 つの偏波成分の第 1 の偏波成分の光を、一方の出力へ分岐する第 1 の光分岐器と、
 前記直交する 2 つの偏波成分の第 2 の偏波成分の光、または当該第 2 の偏波成分を 90° 偏波回転させた光を、一方の出力へ分岐する第 2 の光分岐器と
 をさらに備え、
 前記光スイッチは、前記第 1 の光分岐器からの分岐光レベルと、前記第 2 の光分岐器からの分岐光レベルとの比較に基づいて、前記第 1 の光分岐器の他方の出力からの透過光または前記第 2 の光分岐器の他方の出力からの透過光のいずれかを選択することを特徴とする請求項 1 に記載の励起光再生成装置。

【請求項 3】

前記第 1 の光分岐器からの前記分岐光レベルと、前記第 2 の光分岐器からの前記分岐光レベルとの差に基づいて、電気信号を出力する差動増幅光検出器と、
 前記電気信号に基づいて、前記光スイッチの選択信号を生成する光スイッチ駆動回路と
 をさらに備えたことを特徴とする請求項 2 に記載の励起光再生成装置。

【請求項 4】

前記偏波分離手段はファイバ結合型偏光ビームスプリッタであって、前記直交する 2 つの偏波成分の各電場成分が、各々のスロー軸に一致するようにその偏波軸の向きを設定した 2 本の偏波保持ファイバと接続されることを特徴とする請求項 1 乃至 3 いずれかに記載の励起光再生成装置。

【請求項 5】

励起光を再生する励起光再生成装置であって、
 前記励起光を、直交する 2 つの偏波成分に分離する偏波分離手段と、
 前記直交する 2 つの偏波成分の第 1 の偏波成分の光に、一定周波数の位相振動を付加するディザリング装置と、
 前記直交する 2 つの偏波成分の第 2 の偏波成分の光、または、当該第 2 の偏波成分を 90° 偏波回転させた光の位相調整をする位相調整器と、
 前記位相振動を付加された光と、前記位相調整されかつ 90° 偏波回転された光とを合波するカップラと、
 前記カップラからの合波光のレベルに基づいて、前記位相調整器の位相を調整する制御回路と、
 前記合波光の注入同期によって発振する半導体レーザと
 を備えたことを特徴とする励起光再生成装置。

【請求項 6】

前記制御回路は、前記カップラからの合波光から検波信号を生成し、前記検波信号から前記一定周波数の位相振動の誤差信号を生成し、前記誤差信号に基づいて前記カップラからの前記合波光のレベルを最大化するように前記位相調整器の位相を調整する P I D 制御回路であることを特徴とする請求項 5 に記載の励起光再生成装置。

【請求項 7】

前記偏波分離手段はファイバ結合型偏光ビームスプリッタであって、前記直交する 2 つの偏波成分の各電場成分が、各々のスロー軸に一致するようにその偏波軸の向きを設定した 2 本の偏波保持ファイバと接続されることを特徴とする請求項 5 に記載の励起光再生成

10

20

30

40

50

装置。

【請求項 8】

前記偏波多重信号光を偏波多重分離する偏光ビームスプリッタと、
前記偏光ビームスプリッタからの各偏波を位相感応光増幅する 2 つの二次非線形光学素子モジュールと
を含む偏波ダイバシティ構成と、
前記偏波ダイバシティ構成の前記二次非線形光学素子モジュールの各々へ、再生した励起光を供給する請求項 1 乃至 7 いずれかに記載の励起光再生成装置と
を備えたことを特徴とする光中継増幅器。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

本発明は位相感応光増幅に関する。より具体的には、偏波無依存化構成の光中継増幅器のための励起光の再生成装置および方法に関する。

【0002】

現在の高速大容量通信の実現を支えているのは、波長分割多重 (Wavelength Division Multiplexing: WDM) 伝送技術である。WDM 伝送技術の中の根幹技術の 1 つは光増幅である。例えば、エルビウム添加ファイバンプ (Erbium Doped optical Fiber Amplifier: EDFA) を使用した光長距離通信が既に実用化されている。SNS や小型無線端末の普及などソフトハード両面のユーザ増加とともに通信伝送容量はさらに拡大し、伝送する情報密度も高まっている。これらに対応すべく周波数利用効率の高いデジタルコヒーレント技術の開発も進んでいる。

【0003】

光通信の伝送媒体である光ファイバは非線形光学特性を示す。このため、ある一定以上の光パワーを持つ信号光が入力されると、非線形光学効果により信号の劣化が生じる。チャンネルの高密度化の実現および上述の非線形光学効果による信号劣化の回避を両立させるためには、1 チャンネルあたりの信号強度を低く抑える必要がある。しかしながら信号強度の抑制は、長距離伝送後の信号損失のために信号雑音比 (Signal to Noise Ratio: S/N 比) の劣化を招く。また従来技術の EDFA を使った光増幅技術では、伝送時に発生した雑音も等価に増幅してしまう。情報の高密度化にともなう微小信号の増幅の限界が近づいていた。

【0004】

上述のような EDFA 等の光増幅器の限界を打開する技術として、位相感応光増幅器 (Phase Sensitive Amplifier: PSA) が検討されている。PSA によれば、伝送ファイバの分散の影響のために S/N 比が劣化した信号光パルス波形を整形することができる。EDFA をはじめとする従来技術の位相不感応光増幅器では、光増幅時に発生する信号と無関係の直交位相を持つ自然放出光が発生する。一方、PSA では自然放出光を抑制できるために、原理的に信号光の S/N 比を劣化させずに増幅できる。PSA としては、高非線形ファイバを使用した方法 (非特許文献 1) や非線形光学結晶を使用した方法 (非特許文献 2) 等が提案され実証が進んでいる。以降本明細書では、断りがない限り非線形光学結晶を使用した構成の PSA について説明する。

【0005】

図 1 は、単偏波対応のインライン型の PSA を含む光通信システムの構成を示す図である。概略して光通信システム 10 は、送信器 20 と、伝送ファイバ 1 と、中継増幅器 3 として動作する PSA からなる。中継増幅器 3 は主な構成要素として、励起光を増幅する EDFA 5、第 2 高調波を生成 (SHG: Second Harmonics Generation) する第 1 の二次非線形光学素子モジュール 7 および第 2 高調波によって光パラメトリック増幅 (Optical Parametric Amplification: OPA) を行う第 2 の二次非線形光学素子モジュール 6 などからなる。中継増幅器 3 として動作するためには、伝送ファイバ 1 を経てきた励起光およびアイドラー光を含む信号光をファイバカップラ 2 で分岐し、励起光再生成装置 4 により励

10

20

30

40

50

起光が再生し、中継増幅器 3 へ供給する。

【 0 0 0 6 】

図 2 は、図 1 の光通信システムにおける送信器の構成を示す図である。図 1 における P S A を中継増幅器として動作させる場合、送信器 2 0 は非縮退の構成をとり、送信器で信号光と励起光の差周波を持つアイドラー光を生成しておく必要がある。図 2 の送信器 2 0 は、信号光の生成のために、複数の信号光光源 2 1、各信号光にそれぞれ変調を加える複数の外部変調器 2 2、W D M 信号である信号光 2 6 を生成する光合波器 2 3 を備える。さらに、励起光光源 2 5 からの励起光 2 7 および信号光 2 6 から、アイドラー光生成装置 2 4 において、アイドラー光 2 9 が生成される。図 2 では、励起光 2 7 および信号光 2 6 (s 1、S 2、・・・) の関係、並びに、アイドラー光 2 9 (i 1、i 2、・・・) を含む送信器出力信号 2 8 の関係が模式的に示されている。

10

【 0 0 0 7 】

図 1 を再び参照すると、伝送ファイバ 1 を伝搬してきた信号光、アイドラー光および励起光はファイバカップラ 2 によって 2 つに分岐され、一方は位相感応光増幅用の第 2 の二次非線形光学素子モジュール 6 に、もう一方は励起光再生装置 4 に入射する。二次非線形光学素子モジュールとしては、例えば周期分極反転 L i N b O₃ (P P L N) 導波路を持った P P L N モジュールが利用される。また励起光再生装置 4 としては、注入同期を使った方式 (非特許文献 3) や光 P L L を使った方式 (非特許文献 4) などがある。位相感応光増幅条件を満たすために、信号光または励起光いずれかの光路中に配置した位相補償器によって、励起光および信号光の間の位相ずれの補償を行い、位相感応光増幅を実現している (特許文献 1) 。

20

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 8 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 1 5 - 1 6 5 3 1 6 号 明細書

【 非特許文献 】

【 0 0 0 9 】

【 非特許文献 1 】 Radan Slavik 他、 “ All-optical phase and amplitude regenerator for next-generation telecommunications systems ” , Nature Photonics 4 , 690 (2 0 1 0 年)

30

【 非特許文献 2 】 Takeshi Umeki 他 , “ In-line phase sensitive amplifier based on PPLN waveguides ” , Optics Express 21 , 12077 (2 0 1 3 年)

【 非特許文献 3 】 Samuel L. I. Olsson 他 , “ Injection locking-based pump recovery for phase-sensitive amplified links ” , Optics Express 21 , 14512 (2 0 1 3 年)

【 非特許文献 4 】 Yasuhiro Okamura 他 , “ Optical pump phase locking to a carrier wave extracted from phase-conjugated twin waves for phase-sensitive optical amplifier repeaters ” , Optics Express 24 , 26300 (2 0 1 6 年)

【 非特許文献 5 】 Masashi Abe , et al. , “ PDM-QPSK WDM Signal Amplification Using PPLN-Based Polarization-Independent In-Line Phase-Sensitive Amplifier , ” Proceeding of European Conference on Optical Communication (ECOC) Dusseldorf (2 0 1 6 年) , paper W.4.P1.SC2.11

40

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 0 】

しかしながら、偏波多重信号光の位相感応光増幅器による光増幅は、偏波無依存化の点で未だ十分なものではなかった。W D M 伝送技術を用いた光通信では、直交する偏波が互いに干渉しない性質を利用した偏波多重分離技術 (Polarization Division Multiplexing : P D M) を利用することで伝送情報のさらなる大容量化を達成している。

【 0 0 1 1 】

図 3 は、偏波多重光信号に対応した従来技術の P S A の第 1 の構成例を示す図である。

50

偏波多重光対応の中継光増幅器30は、異なる偏波に対応した2つの位相感応光増幅器を備えている。図1の単偏波対応の中継増幅器3との相違点を述べれば、PSA30は、偏光(偏波)ビームスプリッタ(Polarizing Beam Splitter: PBS)35によって偏波成分毎に信号光を分離し、それぞれの偏波成分に対して独立に別個のPLNモジュール36-1、36-2で位相感応光増幅を行う。位相感応光増幅後の2つの偏波は、第2のPBS37によって再び多重化され、偏波多重光信号のPSA出力38として出力される。伝送路ファイバ31からのアイドラー光、励起光および信号光は、ファイバカプラ32によって2つに分岐され、一方の分岐光が励起光再生装置33に供給される。励起光再生装置33において励起光が再生されて、再生された励起光は分岐されて各PLNモジュール36-1、36-2に供給される。

10

【0012】

図4は、偏波多重光信号に対応した従来技術のPSAの別の構成例を示す図である。図3の構成と同様に、偏波多重光対応の中継増幅器40も、異なる偏波に対応した2つの位相感応光増幅器を備えている。PBS45によって偏波成分毎に信号光を分離し、それぞれの偏波成分に対して独立に別個のPLNモジュール46-1-1、46-2で位相感応光増幅を行う。図3の構成における第2のPBS37の代わりに、図4の構成では偏波回転子47を備え、PSA出力48はPBS45の信号光の入力ポートとは異なるポートから出力される。図3および図4のような偏波多重光信号に対応したPSAは、偏波ダイバシティ構成とも呼ばれている。

20

【0013】

図3および図4のPSAのいずれの構成も、信号光およびアイドラー光に関しては、偏波成分毎に独立の2つの位相感応光増幅器により光増幅されており、偏波無依存が達成されている。しかしながら、励起光再生装置33、43については、未だ偏波無依存化されていない。ここで、励起光と、信号光およびアイドラー光とが伝送される励起光同送方式の場合を例に、注入同期型の励起光再生装置を考える。一般的な光通信の伝送路はシングルモードファイバ(SMF: Single Mode Fiber)で構成されるため、SMFを伝送した励起光の偏光(偏波)は任意に変化する。励起光再生装置33、34に到達したときの励起光の偏光状態を特定することはできない。例えば非特許文献5の図1に示したような注入同期型の励起光再生装置では、スレーブレザは、その発振偏光方向の偏波成分のみを注入成分と感じる。SMFから励起光再生装置33、43へ、発振偏光と直交した偏光状態の励起光が入射すると、発振偏光方向の偏波成分が0となり、励起光の位相同期が起こらない。スレーブレザにおける注入同期が停止して、最悪の場合は励起光の再生が停止する。励起光再生装置でこのような状況が一瞬でも起これば、PSA30、40への励起光供給が停止し、PSAは偏波多重光信号の光増幅機能を失う。SMFを伝送した後の励起光の偏波状態によっては、励起光再生装置で励起光の再生が全くできない状況が発生する。

30

【0014】

本発明はこのような問題に鑑みなされたものであって、その目的とするところは、偏波多重光信号の励起光再生を安定化した励起光再生装置を提供することにある。

40

【課題を解決するための手段】

【0015】

本発明はこのような目的を達成するために、請求項1に記載の発明は、励起光を再生する励起光再生装置であって、前記励起光を、直交する2つの偏波成分に分離する偏波分離手段と、前記直交する2つの偏波成分の各々の光量に基づいて、前記直交する2つの偏波成分の一方を選択する光スイッチと、前記選択された偏波成分の光の注入同期によって発振する半導体レーザとを備えたことを特徴とする励起光再生装置である。

【0016】

請求項2に記載の発明は、請求項1の励起光再生装置であって、前記直交する2つの偏波成分の第1の偏波成分の光を、一方の出力へ分岐する第1の光分岐器と、前記直交する2つの偏波成分の第2の偏波成分の光、または当該第2の偏波成分を90°偏波回転さ

50

せた光を、一方の出力へ分岐する第2の光分岐器とをさらに備え、前記光スイッチは、前記第1の光分岐器からの分岐光レベルと、前記第2の光分岐器からの分岐光レベルとの比較に基づいて、前記第1の光分岐器の他方の出力からの透過光または前記第2の光分岐器の他方の出力からの透過光のいずれかを選択することを特徴とする。

【0017】

請求項3に記載の発明は、請求項2の励起光再生装置であって、前記第1の光分岐器からの前記分岐光レベルと、前記第2の光分岐器からの前記分岐光レベルとの差に基づいて、電気信号を出力する差動増幅光検出器と、前記電気信号に基づいて、前記光スイッチの選択信号を生成する光スイッチ駆動回路とをさらに備えたことを特徴とする。

【0018】

請求項4に記載の発明は、請求項1乃至3いずれかの励起光再生装置であって前記偏波分離手段はファイバ結合型偏光ビームスプリッタであって、前記直交する2つの偏波成分の各電場成分が、各々のスロー軸に一致するようにその偏波軸の向きを設定した2本の偏波保持ファイバと接続されることを特徴とする。

【0019】

請求項5に記載の発明は、励起光を再生する励起光再生装置であって、前記励起光を、直交する2つの偏波成分に分離する偏波分離手段と、前記直交する2つの偏波成分の第1の偏波成分の光に、一定周波数の位相振動を付加するディザリング装置と、前記直交する2つの偏波成分の第2の偏波成分の光、または、当該第2の偏波成分を90°偏波回転させた光の位相調整をする位相調整器と、前記位相振動を付加された光と、前記位相調整されかつ90°偏波回転された光とを合波するカップラと、前記カップラからの合波光のレベルに基づいて、前記位相調整器の位相を調整する制御回路と、前記合波光の注入同期によって発振する半導体レーザとを備えたことを特徴とする励起光再生装置である。

【0020】

請求項6に記載の発明は、請求項5の励起光再生装置であって、前記制御回路は、前記カップラからの合波光から検波信号を生成し、前記検波信号から前記一定周波数の位相振動の誤差信号を生成し、前記誤差信号に基づいて前記カップラからの前記合波光のレベルを最大化するように前記位相調整器の位相を調整するPID制御回路であることを特徴とする。

【0021】

請求項7に記載の発明は、請求項5の励起光再生装置であって、前記偏波分離手段はファイバ結合型偏光ビームスプリッタであって、前記直交する2つの偏波成分の各電場成分が、各々のスロー軸に一致するようにその偏波軸の向きを設定した2本の偏波保持ファイバと接続されることを特徴とする。

【0022】

請求項8に記載の発明は、前記偏波多重信号光を偏波多重分離する偏光ビームスプリッタと、前記偏光ビームスプリッタからの各偏波を位相感応光増幅する2つの二次非線形光学素子モジュールとを含む偏波ダイバシティ構成と、前記偏波ダイバシティ構成の前記二次非線形光学素子モジュールの各々へ、再生した励起光を供給する上述のいずれかの励起光再生装置とを備えたことを特徴とする光中継増幅器である。

【発明の効果】

【0023】

以上説明したように、本発明により偏波多重光信号の励起光を安定して再生する励起光再生装置が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】図1は、単偏波対応のPSAを含む光通信システムの構成を示す図である。

【図2】図2は、図1の光伝送システムにおける送信器の構成を示す図である。

【図3】図3は、偏波多重光信号対応の従来技術のPSA構成を示す図である。

【図4】図4は、偏波多重光信号対応の従来技術の別のPSA構成を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 5】図 5 は、本発明の実施形態 1 の励起光再生成装置のブロック図である。

【図 6】図 6 は、本発明における励起光出力レベル入射偏光角度依存性の図である。

【図 7】図 7 は、本発明の実施形態 2 の励起光再生成装置のブロック図である。

【図 8】図 8 は、本発明における励起光出力レベル入射偏光角度依存性の図である。

【発明を実施するための形態】

【0025】

本発明の励起光再生成装置は、励起光の直交する 2 つの偏波成分を偏波分離手段（例えば P B S ）により分離し、励起光に注入同期するスレーブレザの発振偏光方向と同一の単一の偏光状態に揃える。単一の偏光状態に揃えられた 2 つの偏波成分を選択または合成をして、同期注入型のスレーブレザへ注入される励起光のレベル低下を最小限に抑える。

10

【0026】

偏波分離手段により分離された直交する 2 つの偏波成分を、いずれか一方のより大きいレベルの成分が選択されるように光スイッチで光路を切替えて、スレーブレザへ励起光が注入されるように動作させても良い（実施形態 1）。また、偏波分離手段により分離された直交する 2 つの偏波成分を、スレーブレザの発振偏光と同一の単一の偏光状態に揃え、位相調整器によって一方の偏波成分の位相調整を行ってから再び合波し、合波光が最大レベルとなるように動作させても良い（実施形態 2）。本発明の励起光再生成装置により、スレーブレザへの励起光注入レベルは最大でも 3 d B の低下に止まり、励起光の入射偏光角度に関わらず注入同期動作が安定して維持される。従来技術の励起光再生成装置と比べて、S M F を伝送してきた励起光から安定して励起光を再生できる。位相感応光増幅器による偏波多重信号光の光増幅において不十分であった、励起光再生における偏波無依存化を実現できる。

20

【0027】

本発明の励起光再生成装置によって再生した励起光を偏波ダイバシティ構成に供給し、偏波無依存化および偏波多重信号光の光増幅が実現される。以下の説明では、用語「偏波状態」および「偏光状態」、「偏波成分」および「偏光成分」は、それぞれ同じ意味を表すものとする。以下、本発明の励起光再生成装置の異なる実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0028】

30

[実施形態 1]

図 5 は、本発明の実施形態 1 に係る励起光再生成装置の構成を示すブロック図である。励起光再生成装置 50 は、図 3 および図 4 における従来技術の励起光再生成装置 30、40 に対応するものである。励起光再生成装置 50 は、偏波ダイバシティ構成の中の 2 つの二次非線形光学素子モジュール（P P L N モジュール）へ、それぞれ再生した励起光を供給する。

【0029】

ファイバカプラ（図 3 の 32、図 4 の 42）によって伝送路から分岐した励起光を含む光波群 62 は、励起光 63 のみが光バンドパスフィルタ 52 で取り出される。取り出された励起光 63 を偏波分離手段、例えばファイバ結合型 P B S 52 に入射し、直交した 2 つの偏波（偏光）成分 64、65 に分離する。P B S 52 を透過した、2 つの偏波成分 64、65 は、それぞれ偏波保持ファイバ 60、61 のスロー軸方向に電場成分があるように調整されている。すなわち、一方の偏波保持ファイバ 61 を、他方の偏波保持ファイバ 60 に対して 90°捻って P B S 52 の 2 つの出力ファイバと接続する。このように接続することで、P B S 52 から分離した 2 つの偏波成分 64、65 が、注入同期スレーブレザ 59 の発振偏光に対して揃った向きの単一の偏光となるように構成される。したがってファイバ結合型 P B S の場合であれば、直交する 2 つの偏波成分の各電場成分が、各々のスロー軸に一致するようにその偏波軸の向きを設定した 2 本の偏波保持ファイバ 60、61 によって、後続の 2 つの光分岐器 54 - 1、54 - 2 にそれぞれ接続されることになる。

40

50

【 0 0 3 0 】

偏波保持ファイバ 6 0、6 1 のそれぞれの光路には、分岐比が同じ光分岐器 5 4 - 1、5 4 - 2 が挿入され、カブラの入射に対して 1 0 : 1 の比で分岐される。分岐器は、例えば光量分割カブラをはじめ、様々な実現手段がある。光分岐器 5 4 - 1、5 4 - 2 の分岐比の小さい側の出力ポートからの光 6 6、6 7 をそれぞれ差動増幅光検出器 5 5 に入射する。差動増幅光検出器 5 5 は、2 つの光検出器 5 5 - 1、5 5 - 2 を有している。2 つの光検出器 5 5 - 1、5 5 - 2 は差動動作する。具体的には、このとき図面上側の偏波保持ファイバ 6 0 の光路を通る光量が下側の偏波保持ファイバ 6 1 の光路を通る光量よりも大きいときは正の電圧 6 8 を、逆に小さいときは負の電圧 6 8 を出力する。光分岐器 5 4 - 1、5 4 - 2 の分岐比の大きい側の出力ポートからは、2 つの偏波成分 6 4、6 5 の大部分の光が透過し、各透過光が光スイッチ 5 7 の 2 つの入力ポートにそれぞれ接続される。本実施形態の励起光再生装置 5 0 では、P B S 5 2 後の光分岐器 5 4 - 1、5 4 - 2 の分岐比は 1 0 : 1 としたが、システムの特性に依じてこの分岐比を変えても良い。また、必ずしも 2 つの光分岐の分岐比が同じでなくても良い。要するに、2 つの直交する偏波成分の光レベルの比較ができる限りは、光分岐器 5 4 - 1、5 4 - 2 の分岐比が異なっても良い。

10

【 0 0 3 1 】

差動増幅光検出器 5 5 からの電気信号 5 8 は、弁別回路および光スイッチドライバ 5 6 に入力される。弁別回路および光スイッチドライバ 5 6 は、電気信号 5 8 として正の電圧が入力される時は + 5 V (H I) を出力し負の電圧が入力される時は 0 V (L O) の T T L 信号 6 9 を出力する。T T L 信号 6 9 は、光スイッチ 5 7 の切り替え制御入力となる。光スイッチ 5 7 は、T T L 信号 6 9 が H I 状態では図面で上側の偏波保持ファイバ 6 0 の光路の光を選択して取り出し、L O 状態では下側の偏波保持ファイバ 6 1 の光路の光を選択して取り出す。

20

したがって本発明は、励起光を再生する励起光再生装置 5 0 であって、前記励起光を、直交する 2 つの偏波成分に分離する偏波分離手段 5 2 と、前記直交する 2 つの偏波成分の各々の光量に基づいて、前記直交する 2 つの偏波成分の一方を選択する光スイッチ 5 7 と、前記選択された偏波成分の光の注入同期によって発振する半導体レーザ 5 9 とを備えたものとして実施できる。

30

【 0 0 3 2 】

図 6 は、本実施形態の励起光再生装置における光 S W の出力レベルの入射偏光角度依存性を表した図である。横軸は、直線偏光の回転のみを考えたときの P B S 5 2 への入射励起光の偏光回転角度を示し、0 ° は P B S 5 2 への入射時の偏光が s 偏光状態、9 0 ° は p 偏光状態を示す。縦軸は、P B S 5 2 から光 S W 5 7 までの各光学素子に損失がないとした場合の、入力光パワーに対する出力光パワーの減少量を示す。したがって図 6 において減少量が 0 の時は、P B S 5 2 から光 S W 5 7 までで損失が無いことになる。図 6 のグラフからわかるように、出力光パワーの減少量は最大でも 3 d B (5 0 % の減少) である。ここで、図 6 の入射偏光角度が 0 ~ 4 5 ° の範囲では、図 5 の P B S 5 2 の出力における上側の偏波保持ファイバ 6 0 の光路を通る光が選択されている。一方、図 6 の入射偏光角度が 4 5 ~ 9 0 ° の範囲では、図 5 の P B S 5 2 の出力における下側の偏波保持ファイバ 6 1 の光路を通る光が選択されている。

40

【 0 0 3 3 】

光スイッチ 5 7 によって選択され透過した励起光は、サーキュレータ 5 8 に入射し、スレーブレーザ 5 9 に注入同期をする。スレーブレーザ 5 9 において励起光のパワーおよび光信号雑音比を回復させ、再びサーキュレータ 5 8 を経由して、再生した励起光出力 6 9 が出力される。励起光出力 6 9 は、例えば図 3 の P S A 3 0 または図 4 の P S A 4 0 に供給される。

【 0 0 3 4 】

上述の図 5 の構成では、P B S 5 2 の 2 つの出力に、2 本の偏波保持ファイバ 6 1、6 0 を接続し、一方の偏波保持ファイバを 9 0 ° 捻って接続する例を示した。したがって、

50

2つの光分岐器54-1、54-2に入力される時点で、2つの偏波成分は同一方向に揃っている。本発明の励起光再生成装置では、PBS52で2つの偏波成分に分離した後であって、スレーブレザ59に各偏波成分が到達するまでに一方の偏波成分を90°回転させて、スレーブレザ59で偏波成分の方向が同一に揃っていれば良い。光検出器55-1、55-2による各偏波成分の検出レベルは、偏波状態に関係なく可能であるので、一方の偏波成分の90°回転は、光分岐器54-2の後で行っても良い。このときは、光分岐器54-2は、第2の偏波成分の光を分岐する。

【0035】

励起光を含む信号光は、励起光再生成装置に到達するまでにSMFを数10km以上に及ぶ長距離伝送をする間に、振動や温度変化などによってその偏波状態が刻々と変化する。本発明の励起光再生成装置50において、光スイッチ57および差動増幅光検出器55から光スイッチドライバ56までの電気信号の応答時間は10μs以下である。伝送路ファイバを経て得られた励起光に偏波状態の突然の変化があっても、本発明の励起光再生成装置では、瞬時にこの変化に应答できる。スレーブレザへの励起光の注入レベル低下を抑えて、スレーブレザで安定に注入同期を達成できる。偏波ダイバシティ構成を持つ偏波多重光信号に対応したPSAにおいて、データ変調信号の位相感応光増幅中も、励起光の消失によるデータ欠落を最小限に止められる。

【0036】

従来技術の励起光再生成装置では、励起光をBPFで取り出した後、直ちにスレーブレザに入力していた。SMFで偏波回転が励起光に与えられると、スレーブレザにおいて励起光は発振偏光方向に直交する状態となり、注入同期を停止し励起光の供給が停止する場合があった。これに対して本実施形態の励起光再生成装置50では、光SWによって励起光の一方の偏波成分を選択するだけの簡単な構成によって、スレーブレザにおける励起光のレベル低下量を3dBまでに抑えられる。励起光の偏波状態の変動の影響を抑えて、励起光を安定に再生し、励起光再生成装置の偏波無依存動作を実現できる。本実施形態の励起光再生成装置では、PBS52からアイソレータ58に至るまでにおいてファイバモジュールタイプの光学素子を組み合わせた例を示した。しかし、ファイバモジュールタイプのデバイスだけに限られず、シリコンフォトリソグラフィによる集積デバイスを使用しても良い。

【0037】

[実施形態2]

図7は、本発明の実施形態2に係る励起光再生成装置の構成を示すブロック図である。実施形態1では、PBSからの2つの偏波成分の一方を選択することによって励起光の低下を抑えていたが、本実施形態の励起光再生成装置70の構成では、PBS72からの2つの偏波成分を合成する。

【0038】

ファイバカプラ(図3の32、図4の42)によって伝送路から分岐した励起光を含む光波群83は、励起光84のみが光バンドパスフィルタ71で取り出される。取り出された励起光84をファイバ結合型PBS72に入射し、直交した2つの偏波成分85、86に励起光を分離する。PBS72を透過した、2つの偏波成分64、65は、それぞれ偏波保持ファイバ81、82のスロー軸方向に電場成分があるように調整されている。すなわち、一方の偏波保持ファイバ82を、他方の偏波保持ファイバ81に対して90°捻ってPBS72の2つの出力ファイバと接続する。このように接続することで、PBS72から分離した2つの偏波成分81、82が、注入同期スレーブレザ78の発振偏光方向に対して揃った向きの単一の偏波(偏光)となるように構成される。

【0039】

PBS72によって分離される2つの出力の一方の光路(偏波保持ファイバ81側の光路)には位相検出用のディザを加えるディザリング装置73が配置される。ディザリング装置73は、PBS72から分離した偏波成分85に一定周波数(周期)の位相振動を付加することができる。もう一方の光路(偏波保持ファイバ82側の光路)には位相調整器

10

20

30

40

50

74が配置されている。位相調整器74は、ファイバストレッチャーと呼ばれるような圧電素子(PZT)など物理的にファイバを伸び縮みさせるもの、励起光を空間に飛ばしてPZTなどで光路長を変えるもの、LNに代表される位相変調器などを含む。

【0040】

ディザリング印加装置73を透過した位相振動を付加された光および位相調整器74を透過した位相調整された光は、3dBカブラ75によって合波される。光量分割カブラ(光分岐器)76によって、合波光の一部を取り出し、分割された光88を光検出器79によって検波する。位相比較およびPID制御部80において、検波された光電変換後の信号89をディザリング周波数で復調することで位相比較された誤差信号が得られる。この誤差信号に基づいてPIDコントローラによってPID信号90を生成し、位相調整器86にフィードバックする。位相比較およびPID制御部80は、3dBカブラ75の後の合波光の光量が最大になるように、位相調整器86によって位相調整を行う。

10

【0041】

図8は、本実施形態の励起光再生装置の3dBカブラの出力における励起光レベルの入射偏光角度依存性を表した図である。図6と同様に、横軸は直線偏光の回転のみを考えたときのPBS72への入射励起光の偏光回転角度を示し、0°はPBS72への入射時の偏光がs偏光状態、90°はp偏光状態を示す。縦軸は、PBS72から3dBカブラ75までの各光学素子に損失がないとした場合の、入力光パワーに対する出力光パワーの減少量を示す。したがって図8において減少量が0の時は、PBS72から3dBカブラ75までで損失が無いことになる。PBS72から、ディザリング装置73および位相調整器74をそれぞれ含む2つの光路を経て3dBカブラ75に至る構成は、マッハツェンダ干渉計(Mach-Zehnder Interferometer: MZI)と同様の構成を持つ。このため、MZIの2つのアームの光パワーが均等になる時、すなわち励起光の入射偏光回転角度が45°となる時に、位相調整器74によって位相調整を行えば、3dBカブラ75で合成した励起光は損失無く出力される。

20

【0042】

光量分割カブラ76透過した2つの偏波成分の合波光は、サーキュレータ77に入射し、スレーブレザ78に注入同期をする。スレーブレザ78において励起光のパワーおよび光信号雑音比を回復させ、再びサーキュレータ77を経由して、再生した励起光出力87が出力される。再生した励起光出力は、例えば図3のPSA30または図4のPSA40に供給される。

30

【0043】

したがって本発明は、励起光を再生する励起光再生装置70であって、前記励起光を、直交する2つの偏波成分に分離する偏波分離手段72と、前記直交する2つの偏波成分の第1の偏波成分の光に、一定周波数の位相振動を付加するディザリング装置73と、前記直交する2つの偏波成分の第2の偏波成分の光、または、当該第2の偏波成分を90°偏波回転させた光の位相調整をする位相調整器74と、前記位相振動を付加された光と、前記位相調整されかつ90°偏波回転された光とを合波するカブラ75と、前記カブラからの合波光のレベルに基づいて、前記位相調整器の位相を調整する制御回路と、前記合波光の注入同期によって発振する半導体レーザ78とを備えたものとして実施できる。

40

【0044】

上述の図7の構成では、PBS72の2つの出力に、2本の偏波保持ファイバ81、82を接続し、一方の偏波保持ファイバを90°捻って接続する例を示した。したがって、ディザリング装置73および位相調整器74に入力される時点で、2つの偏波成分は同一に揃っている。本発明の励起光再生装置では、PBS52で2つの偏波成分に分離した後であって3dBカブラ75で合波する前に一方の偏波成分を90°回転させて、スレーブレザ59で偏波成分が同一に揃っていれば良い。位相調整器74による位相調整は偏波状態に関係なく可能であるので、一方の偏波成分の90°回転は、位相調整器74の後で行っても良い。

【0045】

50

本実施形態の励起光再生成装置 70 においては、ディザリング周波数は一例として 1 MHz とした。使用する光ファイバの種類や伝送路の環境に応じ、偏波変化に対応するのに必要な応答速度によって、または使用する PID 制御部品の性能によって、ディザリング周波数は 1 MHz より低くても高くても良い。光検出器 79 における検波出力電圧 89 から誤差信号を経て PID 制御信号 90 までの信号帯域は、100 kHz 以上である。この信号帯域についても同様に限定されない。伝送路ファイバ (SMF) を経て得られる励起光の偏波に突然の変化があっても、本発明の励起光再生成装置では、瞬時にこの偏波の変化に応答できる。スレーブレーザへの励起光注入レベルの低下を抑えて、安定に注入同期を達成できる。偏波ダイバシティ構成を持つ偏波多重光信号に対応した PSA において、データ変調信号の位相感応光増幅中も、励起光の消失によるデータ欠落を最小限に止められる。

10

【0046】

従来技術の励起光再生成装置では、励起光を BPF で取り出した後、直ちにスレーブレーザに入力していた。励起光に SMF で偏波回転が与えられると、スレーブレーザにおいて励起光は発振偏光方向に直交する状態となり、注入同期が停止し励起光の供給が停止する場合があった。これに対して本発明の励起光再生成装置 70 では、位相調整器 74 を用いて位相調整を行い、MZI と同様の簡単な構成によって、励起光のレベル低下量を 3 dB までに抑えられる。偏波多重光信号からの励起光の偏波状態変動の影響を抑えて、励起光を安定して再生し、偏波無依存動作を実現できる。

20

【0047】

本実施形態の励起光再生成装置では、PBS 72 からアイソレータ 77 に至るまでにおいてファイバモジュールタイプの光学素子を組み合わせているが、シリコンフォトリクスをはじめとするプロセス集積技術による集積デバイスを使用しても良い。

【0048】

以上詳細に述べたように本発明の励起光再生成装置によって、励起光の偏波状態のいかに関わらず、注入同期によって発振する半導体レーザへの励起光レベル低下を抑え、安定した励起光再生が実現できる。PBS で分離した励起光の 2 つの偏波成分を選択または合成処理する簡単な構成によって、励起光再生成装置における偏波無依存化が効果的に実現される。

30

【産業上の利用可能性】

【0049】

本発明は、光通信システムに利用できる。具体的には、偏光状態が変化する伝送路を透過した後の光増幅技術に利用できる。

【符号の説明】

【0050】

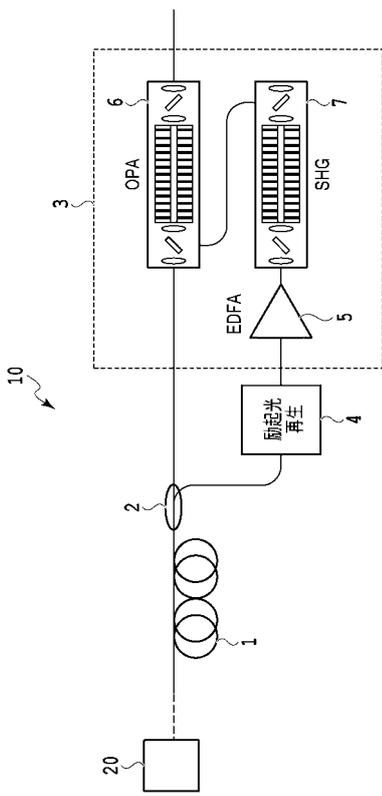
- 1、31、41 SMF
- 2、32、42、54 - 1、54 - 2、76 光分岐器
- 3 光中継増幅器
- 4、33、43、50、70 励起光再生成装置
- 5 EDFA
- 20 送信器
- 30 偏波ダイバシティ構成
- 35、37、46、52、72 偏波分離スプリッタ (偏波分離手段)
- 51、71 バンドパスフィルタ (BPF)
- 55 差動光検出器
- 57 光スイッチ
- 58、77 光アイソレータ
- 59、78 スレーブレーザ
- 60、61、81、82 偏波保持ファイバ
- 73 ディザリング装置

40

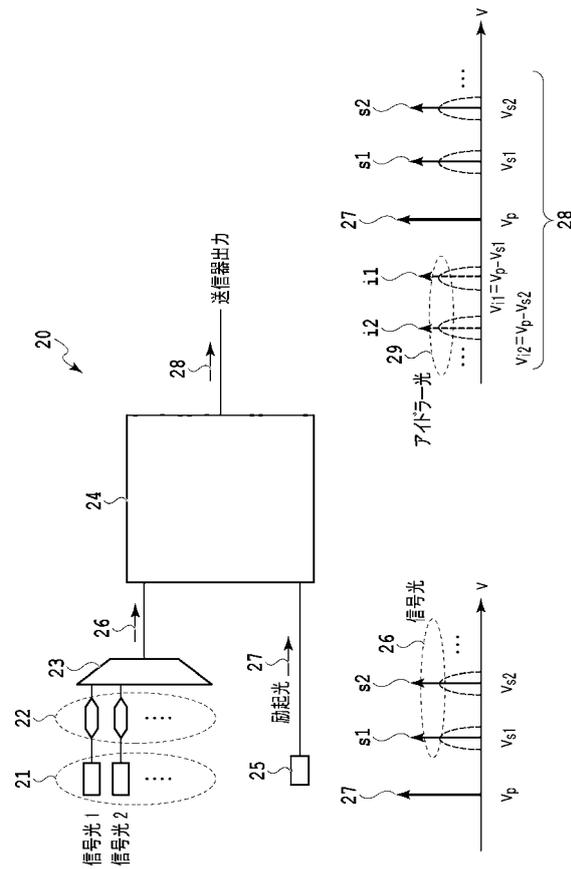
50

- 7 4 位相調整器
- 7 5 3 d B カプラ

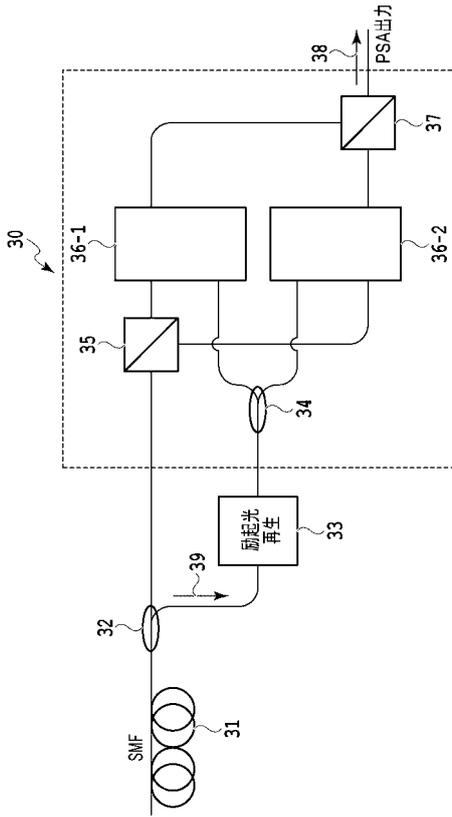
【 図 1 】



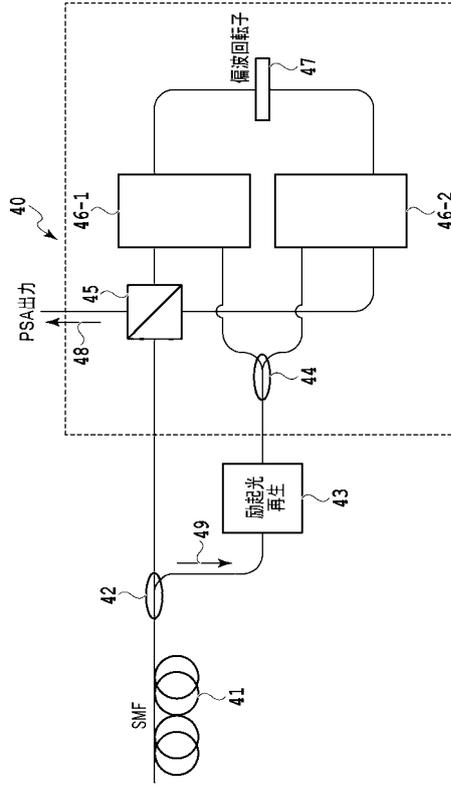
【 図 2 】



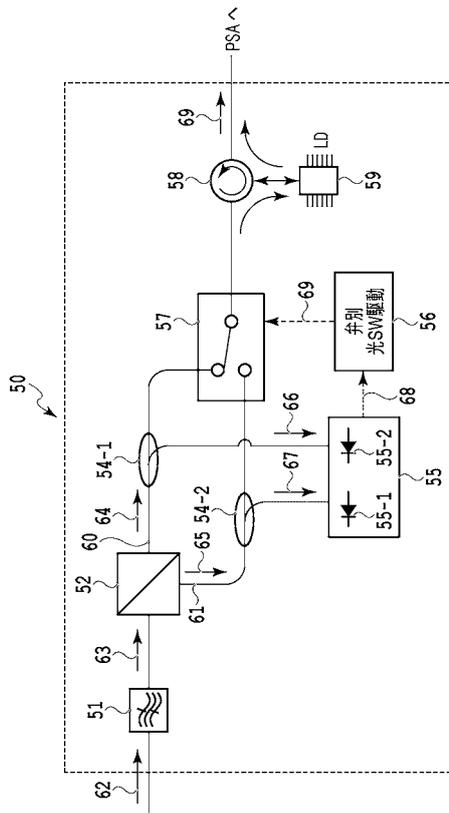
【図3】



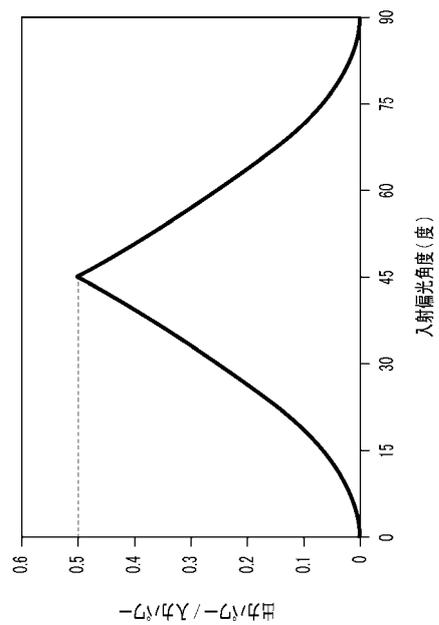
【図4】



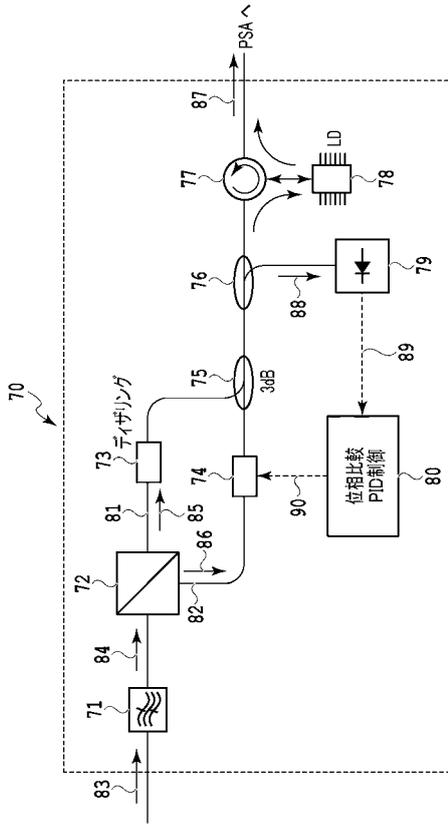
【図5】



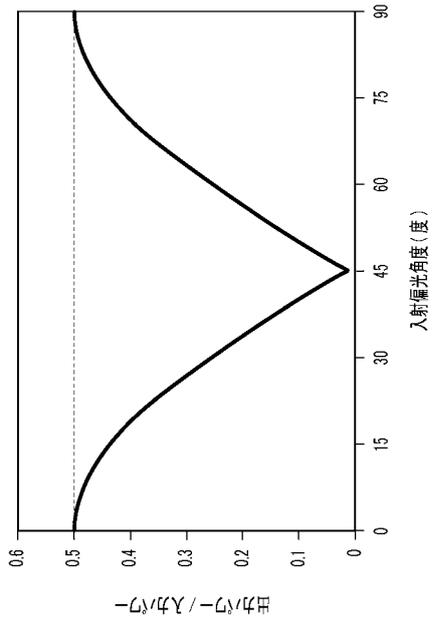
【図6】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 笠原 亮一

東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内

(72)発明者 圓佛 晃次

東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内

(72)発明者 柏崎 貴大

東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内

Fターム(参考) 2K102 AA02 AA06 AA08 AA22 BA00 BA08 BA13 BB02 BB04 BC01
BC04 BC06 BD02 CA02 DA10 DA20 DD05 EA26 EA28 EB06
EB11 EB16 EB20 EB22
5F173 MA02 MA10 MF03 MF18 MF24 MF34 MF36 MF40
5K102 AA01 AA57 AA67 AD01 AD15 KA01 KA42 PA12 PD13 PH11
PH22 PH41 PH43