(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
2011 年 3 月 24 日(24.03.2011)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2011/033645 A1

(51) 国際特許分類:
G02F 1/39 (2006.01) *G02F 1/35* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2009/066330

(22) 国際出願日: 2009 年 9 月 18 日(18.09.2009)

(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 (米国を除く全ての指定国について): 富士通株式会社 **(FUJITSU LIMITED)** [JP/JP]; 〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中４丁目１番１号 Kanagawa (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 岡部 亮 **(OKABE, Ryou)** [JP/JP]; 〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中４丁目１番１号 富士通株式会社内 Kanagawa (JP). 二見 史生 **(FUTAMI, Fumio)** [JP/JP]; 〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中４丁目１番１号 富士通株式会社内 Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 服部 毅巖 **(HATTORI, Kiyoshi)**; 〒1920082 東京都八王子市東町９番８号 八王子東町センタービル 服部特許事務所 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, 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, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ,

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL AMPLIFYING DEVICE

(54) 発明の名称 : 光増幅装置

[図1]

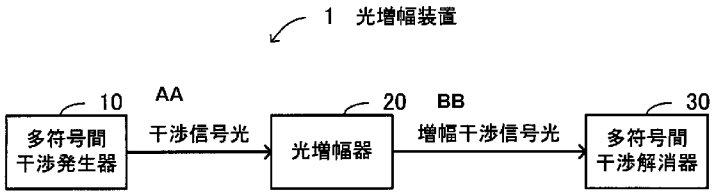


FIG. 1:
1 OPTICAL AMPLIFYING DEVICE
10 INTER-MULTI-CODE INTERFERENCE GENERATOR
AA INTERFERENCE SIGNAL LIGHT
20 OPTICAL AMPLIFIER
BB AMPLIFIED INTERFERENCE SIGNAL LIGHT
30 INTER-MULTI-CODE INTERFERENCE CANCELLER

(57) Abstract: The linearity of a gain is improved with respect to instantaneous changes in the input power of signal light. An inter-multi-code interference generator causes signal light pulses included in a received wavelength-multiplexing signal light to interfere across the inter-multi-code with the same wavelength, compresses the deviation between the peak power and bottom power of the signal light pulses, and generates an interference signal light. An optical amplifier has the characteristics of cross-gain modulation, amplifies the deviation-compressed interference signal light, and outputs the amplified interference signal light. An inter-multi-code interference canceller cancels the interference to restore the deviation between the peak power and bottom power of the signal light pulses.

(57) 要約: 信号光の入力パワーの瞬間変動に対して利得の線形性を向上する。 多符号間干渉発生器は、受信した波長多重信号光に含まれる各信号光パルスを、同一の波長内において多符号間に渡って干渉させて、信号光パルスのピークパワーとボトムパワーとの偏差を圧縮して、干渉信号光を生成する。光増幅器は、相互利得変調の特性を有し、偏差の圧縮された干渉信号光を増幅して、増幅干渉信号光を出力する。多符号間干渉解消器は、干渉を解消して信号光パルスのピークパワーとボトムパワーとの偏差を復元する。

WO 2011/033645 A1

CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

明　細　書

発明の名称 ： 光増幅装置

技術分野

[0001] 本発明は、信号光の光増幅を行う光増幅装置に関する。

背景技術

[0002] 光通信ネットワークを構築するキーデバイスである光増幅器には、エルビウム添加光ファイバ増幅器（ＥＤＦＡ：Erbium Doped Fiber Amplifier）、半導体光増幅器（ＳＯＡ：Semiconductor Optical Amplifier）、ラマンアンプ（Raman Amplifier）等があり広く実用化されている。

[0003] 一方、近年では、これらの光増幅器に比べ、雑音指数の低い低雑音光増幅器である光パラメトリック増幅器（ＯＰＡ：Optical Parametric Amplifier）が注目されている。

ＯＰＡは、非線形光学効果（ガラス中に比較的強いパワーの光を伝搬させたときに、光強度に応じてガラスの物性が変化して、光学的な応答が線形性を失う現象）の発生効率が高い高非線形ファイバ（ＨＮＬＦ：High Non－Linear Fiber）に対し、信号光と励起光を入力して、パラメトリック増幅（Parametric Amplification）を起こさせる。

[0004] パラメトリック増幅は、非線形光学効果によって信号光の強度を増幅するものであり、従来のＥＤＦ（Erbium-Doped Fiber）のような線形増幅媒体を用いずに、信号光と励起光とが高非線形ファイバの中で相互作用することで生じる現象である。

[0005] ＯＰＡは、従来の光増幅器よりも低雑音であり、広帯域、超高速（フェムト秒単位）に動作する特徴を持つ。また、帯域については、ＥＤＦＡの増幅帯域外においても動作させることが可能である。

[0006] 従来技術としては、励起光の波長を含む増幅帯域を有して励起光を増幅して出力する第１光増幅器と、第１光増幅器から出力される励起光を第１光増幅器の増幅帯域外に波長を有する信号光とともに非線形光学媒質に供給する

光パラメトリック増幅器が提案されている（特許文献１）。また、ＷＤＭ（Wavelength Division Multiplexing）信号光の光パラメトリック増幅を行う光パラメトリック増幅器が提案されている（非特許文献１）。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開２００８－８９７８１号公報

非特許文献

[0008] 非特許文献1：Amplification of WDM Signals in Fiber－Based Optical Parametric Amplifiers, Tomas Torounidis et. al., IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, VOL. 15 NO.8, 2003, pp1061－1063

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] ＯＰＡでは、入力する信号光のパワーが増大して、励起光のパワーに近づいていくと、励起光のエネルギーが枯渇して増幅率が低下し、出力パワーが飽和する現象が発生する。

図１７はＯＰＡの入出力特性を示す図である。横軸はＯＰＡへの信号光の入力パワー、縦軸はＯＰＡによって増幅された後の信号光の出力パワーである。

[0010] 光パラメトリック増幅時、励起光のエネルギーが入力信号光に与えられて、信号光は増幅されて出力するが（実際にはアイドラ（idler）光も発生する）、信号光パワーが励起光パワーと同一レベルに近づくにつれて、図１７に示すように、信号光の増幅率が低下して出力パワーが飽和する。

[0011] このような特性を持つＯＰＡに対して、波長多重された多波長信号（ＷＤＭ信号）光を入力して増幅を起こさせるとする。この場合、ＷＤＭ信号光では、信号間のデータタイミングによって、ＯＰＡへ入力するときの入力パワーが時間的に変動するが、ＯＰＡは、超高速（フェムト秒単位）に応答し、入力パワーによって利得が異なるため、利得が時間的に異なる現象（利得変

調）が発生してしまう。このため、ＷＤＭ信号光を増幅する場合、一定の増幅率で増幅することができないといった問題があった。

[0012] 図１８は問題点を説明するための図である。３チャネル（３波長）のＷＤＭ信号光がＯＰＡ５に入力するものとする。また、時間方向に対して、チャネルｃｈ１は１、１、１、０の強度変調光であり、チャネルｃｈ２は１、１、０、０の強度変調光であり、チャネルｃｈ３は１、０、０、０の強度変調光であるとする。

[0013] 時間ｔ１におけるＷＤＭ信号光の入力パワーは３（＝１＋１＋１）となり、時間ｔ２では、ＷＤＭ信号光の入力パワーは２（＝１＋１＋０）となり、時間ｔ３では、ＷＤＭ信号光の入力パワーは１（＝１＋０＋０）となる。

[0014] このように、入力パワーに時間変動を持つＷＤＭ信号光が、ＯＰＡ５に入力すると、時間ｔ１～ｔ３のそれぞれの入力パワーが異なるので、時間ｔ１～ｔ３の入力光に対する増幅率も異なり、ＯＰＡ５の増幅出力光レベルには時間変動が生じることになる。

[0015] この例の場合、時間ｔ１では入力パワーが高いので、増幅率が低くなって出力パワーが低くなるが、時間ｔ３では入力パワーが低いために増幅率が高くなって出力パワーが高くなる。結果的にＯＰＡ５の時間毎の出力信号光にレベル差が生じてしまう。

[0016] 上記のように、増幅出力光レベルに時間変動が生じる現象は、ＯＰＡ５においては、ＷＤＭ信号光の増幅の際には、相互利得変調（ＸＧＭ：Cross Gain Modulation）が発生していることが原因と見られる。相互利得変調は、入力された複数の波長の光において、あるチャネルの光のオン／オフにより、他のチャネルの光が相互に強度変調を受ける現象である。

[0017] ＯＰＡ５において、ＷＤＭ信号光と励起光との間で相互利得変調が生じると、励起光がフェムト秒単位でフォトンエネルギーの高速移動が行われ、このとき、励起光のフォトンエネルギーがＷＤＭ信号光の各信号光パルスに線形的に比例分配（線形増幅）されないために、増幅出力光レベルに時間変動が生じてしまう。

[0018] これは、時間軸上においてＷＤＭ信号光のエネルギー分布の偏差が極めて大きいことに起因するものである（なお、ＷＤＭ信号光を一定の増幅率で増幅できない現象については、上記の非特許文献１にも指摘されている）。

[0019] 光増幅器として一般的に広く用いられるＥＤＦＡでは、マイクロ秒単位の応答速度であるので、例えば、ピコ秒単位のパルス幅を持つ信号光が入力しても、その入力光レベルの時間変動には追従せず、一定の増幅率で増幅することができる。

[0020] しかし、従来のＯＰＡ５の場合は、フェムト秒単位で応答する高速性を持つために、ピコ秒単位のパルス幅を持つ信号光が入力すると、その入力光レベルの時間変動と同じように増幅率も変動してしまうのである。

[0021] なお、上記ではＯＰＡに関する問題点として説明したが、上記の問題点は、ＯＰＡに限るものではなく、相互利得変調特性を有する光増幅器として、例えば、ＳＯＡ等についても同様に生じるものである。

[0022] 本発明はこのような点に鑑みてなされたものであり、信号光の入力パワーに応じた増幅率の変動を抑制した増幅を可能にした光増幅装置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

[0023] 上記課題を解決するために、光増幅を行う光増幅装置が提供される。この光増幅装置は、波長多重信号光の各信号光を、同一波長内において多符号間に渡り光パルスを干渉させ、信号光パルスのピークパワーとボトムパワーとの偏差を圧縮し、干渉信号光を生成する多符号間干渉発生器と、相互利得変調の特性を有し、前記干渉信号光を増幅して、増幅干渉信号光を出力する光増幅器と、前記増幅干渉信号光の干渉を解消して、前記偏差を復元する多符号間干渉解消器とを有する。

[0024] 光増幅器では、ピークパワーとボトムパワーの偏差が小さい信号を増幅するために、相互利得変調が抑制された光増幅が行われる。その後、多符号間干渉解消器は、増幅された干渉信号光の干渉を解消して偏差を復元する。

発明の効果

[0025] 信号光の入力パワーの瞬間変動に応じた増幅率の変動を抑制して、利得の線形性を向上することが可能になる。

本発明の上記および他の目的、特徴および利点は本発明の例として好ましい実施の形態を表す添付の図面と関連した以下の説明により明らかになるであろう。

図面の簡単な説明

[0026] [図1]光増幅装置の構成例を示す図である。

[図2]光増幅装置の動作を示す図である。

[図3]非線形クロストークの発生の様子を示す図である。

[図4]ＯＰＡによって光増幅を行う光増幅装置の構成例を示す図である。

[図5]偏波ダイバーシティ構成によって光増幅を行う光増幅装置の構成例を示す図である。

[図6]ＳＯＡによって光増幅を行う光増幅装置の構成例を示す図である。

[図7]光増幅装置の構成例を示す図である。

[図8]光増幅装置の構成例を示す図である。

[図9]多符号間干渉発生器および多符号間干渉解消器の群遅延特性を示す図である。

[図10]多符号間干渉発生器および多符号間干渉解消器の反射特性を示す図である。

[図11]光増幅装置の構成例を示す図である。

[図12]光伝送システムの構成例を示す図である。

[図13]光伝送システムの変形例を示す図である。

[図14]光増幅装置の変形例を示す図である。

[図15]ＯＰＡの利得特性を示す図である。

[図16]ＯＰＡの入出力特性を示す図である。

[図17]ＯＰＡの入出力特性を示す図である。

[図18]問題点を説明するための図である。

発明を実施するための形態

[0027] 以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。図１は光増幅装置の構成例を示す図である。光増幅装置１は、多符号間干渉発生器１０、光増幅器２０および多符号間干渉解消器３０を備える。別の態様では、１つの筐体の中に少なくとも以下の実施例にかかる光増幅装置を備えてもよい。

[0028] 多符号間干渉発生器１０は、受信した波長多重信号光（ＷＤＭ信号光）に含まれる各信号光波形を、同一の波長内の１つの符号が連続した２つ以上の符号に渡って干渉させて、信号光パルスのピークパワーとボトムパワーとの偏差（レベル差）を圧縮して、干渉信号光を生成する。

[0029] 光増幅器２０は、干渉信号光を増幅して、増幅干渉信号光を出力する。光増幅器２０は、例えば、ＯＰＡに該当し、相互利得変調の特性を有する光増幅器である。多符号間干渉解消器３０は、増幅干渉信号光に対して、多符号間干渉発生器１０で発生させた多符号間干渉を解消して、信号光パルスのピークパワーとボトムパワーとの偏差を復元する。

[0030] 次に光パラメトリック増幅の動作について説明する。光パラメトリック増幅は、光ファイバ中で発生する非線形光学効果の１つである四光波混合（ＦＷＭ：Four Wave Mixing）を応用している。ＦＷＭは、ＷＤＭの光伝送において通常は回避すべき現象の１つであるが、応用によっては光伝送技術の重要な基盤となるものである。

[0031] ＦＷＭは、光ファイバの零分散波長（λ_0）に、同じ波長の励起光（λ_P）と、励起光とは異なる波長の信号光（λ_S）を光ファイバに入射すると、第三の光であるアイドラ光（λ_I）が発生する現象である。

[0032] 以下、１波の信号光における光パラメトリック増幅について説明する。信号光と励起光との間の相互作用において、励起光のエネルギーの一部が、信号光およびアイドラ光にほぼ均等に与えられる。ＦＷＭを用いたＯＰＡでは、入力される信号光のパワーが、励起光のパワーに比べて十分に小さい場合、ＯＰＡの増幅率は励起光のパワーと高非線形ファイバの特性によって決まり、ほぼ一定の値をとる。

[0033] 光ファイバから出力される信号光の利得G_Sは、式（１）のように記述され

る。

$G_S = \exp(-\alpha L)[1+\phi^2(L)]$・・・（１）

なお、Ｌは光ファイバ長、αは光ファイバの損失係数である。また、ϕ（Ｌ）は、非線形光位相シフトを表し、式（２）で与えられる。

[0034] $\phi(L) = \gamma \cdot P_P(0) \cdot k(L)$・・・（２）

ここで、P_P（０）は、励起光の入力パワーであり、ｋ（Ｌ）は非線形相互作用長であって、式（３）で与えられる。

[0035] $k(L) = (1-\exp(-\alpha L)) / \alpha L$・・・（３）

また、γは、三次非線形定数を表し、式（４）で与えられる。

$\gamma = (\omega \cdot n_2) / (c \cdot A_{eff})$・・・（４）

なお、ωは光周波数、n_2は光ファイバ内の非線形屈折率、ｃは光速、A_{eff}は有効コア断面積を表す。

[0036] ここで、信号光の周波数をω_S、励起光の周波数をω_P、アイドラ光の周波数をω_Cとすると、下記の式（５）の関係を満足する。

$\omega_P - \omega_C = \omega_S - \omega_P \neq 0$・・・（５）

次に光増幅装置１の動作について説明する。図２は光増幅装置１の動作を示す図である。多符号間干渉発生器１０は、波長分散量を付与する媒質または装置であって、ＷＤＭ信号光の各信号光パルスを、同一の波長内において多符号に渡って干渉させて、時間軸上で合成したときのピークパワーとボトムパワーとの偏差を圧縮してパルス幅を拡大させる。

[0037] 多符号間干渉したＷＤＭ信号光である干渉信号光は、光パラメトリック増幅したときに生じる相互利得変調の悪影響を大きく抑制することができるとともに、利得の線形性を向上することができる。

[0038] 例えば、時間的にデータ信号（マークレベル）が多いタイミング（時間ｔ１）の場合には、そのまま高い合計パワーで光増幅すると、出力パワーが飽和してしまうが、これを多符号間干渉発生器１０によって、各信号光のパルスを大幅に拡大し、多符号間で干渉させてピークパワーとボトムパワーの偏差を圧縮させる（連続光（ＣＷ：continuous wave）状態になるまで干渉させ

るのが理想的である）。

[0039] 多符号間干渉を生じさせることによって、低い合計パワーに均される効果が得られる。パルス幅が１０倍になれば、およそ１０分の１程度の合計パワーに下がるため、光増幅器２０の出力パワーが飽和した領域ではなく、入力パワーに応じて増幅率がほぼ変動しない線形増幅領域で動作させることが可能になる。また、飽和した領域であっても、信号光間の偏差が圧縮されているため、相互利得変調の悪影響を大きく抑圧することができる。

[0040] 一方、多符号間干渉解消器３０は、波長分散補償を行う媒質または装置である。光増幅器２０で増幅出力された増幅干渉信号光は、多符号間干渉解消器３０によって、多符号間干渉が解消され、信号光パルスのピークパワーとボトムパワーとの偏差が復元されて、パルス幅が元に戻され（増幅干渉信号光のパルス幅が圧縮され）、増幅信号光となって出力する。このような処理を施すことによって、光増幅器２０の相互利得変調の悪影響を抑圧・低減した多波長の一括線形増幅が可能になる。

[0041] ここで、信号光の光スペクトル幅の拡大を引き起こす自己位相変調（ＳＰＭ（Self－Phase Modulation）：信号光自身のピークパワーに応じて発生量が変わり、光スペクトル幅の拡大を引き起こす位相変調）は、式（６）により表される。

[0042] ϕ_{SPM}（Ｌ）＝γ・P_S（０）・ｋ（Ｌ）・・・（６）

P_Sは、信号光自身のパワーである。また、相互位相変調（ＸＰＭ（Cross-Phase Modulation）：他波長の信号光のオン／オフにより信号光の位相が変動する位相変調）は、変調を受ける信号光とは異なる波長を持つ別の信号光のパワーP_{Sa}によって、下記の位相変調を受ける。

[0043] ϕ_{XPM}（Ｌ）＝２γ・P_{Sa}（０）・ｋ（Ｌ）・・・（７）

これらの位相変調は、ともにパルスのピークパワーに比例する（非線形チャープとする場合には、パルス形状の時間変化、つまり傾きに比例する）。

[0044] ここで、従来の光増幅において、例えばＯＰＡでは、上記の自己位相変調や、２波長以上の信号光を増幅する際に発生する信号品質の劣化を招く相互

位相変調等により、非線形クロストークが伴うといった問題があった。なお、図３に非線形クロストークの発生の様子を示す。従来のＯＰＡ５において光パラメトリック増幅を行うと、増幅された信号光の近傍波長に対して、非線形クロストークが発生する。

[0045] これに対し、光増幅装置１では、信号光の光パルス形状を広げることでピークパワーを下げ、パルスの傾きを小さくするため、自己位相変調や相互位相変調等で生じる非線形クロストークの低減、抑圧を図ることも可能になる。

[0046] 次に光増幅装置１の構成について詳しく説明する。最初に光パラメトリック増幅器を適用した光増幅装置について説明する。

図４はＯＰＡによって光増幅を行う光増幅装置の構成例を示す図である。光増幅装置１ａは、光増幅器２０が光パラメトリック増幅を行うものであり、多符号間干渉発生器１０、ＯＰＡ２０ａおよび多符号間干渉解消器３０を備える。

[0047] ＯＰＡ２０ａは、高非線形ファイバ（ＨＮＬＦ）２１ａ、偏光制御器（ＰＣ：Polarization Controller）２２ａ－１、２２ａ－２、励起光光源２３ａ、光カプラＣ１およびバンドパスフィルタ（ＢＰＦ：Band Pass Filter）２４ａを含む。なお、偏光制御器２２ａ－１は、第１の偏光制御器に該当し、偏光制御器２２ａ－２は、第２の偏光制御器に該当する。

[0048] ＨＮＬＦ２１ａは、非線形光学効果の発生効率が高い高非線形光ファイバである。なお、非線形媒質としては、ＨＮＬＦの他に、フォトニック結晶ファイバ、半導体光アンプ、擬似位相整合構造を有する$LiNbO_3$導波路（ＰＰＬＮ：Periodically Poled Lithium Niobate）、シリコンフォトニクス型導波路等を使用してもよい。

[0049] 偏光制御器２２ａ－１は、入力信号光の偏光（偏波）状態を調整・制御する。励起光光源２３ａは、励起光を発出する。なお、励起光の波長は、ＨＮＬＦ２１ａの零分散波長に対して同一または近傍の波長とする（ＨＮＬＦ２１ａの零分散波長と同じ波長の励起光を入射することで最も高い利得を得る

ことができる）。

[0050] 偏光制御器２２ａ－２は、励起光の偏光状態を調整・制御する。光カプラＣ１は、偏光制御された後の信号光および励起光を合波して、合波光をＨＮＬＦ２１ａに入力する。ＢＰＦ２４ａは、励起光と、光パラメトリック増幅時に発生するアイドラ光とを除去するフィルタリングを行う。

[0051] 動作について説明する。偏光制御器２２ａ－１、２２ａ－２それぞれは、信号光の偏光方向と励起光の偏光方向とが同一となるように偏光状態を制御する。すなわち、信号光と励起光の偏光状態がともに直線偏光となるように変換し、互いに平行な偏光状態となるように制御する。

[0052] 偏光状態がともに直線偏光で互いに平行な偏光状態である信号光と励起光とが、光カプラＣ１で合波されてＨＮＬＦ２１ａに入力することにより、ＨＮＬＦ２１ａ内で光パラメトリック増幅が最大効率で生じて最大の利得が発生することになる（なお、信号光と励起光との偏光状態が直交する場合には、ＨＮＬＦ２１ａ内では殆どＦＷＭは発生しないので、光パラメトリック増幅が生じない）。

[0053] なお、ＨＮＬＦ２１ａの内部では、ＦＷＭによって信号光が増幅されるが、同時に新たな波長のアイドラ光も発生する。ＨＮＬＦ２１ａからの出力光には、信号光と励起光の他にアイドラ光の成分があるために、ＢＰＦ２４ａによって、増幅された信号光成分のみを透過させる。

[0054] 次に偏波ダイバーシティ構成を適用した光増幅装置について説明する。図５は偏波ダイバーシティ構成によって光増幅を行う光増幅装置の構成例を示す図である。光増幅装置１ｂは、光増幅器２０が偏波ダイバーシティ増幅を行うものであり、多符号間干渉発生器１０、偏波ダイバーシティ増幅器２０ｂおよび多符号間干渉解消器３０を備える。

[0055] 偏波ダイバーシティ増幅器２０ｂは、励起光光源２１ｂ、励起光の偏光状態を調整・制御する偏光制御器２２ｂ－１、干渉信号光と励起光を合波する光カプラＣ２、偏波合分波素子であるＰＢＳ（Polarization Beam Splitter：偏光ビームスプリッタ）２３ｂ、ＨＮＬＦ２４ｂ、偏光制御器２２ｂ－２

およびＢＰＦ２５ｂを含む。なお、偏光制御器２２ｂ－１は、第１の偏光制御器に該当し、偏光制御器２２ｂ－２は、第２の偏光制御器に該当する。

[0056] ＰＢＳ２３ｂは、ポートｐ１～ｐ４の４つのポートを有している。ＰＢＳ２３ｂのポートｐ２に、偏光制御器２２ｂ－２の入力端が接続し、偏光制御器２２ｂ－２の出力端にＨＮＬＦ２４ｂの一端が接続し、ＨＮＬＦ２４ｂの他端がＰＢＳ２３ｂのポートｐ３に接続することで、ループＲが形成される。

[0057] また、ＢＰＦ２５ｂの入力端は、ＰＢＳ２３ｂのポートｐ４に接続し、ＢＰＦ２５ｂは、ループＲからの出力光に対するフィルタリング処理を行う（励起光とアイドラ光を除去して増幅信号光を透過させる）。

[0058] ここで、上述した図４のＯＰＡ２０ａは、偏光依存型の増幅器である。励起光は内部の構成要素から発振されるものであるから、偏光状態の変動はほとんど無視することができるが、入力信号光は、光ファイバ伝送路等を伝搬して到達することにより、偏光状態が変動している。

[0059] したがって、ＯＰＡ２０ａの構成においては、偏光制御器２２ａ－１によって、光ファイバ伝送路を伝搬してきた信号光（多符号間干渉発生器１０によって干渉されている信号光）の偏光状態の変動を常に追随しながら偏光制御を行って、励起光の偏光状態と一致させている（信号光と励起光との偏光状態を一致させて最大効率の利得を得るため）。

[0060] これに対し、図５の偏波ダイバーシティ増幅器２０ｂでは、偏光依存性を除去した偏光無依存型の増幅器である。光ファイバ伝送路を伝搬してきた信号光の偏光状態を制御する偏光制御器を持たずに、最大効率の利得を得るように構成された増幅器である。

[0061] 動作について説明する。光カプラＣ２は、入力信号光と励起光とを合波して、合波光を出力し、合波光は、ＰＢＳ２３ｂのポートｐ１へ入力する。ポートｐ１へ入力した信号光は、ＰＢＳ２３ｂによって直交成分が偏光分離され、ポートｐ２においてはｘ方向、ポートｐ３においてはｙ方向にそれぞれ光エネルギーが分離される。ｘ方向に分離された信号光の光エネルギーを信

号光E_{Sx}、ｙ方向に分離された信号光の光エネルギーを信号光E_{Sy}とする。

[0062] 信号光E_{Sx}は、ループＲを反時計回りに伝搬し、ＨＮＬＦ２４ｂで増幅を受けた後、ポートｐ３へ入力する。また、信号光E_{Sy}は、ループＲを時計回りに伝搬し、ＨＮＬＦ２４ｂで増幅を受けた後、ポートｐ２へ入力する。

[0063] このとき、偏光制御器２２ｂ－２によって、信号光E_{Sx}、E_{Sy}の偏光状態を９０度回転させることによって、ポートｐ３に入力された信号光E_{Sx}とポートｐ２に入力された信号光E_{Sy}は、偏光合成されてポートｐ４から出力される。

[0064] 信号光E_{Sx}と信号光E_{Sy}の光パワーの比は、入力される信号光の偏光状態によって変動するが、信号光E_{Sx}と信号光E_{Sy}がループＲ内部で受ける増幅率が同じであれば、偏光無依存動作が実現される。これは、ループＲに入力される励起光を以下のように調整することで達成される。

[0065] 励起光は、偏光制御器２２ｂ－１によって偏光状態が調整され、光カプラＣ２により信号光と合波された後に、ＰＢＳ２３ｂのポートｐ１へ入力される。励起光は、ＰＢＳ２３ｂにより偏光分離され、ポートｐ２においてはｘ方向、ポートｐ３においてはｙ方向にそれぞれ光エネルギーが分離される。ｘ方向に分離された励起光の光エネルギーを励起光E_{Px}、ｙ方向に分離された励起光の光エネルギーを励起光E_{Py}とする。

[0066] 励起光E_{Px}と励起光E_{Py}の光パワー比は、偏光制御器２２ｂ－１を調整することによって、ＰＢＳ２３ｂへ入力する角度を変えて調整することができる。このとき、時計回りと反時計回りに伝搬する信号光E_{Sx}、E_{Sy}が受ける増幅率が同じになるように、すなわち励起光E_{Px}、E_{Py}の光パワーが同じになるように、偏光制御器２２ｂ－１において偏光状態を調整する。これによって、増幅率を等しく設定することができ、信号光の偏光状態に依存しない増幅動作を可能にする。

[0067] 上記の動作についてまとめると、ＰＢＳ２３ｂのポートｐ１へ励起光を入力した場合、ポートｐ２から励起光E_{Px}が出力し、ポートｐ３から励起光E_{Py}が出力する。励起光E_{Px}と励起光E_{Py}とは互いに等しい光エネルギーである。そして、このような励起光が設定入力されているときに、信号光がＰＢＳ２

３ｂに入力し、ポートｐ２から信号光E_{Sx}が出力し、ポートｐ３から信号光E_{Sy}が出力する。

[0068] すると、ＨＮＬＦ２４ｂ内において、信号光E_{Sx}は、励起光E_{Px}によって増幅されてループＲを反時計周りに伝搬し、信号光E_{Sy}は、励起光E_{Py}によって増幅されてループＲを時計周りに伝搬する。

[0069] 励起光E_{Px}と励起光E_{Py}とは共に同じ励起パワーであるので、信号光E_{Sx}と信号光E_{Sy}とは、ＰＢＳ２３ｂによってエネルギーが分割される比率にかかわらず、同じ増幅率で増幅される。そして、ＰＢＳ２３ｂのポートｐ４において合成出力することにより、ポートｐ１における信号光の偏光状態によらずに、ポートｐ４から増幅された信号光が出力できるのである。

[0070] 次にＳＯＡを適用した光増幅装置について説明する。図６はＳＯＡによって光増幅を行う光増幅装置の構成例を示す図である。光増幅装置１ｃは、光半導体への駆動電流により利得を変化させて増幅を行うものであり、多符号間干渉発生器１０、ＳＯＡ２０ｃおよび多符号間干渉解消器３０を備える。

[0071] 光半導体は、電流を印加するとキャリアの反転分布が形成される媒質であり、これにより入力光に対して増幅作用を及ぼすことができる。このような光半導体を用いたＳＯＡ２０ｃは、入力光パワーが小さいときには反転分布は一定で利得値を一定とみなすことができるが、入力光パワーが大きいと、誘導放出過程により反転分布が減少し、これに伴い利得が低下する利得飽和現象が発生する。利得飽和が起こると、出力信号波形が入力信号波形に比例しない波形歪を生じたり、ＷＤＭ信号光を一括増幅する際には、相互利得変調が生じたりすることになる。

[0072] したがって、このような特性を持つＳＯＡ２０ｃを使用して光増幅する場合にも、光増幅装置１の機能・構成を備えることにより（すなわち、多符号間干渉発生器１０および多符号間干渉解消器３０を備えることにより）、ＷＤＭ信号光の入力パワーに応じた増幅率の変動を抑制して、線形増幅を行うことが可能になる。

[0073] 次に光増幅装置１の多符号間干渉発生器１０および多符号間干渉解消器３

０の具体的な構成について説明する。なお、光増幅器２０としては、光増幅時に相互利得変調が生じる、上記のようなＯＰＡ２０ａ、偏波ダイバーシティ増幅器２０ｂ、ＳＯＡ２０ｃ等が該当し、いずれの光増幅器に対しても対応可能なので、以降の説明では、ＯＰＡ２０ａを使用するものとして説明する。

[0074] 図７は光増幅装置の構成例を示す図である。光増幅装置１ａ－１は、多符号間干渉発生器１０－１、ＯＰＡ２０ａおよび干渉解消器３０－１を備える。多符号間干渉発生器１０－１は、光ファイバｆ１に該当し、多符号間干渉解消器３０－１は、光ファイバｆ２に該当する。

[0075] 光ファイバｆ１は、例えば、ＳＭＦ（Single Mode Fiber）、ＤＣＦ（Dispersion Compensation Fiber）が該当する。光ファイバｆ２も同様であり、光ファイバｆ１と反対符号の波長分散特性（群遅延特性）を有するものである。

[0076] なお、ＷＤＭ信号光が光ファイバｆ１に入力する際には、光ファイバ伝送路Ｆ１を伝搬してきたＷＤＭ信号光は、ポイントＰ１において分散補償がある程度なされており、分散補償後のＷＤＭ信号光が光ファイバｆ１に入力するものである（または、ポイントＰ１において、光ファイバ伝送路Ｆ１を伝搬してきたＷＤＭ信号光の波長分散補償を実行する分散補償器が存在してもよい）。

[0077] 次に多符号間干渉発生器１０および多符号間干渉解消器３０がＦＢＧ（Fiber Bragg Grating：ファイバ・ブラッグ・グレーティング）を含む場合の光増幅装置について説明する。図８は光増幅装置の構成例を示す図である。光増幅装置１ａ－２は、多符号間干渉発生器１０－２、ＯＰＡ２０ａおよび多符号間干渉解消器３０－２を備える。多符号間干渉発生器１０－２は、光サーキュレータ１１とＦＢＧ１２、光アイソレータＩを含む。多符号間干渉解消器３０－２は、光サーキュレータ３１とＦＢＧ３２、光アイソレータＩを含む。なお、光アイソレータは、図の矢印方向にのみ所要の光を通して、逆方向には光は通さないデバイスである。

[0078] 光サーキュレータ１１のポートｐ１は、ＷＤＭ信号光が伝送される光ファイバ伝送路Ｆ１の一端と接続し、ポートｐ２は、ＦＢＧ１２の入出力ポートｐ７と接続し、ポートｐ３は、ＯＰＡ２０ａの入力端（偏光制御器２２ａ－１の入力端）と接続する。

[0079] 一方、光サーキュレータ３１のポートｐ４は、ＯＰＡ２０ａの出力端（ＢＰＦ２４ａの出力端）と接続し、ポートｐ５は、ＦＢＧ３２の入出力ポートｐ８と接続し、ポートｐ６は、ＷＤＭ信号光を出力する光ファイバ伝送路Ｆ２の一端と接続する。

[0080] なお、ＦＢＧは、ＦＢＧ内部の光ファイバのコア上にグレーティング（回折格子）が形成されており、光サーキュレータを介して入射された光を、グレーティング（回折格子）で反射して、再び光サーキュレータを介して出力する。ＦＢＧでは、グレーティングの周期が光ファイバの長手方向に変化しており、異なる波長の光は、ＦＢＧ内の異なる点で反射する。これにより、波長による光路長差が生じて波長分散特性を有することになる。

[0081] ここで、光ファイバ伝送路Ｆ１を伝搬してきたＷＤＭ信号光は、光サーキュレータ１１のポートｐ１に入力する。なお、ポートｐ１に入力するときのＷＤＭ信号光は、ポートｐ１の前段においてすでに分散補償が施されているものである（ポートｐ１の前段部に分散補償器が存在していてもよいし、ＷＤＭ信号光が光増幅装置１ａ－２に到達するまでに、光ファイバ伝送路Ｆ１上の中継ポイント等で分散補償が施されていてもよい）。

[0082] 光サーキュレータ１１は、受信したＷＤＭ信号光をポートｐ２へ出力する。ＦＢＧ１２は、光サーキュレータ１１のポートｐ２から出力されたＷＤＭ信号光をポートｐ７で受信し、各チャネルの信号光波形を多符号に渡って干渉させる。そして、時間軸上で合成したときのピークパワーとボトムパワーとの偏差を圧縮してパルス幅を拡大させ、光サーキュレータ１１のポートｐ２へ向けて反射させる。

[0083] 光サーキュレータ１１は、ＦＢＧ１２からの反射光（干渉信号光）をポートｐ２で受信すると、ポートｐ３から出力してＯＰＡ２０ａへ送信する。Ｏ

ＰＡ２０ａは、干渉信号光の光パラメトリック増幅を行って増幅干渉信号光を生成し、光サーキュレータ３１のポートｐ４へ向けて送信する。

[0084] 光サーキュレータ３１は、受信した増幅干渉信号光をポートｐ５へ出力する。ＦＢＧ３２は、光サーキュレータ３１のポートｐ５から出力された増幅干渉信号光をポートｐ８で受信し、多符号間の干渉を解消する。

[0085] そして、信号光波形のピークパワーとボトムパワーとの偏差を復元して、パルス幅を元に戻し、光サーキュレータ３１のポートｐ５へ向けて反射させる。光サーキュレータ３１は、ＦＢＧ３２からの反射光（増幅信号光）をポートｐ５で受信すると、ポートｐ６から光ファイバ伝送路Ｆ２へ向けて出力する。

[0086] 図９は多符号間干渉発生器１０－２および多符号間干渉解消器３０－２の群遅延特性を示す図である。横軸は波長（ｎｍ）、縦軸は群遅延（ｐｓ）である。ＦＢＧ１２の群遅延特性（群遅延関数）は、グラフｇ１１に示すように、入力ＷＤＭ信号光λ１～λｎに対し、短波長側の群遅延時間を大きくし、長波長側の群遅延時間を小さくする。

[0087] これによって、各チャネルの信号光パルスに対して波長分散を与えて、多符号間に渡って干渉させ、時間軸上で合成したときのピークパワーとボトムパワーとの偏差を圧縮して、パルス幅を拡大させる。

[0088] 一方、ＯＰＡ２０ａによる光パラメトリック増幅後のパルス幅が拡大している増幅干渉信号光を、元のパルス幅に戻すためには、グラフｇ１１とは傾きが逆（逆符号）の群遅延特性を持つＦＢＧ３２によって波長分散補償を施す。

[0089] すなわち、ＦＢＧ３２の群遅延特性は、グラフｇ１２に示すように、増幅干渉信号光λ１～λｎに対し、短波長側の群遅延時間を小さくし、長波長側の群遅延時間を大きくする。これによって、各チャネルの信号光波形に対して波長分散を補償して、多符号間の干渉を解消し、信号光波形のピークパワーとボトムパワーとの偏差を復元して、パルス幅を元に戻す。

[0090] なお、多符号間干渉発生器１０－２および多符号間干渉解消器３０－２で

は、互いに群遅延関数の傾きが逆方向となる群遅延特性を持たせれば上記と同じ動作が行える。したがって、多符号間干渉発生器１０－２のＦＢＧ１２に対して、グラフｇ１２のような群遅延特性を持たせ、多符号間干渉解消器３０－２のＦＢＧ３２に対して、グラフｇ１１のような群遅延特性を持たせるような構成にしても同様な効果が得られる。

[0091] 図１０は多符号間干渉発生器１０－２および多符号間干渉解消器３０－２の反射特性を示す図である。横軸は波長（ｎｍ）、縦軸は反射光のレベル（ｄＢ）である。ＦＢＧからの反射光のレベルは、波長毎に変化はないことを示している。

[0092] すなわち、ＦＢＧ１２によって波長分散が付与された後の反射光レベルは、ＷＤＭ信号光の各チャネルの波長λ１～λｎにおいて等しい。また、ＦＢＧ３２によって波長分散が補償された後の反射光レベルは、ＷＤＭ信号光の各チャネルの波長λ１～λｎにおいて等しい。

[0093] 次に多段接続されたＦＢＧを含む多符号間干渉発生器１０および多符号間干渉解消器３０を有する光増幅装置について説明する。図１１は光増幅装置の構成例を示す図である。光増幅装置１ａ－３は、多符号間干渉発生器１０－３、ＯＰＡ２０ａおよび多符号間干渉解消器３０－３を備える。

[0094] 多符号間干渉発生器１０－３は、光サーキュレータ１１、ＦＢＧ＃１－λ１～＃１－λｎおよび光アイソレータ１３を含む。多符号間干渉解消器３０－３は、光サーキュレータ３１、ＦＢＧ＃２－λ１～＃２－λｎおよび光アイソレータ３３を含む。

[0095] 光アイソレータ１３の入力ポートは、ＷＤＭ信号光が伝送される光ファイバ伝送路Ｆ１の一端と接続し、出力ポートは、光サーキュレータ１１のポートｐ１と接続する。光サーキュレータ１１のポートｐ２は、ＦＢＧ＃１－λ１の入出力ポートｐ７と接続し、ポートｐ３は、ＯＰＡ２０ａの入力端と接続する。また、ＦＢＧ＃１－λ１～＃１－λｎはシリアルに接続される。

[0096] 一方、光アイソレータ３３の入力ポートは、ＯＰＡ２０ａの出力端と接続し、出力ポートは、光サーキュレータ３１のポートｐ４と接続する。光サー

キュレータ３１のポートｐ５は、ＦＢＧ＃２－λ１の入出力ポートｐ８と接続し、ポートｐ６は、ＷＤＭ信号光を出力する光ファイバ伝送路Ｆ２の一端と接続する。また、ＦＢＧ＃２－λ１～＃２－λｎはシリアルに接続される。

[0097] ここで、光ファイバ伝送路Ｆ１を伝搬してきたＷＤＭ信号光は、光アイソレータ１３を通過して、光サーキュレータ１１のポートｐ１に入力する。なお、ポートｐ１に入力するときのＷＤＭ信号光は、ポートｐ１の前段においてすでに分散補償が施されているものである（ポートｐ１の前段部に分散補償器が存在していてもよいし、ＷＤＭ信号光が光増幅装置１ａ－３に到達するまでに、光ファイバ伝送路Ｆ１上の中継ポイント等で分散補償が施されていてもよい）。

[0098] 光サーキュレータ１１は、受信したＷＤＭ信号光をポートｐ２へ出力する。ＦＢＧ＃１－λ１～＃１－λｎそれぞれは、光サーキュレータ１１のポートｐ２から出力されたＷＤＭ信号光λ１～λｎに対して、自身に該当する各チャネルを受信し、各チャネルの信号光波形のパルス幅を広げる。

[0099] すなわち、ＦＢＧ＃１－λ１では、波長λ１の信号光のパルス幅を拡大させ、光サーキュレータ１１のポートｐ２へ向けて反射させる。また、ＦＢＧ＃１－λ２では、波長λ２の信号光のパルス幅を拡大させ、光サーキュレータ１１のポートｐ２へ向けて反射させる。同様にして、ＦＢＧ＃１－λｎでは、波長λｎの信号光のパルス幅を拡大させ、光サーキュレータ１１のポートｐ２へ向けて反射させる。

[0100] 光サーキュレータ１１は、ＦＢＧ＃１－λ１～＃１－λｎからの反射光（干渉信号光）をポートｐ２で受信すると、ポートｐ３から出力してＯＰＡ２０ａへ送信する。ＯＰＡ２０ａは、干渉信号光の光パラメトリック増幅を行って増幅干渉信号光を生成し、光アイソレータ３３へ送信する。

[0101] 光サーキュレータ３１は、光アイソレータ３３を通過した、増幅干渉信号光をポートｐ４で受信してポートｐ５へ出力する。ＦＢＧ＃２－λ１～＃２－λｎそれぞれは、光サーキュレータ３１のポートｐ５から出力された増幅

干渉信号光λ１～λｎに対して、自身に該当する各チャネルを受信し、各チャネルのパルス幅を圧縮して復元する。

[0102] すなわち、ＦＢＧ＃２－λ１では、波長λ１の信号光のパルス幅を元に戻し、光サーキュレータ３１のポートｐ５へ向けて反射させる。また、ＦＢＧ＃２－λ２では、波長λ２の信号光のパルス幅を元に戻し、光サーキュレータ３１のポートｐ５へ向けて反射させる。同様にして、ＦＢＧ＃２－λｎでは、波長λｎの信号光のパルス幅を元に戻し、光サーキュレータ３１のポートｐ５へ向けて反射させる。

[0103] 光サーキュレータ３１は、ＦＢＧ＃２－λ１～＃２－λｎからの反射光（増幅信号光）をポートｐ５で受信すると、ポートｐ６から光ファイバ伝送路Ｆ２へ向けて出力する。なお、光増幅装置１ａ－３の多符号間干渉発生器１０－３および多符号間干渉解消器３０－３の群遅延特性の関係および反射特性は図９、図１０と同じであるので説明は省略する。

[0104] また、上記では、多符号間干渉発生器１０および多符号間干渉解消器３０に対してＦＢＧを使用した例を示したが、ＶＩＰＡ（Virtually Imaged Phased Array）型分散補償器のような分散補償器を用いることも可能である。または、ＦＢＧ、ＶＩＰＡ、ＳＭＦ、ＤＣＦ等を適宜組み合わせた構成にしてもよい。

[0105] 次に光増幅装置１を適用した光伝送システムについて説明する。図１２は光伝送システムの構成例を示す図である。光伝送システム１－１は、送信装置４０、受信装置５０および光増幅装置１ａを備え、光増幅装置１ａは、中継装置として使用される。

[0106] 送信装置４０は、送信器４１－１～４１－ｎおよび波長多重器４２を含み、受信装置５０は、波長分離部５１および受信部５２－１～５２－ｎを含む。光増幅装置１ａは、多符号間干渉発生器１０、ＯＰＡ２０ａおよび多符号間干渉解消器３０を含み、多符号間干渉発生器１０と多符号間干渉解消器３０とは互いに群遅延関数の傾きが逆向きとなる群遅延特性を有する。

[0107] また、装置間を接続する光ファイバ伝送路は、ＤＭ（Dispersion Managed

）ライン７で構成される。ＤＭライン７は、ＳＭＦおよびＤＣＦを含み、中継区間毎に分散補償が施されるように分散マネージメントされている伝送路である（例えば、正の分散と負の分散を交互になるように配置して、分散がおよそ補償される伝送路とする）。

[0108] 送信装置４０内の送信器４１－１～４１－ｎそれぞれは、波長λ１～λｎの信号光を出力する。波長多重器４２は、信号光λ１～λｎの信号光の波長多重を行ってＷＤＭ信号光を生成する。

[0109] ＷＤＭ信号光は、正負の波長分散を補償した光ファイバ伝送路であるＤＭライン７を伝搬し、中継装置として使用される光増幅装置１ａに入力する。ＷＤＭ信号光は、ＤＭライン７の伝送路上で、およそ分散補償された状態で光増幅装置１ａに入力し、光増幅装置１ａによって中継増幅されて後段へ向けて伝送される。

[0110] 受信装置５０内の波長分離部５１は、伝搬されてきたＷＤＭ信号光の波長分離を行って、信号光λ１～λｎを出力する。受信部５２－１～５２－ｎそれぞれは、信号光λ１～λｎに対する所定の受信処理を行う。

[0111] 次に光伝送システムの変形例について説明する。図１３は光伝送システムの変形例を示す図である。光伝送システム１－２は、送信装置４０、受信装置５０、中継器６０およびＯＰＡ２０ａを備える。

[0112] また、送信装置４０と受信装置５０間の光ファイバ伝送路は、第１の光ファイバ伝送路と第２の光ファイバ伝送路を備え、第１の光ファイバ伝送路は、複数の中継器６０によって接続されるＳＭＦ８－１～８－ｍを含み、第２の光ファイバ伝送路は、ＤＣＦ９で構成される。

[0113] 送信装置４０内の送信器４１－１～４１－ｎそれぞれは、波長λ１～λｎの信号光を出力する。波長多重器４２は、信号光λ１～λｎの信号光の波長多重化を行ってＷＤＭ信号光を生成する。

[0114] 送信装置４０から出力されたＷＤＭ信号光は、中継ポイント毎に配置された中継器６０で中継増幅されながら、ＳＭＦ８－１～８－ｍを伝搬する。ＳＭＦ８－１～８－ｍは、多符号間干渉発生器１０に該当し、ＳＭＦ８－１～

８－ｍを通じて伝搬されることによって、ＷＤＭ信号光には波長分散が生じ、波長分散を有した状態でＯＰＡ２０ａに入力する。

[0115] すなわち、第１の光ファイバ伝送路では、波長分散補償を行わず、波長分散（干渉）が付与された状態でＯＰＡ２０ａにＷＤＭ信号光が入力する。ＯＰＡ２０ａは、入力したＷＤＭ信号光（干渉信号光に該当）を増幅して出力する。

[0116] ＤＣＦ９は、多符号間干渉解消器３０に該当し、ＯＰＡ２０ａから出力された増幅干渉信号光の分散補償を行って、干渉を解消する。受信装置５０内の波長分離部５１は、ＤＣＦ９から出力されたＷＤＭ信号光の波長分離を行って、信号光λ１～λｎを出力する。受信部５２－１～５２－ｎそれぞれは、信号光λ１～λｎに対する所定の受信処理を行う。

[0117] このように、光伝送システム１－２において、ＯＰＡ２０ａに入力するまでのＷＤＭ信号光に対しては、第１の光ファイバ伝送路上で波長分散を補償せずに、ＳＭＦ８－１～８－ｍで多符号間干渉を発生させて、信号光のピークパワーとボトムパワーの偏差を圧縮する。

[0118] そして、波長分散が生じて干渉が付与されているＷＤＭ信号光をＯＰＡ２０ａで一括増幅した後に、ＤＣＦ９で波長分散を補償して多符号間干渉を解消させて、受信装置５０へ伝送するものである。

[0119] 次に光増幅装置１の変形例について説明する。図１４は光増幅装置１の変形例を示す図である。光増幅装置１ｄは、多符号間干渉発生器１０、ＯＰＡ２０ａ－１および干渉解消器３０を備える。ＯＰＡ２０ａ－１は、ＨＮＬＦ２１ａ、偏光制御器２２ａ－１、２２ａ－２、励起光光源２３ａ、光カプラＣ１およびＢＰＦ２４ａ－１を含む。なお、光増幅装置１ｄの実質的な構成は、図４で上述した構成と同じであり、ＢＰＦのフィルタリング動作が異なる。

[0120] 光増幅装置１ｄでは、波長群ＡのＷＤＭ信号光に対して、多符号間干渉発生器１０により多符号間干渉を発生させ、ＯＰＡ２０ａ－１により光パラメトリック増幅を行う。このとき、ＢＰＦ２４ａ－１では、励起光と波長群Ａ

の増幅ＷＤＭ信号光とを遮断し、波長群Ｂのアイドラ光を透過させる。その後、波長群Ｂのアイドラ光は、多符号間干渉解消器３０によって干渉が解消されて、元のパルス幅に戻り出力する。

[0121] ここで、ＯＰＡは、上述したように、信号光に利得を与えるのみならず、励起光の波長を中心にして、元の信号光と対称な位置（周波数帯）に、アイドラ光と呼ばれる信号を発生する。このアイドラ光は、信号光と同じデータを有している。

[0122] このため、ＯＰＡでは、波長変換を実行することもでき、光増幅装置１ｄのように、高非線形ファイバによる光増幅時に発生したアイドラ光側の成分を出力することにより、波長変換された増幅信号光を出力することも可能である。

[0123] 次に波形改善効果について説明する。光増幅装置１における波形改善効果の検討をＨＮＬＦを用いたＯＰＡの利得特性をもとに行った。ＯＰＡの利得特性は、ＨＮＬＦの非線形係数（γ）、ファイバ（Ｌ）、励起光のパワー（P_P）により異なるが、本検討において、γ＝２５$W^{-1}km^{-1}$、Ｌ＝６００ｍ、P_P＝２７ｄＢｍのパラメータで行った。

[0124] 図１５はＯＰＡの利得特性を示す図である。横軸は信号光の入力パワー（ｄＢｍ）、縦軸は利得（ｄＢ）である。図１５において、入力信号光のパワーが－２０ｄＢｍから０ｄＢｍ付近までは、一定の利得が得られる線形増幅領域（入力レベルに対して一定の増幅率の出力レベルが得られる領域）であるが、入力パワーが上がり線形増幅領域を超えると、一定の利得が得られなくなる。

[0125] 例えば、０ｄＢｍ（１ｍＷ）の信号光が入力すると、１０ｄＢの利得があるので、１０倍の１０ｍＷの出力光が得られる。これに対し、信号光の入力パワーが上がり、線形増幅領域を超えて、例えば、１５ｄＢｍの入力パワーでＯＰＡに入力すると、３ｄＢ下がってしまい、６ｄＢ程の利得しか出てこなくなる。

[0126] ここで、Ｎ波長の強度変調信号光がＯＰＡに入力された場合、Ｎ波長の信

号光を合成して時間的にパワーを観測すると、マークレベルの最小値は、“１”であり、マークレベルの最大値は、Ｎ波長のマークレベルが時間的にすべて“１”である場合であるため、“Ｎ”となる。このときのマークレベルの最大値が、図１５の利得特性の飽和点（１～３ｄＢ飽和）に入力された場合、出力信号のレベル差は、図１６のようになる。

[0127] 図１６はＯＰＡの入出力特性を示す図である。横軸は入力レベル差（ｄＢ）、縦軸は出力レベル差（ｄＢ）である。２波長以上の信号光がＯＰＡに入力した際に、入力信号光のレベル差に応じて、どれだけのレベル差を持って各波長がＯＰＡから出力されるかを示したものである。

[0128] Ｎ＝４０として、４０波長の信号光がＯＰＡに入力された場合を考える。このとき、マークレベルの最小値は“１”で、最大値は“４０”であるから、入力レベル差は、１６ｄＢ（＝10log40）となる（すなわち、４０波のＷＤＭ信号光の増幅時、最大１６ｄＢのレベル差を持つ信号光がＯＰＡに入力される可能性がある）。

[0129] １６ｄＢのレベル差を持つ信号光が、１ｄＢ飽和点に入力されれば、図１６のグラフから、出力信号は、およそ１ｄＢの差をもって出力される。同様にして２ｄＢ飽和では、およそ１．９ｄＢ差となり、３ｄＢ飽和では、およそ２．８ｄＢの差をもって出力されてしまうことがわかる。

[0130] この出力信号のレベル差は、ＯＰＡの応答速度がフェムト秒程度で応答するため、２．５Ｇｂ／ｓ、１０Ｇｂ／ｓの信号はもとより、超高速信号（＞１００Ｇｂ／ｓ）のビット毎に追随し、出力信号のレベルがビットレベルで超高速に揺らいでしまう。

[0131] このような現象に対し、光増幅装置１による多符号間干渉発生器１０によって、ボトムレベル、マークレベルの偏差を圧縮することにより、上記のＯＰＡの出力信号のレベル差を低減することが可能である。

[0132] どの程度の干渉を発生させればよいかというと、図１６のグラフから、例えば、出力レベル差を０．５ｄＢ（～１０％）以下に抑えようとすれば、多符号間干渉発生器１０によって、１ｄＢ飽和点では、入力のレベル差をおよ

そ４．５ｄＢ以下に、２ｄＢ飽和点では、およそ１．５ｄＢ以下、３ｄＢ飽和点では、およそ１ｄＢ以下になるように干渉設定を行えばよいことがわかる。

[0133] なお、上記の検討は、図１５に示した利得特性をもとに行った一例であり、上記の数値を限定するものではない。ＨＮＬＦの非線形係数や、ファイバ長、励起光パワーや信号フォーマットによって利得特性が異なる。したがって、これらに応じて図１６に対応する入出力特性が得られ、多符号間干渉発生器１０に求められる要件が決定されるものである。

[0134] 以上説明したように、光増幅装置１は、ＷＤＭ信号光の増幅において、相互利得変調の特性を有する光増幅器で光増幅を行う場合、ＷＤＭ信号光に含まれる各信号光波形を干渉させて、信号光波形のピークパワーとボトムパワーとの偏差を圧縮してから光増幅を行い、光増幅後は、干渉を解消して信号光波形のピークパワーとボトムパワーとの偏差を復元する構成とした。

[0135] これにより、相互利得変調を適切に抑圧することができ、信号光の入力パワーに応じた増幅率の変動を抑制して、ＷＤＭ信号光の各信号波形に対する利得の線形性を向上させることが可能になる。したがって、線形増幅領域が広くなり、ダイナミックレンジを広げる効果が得られる。

[0136] さらに、従来では、ＷＤＭ信号光が高非線形ファイバを伝搬する際に、波長信号間では、非線形クロストークが生じていたが、ＷＤＭ信号光の各々の波長のピークパワーを下げて増幅するために、自己位相変調、ＦＷＭ、相互位相変調で生じていた非線形クロストークを低減・抑圧することも可能になる。

[0137] 上記については単に本発明の原理を示すものである。さらに、多数の変形、変更が当業者にとって可能であり、本発明は上記に示し、説明した正確な構成および応用例に限定されるものではなく、対応するすべての変形例および均等物は、添付の請求項およびその均等物による本発明の範囲とみなされる。

符号の説明

[0138] １　光増幅装置

１０　多符号間干渉発生器

２０　光増幅器

３０　多符号間干渉解消器

請求の範囲

[請求項1] 光増幅を行う光増幅装置において、

波長多重信号光の各信号光を同一の波長内の多符号間で干渉させ、信号光のピークパワーとボトムパワーとの偏差を圧縮して、干渉信号光を生成する多符号間干渉発生器と、

相互利得変調の特性を有し、前記干渉信号光を増幅して、増幅干渉信号光を出力する光増幅器と、

前記増幅干渉信号光の干渉を解消して、前記偏差を復元する多符号間干渉解消器と、

を有することを特徴とする光増幅装置。

[請求項2] 前記多符号間干渉発生器は、波長分散がおよそ補償された後の前記波長多重信号光を受信して、前記偏差を圧縮するための波長分散量を付与し、前記多符号間干渉解消器は、前記波長分散量を補償して、前記偏差を復元することを特徴とする請求の範囲第１項記載の光増幅装置。

[請求項3] 前記多符号間干渉発生器の群遅延関数の傾きと、前記多符号間干渉解消器の群遅延関数の傾きとは、互いに逆向きとなることを特徴とする請求の範囲第２項記載の光増幅装置。

[請求項4] 前記多符号間干渉発生器は、シングルモードファイバ、分散補償ファイバ、ファイバ・グレーティング、ＶＩＰＡ型分散補償器の少なくとも１つを備えて、干渉を発生させ、

前記多符号間干渉解消器は、シングルモードファイバ、分散補償ファイバ、ファイバ・グレーティング、ＶＩＰＡ型分散補償器の少なくとも１つを備えて、干渉を解消する、

ことを特徴とする請求の範囲第３項記載の光増幅装置。

[請求項5] 前記多符号間干渉発生器は、３ポートを有する第１の光サーキュレータと、第１のファイバ・グレーティングとを含み、前記多符号間干渉解消器は、３ポートを有する第２の光サーキュレータと、第２のフ

ァイバ・グレーティングとを含み、

前記第１の光サーキュレータの前記３ポートをポートｐ１、ｐ２、ｐ３とし、前記第２の光サーキュレータの前記３ポートをポートｐ４、ｐ５、ｐ６とした場合、

前記第１の光サーキュレータは、ポートｐ１に入力した前記波長多重信号光をポートｐ２から出力し、

前記第１のファイバ・グレーティングは、ポートｐ２から出力された前記波長多重信号光に対し、前記偏差を圧縮してパルス幅を拡大させて前記干渉信号光を生成し、ポートｐ２へ向けて前記干渉信号光を反射し、

前記第１の光サーキュレータは、ポートｐ２で受信した前記干渉信号光をポートｐ３から出力して、前記光増幅器へ送信し、

前記光増幅器は、前記干渉信号光を増幅して前記増幅干渉信号光を生成し、前記増幅干渉信号光を前記第２の光サーキュレータのポートｐ４へ送信し、

前記第２の光サーキュレータは、ポートｐ４で受信した前記増幅干渉信号光をポートｐ５から出力し、

前記第２のファイバ・グレーティングは、ポートｐ５から出力された前記増幅干渉信号光に対し、前記偏差を復元してパルス幅を元に戻して増幅信号光を生成し、ポートｐ５へ向けて前記増幅信号光を反射させ、

前記第２の光サーキュレータは、ポートｐ５で受信した前記増幅信号光をポートｐ６から出力する、

ことを特徴とする請求の範囲第３項記載の光増幅装置。

[請求項6] 前記多符号間干渉発生器は、３ポートを有する第１の光サーキュレータと、複数の第１のファイバ・グレーティングとを含み、前記多符号間干渉解消器は、３ポートを有する第２の光サーキュレータと、複数の第２のファイバ・グレーティングとを含み、

前記波長多重信号光の波長λ１～λｎ毎に対応した前記第１のファイバ・グレーティングをＦＢＧ＃１－λ１～ＦＢＧ＃１－λｎとし、

前記波長多重信号光の波長λ１～λｎ毎に対応した前記第２のファイバ・グレーティングをＦＢＧ＃２－λ１～ＦＢＧ＃２－λｎとし、

前記第１の光サーキュレータの前記３ポートをポートｐ１、ｐ２、ｐ３とし、前記第２の光サーキュレータの前記３ポートをポートｐ４、ｐ５、ｐ６とした場合、

前記第１の光サーキュレータは、ポートｐ１に入力した前記波長多重信号光をポートｐ２から出力し、

ＦＢＧ＃１－λ１～＃１－λｎそれぞれは、ポートｐ２から出力された波長多重信号光λ１～λｎに対し、該当波長の信号光の前記偏差を圧縮してパルス幅を拡大させて、波長毎の前記干渉信号光をそれぞれ生成し、ポートｐ２へ向けて前記干渉信号光を反射し、

前記第１の光サーキュレータは、ポートｐ２で受信した前記干渉信号光をポートｐ３から出力して、前記光増幅器へ送信し、

前記光増幅器は、前記干渉信号光を増幅して前記増幅干渉信号光を生成し、前記増幅干渉信号光を前記第２の光サーキュレータのポートｐ４へ送信し、

前記第２の光サーキュレータは、ポートｐ４で受信した前記増幅干渉信号光をポートｐ５から出力し、

ＦＢＧ＃２－λ１～＃２－λｎそれぞれは、ポートｐ５から出力された前記増幅干渉信号光の波長λ１～λｎに対し、該当波長の前記偏差を復元してパルス幅を元に戻して、波長毎の増幅信号光を生成し、ポートｐ５へ向けて前記増幅信号光を反射させ、

前記第２の光サーキュレータは、ポートｐ５で受信した前記増幅信号光をポートｐ６から出力する、

ことを特徴とする請求の範囲第３項記載の光増幅装置。

[請求項7] 前記光増幅器は、

高非線形ファイバと、

前記干渉信号光の偏光制御を行う第１の偏光制御器と、

励起光を発出する励起光光源と、

前記励起光の偏光制御を行う第２の偏光制御器と、

前記第１の偏光制御器と前記第２の偏光制御器とによって、偏光状態が制御された前記干渉信号光と前記励起光とを合波して前記高非線形ファイバへ入力する光カプラと、

前記高非線形ファイバから出力された増幅光のフィルタリングを行うフィルタと、

を有することを特徴とする請求の範囲第１項記載の光増幅装置。

[請求項8] 前記フィルタは、前記高非線形ファイバから出力される増幅光から信号光成分を透過させる、または前記励起光の波長を中心にして、前記信号光成分と対称な位置にあるアイドラ光成分を透過させることを特徴とする請求の範囲第７項記載の光増幅装置。

[請求項9] 前記光増幅器は、

高非線形ファイバと、

第１ポートから第４ポートの４つのポートを有する偏光ビームスプリッタと、

励起光を発出する励起光光源と、

前記励起光の偏光制御を行う第１の偏光制御器と、

前記干渉信号光と、偏光状態が制御された前記励起光とを合波して、前記偏光ビームスプリッタの第１ポートへ入力する光カプラと、

前記偏光ビームスプリッタの第２ポートから出力された前記干渉信号光の偏光制御を行う第２の偏光制御器と、

前記高非線形ファイバから出力された増幅光のフィルタリングを行うフィルタと、

を備え、

前記偏光ビームスプリッタと、前記第２の偏光制御器と、前記高非

線形ファイバとでループを形成し、

前記ループは、前記偏光ビームスプリッタの第２ポートと前記第２の偏光制御器の入力端とが接続し、前記第２の偏光制御器の出力端に前記高非線形ファイバの一端が接続し、前記高非線形ファイバの他端が前記偏光ビームスプリッタの第３ポートに接続することで形成される、

ことを特徴とする請求の範囲第１項記載の光増幅装置。

[請求項10] 前記フィルタは、前記高非線形ファイバから出力される増幅光から信号光成分を透過させる、または前記励起光の波長を中心にして、前記信号光成分と対称な位置にあるアイドラ光成分を透過させることを特徴とする請求の範囲第９項記載の光増幅装置。

[請求項11] 前記光増幅器は、駆動電流により利得を変化させて増幅を行う半導体光増幅器であることを特徴とする請求の範囲第１項記載の光増幅装置。

[請求項12] 光伝送を行う光伝送システムにおいて、

波長多重信号光が伝搬する第１の光ファイバ伝送路と、

前記第１の光ファイバ伝送路を伝搬してきた前記波長多重信号光の光増幅を行う光増幅器と、

光増幅後の前記波長多重信号光が伝搬する第２の光ファイバ伝送路と、

を備え、

前記第１の光ファイバ伝送路は、前記波長多重信号光に波長分散を付与して、前記波長多重信号光に含まれる各信号光を干渉させて、信号光のピークパワーとボトムパワーとの偏差を圧縮し、

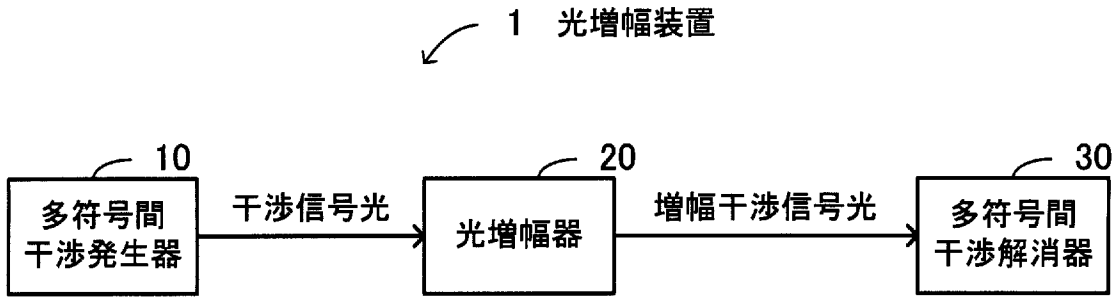
前記光増幅器は、相互利得変調の特性を有して光増幅を行い、

前記第２の光ファイバ伝送路は、光増幅後の前記波長多重信号光に対して、波長分散補償を行って干渉を解消し、前記偏差を復元する、

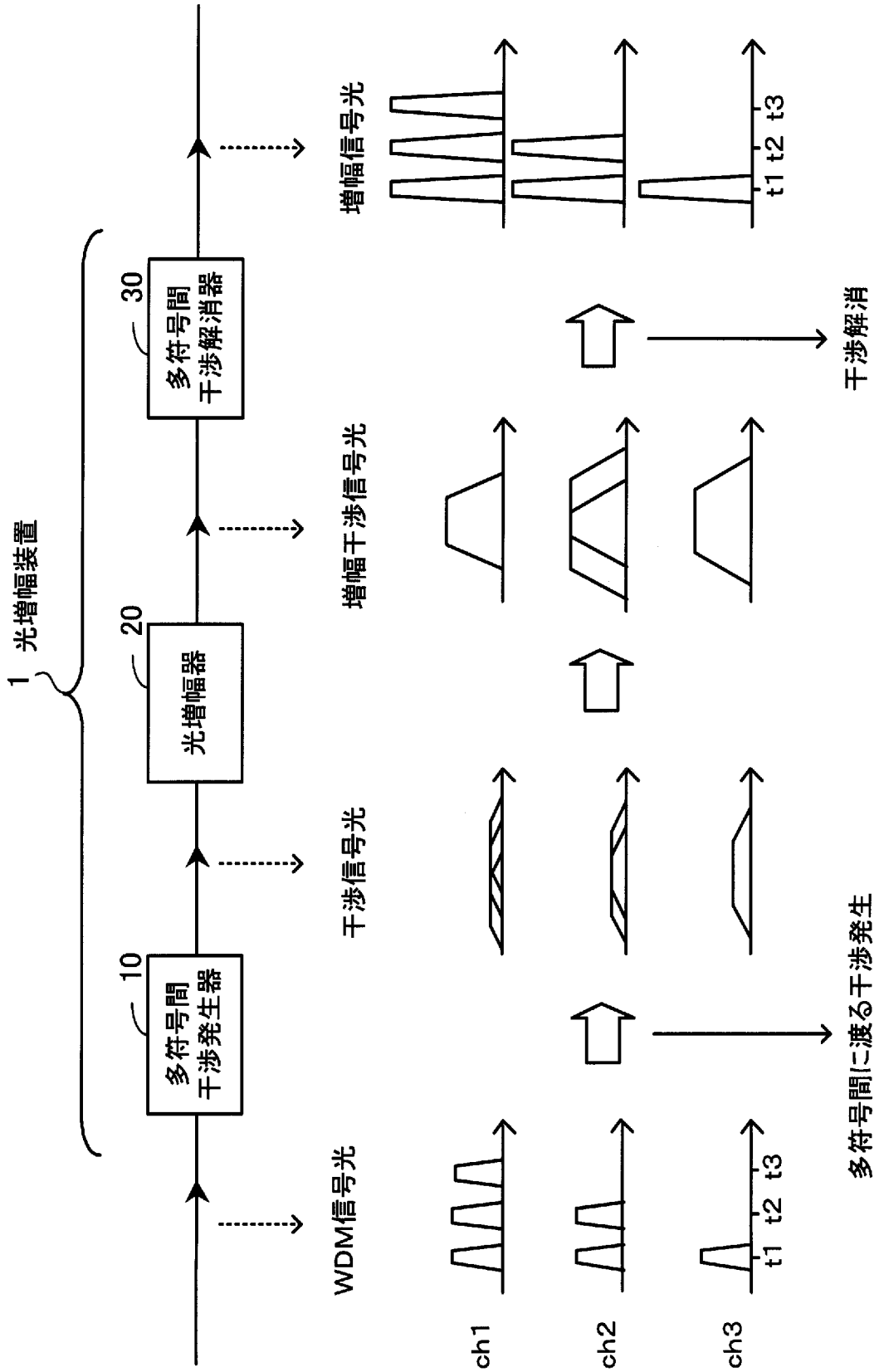
ことを特徴とする光伝送システム。

[請求項13] 前記第１の光ファイバ伝送路は、中継器で接続された複数の光ファイバであり、前記第２の光ファイバ伝送路は、分散補償ファイバであることを特徴とする請求の範囲第１２項記載の光伝送システム。

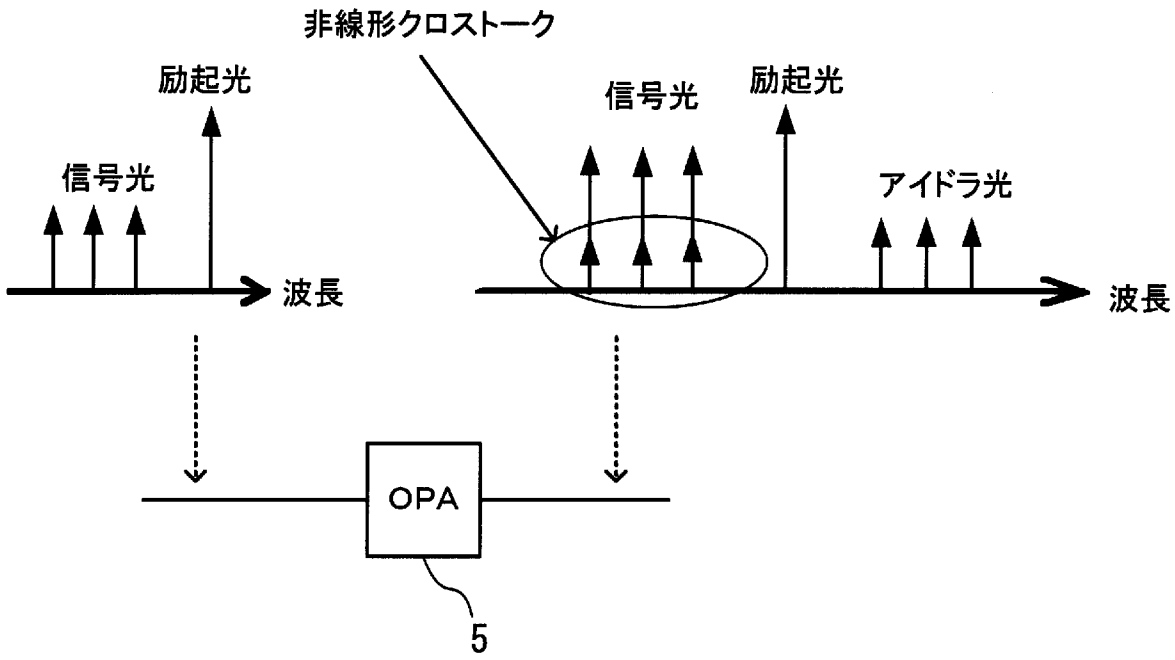
[図1]



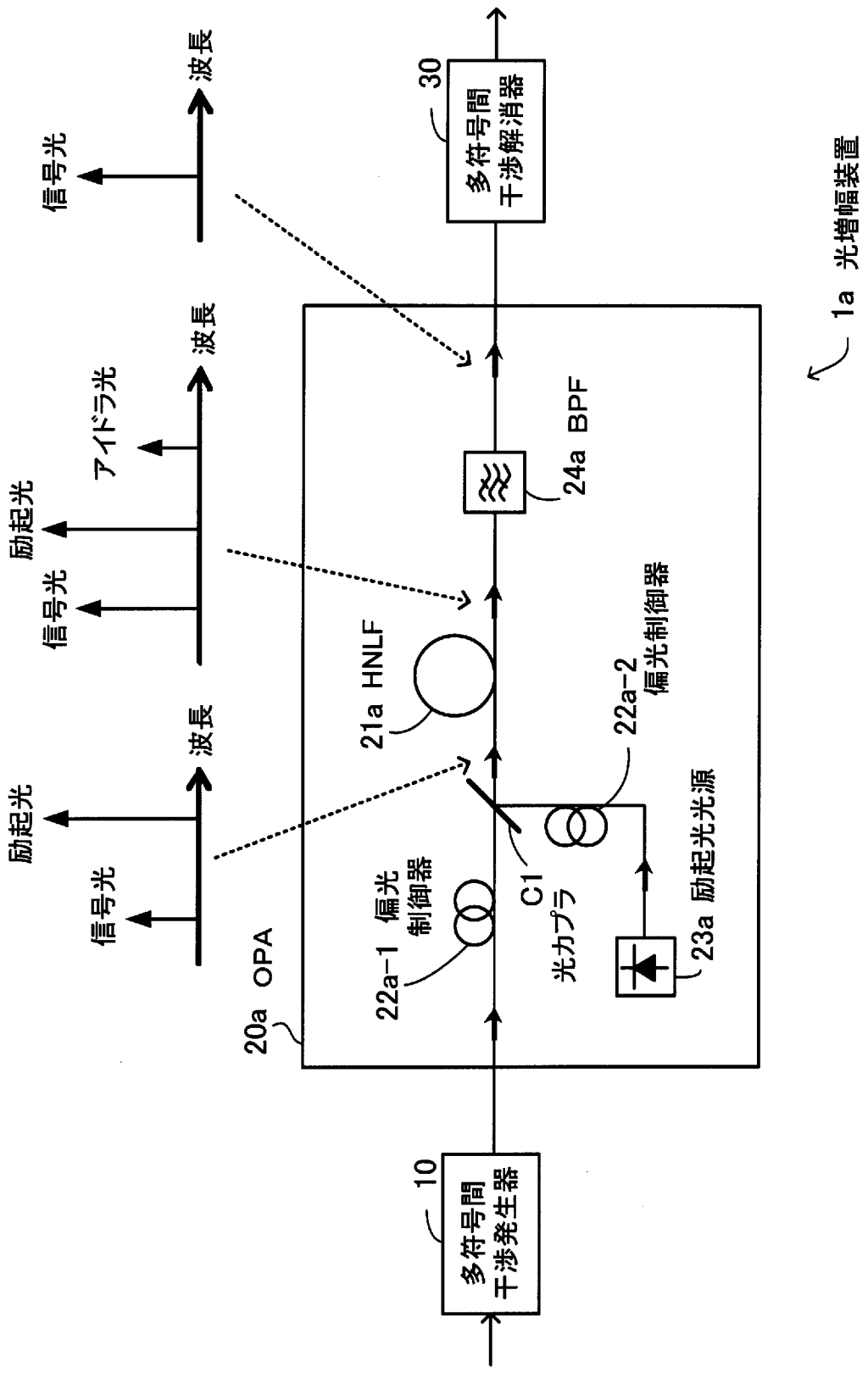
[図2]


1 光増幅装置
10 多符号間干渉発生器
20 光増幅器
30 多符号間干渉解消器
WDM信号光
干渉信号光
増幅干渉信号光
増幅信号光
ch1
ch2
ch3
t1 t2 t3
多符号間に渡る干渉発生
干渉解消

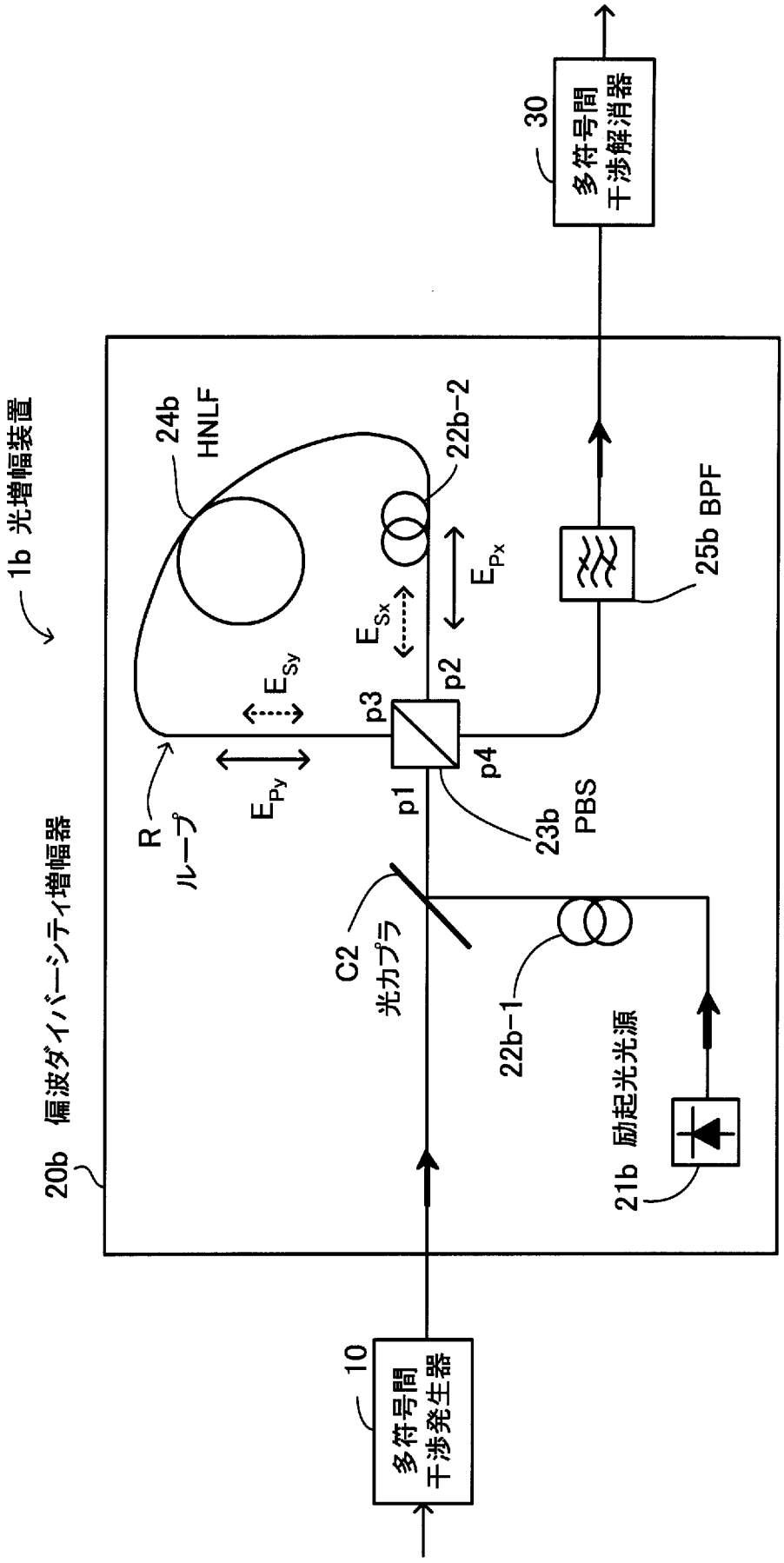
[図3]



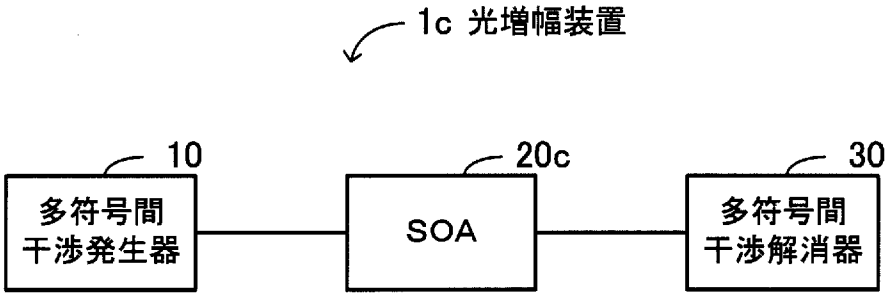
[図4]


1a 光増幅装置
10 多符号間干渉発生器
20a OPA
21a HNLF
22a-1 偏光制御器
22a-2 偏光制御器
23a 励起光光源
24a BPF
30 多符号間干渉解消器
C1 光カプラ
信号光
励起光
アイドラ光
波長

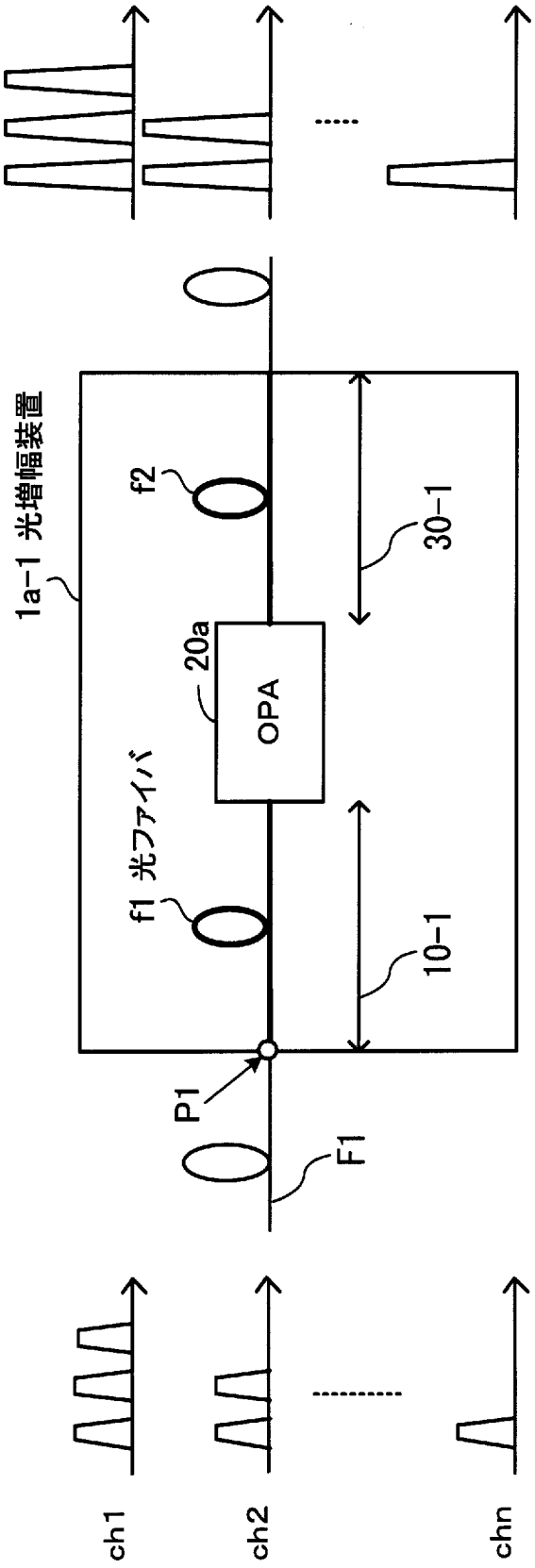
[図5]


1b 光増幅装置
20b 偏波ダイバーシティ増幅器
24b HNLF
22b-2
25b BPF
30
多符号間
干渉解消器
R
ループ
E_{Sy}
E_{Py}
E_{Sx}
E_{Px}
p3
p2
p1
p4
23b
PBS
C2
光カプラ
22b-1
21b 励起光光源
10
多符号間
干渉発生器

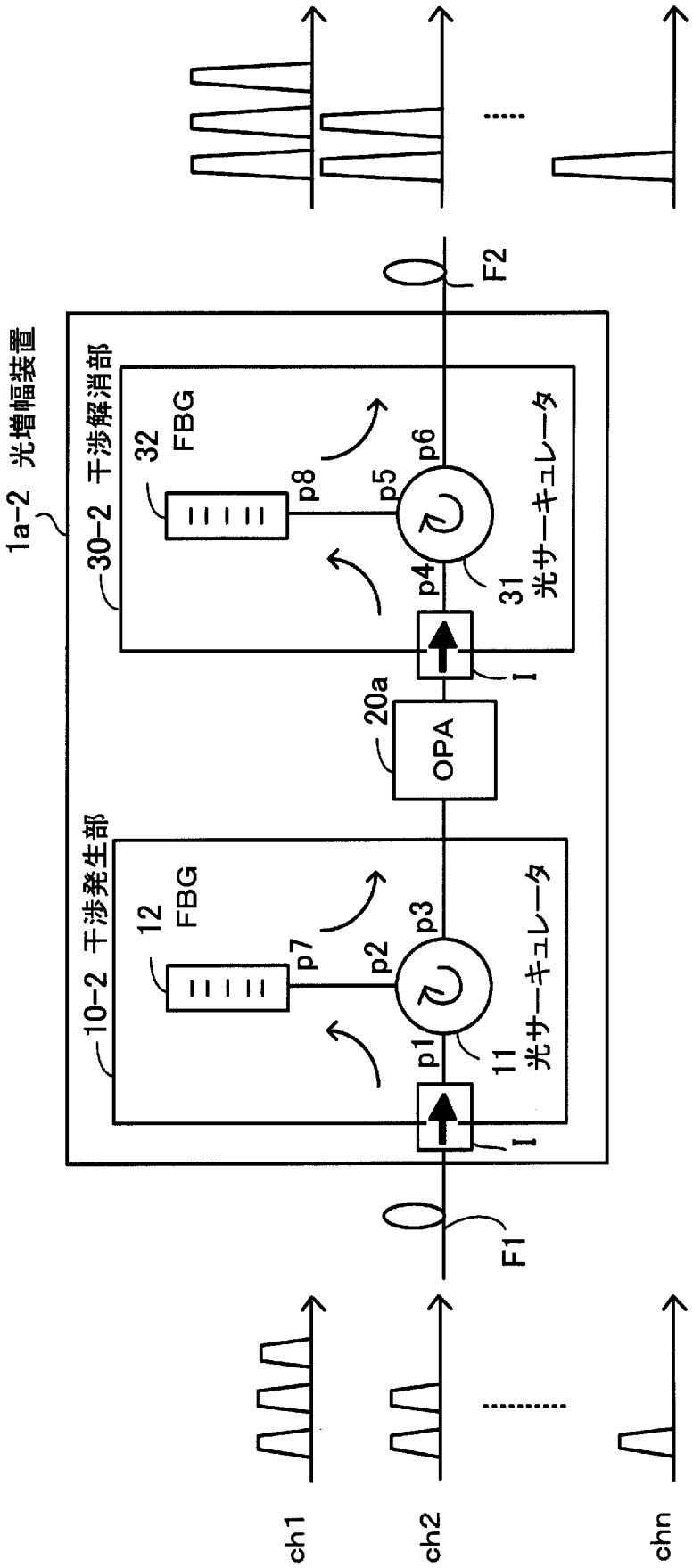
[図6]



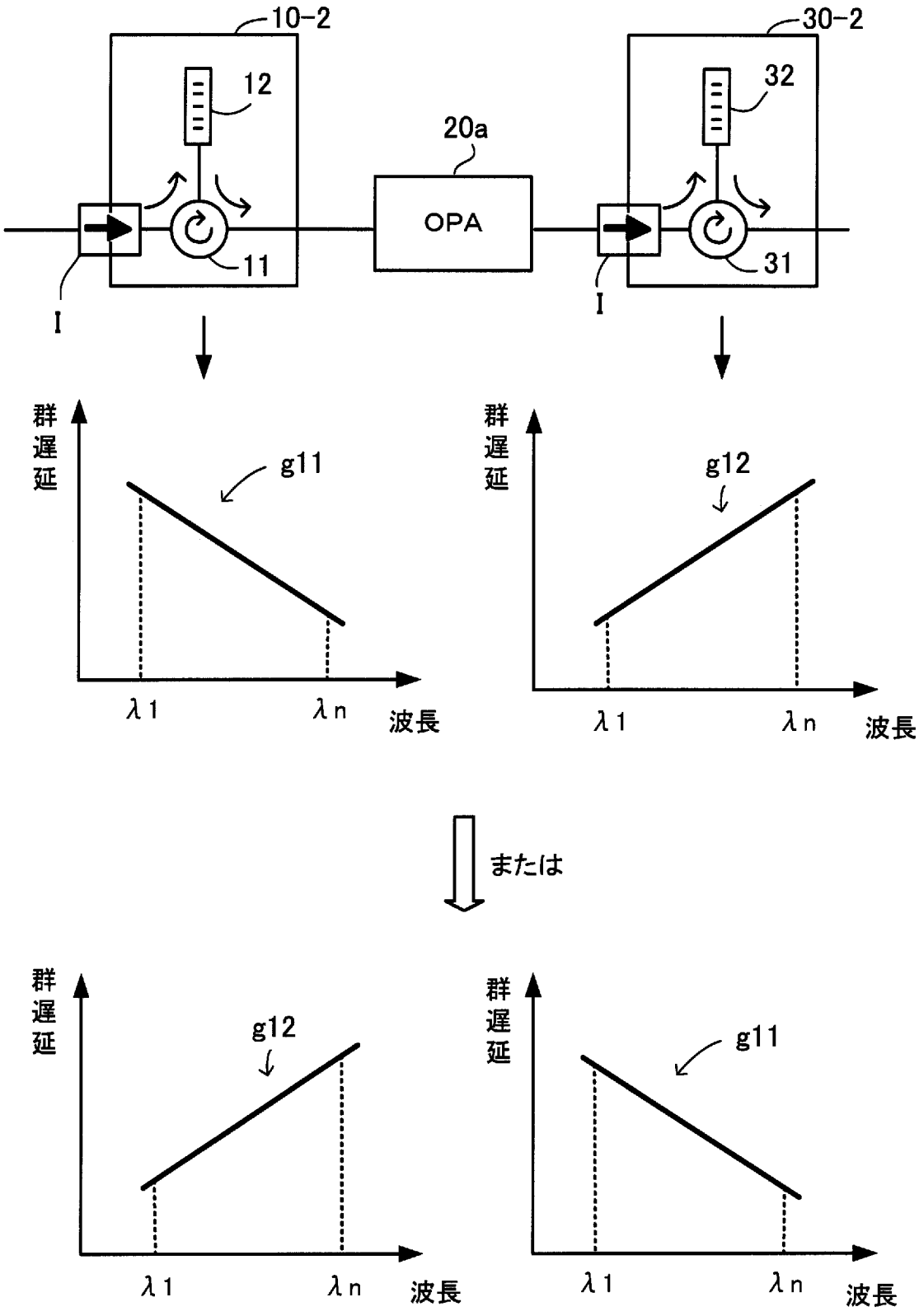
[図7]



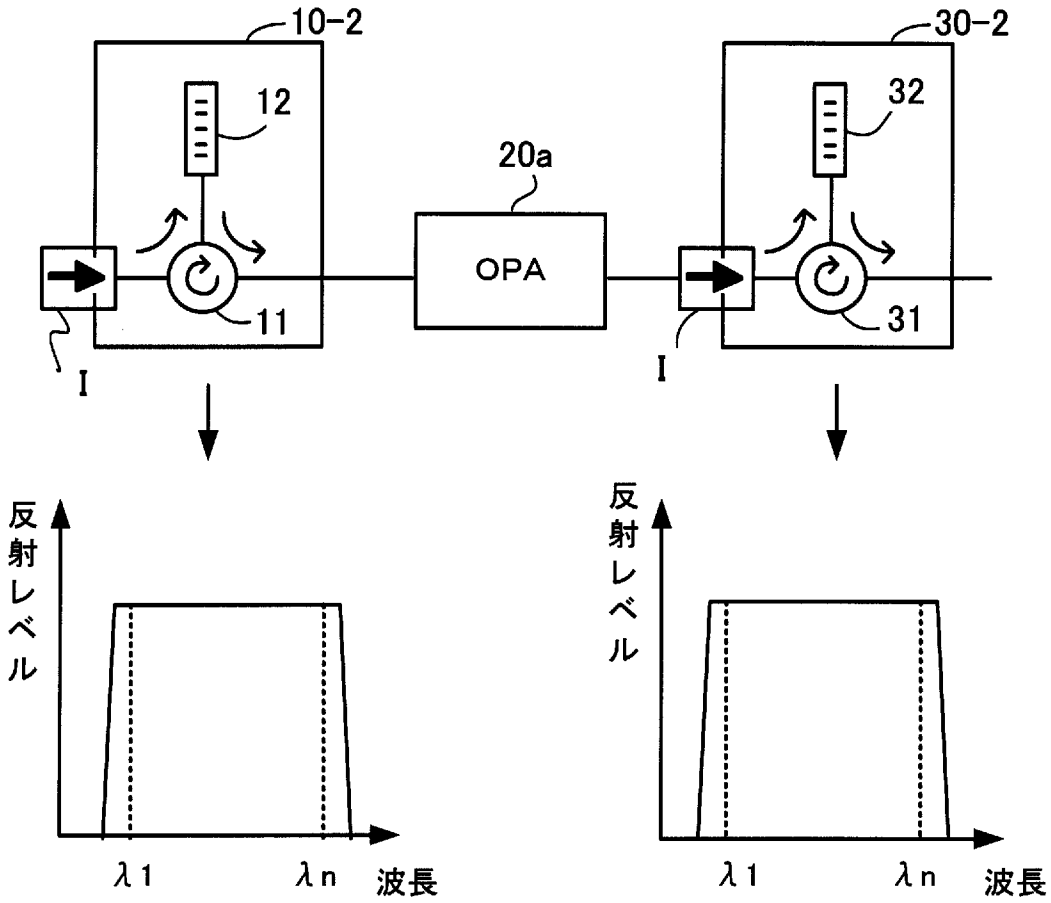
[図8]


1a-2 光増幅装置
30-2 干渉解消部
32 FBG
p8
p5
p6
31 光サーキュレータ
p4
I
20a
OPA
10-2 干渉発生部
12 FBG
p7
p2
p3
11 光サーキュレータ
p1
I
F1
F2
ch1
ch2
chn

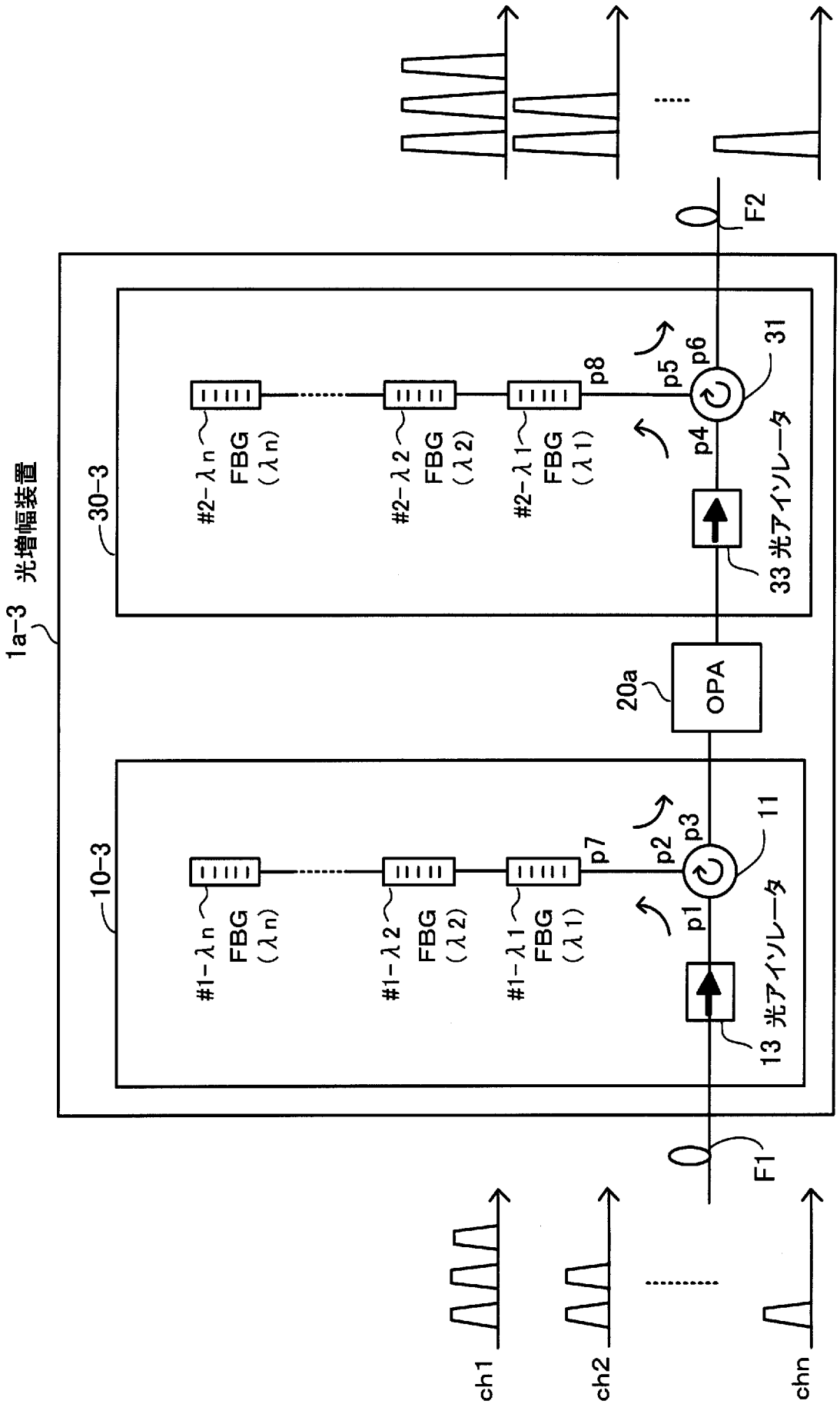
[図9]


10-2
12
11
I
20a
OPA
30-2
32
31
I
群遅延
g11
λ1
λn
波長
群遅延
g12
λ1
λn
波長
または
群遅延
g12
λ1
λn
波長
群遅延
g11
λ1
λn
波長

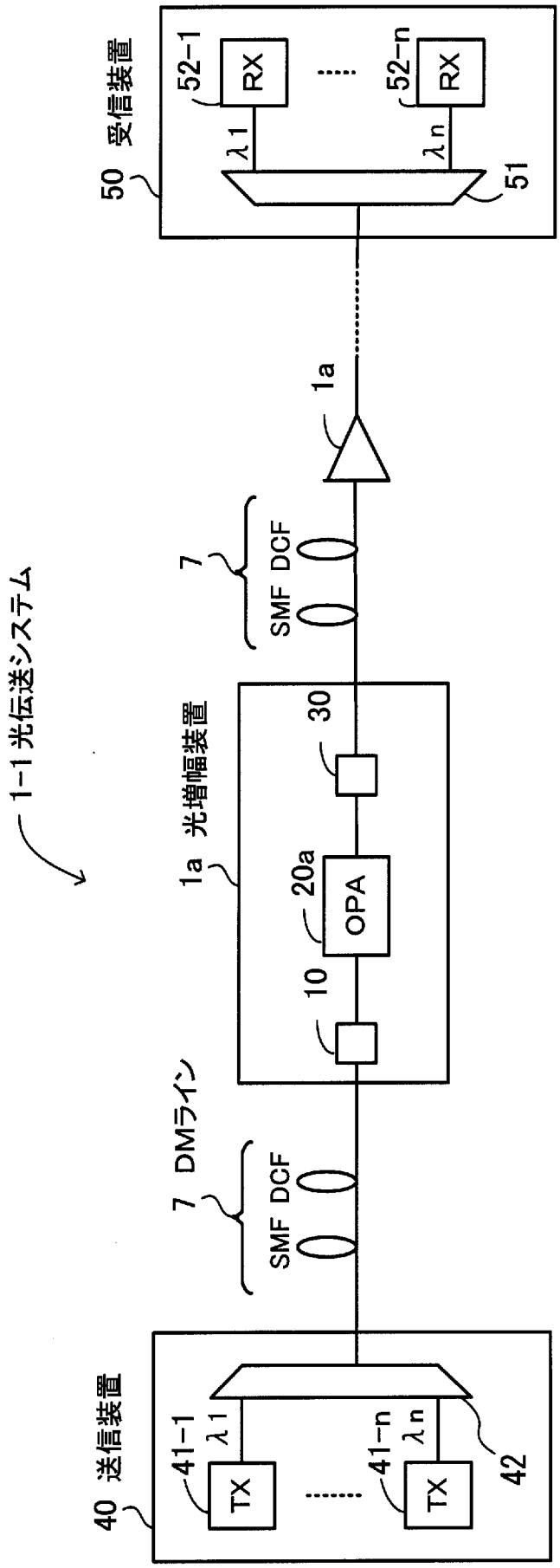
[図10]



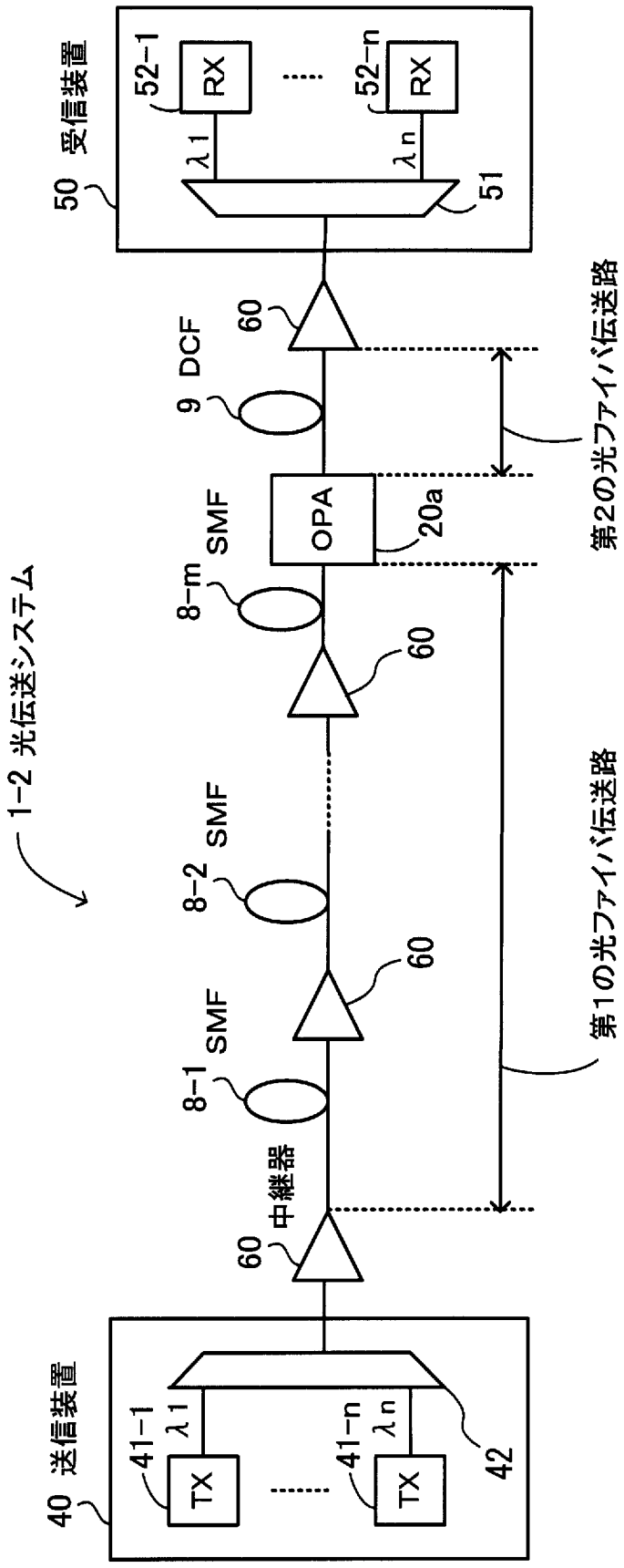
[図11]


1a-3 光増幅装置
10-3
30-3
20a
OPA
11
13 光アイソレータ
31
33 光アイソレータ
p1
p2
p3
p4
p5
p6
p7
p8
F1
F2
#1-λn FBG (λn)
#1-λ2 FBG (λ2)
#1-λ1 FBG (λ1)
#2-λn FBG (λn)
#2-λ2 FBG (λ2)
#2-λ1 FBG (λ1)
ch1
ch2
chn

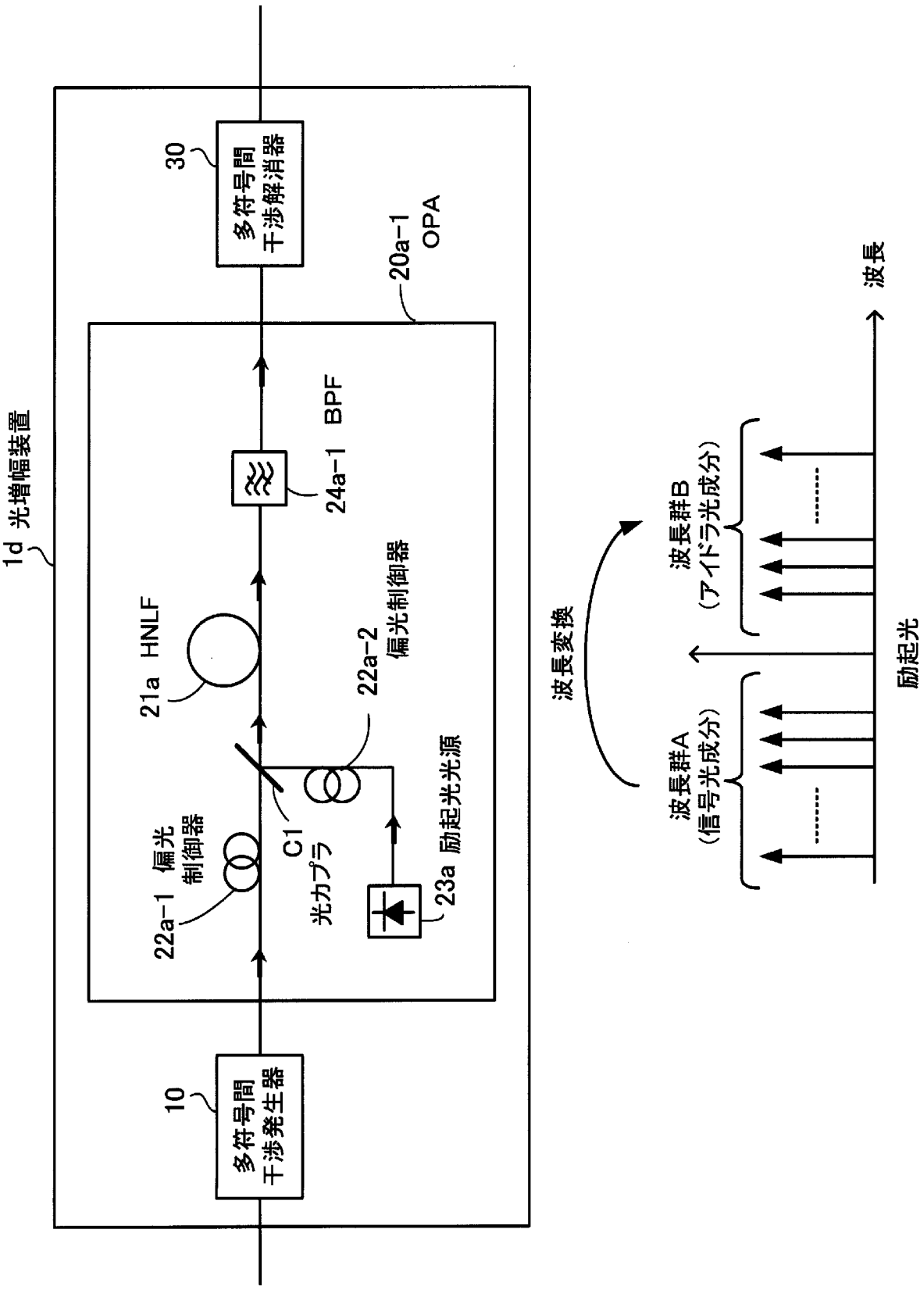
[図12]


1-1 光伝送システム
40 送信装置
41-1
λ1
TX
41-n
λn
TX
42
7 DMライン
SMF DCF
1a 光増幅装置
10
20a
OPA
30
7
SMF DCF
1a
50 受信装置
52-1
λ1
RX
52-n
λn
RX
51

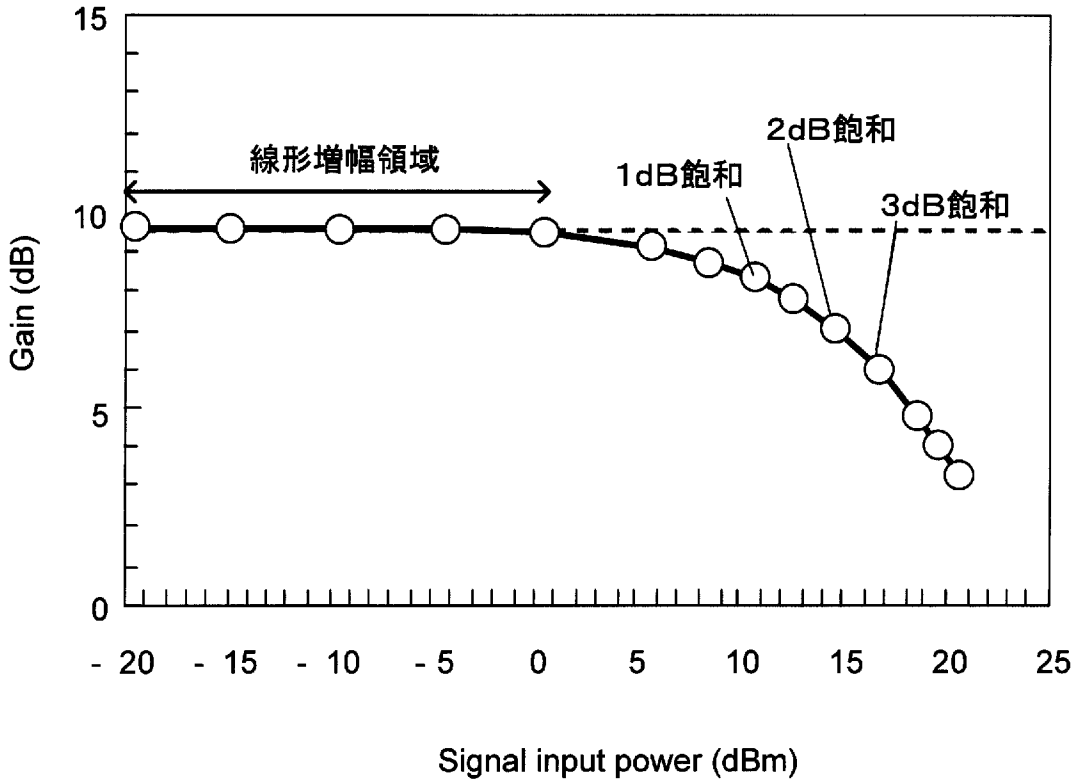
[図13]


1-2 光伝送システム
50 受信装置
52-1
RX
52-n
RX
λ1
λn
51
60
9 DCF
SMF
8-m
OPA
20a
60
SMF
8-2
60
SMF
8-1
中継器
60
40 送信装置
41-1
λ1
TX
41-n
λn
TX
42
第2の光ファイバ伝送路
第1の光ファイバ伝送路

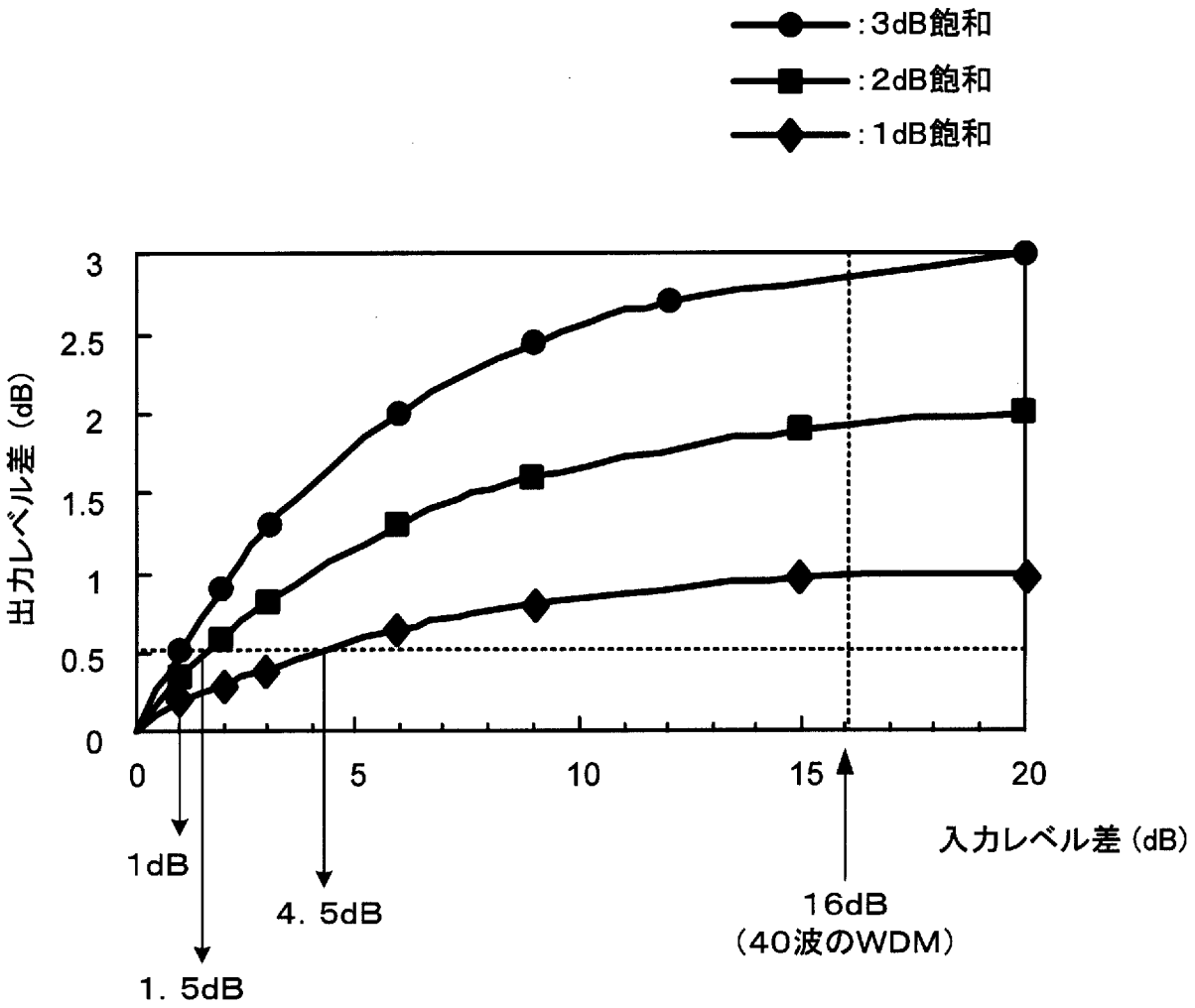
[図14]


1d 光増幅装置
10
多符号間
干渉発生器
22a-1 偏光
制御器
C1
光カプラ
23a 励起光光源
21a HNLF
22a-2
偏光制御器
24a-1 BPF
20a-1
OPA
30
多符号間
干渉解消器
波長変換
波長群A
(信号光成分)
波長群B
(アイドラ光成分)
励起光
波長

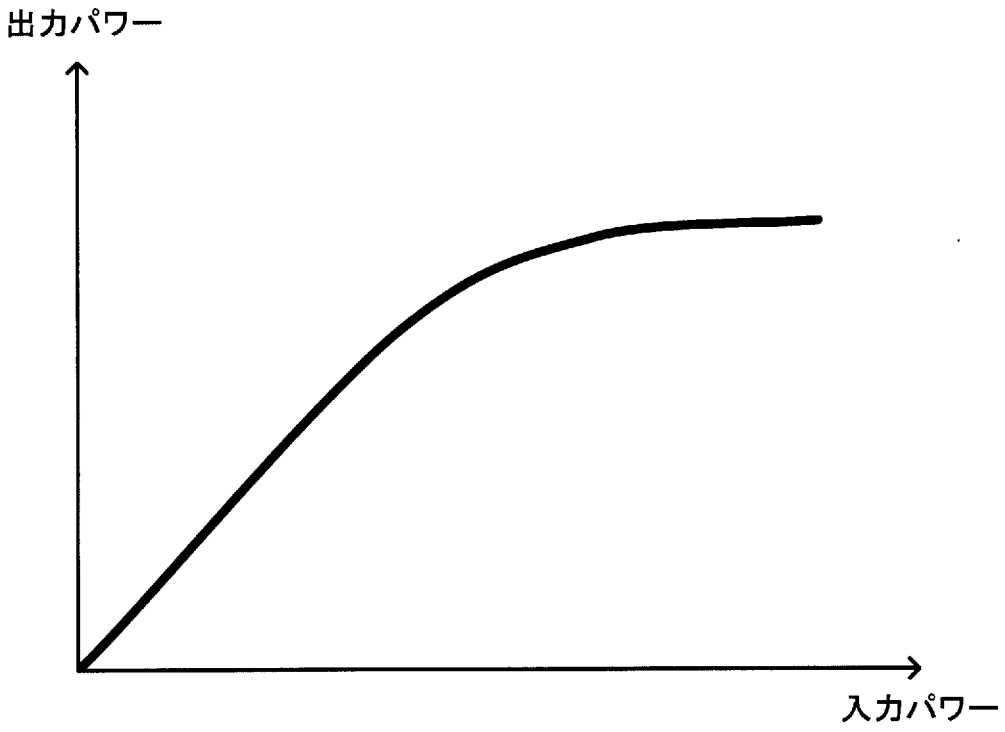
[図15]


15
10
5
0
Gain (dB)
線形増幅領域
1dB飽和
2dB飽和
3dB飽和
- 20
- 15
- 10
- 5
0
5
10
15
20
25
Signal input power (dBm)

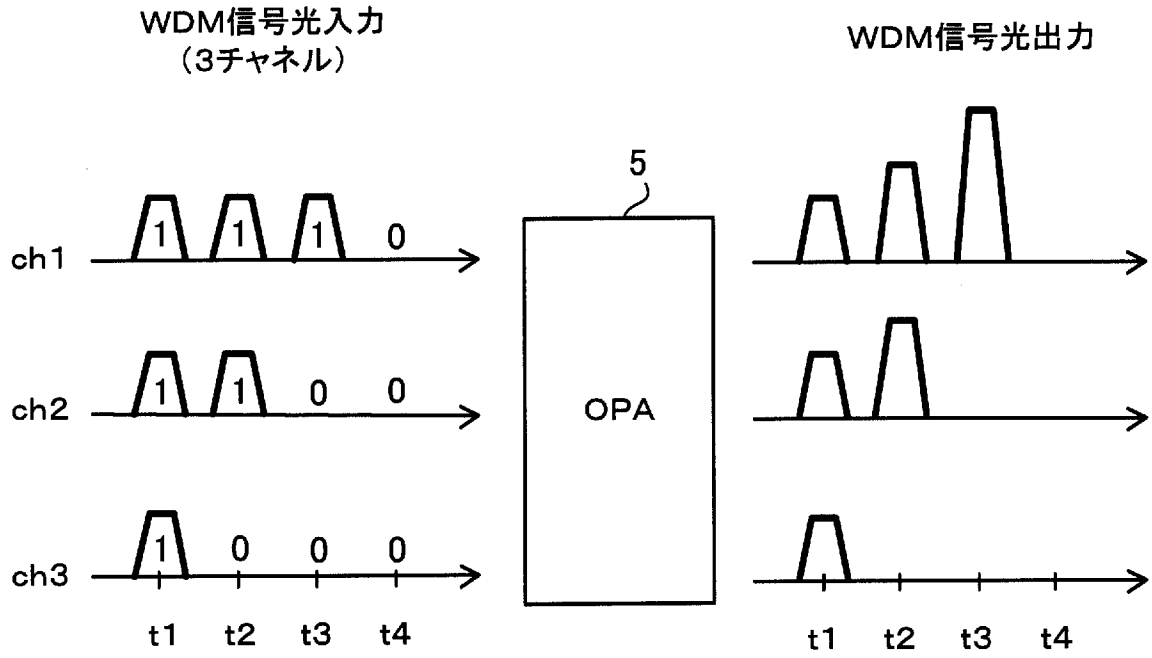
[図16]


:3dB飽和
:2dB飽和
:1dB飽和
出力レベル差 (dB)
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
0
5
10
15
20
入力レベル差 (dB)
1dB
1. 5dB
4. 5dB
16dB
(40波のWDM)

[図17]


出力パワー
入力パワー

[図18]


WDM信号光入力
（3チャネル）
WDM信号光出力
5
ch1
ch2
ch3
1
1
1
0
1
1
0
0
1
0
0
0
OPA
t1
t2
t3
t4
t1
t2
t3
t4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2009/066330

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G02F1/39(2006.01)i, G02F1/35(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)
G02F1/00-1/125, G02F1/29-1/39

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 1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2009 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2009

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2008-89781 A (Fujitsu Ltd.), 17 April 2008 (17.04.2008), entire text; all drawings & US 2008/0165412 A1 & EP 1906230 A1	1-13
A	T. Torounidis, et al., "Amplification of WDM signals in fiber-based optical parametric amplifires", IEEE Photonics Technology Letters, 2003.08, Vol. 15, No. 8, p.1061-1063	1-13
A	T. Tourounidis, et al., "Multi-wavelength, tunable, high-power RZ pulse source for WDM systems based on optical parametric amplification", 28th European Conference on Optical Communication, 2002.09, Vol. 3, p.1-2	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
15 October, 2009 (15.10.09)	27 October, 2009 (27.10.09)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2007)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2009/066330

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	C.-S. Bres, et al., "1-to-40 10-Gb/s channel multicasting and amplification in wideband parametric amplifier", IEEE Photonics Technology Letters, 2008.08.15, Vol. 20, No. 6, p.1417-1419	1-13
A	C. Yu, et al., "Polarization-insensitive four-wave mixing wavelength conversion using a fiber Bragg grating and a Faraday rotator mirror", Optical Fiber Communications Conference, 2003. 03, Vol. 1, p.347-349	1-13
A	Tomoyuki KATO et al., "Kohisenkei Fiber o Mochiita Hikari Parametric Zofukuki no Ritoku Howa ni yoru Shingo Level Toka ni Kansuru Kento", IEICE Communications Society Conference, 15 September 2003 (15.09.2003), Tsushin Koen Ronbunshu 2, page 243	1-13

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２００９／０６６３３０

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G02F1/39(2006.01)i, G02F1/35(2006.01)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.　G02F1/00-1/125, G02F1/29-1/39

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	１９７１－２００９年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２００９年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２００９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）

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
A	JP 2008-89781 A (富士通株式会社) 2008.04.17, 全文全図 & US 2008/0165412 A1 & EP 1906230 A1	1-13
A	T. Torounidis, et al., "Amplification of WDM signals in fiber-based optical parametric amplifires", IEEE Photonics Technology Letters, 2003.08, Vol. 15, No. 8, p.1061-1063	1-13

☑　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 １５．１０．２００９	国際調査報告の発送日 ２７．１０．２００９
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）　２Ｘ　４０８５ 林　祥恵 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２９４

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
A	T. Tourounidis, et al., "Multi-wavelength, tunable, high-power RZ pulse source for WDM systems based on optical parametric amplification", 28th European Conference on Optical Communication, 2002.09, Vol. 3, p.1-2	1-13
A	C.-S. Bres, et al., "1-to-40 10-Gb/s channel multicasting and amplification in wideband parametric amplifier", IEEE Photonics Technology Letters, 2008.08.15, Vol. 20, No. 6, p.1417-1419	1-13
A	C. Yu, et al., "Polarization-insensitive four-wave mixing wavelength conversion using a fiber Bragg grating and a Faraday rotator mirror", Optical Fiber Communications Conference, 2003.03, Vol. 1, p.347-349	1-13
A	加藤智行, 他,"高非線形ファイバを用いた光パラメトリック増幅器の利得飽和による信号レベル等化に関する検討", 電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, 2003.09.15, 通信講演論文集２, p.243	1-13