

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6236871号
(P6236871)

(45) 発行日 平成29年11月29日 (2017.11.29)

(24) 登録日 平成29年11月10日 (2017.11.10)

(51) Int.Cl.	F I
H O 4 B 10/294 (2013.01)	H O 4 B 10/294
H O 4 J 14/02 (2006.01)	H O 4 J 14/02 1 2 1
H O 4 B 14/06 (2006.01)	H O 4 B 14/06

請求項の数 6 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2013-107499 (P2013-107499)	(73) 特許権者	000005223
(22) 出願日	平成25年5月21日 (2013. 5. 21)		富士通株式会社
(65) 公開番号	特開2014-230042 (P2014-230042A)		神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(43) 公開日	平成26年12月8日 (2014. 12. 8)	(74) 代理人	100089118
審査請求日	平成28年2月26日 (2016. 2. 26)		弁理士 酒井 宏明
		(72) 発明者	中元 洋
			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
		審査官	後澤 瑞征

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光伝送装置および光伝送方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

入力される伝送対象の波長多重光を増幅する光増幅部と、
前記光増幅部の増幅帯域に属する波長のうち偏波多重信号光の波長と異なる波長を有する4つ以上の複数の非信号光各々の偏波面どうしの成す角度が等しくなるように、前記複数の非信号光を合成する合成部と、
前記合成部によって合成された前記複数の非信号光と、前記偏波多重信号光とを合波することによって、前記光増幅部に入力される前記波長多重光を生成する波長多重部とを備えたことを特徴とする光伝送装置。

【請求項 2】

前記合成部は、前記光増幅部の増幅帯域に属する波長のうち偏波多重信号光の波長と異なる波長を有する4つの非信号光各々の偏波面どうしの成す角度が45°になるように、前記4つの非信号光を合成することを特徴とする請求項1に記載の光伝送装置。

【請求項 3】

前記合成部を複数備え、
複数の前記合成部のうち第1合成部は、
前記光増幅部の増幅帯域に属する波長のうち前記偏波多重信号光の最短波長よりも短い波長を有する複数の非信号光各々の偏波面どうしの成す角度が等しくなるように、前記複数の非信号光を合成し、
複数の前記合成部のうち第2合成部は、

10

20

前記光増幅部の増幅帯域に属する波長のうち前記偏波多重信号光の最長波長よりも長い波長を有する前記複数の非信号光各々の偏波面どうしの成す角度が等しくなるように、前記複数の非信号光を合成し、

前記波長多重部は、

前記第1合成部によって合成された前記複数の非信号光と、前記第2合成部によって合成された前記複数の非信号光と、前記偏波多重信号光とを合波することによって、前記光増幅部に入力される前記波長多重光を生成する

ことを特徴とする請求項1又は2に記載の光伝送装置。

【請求項4】

入力される伝送対象の波長多重光を増幅する光増幅部と、

前記光増幅部の増幅帯域に属する波長のうち偏波多重信号光の波長と異なる波長を有する複数の非信号光各々の偏波面どうしの成す角度が等しくなるように、前記複数の非信号光を合成する合成部と、

前記合成部によって合成された前記複数の非信号光と、前記偏波多重信号光とを合波することによって、前記光増幅部に入力される前記波長多重光を生成する波長多重部と
を備え、

前記合成部を複数備え、

複数の前記合成部のうち第1合成部は、

前記光増幅部の増幅帯域に属する波長のうち偏波多重信号光の波長と異なる第1波長を有する2つの非信号光各々の偏波面どうしの成す角度が90°になるように、前記第1波長を有する2つの非信号光を合成し、

複数の前記合成部のうち第2合成部は、

第1波長から所定の範囲内にある第2波長を有する2つの非信号光各々の偏波面どうしの成す角度が90°になるように、前記第2波長を有する2つの非信号光を合成し、

前記波長多重部は、前記第1合成部によって合成された2つの非信号光と、該2つの非信号光各々の偏波面に対して前記第2合成部によって合成された2つの非信号光各々の偏波面を45°回転させて得られる2つの非信号光と、前記偏波多重信号光とを合波することによって、前記光増幅部に入力される前記波長多重光を生成することを特徴とする光伝送装置。

【請求項5】

複数の波長成分を含む自然放出光を生成する自然放出光生成部と、

前記自然放出光に含まれる複数の波長成分のうち偏波多重信号光の波長と異なる波長を有する波長成分を透過させる透過帯域を有する光フィルタ部と

をさらに備え、

前記合成部は、

前記偏波多重信号光の波長および前記光フィルタ部を透過した波長成分の波長と異なる波長を有する複数の非信号光各々の偏波面どうしの成す角度が等しくなるように、前記複数の非信号光を合成し、

前記波長多重部は、

前記合成部によって合成された前記複数の非信号光と、前記光フィルタ部を透過した波長成分と、前記偏波多重信号光とを合波することによって、前記光増幅部に入力される前記波長多重光を生成する

ことを特徴とする請求項1に記載の光伝送装置。

【請求項6】

入力される伝送対象の波長多重光を増幅する光増幅部の増幅帯域に属する波長のうち偏波多重信号光の波長と異なる波長を有する4つ以上の複数の非信号光各々の偏波面どうしの成す角度が等しくなるように、前記複数の非信号光を合成し、

合成された前記複数の非信号光と前記偏波多重信号光とを合波することによって、前記光増幅部に入力される前記波長多重光を生成する

ことを含んだことを特徴とする光伝送方法。

10

20

30

40

50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光伝送装置および光伝送方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、光通信において、波長の異なる複数の信号光を多重して得られる波長多重光を光ファイバ等の伝送路に通過させ、大容量の情報を一度に伝送するWDM (Wavelength Division Multiplex) 方式が知られている。WDM方式では、一般的には、波長数を増やしたりチャンネル間隔を狭めたりすることで、一度に伝送できる情報の容量が増えるが、さらに効率良く情報の伝送容量を増やすための伝送方式として、偏波多重 (Polarization multiplexing) 方式が知られている。偏波多重方式は、偏波面が互いに直交する2つの信号光を合成して得られる偏波多重信号光を利用して2つの独立したデータ情報を一度に伝送するものであり、受信側ではコヒーレント受信を行い、DSP (Digital Signal Processor) によって偏波分離、波形補正を行うものである。

10

【0003】

通常、WDM方式および偏波多重方式を採用する光伝送装置は、伝送対象の波長多重光を増幅する光増幅器を備えている。そして、偏波多重信号光どうしが合波されて得られる波長多重光が光増幅器に入力されると、波長多重光が光増幅器を用いて増幅され、増幅後の波長多重光が光ファイバ等の伝送路に出力される。

20

【0004】

ここで、光伝送装置の初期導入時には、光増幅器の増幅帯域に属する全ての波長のうち一部の波長のみが波長多重光内の偏波多重信号光を増幅するための波長として使用され、一部の波長以外の他の波長が使用されていない場合がある。この場合、光増幅器の一チャンネル当たりの光パワーが増大し、かつ未使用の波長帯域の利得の影響によって光増幅器の利得波長特性が歪む現象が発生する可能性がある。前者は最適光パワーの値から逸脱することで信号劣化を招き、後者の現象は、スペクトルホールバーニング現象と呼ばれる。スペクトルホールバーニング現象の発生は、光増幅器から出力される信号光の伝送品質を劣化させる要因となる。

【0005】

30

そこで、光増幅器の増幅帯域のうち未使用の波長帯域に対して非信号光を入力させる技術が検討されている。この技術では、光増幅器の増幅帯域に属する波長のうち偏波多重信号光の波長と異なる波長を有する非信号光と、偏波多重信号光とを合波することによって、波長多重光を生成し、生成した波長多重光を光増幅器に入力させる。非信号光としては、偏波面が単一であるCW (Continuous Wave) 光が用いられる。このように、光増幅器の増幅帯域のうち未使用の波長帯域に対して非信号光を入力させることにより、光増幅器の一チャンネル当たりの光パワーの増大を抑えることができ、またスペクトルホールバーニング現象の発生を回避することが可能である。

【先行技術文献】

【特許文献】

40

【0006】

【特許文献1】特表2008-510388号公報

【特許文献2】特表2009-530943号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、従来技術では、非信号光の導入に起因して偏波多重信号光の伝送品質の劣化が起こるという問題がある。

【0008】

図14を用いて、従来技術の問題点を説明する。図14は、従来技術の問題点を説明す

50

るための図である。図14の左部は、非信号光の偏波面11の状態を示し、図14の右部は、偏波多重信号光内の2つの信号光の偏波面21, 22の状態を示す。偏波多重信号光内の2つの信号光の偏波面21, 22どうしは、互いに直交状態であるものとする。

【0009】

従来技術では、非信号光として偏波面11が単一であるCW光が使用されるため、非信号光と偏波多重信号光との合波後に、偏波多重信号光内の2つの信号光のうち偏波面がCW光の偏波面11と近接する一方の信号光が他方よりもCW光によりラマン増幅される。例えば、図14に示すように、偏波多重信号光内の2つの信号光の偏波面21, 22のうち、偏波面21と比較して偏波面22がCW光の偏波面11と近接する。このため、偏波面22を有する一方の信号光が、偏波面21を有する他方の信号光と比較して、CW光によりラマン増幅される。したがって、従来技術では、偏波多重信号光に含まれる2つの信号光どうしのパワー差が生じる。結果として、従来技術では、偏波多重信号光のSN (Signal-to-Noise) 比やQ値などの伝送品質が劣化する。

10

【0010】

また、光ファイバ等の伝送路が海中に存在する場合には、潮流等の影響で伝送路にねじれが生じ、この伝送路のねじれによって非信号光としてのCW光の偏波面が経時的に変動する場合も想定される。この場合、相互位相変調 (XPM: Cross-Phase Modulation) の発生によって、CW光の偏波面に追従して偏波多重信号光に含まれる2つの信号光の偏波面が受信側のDSPの処理できる偏波変動速度よりも高速に変動することで、偏波多重信号光の伝送品質が劣化する。

20

【0011】

開示の技術は、上記に鑑みてなされたものであって、非信号光の導入に起因した偏波多重信号光の伝送品質の劣化を抑えることができる光伝送装置および光伝送方法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】

【0012】

本願の開示する光伝送装置は、一つに態様において、光増幅部と、合成部と、波長多重部とを備えた。光増幅部は、入力される伝送対象の波長多重光を増幅する。合成部は、前記光増幅部の増幅帯域に属する波長のうち偏波多重信号光の波長と異なる波長を有する複数の非信号光各々の偏波面どうしの成す角度が等しくなるように、前記複数の非信号光を合成する。波長多重部は、前記合成部によって合成された前記複数の非信号光と、前記偏波多重信号光とを合波することによって、前記光増幅部に入力される前記波長多重光を生成する。

30

【発明の効果】

【0013】

本願の開示する光伝送装置の一つの態様によれば、非信号光の導入に起因した偏波多重信号光の伝送品質の劣化を抑えることができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1A】図1Aは、光増幅器の増幅帯域のうち未使用の波長帯域に対して非信号光を入力させる技術を説明するための図である。

40

【図1B】図1Bは、実施例1に係る光伝送方法を説明するための図である。

【図1C】図1Cは、実施例1に係る光伝送方法を説明するための図である。

【図2】図2は、非信号光の偏波面とX軸との成す角度と、X軸射影成分の大きさとの対応関係を示す図である。

【図3】図3は、実施例1に係る光伝送装置の構成を示すブロック図である。

【図4A】図4Aは、実施例1における非信号光合成部の構成例(その1)を示す図である。

【図4B】図4Bは、実施例1における非信号光合成部の構成例(その2)を示す図である。

50

【図 5】図 5 は、実施例 1 に係る光伝送装置の処理手順を示すフローチャート（その 1）である。

【図 6】図 6 は、実施例 1 に係る光伝送装置の処理手順を示すフローチャート（その 2）である。

【図 7】図 7 は、実施例 2 に係る光伝送装置の構成を示すブロック図である。

【図 8】図 8 は、実施例 2 に係る光伝送装置の処理手順を示すフローチャートである。

【図 9】図 9 は、実施例 3 に係る光伝送装置の構成を示すブロック図である。

【図 10】図 10 は、実施例 3 に係る光伝送装置の処理手順を示すフローチャートである。

【図 11】図 11 は、実施例 4 に係る光伝送装置の構成を示すブロック図である。

10

【図 12】図 12 は、実施例 4 に係る光伝送装置の処理手順を示すフローチャートである。

【図 13】図 13 は、実施例 3 の変形例に係る光伝送装置の構成を示すブロック図である。

【図 14】図 14 は、従来技術の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】

【0015】

以下に、本願の開示する光伝送装置および光伝送方法の実施例を図面に基づいて詳細に説明する。なお、この実施例により開示技術が限定されるものではない。

【実施例 1】

20

【0016】

まず、実施例 1 に係る光伝送方法の一例を説明する。ここでは、実施例 1 に係る光伝送方法の一例を説明する前に、その前提となる前提技術として、光増幅器の増幅帯域のうち未使用の波長帯域に対して非信号光を入力させる技術について、図 1 A を参照して説明する。図 1 A は、光増幅器の増幅帯域のうち未使用の波長帯域に対して非信号光を入力させる技術を説明するための図である。図 1 A の左部は、非信号光の偏波面 3 1 の状態を示し、図 1 B の右部は、偏波多重信号光内の 2 つの信号光内の 2 つの信号光の偏波面 4 1, 4 2 の状態を示す。偏波多重信号光内の 2 つの信号光の偏波面 4 1, 4 2 どちらかは、互いに直交状態であり、かつ、偏波面 4 1 が X 軸に平行であるものとする。以下では、偏波多重信号光内の 2 つの信号光のうち、偏波面 4 1 を有する信号光を「S 偏波成分」と呼び、偏波面 4 2 を有する信号光を「P 偏波成分」と呼ぶ。

30

【0017】

前提技術では、光伝送装置は、光増幅器の増幅帯域に属する波長のうち偏波多重信号光の波長と異なる波長を有する非信号光と、偏波多重信号光とを合波することによって、波長多重光を生成し、生成した波長多重光を光増幅器に入力させる。非信号光は、通信データ等の情報が重畳されていない光であり、ダミー光とも呼ばれる。この前提技術では、図 1 A の左部に示すように、非信号光として偏波面 3 1 が単一である CW 光が使用される。このため、非信号光と偏波多重信号光との合波後に、偏波多重信号光内の 2 つの信号光のうち偏波面が CW 光の偏波面 3 1 と近接する一方の信号光が、他方の信号光と比較して非信号光によりラマン増幅される。非信号光の偏波面 3 1 と X 軸との成す角度を θ とし、非信号光の振幅を 1 とすると、X 軸に対する非信号光の射影成分（以下「X 軸射影成分」という）P 1 の大きさが、偏波面 4 1 を有する信号光、すなわち、S 偏波成分への影響度に対応する。ここで、前提技術における X 軸射影成分 P 1 は、以下の式（1）により表される。

40

【0018】

$$P1 = |\cos \theta| \cdots (1)$$

【0019】

これに対して、実施例 1 に係る光伝送方法（非信号光導入方法）について、図 1 B および図 1 C を参照して説明する。図 1 B および図 1 C は、実施例 1 に係る光伝送方法を説明するための図である。図 1 B の左部は、2 つの非信号光各々の偏波面 5 1, 5 2 の状態を

50

示し、図 1 B の右部は、偏波多重信号光内の 2 つの信号光内の 2 つの信号光の偏波面 4 1, 4 2 の状態を示す。図 1 C の左部は、4 つの非信号光各々の偏波面 6 1, 6 2, 6 3, 6 4 の状態を示し、図 1 C の右部は、偏波多重信号光内の 2 つの信号光内の 2 つの信号光の偏波面 4 1, 4 2 の状態を示す。図 1 B の右部及び図 1 C の右部における偏波面 4 1, 4 2 は、それぞれ、図 1 A の右部に示した偏波面 4 1, 4 2 に相当する。

【0020】

本実施例の光伝送装置は、光増幅器の増幅帯域に属する波長のうち偏波多重信号光の波長と異なる波長を有する複数の非信号光各々の偏波面どうしの成す角度が等しくなるように、複数の非信号光を合成する。例えば、光伝送装置は、図 1 B の左部に示すように、偏波多重信号光の波長と異なる波長を有する 2 つの非信号光各々の偏波面 5 1, 5 2 どうしのなす角度が 90° になるように、2 つの非信号光を合成する。また、例えば、光伝送方法は、図 1 C の左部に示すように、偏波多重信号光の波長と異なる波長を有する 4 つの非信号光各々の偏波面 6 1, 6 2, 6 3, 6 4 どうしのなす角度が 45° になるように、4 つの非信号光を合成する。

10

【0021】

続いて、本実施例の光伝送装置は、合成された複数の非信号光と、偏波多重信号光とを合波することによって、光増幅器に入力される波長多重光を生成する。例えば、光伝送装置は、図 1 B の左部に示した 2 つの非信号光と、図 1 B の右部に示した偏波多重信号光とを合波することによって、光増幅器に入力される波長多重光を生成する。また、例えば、光伝送装置は、図 1 C の左部に示した 4 つの非信号光と、図 1 C の右部に示した偏波多重信号光とを合波することによって、光増幅器に入力される波長多重光を生成する。ここで、図 1 B の左部に示した 2 つの非信号光のうちいずれか一つの非信号光の偏波面 5 1 と X 軸との成す角度を θ とすると、合成された 2 つの非信号光の X 軸射影成分 P 2 は、以下の式 (2) により表される。また、図 1 C の左部に示した 4 つの非信号光のうちいずれか一つの非信号光の偏波面 6 1 と X 軸との成す角度を θ とすると、合成された 4 つの非信号光の X 軸射影成分 P 4 は、以下の式 (3) により表される。

20

【0022】

$$P2 = 0.5 (|\cos \theta| + |\cos (\theta + 90^\circ)|) \quad \dots \quad (2)$$

【0023】

$$P4 = 0.25 (|\cos \theta| + |\cos (\theta + 45^\circ)| + |\cos (\theta + 90^\circ)| + |\cos (\theta + 135^\circ)|) \quad \dots \quad (3)$$

30

【0024】

ここで、前提技術と実施例 1 とを比較した結果を、図 2 を参照して説明する。図 2 は、非信号光の偏波面と X 軸との成す角度と、X 軸射影成分の大きさとの対応関係を示す図である。図 2 において、横軸は、角度 θ [deg] を示し、縦軸は、X 軸射影成分の大きさを示す。また、図 2 において、偏波合成数とは、光伝送装置によって合成された非信号光の数を示す。すなわち、偏波合成数 = 「1」は、前提技術における X 軸射影成分 P 1 に相当し、偏波合成数 = 「2」は、合成された 2 つの非信号光の X 軸射影成分 P 2 に相当し、偏波合成数 = 「4」は、合成された 4 つの非信号光の X 軸射影成分 P 4 に相当する。

【0025】

40

図 2 に示すように、2 つの非信号光の X 軸射影成分 P 2 の振幅と、4 つの非信号光の X 軸射影成分 P 4 の振幅とは、前提技術における X 軸射影成分 P 1 の振幅と比較して、縮減されている。換言すれば、複数の非信号光各々の偏波面どうしの成す角度が等しくなるように、複数の非信号光を合成した場合、非信号光を合成しない場合と比較して、偏波多重信号光内の S 偏波成分への影響度が低減される。

【0026】

さらに、図 2 に示すように、4 つの非信号光の X 軸射影成分 P 4 の振幅は、2 つの非信号光の X 軸射影成分 P 2 の振幅と比較して、縮減されている。換言すれば、4 つの非信号光を合成した場合、2 つの非信号光を合成した場合と比較して、偏波多重信号光内の S 偏波成分への影響度が低減される。なお、図 2 では、複数の非信号光を合成した場合、偏波

50

多重信号光内のS偏波成分への影響度が低減される例を示したが、S偏波成分の偏波面41と直交する偏波面42を有する信号光、すなわち、P偏波成分への影響度も同様に低減される。

【0027】

本実施例の光伝送装置は、光増幅器の増幅帯域に属する波長のうち偏波多重信号光の波長と異なる波長を有する複数の非信号光各々の偏波面どうしの成す角度が等しくなるように複数の非信号光を合成し、合成された複数の非信号光と、偏波多重信号光とを合波する。そして、合成された複数の非信号光と、偏波多重信号光とが合波されることによって、光増幅器に入力される波長多重光が生成される。このため、本実施例の光伝送装置は、非信号光を合成しない場合と比較して、偏波多重信号光内のS偏波成分およびP偏波成分への非信号光の影響度を低減することが可能である。結果として、本実施例の光伝送装置は、非信号光の導入に起因した偏波多重信号光の伝送品質の劣化を抑えることができる。

10

【0028】

次に、本実施例に係る光伝送装置100の構成を、図3を参照して説明する。図3は、実施例1に係る光伝送装置の構成を示すブロック図である。図3に示すように、光伝送装置100は、受信IF(InterFace)部110、信号光生成部120、非信号光合成部130、波長多重部140および光増幅器150を有する。

【0029】

受信IF部110は、外部端末(不図示)から出力されるデータを電気信号として受信し、受信した電気信号を信号光生成部120に出力する。

20

【0030】

信号光生成部120は、受信IF部110から電気信号の入力を受け付ける。信号光生成部120は、電気信号を偏波多重信号光に変換し、変換された偏波多重信号光を波長多重部140に出力する。偏波多重信号光は、波長が同一であり、かつ、偏波面が互いに直交する2つの信号光を含む。偏波多重信号光は、例えば、DP-QPSK(Dual Polarization Quadrature Phase Shift Keying)やDP-16QAM(16 Quadrature Amplitude Modulation)等の変調方式を用いて電気信号を変調することによって得られる。以下では、偏波多重信号光を適宜「DP信号光」と表記するものとする。

【0031】

非信号光合成部130は、光増幅器150の増幅帯域に属する波長のうちDP信号光の波長と異なる波長を有する複数の非信号光各々の偏波面どうしの成す角度が等しくなるように複数の非信号光を合成し、合成された複数の非信号光を波長多重部140に出力する。

30

【0032】

例えば、非信号光合成部130は、光増幅器150の増幅帯域に属する波長のうちDP信号光の波長と異なる波長を有する2つの非信号光各々の偏波面どうしの成す角度が90°になるように、2つの非信号光を合成する。また、例えば、非信号光合成部130は、光増幅器150の増幅帯域に属する波長のうちDP信号光の波長と異なる波長を有する4つの非信号光各々の偏波面どうしの成す角度が45°になるように、4つの非信号光を合成する。

40

【0033】

ここで、非信号光合成部130の構成例を、図4Aおよび図4Bを参照して説明する。図4Aは、実施例1における非信号光合成部の構成例(その1)を示す図である。図4Aに示す非信号光合成部130は、LD(Laser Diode)131、偏波保持カップラ132、偏波90°回転素子133および偏波合成器134を有する。なお、図4Aでは、各機器間で伝送される光の偏波の状態を併せて表記した。

【0034】

LD131は、光源であり、光増幅器150の増幅帯域に属する波長のうちDP信号光の波長と異なる波長を有するCW光を発する。LD131から発せられたCW光の偏波面は、水平状態であるものとする。

50

【0035】

偏波保持カップラ132は、LD131から発せられたCW光の偏波面を水平状態に保持しつつ、該CW光を分岐する。偏波保持カップラ132は、分岐により得られた2つの光（以下「非信号光」という）のうち一方の非信号光を偏波90°回転素子133に出力するとともに、他方の非信号光を偏波合成器134に出力する。

【0036】

偏波90°回転素子133は、偏波保持カップラ132から入力される一方の非信号光の偏波面を90°回転し、偏波面が90°回転された一方の非信号光を偏波合成器134に出力する。つまり、偏波保持カップラ132から出力された他方の非信号光の偏波面に対して、偏波90°回転素子133から出力される一方の信号光の偏波面が90°傾き、垂直状態となる。

10

【0037】

偏波合成器134は、偏波90°回転素子133から入力される一方の非信号光と、偏波保持カップラ132から入力される他方の非信号光とを合成し、合成された2つの非信号光を波長多重部140に出力する。これにより、光増幅器150の増幅帯域に属する波長のうちDP信号光の波長と異なる波長を有する2つの非信号光各々の偏波面どうしの成す角度が90°になるように合成された2つの非信号光が波長多重部140に出力される。

【0038】

図4Bは、実施例1における非信号光合成部の構成例（その2）を示す図である。図4Bに示す非信号光合成部130は、LD131、偏波保持カップラ132、偏波90°回転素子133、偏波合成器134、偏波保持カップラ135、偏波45°回転素子136および偏波合成器137を有する。このうち、LD131、偏波保持カップラ132、偏波90°回転素子133、偏波合成器134は、図4Aに示したLD131、偏波保持カップラ132、偏波90°回転素子133、偏波合成器134に対応する。ただし、偏波合成器134は、偏波90°回転素子133から入力される一方の非信号光と、偏波保持カップラ132から入力される他方の非信号光とを合成し、合成された2つの非信号光を偏波保持カップラ135に出力する。

20

【0039】

偏波保持カップラ135は、偏波合成器134から入力される、合成された2つの非信号光を分岐する。偏波保持カップラ135は、分岐により得られた4つの非信号光のうち一方の2つの非信号光を偏波45°回転素子136に出力するとともに、他方の2つの非信号光を偏波合成器137に出力する。

30

【0040】

偏波45°回転素子136は、偏波保持カップラ135から入力される一方の2つの非信号光各々の偏波面を45°回転し、偏波面が45°回転された一方の2つの非信号光を偏波合成器137に出力する。つまり、偏波保持カップラ135から出力された他方の2つの非信号光各々の偏波面に対して、偏波45°回転素子136から出力される一方の2つの非信号光各々の偏波面が45°傾くことになる。

【0041】

偏波合成器137は、偏波45°回転素子136から入力される一方の2つの非信号光と、偏波保持カップラ135から入力される他方の2つの非信号光とを合成し、合成された4つの非信号光を波長多重部140に出力する。これにより、光増幅器150の増幅帯域に属する波長のうちDP信号光の波長と異なる波長を有する4つの非信号光各々の偏波面どうしの成す角度が45°になるように合成された4つの非信号光が波長多重部140に出力される。

40

【0042】

図3の説明に戻る。波長多重部140は、合成された複数の非信号光の入力を非信号光合成部130から受け付ける。波長多重部140は、波長多重信号光の入力を信号光生成部120から受け付ける。波長多重部140は、合成された複数の非信号光と、DP信号光とを合波することによって、波長多重光を生成し、生成した波長多重光を光増幅器15

50

0に出力する。例えば、波長多重部140は、図4Aに示した非信号光合成部130の偏波合成器134から入力される、合成された2つの非信号光と、DP信号光とを合波することによって、波長多重光を生成する。また、例えば、波長多重部140は、図4Bに示した非信号光合成部130の偏波合成器137から入力される、合成された4つの非信号光と、DP信号光とを合波することによって、波長多重光を生成する。

【0043】

光増幅器150は、波長多重部140から入力される波長多重光を増幅し、増幅した波長多重光を光ファイバ等の伝送路に出力する。伝送路に出力された波長多重光は、伝送路を伝搬し、受信側の装置によって受信される。波長多重光は、合成された複数の非信号光とDP信号光とを含むので、DP信号光内のS偏波成分およびP偏波成分への非信号光の影響度が低減されている。このため、DP信号光内のS偏波成分とP偏波成分との間のパワー差の発生を防止することができる。結果として、DP信号光のSN比やQ値などの伝送品質の劣化が抑えられる。また、非信号光の偏波面が経時的に変動する場合でも、DP信号光内のS偏波成分およびP偏波成分のいずれに対しても平等にXPMが発生するため、DP信号光の時間的な偏波変動が低減され、Q値の伝送品質の劣化が抑えられる。

10

【0044】

次に、本実施例に係る光伝送装置100による処理手順を、図5および図6を参照して説明する。図5は、実施例1に係る光伝送装置の処理手順を示すフローチャート（その1）である。なお、図5では、光伝送装置100の非信号光合成部130が、図4Aに示した構成であり、2つの非信号光を合成する例について説明する。

20

【0045】

図5に示すように、非信号光合成部130の偏波保持カップラ132は、LD131から発せられたCW光、すなわち、光増幅器150の増幅帯域に属する波長のうちDP信号光の波長と異なる波長を有するCW光を分岐する（ステップS101）。偏波保持カップラ132は、分岐により得られた2つの非信号光のうち一方の非信号光を偏波90°回転素子133に出力するとともに、他方の非信号光を偏波合成器134に出力する。

【0046】

偏波90°回転素子133は、偏波保持カップラ132から入力される一方の非信号光の偏波面を90°回転する（ステップS102）。偏波90°回転素子133は、偏波面が90°回転された一方の非信号光を偏波合成器134に出力する。

30

【0047】

偏波合成器134は、偏波90°回転素子133から入力される一方の非信号光と、偏波保持カップラ132から入力される他方の非信号光とを合成する（ステップS103）。偏波合成器134は、合成された2つの非信号光を波長多重部140に出力する。

【0048】

波長多重部140は、合成された2つの非信号光と、DP信号光とを合波することによって、波長多重光を生成する（ステップS104）。

【0049】

光増幅器150は、波長多重部140から入力される波長多重光を増幅し、増幅した波長多重光を光ファイバ等の伝送路に出力する（ステップS105）。

40

【0050】

図6は、実施例1に係る光伝送装置の処理手順を示すフローチャート（その2）である。なお、図6では、光伝送装置100の非信号光合成部130が、図4Bに示した構成であり、4つの非信号光を合成する例について説明する。図6に示したステップS111～ステップS113は、図5に示したステップS101～S103と同様であるので、その説明を省略する。

【0051】

図6に示すように、偏波合成器134は、偏波90°回転素子133から入力される一方の非信号光と、偏波保持カップラ132から入力される他方の非信号光とを合成し（ステップS113）、合成された2つの非信号光を偏波保持カップラ135に出力する。

50

【0052】

偏波保持カップラ135は、偏波合成器134から入力される、合成された2つの非信号光を分岐する（ステップS114）。偏波保持カップラ135は、分岐により得られた4つの非信号光のうち一方の2つの非信号光を偏波45°回転素子136に出力するとともに、他方の2つの非信号光を偏波合成器137に出力する。

【0053】

偏波45°回転素子136は、偏波保持カップラ135から入力される一方の2つの非信号光各々の偏波面を45°回転する（ステップS115）。偏波45°回転素子136は、偏波面が45°回転された一方の2つの非信号光を偏波合成器137に出力する。

【0054】

偏波合成器137は、偏波45°回転素子136から入力される一方の2つの非信号光と、偏波保持カップラ135から入力される他方の2つの非信号光とを合成する（ステップS116）。偏波合成器137は、合成された4つの非信号光を波長多重部140に出力する。

【0055】

波長多重部140は、合成された4つの非信号光と、DP信号光とを合波することによって、波長多重光を生成する（ステップS117）。

【0056】

光増幅器150は、波長多重部140から入力される波長多重光を増幅し、増幅した波長多重光を光ファイバ等の伝送路に出力する（ステップS118）。

【0057】

上述したように、本実施例の光伝送装置100は、光増幅器150の増幅帯域に属する波長のうちDP信号光の波長と異なる波長を有する複数の非信号光各々の偏波面どうしの成す角度が等しくなるように複数の非信号光を合成する。そして、光伝送装置100は、合成された複数の非信号光と、DP信号光とを合波する。そして、合成された複数の非信号光と、DP信号光とが合波されることによって、光増幅器150に入力される波長多重光が生成される。このため、本実施例の光伝送装置100は、非信号光を合成しない場合と比較して、DP信号光内のS偏波成分およびP偏波成分への非信号光の影響度を低減することが可能である。結果として、本実施例の光伝送装置100は、非信号光の導入に起因したDP信号光の伝送品質の劣化を抑えることができる。

【実施例2】

【0058】

実施例1では、光増幅器150の増幅帯域に属する波長のうちDP信号光の波長と異なる任意の波長を有する複数の非信号光を合成する例を説明した。しかしながら、光増幅器150の増幅帯域に属する波長のうちDP信号光の最短波長よりも短い波長を有する複数の非信号光を合成し、かつ、DP信号光の最長波長よりも長い波長を有する複数の非信号光を合成しても良い。そこで、実施例2では、光増幅器150の増幅帯域に属する波長のうちDP信号光の最短波長よりも短い波長を有する複数の非信号光を合成し、かつ、DP信号光の最長波長よりも長い波長を有する複数の非信号光を合成する例について説明する。

【0059】

図7は、実施例2に係る光伝送装置の構成を示すブロック図である。図7において、図3と同じ部分には同じ符号を付し、その説明を省略する。図7に示す光伝送装置200は、図3に示す非信号光合成部130および波長多重部140に代えて、第1非信号光合成部230a、第2非信号光合成部230bおよび波長多重部240を有する。

【0060】

第1非信号光合成部230aは、光増幅器150の増幅帯域に属する波長のうちDP信号光の最短波長よりも短い波長を有する複数の非信号光各々の偏波面どうしの成す角度が等しくなるように、複数の非信号光を合成する。

【0061】

例えば、光増幅器 150 の増幅帯域に属する波長が全部で 5 つの波長 $\lambda_1 \sim \lambda_5$ ($\lambda_1 < \lambda_2 < \dots < \lambda_5$) であり、これら 5 つの波長のうち DP 信号光の波長として 3 つの波長 $\lambda_2 \sim \lambda_4$ が利用されている場合を想定する。この場合、第 1 非信号光合成部 230a は、DP 信号光の最短波長 λ_2 よりも短い波長 λ_1 を有する複数の非信号光各々の偏波面どうしの成す角度が等しくなるように、複数の非信号光を合成する。

【0062】

なお、第 1 非信号光合成部 230a の詳細構成は、図 4A に示した非信号光合成部 130 または図 4B に示した非信号光合成部 130 に対応する。ただし、第 1 非信号光合成部 230a の LD131 は、光増幅器 150 の増幅帯域に属する波長のうち DP 信号光の最短波長よりも短い波長を有する CW 光を発する点が、図 4A に示した非信号光合成部 130 または図 4B に示した非信号光合成部 130 と異なる。

10

【0063】

第 2 非信号光合成部 230b は、光増幅器 150 の増幅帯域に属する波長のうち DP 信号光の最長波長よりも長い波長を有する複数の非信号光各々の偏波面どうしの成す角度が等しくなるように、複数の非信号光を合成する。

【0064】

例えば、光増幅器 150 の増幅帯域に属する波長が全部で 5 つの波長 $\lambda_1 \sim \lambda_5$ ($\lambda_1 < \lambda_2 < \dots < \lambda_5$) であり、これら 5 つの波長のうち DP 信号光の波長として 3 つの波長 $\lambda_2 \sim \lambda_4$ が利用されている場合を想定する。この場合、第 1 非信号光合成部 230a は、DP 信号光の最長波長 λ_4 よりも長い波長 λ_5 を有する複数の非信号光各々の偏波面どうしの成す角度が等しくなるように、複数の非信号光を合成する。

20

【0065】

なお、第 2 非信号光合成部 230b の詳細構成は、図 4A に示した非信号光合成部 130 または図 4B に示した非信号光合成部 130 と同様であるので、その説明を省略する。ただし、第 2 非信号光合成部 230b の LD131 は、光増幅器 150 の増幅帯域に属する波長のうち DP 信号光の最長波長よりも長い波長を有する CW 光を発する点が、図 4A に示した非信号光合成部 130 または図 4B に示した非信号光合成部 130 と異なる。

【0066】

波長多重部 240 は、合成された複数の非信号光の入力を第 1 非信号光合成部 230a から受け付ける。波長多重部 240 は、合成された複数の非信号光の入力を第 2 非信号光合成部 230b から受け付ける。波長多重部 240 は、DP 信号光の入力を信号光生成部 120 から受け付ける。波長多重部 240 は、第 1 非信号光合成部 230a によって合成された複数の非信号光と、第 2 非信号光合成部 230b によって合成された複数の非信号光と、DP 信号光とを合波することによって、波長多重光を生成する。波長多重部 240 は、生成した波長多重光を光増幅器 150 に出力する。

30

【0067】

次に、本実施例に係る光伝送装置 200 による処理手順を、図 8 を参照して説明する。図 8 は、実施例 2 に係る光伝送装置の処理手順を示すフローチャートである。なお、図 8 では、光伝送装置 200 の第 1 非信号光合成部 230a および第 2 非信号光合成部 230b が、図 4A に示した構成であり、2 つの非信号光を合成する例について説明する。

40

【0068】

図 8 に示すように、第 1 非信号光合成部 230a の偏波保持カップラ 132 は、LD131 から発せられた CW 光、すなわち、光増幅器 150 の増幅帯域に属する波長のうち DP 信号光の最短波長よりも短い波長を有する CW 光を分岐する (ステップ S201)。偏波保持カップラ 132 は、分岐により得られた 2 つの非信号光のうち一方の非信号光を偏波 90° 回転素子 133 に出力するとともに、他方の非信号光を偏波合成器 134 に出力する。

【0069】

偏波 90° 回転素子 133 は、偏波保持カップラ 132 から入力される一方の非信号光の偏波面を 90° 回転する (ステップ S202)。偏波 90° 回転素子 133 は、偏波面が

50

90°回転された一方の非信号光を偏波合成器134に出力する。

【0070】

偏波合成器134は、偏波90°回転素子133から入力される一方の非信号光と、偏波保持カップラ132から入力される他方の非信号光とを合成する（ステップS203）。以下では、第1非信号光合成部230aの偏波合成器134によって合成された一方の非信号光と他方の非信号光とを、「2つの第1非信号光」と呼ぶ。偏波合成器134は、合成された2つの第1非信号光を波長多重部240に出力する。

【0071】

また、第2非信号光合成部230bの偏波保持カップラ132は、LD131から発せられたCW光、すなわち、光増幅器150の増幅帯域に属する波長のうちDP信号光の最長波長よりも長い波長を有するCW光を分岐する（ステップS204）。偏波保持カップラ132は、分岐により得られた2つの非信号光のうち一方の非信号光を偏波90°回転素子133に出力するとともに、他方の非信号光を偏波合成器134に出力する。

【0072】

偏波90°回転素子133は、偏波保持カップラ132から入力される一方の非信号光の偏波面を90°回転する（ステップS205）。偏波90°回転素子133は、偏波面が90°回転された一方の非信号光を偏波合成器134に出力する。

【0073】

偏波合成器134は、偏波90°回転素子133から入力される一方の非信号光と、偏波保持カップラ132から入力される他方の非信号光とを合成する（ステップS206）。以下では、第2非信号光合成部230bの偏波合成器134によって合成された一方の非信号光と他方の非信号光とを、「2つの第2非信号光」と呼ぶ。偏波合成器134は、合成された2つの第2非信号光を波長多重部240に出力する。

【0074】

波長多重部240は、合成された2つの第1非信号光と、合成された2つの第2非信号光と、DP信号光とを合波することによって、波長多重光を生成する（ステップS207）。

【0075】

光増幅器150は、波長多重部240から入力される波長多重光を増幅し、増幅した波長多重光を光ファイバ等の伝送路に出力する（ステップS208）。

【0076】

上述したように、本実施例の光伝送装置200は、光増幅器150の増幅帯域に属する波長のうちDP信号光の最短波長よりも短い波長を有する複数の非信号光を合成し、かつ、DP信号光の最長波長よりも長い波長を有する複数の非信号光を合成する。光増幅器150の増幅帯域の両端部分の利得は、中央部分の利得よりも小さくなるため、DP信号光の最短波長付近のパワーおよび最長波長付近のパワーは、非信号光のパワーと比較して減少する可能性がある。そこで、本実施例の光伝送装置200は、DP信号光の最短波長よりも短い波長を有する複数の非信号光と、DP信号光の最長波長よりも長い波長を有する複数の非信号光と、DP信号光とを合波する。このため、本実施例の光伝送装置200は、パワーが減少する可能性が高いDP信号光の最短波長成分および最長波長成分への非信号光の影響度を低減することが可能である。結果として、本実施例の光伝送装置200は、非信号光の導入に起因したDP信号光の最短波長成分および最長波長成分の伝送品質の劣化を抑えることができる。

【実施例3】

【0077】

実施例1では、光増幅器150の増幅帯域に属する波長のうちDP信号光の波長と異なる波長を有する4つの非信号光各々の偏波面どうしの成す角度が45°になるように合成された4つの非信号光を波長多重部140に出力する例を説明した。しかしながら、DP信号光の波長と異なる第1波長を有する2つの非信号光を合成し、第1波長に隣接する第2波長を有する2つの非信号光を合成し、偏波面どうしの成す角度が45°になるように

10

20

30

40

50

計4つの非信号光を波長多重部140に出力しても良い。実施例3では、DP信号光の波長と異なる第1波長を有する2つの非信号光を合成し、第1波長に隣接する第2波長を有する2つの非信号光を合成し、偏波面どうしの成す角度が45°になるように計4つの非信号光を波長多重部に出力する例を説明する。

【0078】

図9は、実施例3に係る光伝送装置の構成を示すブロック図である。図9において、図3と同じ部分には同じ符号を付し、その説明を省略する。図9に示す光伝送装置300は、図3に示す非信号光合成部130および波長多重部140に代えて、第1非信号光合成部330a、第2非信号光合成部330bおよび波長多重部340を有する。

【0079】

第1非信号光合成部330aは、光増幅器150の増幅帯域に属する波長のうちDP信号光の波長と異なる波長 λ_a を有する2つの非信号光各々の偏波面どうしの成す角度が90°になるように、波長 λ_a を有する2つの非信号光を合成する。以下では、第1非信号光合成部330aによって合成された2つの非信号光を、「2つの第1非信号光」と呼ぶ。第1非信号光合成部330aは、2つの第1非信号光を波長多重部340に出力する。

【0080】

なお、第1非信号光合成部330aの詳細構成は、図4Aに示した非信号光合成部130に対応する。ただし、第1非信号光合成部330aのLD131は、光増幅器150の増幅帯域に属する波長のうちDP信号光の波長と異なる波長 λ_a を有するCW光を発する点が、図4Aに示した非信号光合成部130と異なる。

【0081】

第2非信号光合成部330bは、波長 λ_a から所定の範囲内にある波長 λ_b を有する2つの非信号光各々の偏波面どうしの成す角度が90°になるように、波長 λ_b を有する2つの非信号光を合成する。所定の範囲とは、好ましくは、0.8nm以下の範囲であり、より好ましくは、0.4nm以下の範囲である。以下では、第2非信号光合成部330bによって合成された2つの非信号光を、「2つの第2非信号光」と呼ぶ。第2非信号光合成部330bは、2つの第2非信号光を波長多重部340に出力する。

【0082】

なお、第2非信号光合成部330bの詳細構成は、図4Aに示した非信号光合成部130に対応する。ただし、第2非信号光合成部330bのLD131は、波長 λ_a から所定の範囲内にある波長 λ_b を有するCW光を発する点が、図4Aに示した非信号光合成部130と異なる。

【0083】

波長多重部340は、2つの第1非信号光の入力を第1非信号光合成部330aから受け付ける。波長多重部340は、2つの第1非信号光各々の偏波面に対して2つの第2非信号光各々の偏波面を45°回転させて得られる2つの非信号光の入力を、第2非信号光合成部330bから受け付ける。例えば、波長多重部340と第1非信号光合成部330aとを結ぶ光路に対して45°捻られた光路を2つの第2非信号光が伝搬して波長多重部340に到達する場合に、2つの第1非信号光各々の偏波面に対して2つの第2非信号光各々の偏波面が45°回転する。波長多重部340は、DP信号光の入力を信号光生成部120から受け付ける。波長多重部340は、2つの第1非信号光と、2つの第1非信号光各々の偏波面に対して2つの第2非信号光各々の偏波面を45°回転させて得られる2つの非信号光と、DP信号光とを合波することによって、波長多重光を生成する。波長多重部340は、生成した波長多重光を光増幅器150に出力する。

【0084】

次に、本実施例に係る光伝送装置300による処理手順を、図10を参照して説明する。図10は、実施例3に係る光伝送装置の処理手順を示すフローチャートである。なお、図10では、光伝送装置300の第1非信号光合成部330aおよび第2非信号光合成部330bが、図4Aに示した構成であり、2つの非信号光を合成する例について説明する。

。

10

20

30

40

50

【0085】

図10に示すように、第1非信号光合成部330aの偏波保持カップラ132は、LD131から発せられたCW光、すなわち、光増幅器150の増幅帯域に属する波長のうちDP信号光の波長と異なる波長 λ_a を有するCW光を分岐する(ステップS301)。偏波保持カップラ132は、分岐により得られた2つの非信号光のうち一方の非信号光を偏波90°回転素子133に出力するとともに、他方の非信号光を偏波合成器134に出力する。

【0086】

偏波90°回転素子133は、偏波保持カップラ132から入力される一方の非信号光の偏波面を90°回転する(ステップS302)。偏波90°回転素子133は、偏波面が90°回転された一方の非信号光を偏波合成器134に出力する。

10

【0087】

偏波合成器134は、偏波90°回転素子133から入力される一方の非信号光と、偏波保持カップラ132から入力される他方の非信号光とを合成する(ステップS303)。この合成によって、2つの第1非信号光が得られる。偏波合成器134は、2つの第1非信号光を波長多重部340に出力する。

【0088】

また、第2非信号光合成部330bの偏波保持カップラ132は、LD131から発せられたCW光、すなわち、波長 λ_a から所定の範囲内にある波長 λ_b を有するCW光を分岐する(ステップS304)。偏波保持カップラ132は、分岐により得られた2つの非信号光のうち一方の非信号光を偏波90°回転素子133に出力するとともに、他方の非信号光を偏波合成器134に出力する。

20

【0089】

偏波90°回転素子133は、偏波保持カップラ132から入力される一方の非信号光の偏波面を90°回転する(ステップS305)。偏波90°回転素子133は、偏波面が90°回転された一方の非信号光を偏波合成器134に出力する。

【0090】

偏波合成器134は、偏波90°回転素子133から入力される一方の非信号光と、偏波保持カップラ132から入力される他方の非信号光とを合成する(ステップS306)。この合成によって、2つの第2非信号光が得られる。偏波合成器134は、2つの第2非信号光を波長多重部340に出力する。

30

【0091】

波長多重部340は、2つの第1非信号光と、2つの第1非信号光各々の偏波面に対して2つの第2非信号光各々の偏波面を45°回転させて得られる2つの非信号光と、DP信号光とを合波することによって、波長多重光を生成する(ステップS307)。

【0092】

光増幅器150は、波長多重部340から入力される波長多重光を増幅し、増幅した波長多重光を光ファイバ等の伝送路に出力する(ステップS308)。

【0093】

上述したように、本実施例の光伝送装置300は、DP信号光の波長と異なる波長 λ_a を有する2つの非信号光各々の偏波面どうしの成す角度が90°となるように、2つの非信号光を合成する。そして、光伝送装置300は、波長 λ_a に隣接する波長 λ_b を有する2つの非信号光各々の偏波面どうしの成す角度が90°となるように、2つの非信号光を合成する。そして、光伝送装置300は、波長 λ_a を有する2つの非信号光と、波長 λ_a に隣接する波長 λ_b を有する2つの非信号光各々の偏波面を45°回転させて得られた2つの非信号光と、DP信号光とを合波することによって、波長多重光を生成する。このため、本実施例の光伝送装置300は、DP信号光の波長と異なる波長を有する4つの非信号光を合成することなく、非信号光の導入に起因したDP信号光の伝送品質の劣化を抑えることができる。

40

【実施例4】

50

【0094】

実施例1では、合成された複数の非信号光と、DP信号光とを合波することによって波長多重光を生成する例を説明した。しかしながら、合成された複数の非信号光と、自然放出(ASE: Amplified Spontaneous Emission)光に含まれる波長成分と、DP信号光とを合波することによって波長多重光を生成しても良い。そこで、実施例4では、合成された複数の非信号光と、ASE光に含まれる波長成分と、DP信号光とを合波することによって波長多重光を生成する例を説明する。

【0095】

図11は、実施例4に係る光伝送装置の構成を示すブロック図である。図11において、図3と同じ部分には同じ符号を付し、その説明を省略する。図11に示す光伝送装置400は、ASE光生成部410および光フィルタ部420を新規に有し、かつ、図3に示す非信号光合成部130および波長多重部140に代えて、非信号光合成部430および波長多重部440を有する。

10

【0096】

ASE光生成部410は、複数の波長成分を含むASE光を生成する。例えば、ASE光生成部410は、エルビウム添加光ファイバを用いてASE光を生成する。

【0097】

光フィルタ部420は、ASE光に含まれる複数の波長成分のうちDP信号光の波長と異なる波長を有する波長成分を透過させる透過帯域を有するフィルタである。光フィルタ部420を透過した波長成分は、波長多重部440に入力される。

20

【0098】

非信号光合成部430は、DP信号光の波長および光フィルタ部420を透過した波長成分の波長と異なる波長を有する複数の非信号光各々の偏波面どうしの成す角度が等しくなるように、複数の非信号光を合成する。

【0099】

例えば、光増幅器150の増幅帯域に属する波長が全部で9つの波長 $\lambda_1 \sim \lambda_9$ であり、これら9つの波長のうちDP信号光の波長として3つの波長 $\lambda_4 \sim \lambda_6$ が利用され、かつ、光フィルタ部420の透過帯域が波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_8, \lambda_9$ であるものとする。この場合、非信号光合成部430は、DP信号光の波長および光フィルタ部420を透過した波長成分の波長と異なる波長 λ_3 を有する複数の非信号光各々の偏波面どうしの成す角度が等しくなるように、複数の非信号光を合成する。さらに、非信号光合成部430は、DP信号光の波長および光フィルタ部420を透過した波長成分の波長と異なる波長 λ_7 を有する複数の非信号光各々の偏波面どうしの成す角度が等しくなるように、複数の非信号光を合成する。

30

【0100】

なお、非信号光合成部430の詳細構成は、図4Aに示した非信号光合成部130または図4Bに示した非信号光合成部130に対応する。ただし、非信号光合成部430のLD131は、DP信号光の波長および光フィルタ部420を透過した波長成分の波長と異なる波長を有するCW光を発する点が、図4Aに示した非信号光合成部130または図4Bに示した非信号光合成部130と異なる。

40

【0101】

波長多重部440は、合成された複数の非信号光の入力を非信号光合成部430から受け付ける。波長多重部440は、光フィルタ部420を透過した波長成分の入力を光フィルタ部420から受け付ける。波長多重部440は、DP信号光の入力を信号光生成部120から受け付ける。波長多重部440は、合成された複数の非信号光と、光フィルタ部420を透過した波長成分と、DP信号光とを合波することによって、光増幅器150に入力される波長多重光を生成する。波長多重部440は、生成した波長多重光を光増幅器150に出力する。

【0102】

次に、本実施例に係る光伝送装置400による処理手順を、図12を参照して説明する

50

。図12は、実施例4に係る光伝送装置の処理手順を示すフローチャートである。なお、図12では、光伝送装置400の非信号光合成部430が、図4Aに示した構成であり、2つの非信号光を合成する例について説明する。

【0103】

図12に示すように、ASE光生成部410は、複数の波長成分を含むASE光を生成する（ステップS401）。光フィルタ部420は、ASE光に含まれる複数の波長成分のうちDP信号光の波長と異なる波長を有する波長成分を透過させる（ステップS402）。

【0104】

また、非信号光合成部430の偏波保持カップラ132は、LD131から発せられたCW光、すなわち、DP信号光の波長および光フィルタ部420を透過した波長成分の波長と異なる波長を有するCW光を分岐する（ステップS403）。

【0105】

偏波90°回転素子133は、偏波保持カップラ132から入力される一方の非信号光の偏波面を90°回転する（ステップS404）。偏波90°回転素子133は、偏波面が90°回転された一方の非信号光を偏波合成器134に出力する。

【0106】

偏波合成器134は、偏波90°回転素子133から入力される一方の非信号光と、偏波保持カップラ132から入力される他方の非信号光とを合成する（ステップS405）。

【0107】

波長多重部440は、合成された2つの非信号光と、光フィルタ部420を透過した波長成分と、DP信号光とを合波することによって、光増幅器150に入力される波長多重光を生成する（ステップS406）。

【0108】

光増幅器150は、波長多重部440から入力される波長多重光を増幅し、増幅した波長多重光を光ファイバ等の伝送路に出力する（ステップS407）。

【0109】

上述したように、本実施例の光伝送装置400は、合成された複数の非信号光と、ASE光に含まれる波長成分と、DP信号光とを合波することによって、光増幅器150に入力される波長多重光を生成する。このため、本実施例の光伝送装置400は、光増幅器150の増幅帯域のうち、ASE光に含まれる波長成分によって収容されない波長帯域に対して非信号光を補填することができる。結果として、ASE光に含まれる波長成分および非信号光によってスペクトルホールバーニング現象の発生を防止しつつ、非信号光の導入に起因したDP信号光の伝送品質の劣化を抑えることができる。

【0110】

（変形例）

なお、上記実施例3では、波長 λ_a を有する2つの非信号光と、波長 λ_a に隣接する波長 λ_b を有する2つの非信号光各々の偏波面を45°回転させて得られた2つの非信号光と、DP信号光とを合波することによって、波長多重光を生成する例を示した。しかしながら、波長が異なる4つの非信号光と、DP信号光とを合波することによって、波長多重光を生成しても良い。そこで、実施例3の変形例では、波長が異なる4つの非信号光と、DP信号光とを合波することによって、波長多重光を生成する例を説明する。

【0111】

図13は、実施例3の変形例に係る光伝送装置の構成を示すブロック図である。図13において、図9と同じ部分には同じ符号を付し、その説明を省略する。図13に示す光伝送装置500は、図9に示した第1非信号光合成部330a、第2非信号光合成部330bおよび波長多重部340に代えて、非信号光生成部161～164および波長多重部540を有する。

【0112】

非信号光生成部161は、光増幅器150の増幅帯域に属する波長のうちDP信号光の

10

20

30

40

50

波長と異なる波長 λa を有する非信号光（以下「基準非信号光」という）を生成する。例えば、非信号光生成部161は、光増幅器150の増幅帯域に属する波長のうちDP信号光の波長と異なる波長 λa を有するCW光を発するLDを有し、LDから発せられるCW光を基準非信号光として生成する。

【0113】

非信号光生成部162は、波長 λa から所定の範囲内にある波長 λb を有し、かつ、波長 λa の非信号光の偏波面に対して45°だけ傾く偏波面を有する非信号光（以下「45°非信号光」）を生成する。所定の範囲とは、好ましくは、0.8nm以下の範囲であり、より好ましくは、0.4nm以下の範囲である。例えば、非信号光生成部162は、波長 λa から所定の範囲内にある波長 λb を有するCW光を発するLDと、偏波45°回転素子とを有し、LDから発せられるCW光を偏波45°回転素子に透過させることによって、45°非信号光を生成する。

10

【0114】

非信号光生成部163は、波長 λb から所定の範囲内にある波長 λc を有し、かつ、波長 λb の非信号光の偏波面に対して45°だけ傾く偏波面を有する非信号光（以下「90°非信号光」）を生成する。所定の範囲とは、好ましくは、0.8nm以下の範囲であり、より好ましくは、0.4nm以下の範囲である。例えば、非信号光生成部163は、波長 λb から所定の範囲内にある波長 λc を有するCW光を発するLDと、偏波45°回転素子とを有し、LDから発せられるCW光を偏波45°回転素子に透過させることによって、90°非信号光を生成する。

20

【0115】

非信号光生成部164は、波長 λc から所定の範囲内にある波長 λd を有し、かつ、波長 λc の非信号光の偏波面に対して45°だけ傾く偏波面を有する非信号光（以下「135°非信号光」）を生成する。所定の範囲とは、好ましくは、0.8nm以下の範囲であり、より好ましくは、0.4nm以下の範囲である。例えば、非信号光生成部164は、波長 λc から所定の範囲内にある波長 λd を有するCW光を発するLDと、偏波45°回転素子とを有し、LDから発せられるCW光を偏波45°回転素子に透過させることによって、135°非信号光を生成する。

【0116】

波長多重部540は、基準非信号光と、45°非信号光と、90°非信号光と、135°非信号光と、DP信号光とを合波することによって、光増幅器150に入力される波長多重光を生成する。

30

【0117】

実施例3の変形例によれば、実施例3と同様に、DP信号光の波長と異なる波長を有する4つの非信号光を合成することなく、非信号光の導入に起因したDP信号光の伝送品質の劣化を抑えることができる。

【符号の説明】

【0118】

100、200、300、400、500 光伝送装置
 110 受信IF部
 120 信号光生成部
 130、430 非信号光合成部
 132 偏波保持カップラ
 133 偏波90°回転素子
 134 偏波合成器
 135 偏波保持カップラ
 136 偏波45°回転素子
 137 偏波合成器
 140、240、340、440、540 波長多重部
 150 光増幅器

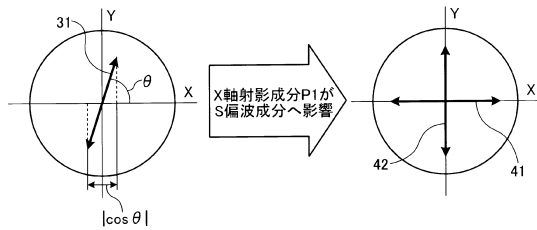
40

50

- 1 6 1 ~ 1 6 4 非信号光生成部
 2 3 0 a 第1非信号光合成部
 2 3 0 b 第2非信号光合成部
 3 3 0 a 第1非信号光合成部
 3 3 0 b 第2非信号光合成部
 4 1 0 A S E 光生成部
 4 2 0 光フィルタ部
 4 3 0 非信号光合成部

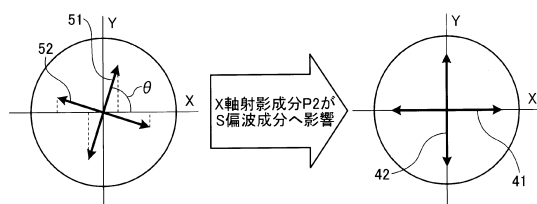
【図 1 A】

光増幅器の増幅帯域のうち未使用の波長帯域に対して非信号光を入力させる技術の説明するための図



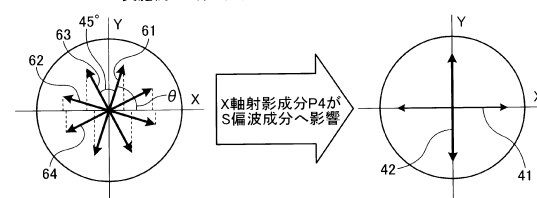
【図 1 B】

実施例1に係る光伝送方法を説明するための図



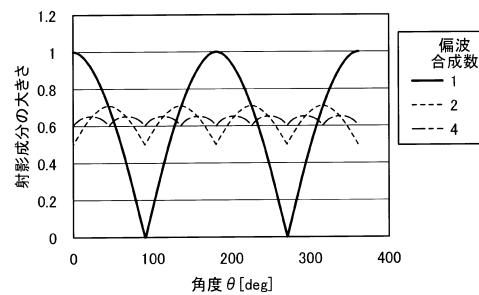
【図 1 C】

実施例1に係る光伝送方法を説明するための図



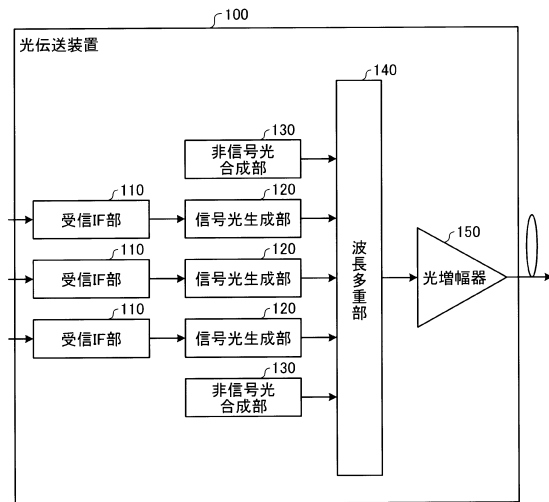
【図 2】

非信号光の偏波面とX軸との成す角度と、X軸射影成分の大きさとの対応関係を示す図



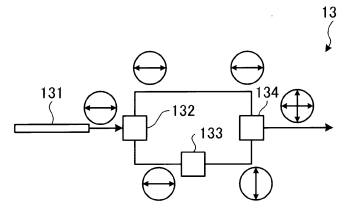
【図 3】

実施例1に係る光伝送装置の構成を示すブロック図



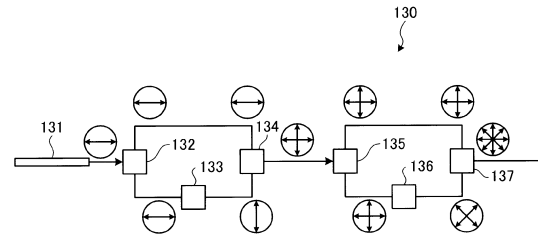
【図 4 A】

実施例1における非信号光合成部の構成例(その1)を示す図



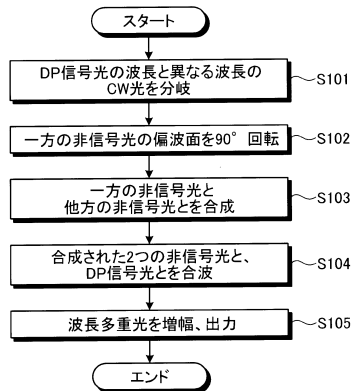
【図 4 B】

実施例1における非信号光合成部の構成例(その2)を示す図



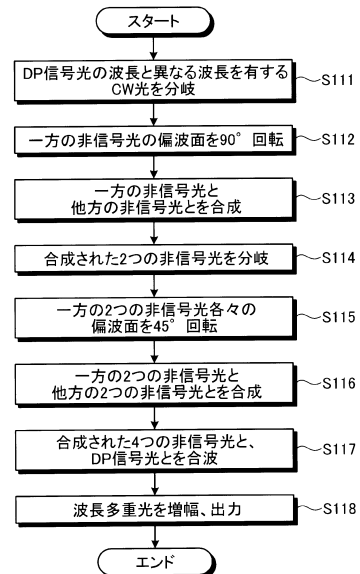
【図 5】

実施例1に係る光伝送装置の処理手順を示すフローチャート(その1)



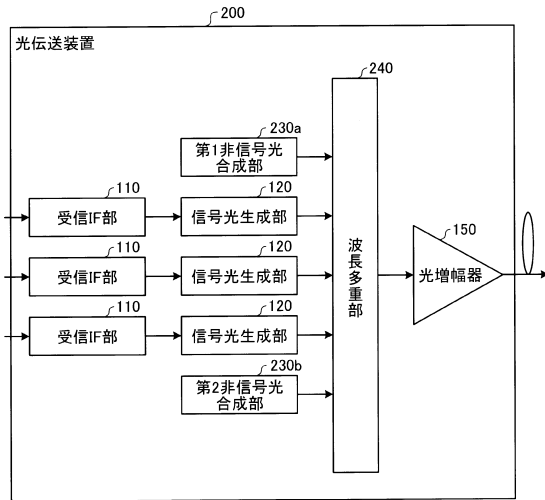
【図 6】

実施例1に係る光伝送装置の処理手順を示すフローチャート(その2)



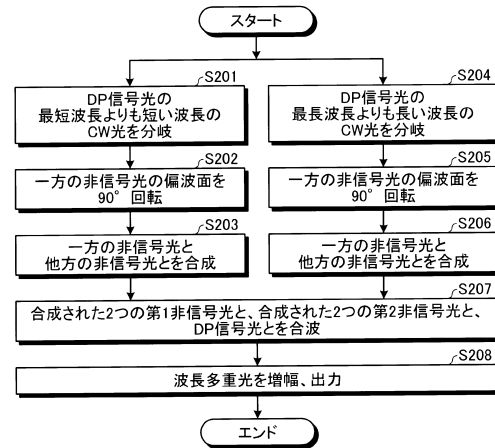
【図 7】

実施例2に係る光伝送装置の構成を示すブロック図



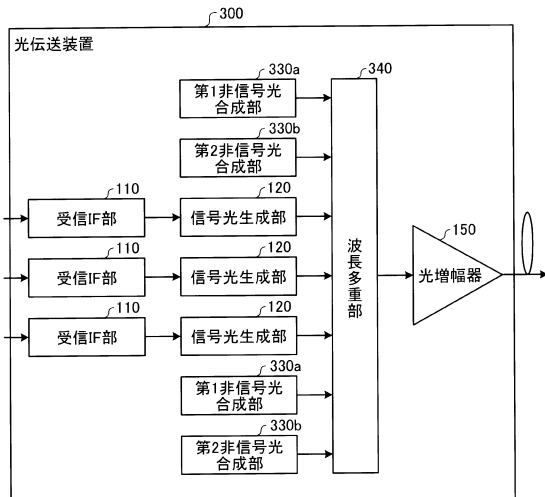
【図 8】

実施例2に係る光伝送装置の処理手順を示すフローチャート



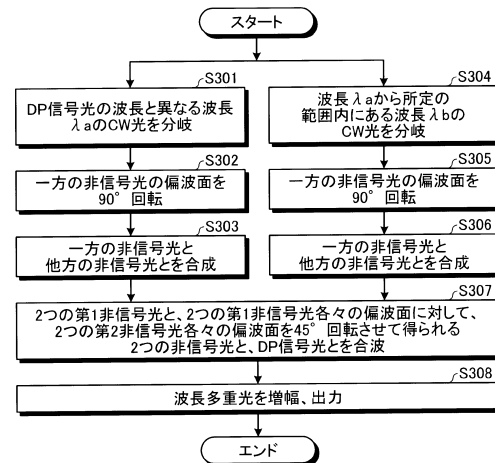
【図 9】

実施例3に係る光伝送装置の構成を示すブロック図



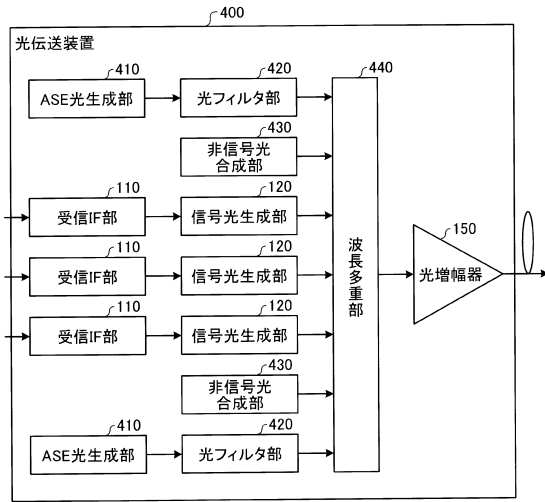
【図 10】

実施例3に係る光伝送装置の処理手順を示すフローチャート



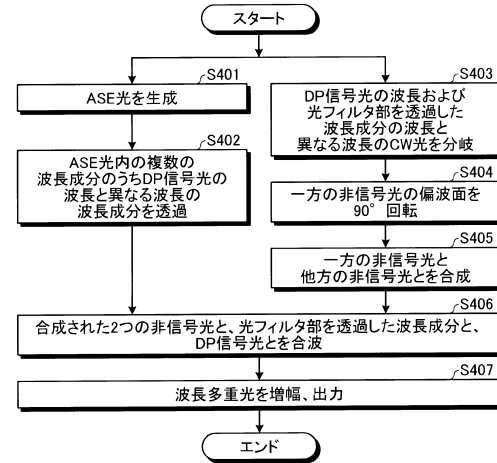
【図 1 1】

実施例4に係る光伝送装置の構成を示すブロック図



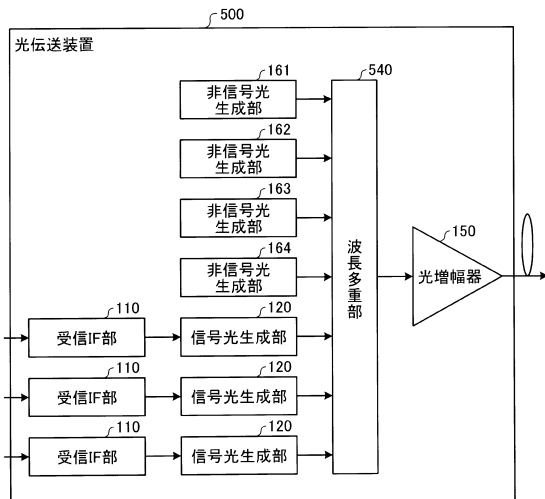
【図 1 2】

実施例4に係る光伝送装置の処理手順を示すフローチャート



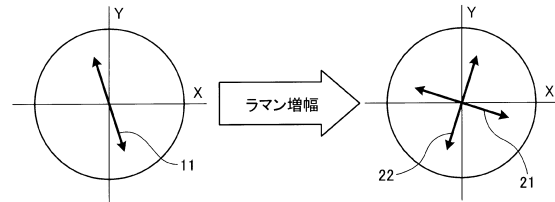
【図 1 3】

実施例3の変形例に係る光伝送装置の構成を示すブロック図



【図 1 4】

従来技術の問題点を説明するための図



フロントページの続き

- (56)参考文献 特表2009-530943 (JP, A)
米国特許出願公開第2013/0058647 (US, A1)
特開2012-044626 (JP, A)
特開2002-051008 (JP, A)
特開2002-353939 (JP, A)
特表2008-510388 (JP, A)
- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H04B10/00-10/90
H04J14/00-14/08