

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3605629号
(P3605629)

(45) 発行日 平成16年12月22日(2004.12.22)

(24) 登録日 平成16年10月15日(2004.10.15)

(51) Int.Cl.⁷

F I

H 0 4 B 10/02

H 0 4 B 9/00

H

H 0 4 J 14/00

H 0 4 B 9/00

E

H 0 4 J 14/02

請求項の数 18 (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願平10-355469
 (22) 出願日 平成10年12月15日(1998.12.15)
 (65) 公開番号 特開2000-183817(P2000-183817A)
 (43) 公開日 平成12年6月30日(2000.6.30)
 審査請求日 平成14年9月27日(2002.9.27)

(73) 特許権者 000005223
 富士通株式会社
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
 1号
 (74) 代理人 100097087
 弁理士 ▲高▼須 宏
 (72) 発明者 鈴木 泰夫
 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 工藤 一光

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光源の冗長切替方法及び該方法による波長多重伝送装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

異なる波長からなる複数の現用光源の各分岐光の内の任意故障した現用光源と所定の関係にある何れか一つの分岐光と、予備光源の光との四光波混合により、前記故障した現用光源と同一波長の代替光を生成し、前記故障した現用光源の送信光を代替光に切り替えることを特徴とする光源の冗長切替方法。

【請求項2】

予備光源の分岐光を伝送路区間の予備通信チャネル用に使用すると共に、伝送路区間の何れかの現用チャネルで障害が検出されたことにより、前記予備光源の分岐光に障害チャネルの主信号を乗せ替えて送信することを特徴とする請求項1に記載の光源の冗長切替方法

10

【請求項3】

予備光源の波長を複数の現用光源の等間隔な波長列の中央に配置したことを特徴とする請求項1又は2に記載の光源の冗長切替方法。

【請求項4】

故障した現用光源の波長を x_i 、予備光源の波長を p 、故障した現用光源と所定の関係にある現用光源の波長を x_j とする時に、前記故障した現用光源と同一波長の代替光 y_i を、

$$y_i = 2p - x_j$$

の関係により生成することを特徴とする請求項3に記載の光源の冗長切替方法。

20

【請求項 5】

異なる波長の光を発生する複数の現用光源と、
 現用光源と異なる波長の光を発生する予備光源と、
 現用光源からの送信光を分岐すると共に、該現用光源の光送信ルートに代替光を挿入可能な複数の光カプラと、
 外部制御により各光カプラからの分岐光の内の何れか一つの分岐光を選択する分岐光選択部と、
 分岐光選択部の出力の分岐光と予備光源の光との四光波混合により所要に波長変換された代替光を生成する波長変換部と、
 波長変換部の出力の代替光を対応する光カプラに分配する代替光分配部と、
 何れかの現用光源につき障害が検出されたことにより、前記分岐光選択部及び波長変換部を制御して前記障害の発生した現用光源と同一波長の代替光を生成させ、対応する光カプラに供給する切替制御部とを備えることを特徴とする波長多重伝送装置。

10

【請求項 6】

予備光源の光の一部を分岐させる光カプラと、
 予備光源の分岐光を電氣的な主信号により変調する光変調器と、
 予備光源の分岐光を他の複数の現用の信号光と共に合波して伝送路区間に送信する光合波部と、
 伝送路区間の何れかの現用チャンネルで障害が検出されたことにより、前記予備光源の分岐光を障害チャンネルの主信号により変調して送信させるチャンネル切替制御部とを備えることを特徴とする請求項 5 に記載の波長多重伝送装置。

20

【請求項 7】

予備光源の波長を複数の現用光源の等間隔な波長列の中央に配置したことを特徴とする請求項 5 又は 6 に記載の波長多重伝送装置。

【請求項 8】

切替制御部は、予備光源の波長を λ_p 、故障した現用光源の波長を λ_{xi} とする時に、分岐光選択部で選択する現用光源の波長 λ_{xj} を、

$$\lambda_{xj} = 2\lambda_p - \lambda_{xi}$$

の関係より求めることを特徴とする請求項 5 に記載の波長多重伝送装置。

30

【請求項 9】

分岐光選択部は、外部制御により入力に分岐光を ON / OFF する複数の光スイッチと、各光スイッチからの出力光を合波する光合波器とを備えることを特徴とする請求項 5 に記載の波長多重伝送装置。

【請求項 10】

分岐光選択部は、入力の各分岐光を合波する光合波器と、外部制御により光合波器の出力の多重光の内の何れか一つの分岐光を通過させる光帯域通過フィルタとを備えることを特徴とする請求項 5 に記載の波長多重伝送装置。

【請求項 11】

分岐光選択部は、入力の各分岐光を合波する光合波器と、外部制御により光合波器の出力の多重光の内の何れか一つの分岐光を反射させるファイバブラッググレーティングと、光合波器とファイバブラッググレーティングとの間の光路に介在させた光サーキュレータとを備えることを特徴とする請求項 5 に記載の波長多重伝送装置。

40

【請求項 12】

波長変換部は、四光波混合発生用の光非線形素子として半導体光増幅器を備えることを特徴とする請求項 5 に記載の波長多重伝送装置。

【請求項 13】

波長変換部は、四光波混合発生用の光非線形素子として分散シフトファイバを備えることを特徴とする請求項 5 に記載の波長多重伝送装置。

【請求項 14】

波長変換部は、四光波混合発生用の光非線形素子として分布帰還 (DFB) レーザダイオ

50

ードを備えると共に、別途予備光源を備える代わりに、自素子内で発生する励起光を予備光源とすることを特徴とする請求項 5 に記載の波長多重伝送装置。

【請求項 15】

波長変換部は、光非線形素子の出力側に外部制御により波長通過帯域を可変な光帯域通過フィルタを備えることを特徴とする請求項 12 乃至 14 の何れか一つに記載の波長多重伝送装置。

【請求項 16】

切替制御部は、復旧した現用光源の光出力後に代替光の挿入を OFF させることを特徴とする請求項 5 に記載の波長多重伝送装置。

【請求項 17】

光カプラの出力側に半導体光増幅器を利得飽和領域で使用する光リミッタ手段を備えることを特徴とする請求項 16 に記載の波長多重伝送装置。

【請求項 18】

光カプラの出力側に希土類添加光増幅器を利得飽和領域で使用する光リミッタ手段を備えることを特徴とする請求項 16 に記載の波長多重伝送装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は光源の冗長切替方法及び該方法による波長多重伝送装置に関し、更に詳しくは波長多重伝送システムにおける現用光源の冗長切替方法及び該方法による波長多重伝送装置に関する。

【0002】

高密度波長多重 (Dense-WDM: Wavelength Division Multiplexing) 等の大容量、超高速の波長多重伝送システムでは、故障時の影響の大きさから二重/三重の冗長系を準備しておき、万一の故障時には通信を極く短時間で復旧させることが要求される。

【0003】

【従来の技術】

一般に、波長多重伝送装置の伝送路側光源には有寿命部品である半導体レーザダイオード (LD) が使用される。従来の波長多重装置内では LD の駆動電流モニタによる寿命監視だけが行われ、LD 故障の際に即時対処できる様な冗長系は備えていなかった。従来技術としての光源の冗長の取り方には次の三つの方法が知られている。

【0004】

1 所定の局舎内に予備光源パッケージを用意しておき、ある現用光源が故障した時は同一波長の予備パッケージと交換する。

【0005】

2 波長多重装置内に各波長の現用と予備のパッケージを用意しておき、現用の故障時は手動で予備に切り替える。

【0006】

3 波長多重装置内に可変波長の予備光源を一つ用意しておき、現用の故障時には予備光源を必要な波長に変えて使用する。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、上記 1 の予備パッケージを所定の局舎に置く方法では、故障時の迅速な復旧が難しい。通常、予備パッケージは経済的な理由から、装置を設置した全局には準備されず、代表して保守エリア内の特定局にのみ用意される。従って、ある局での故障時には遠方の特定局から取り寄せる必要があり、故障の復旧に時間が掛かる問題があった。

【0008】

また上記 2 の波長多重装置内に各波長の現用と予備のパッケージを用意する方法では、光源数が 2 倍に増え、高価なものとなる。また、波長多重装置にも大きな実装容量が必

10

20

30

40

50

要となる。

【 0 0 0 9 】

また上記 3 の波長多重装置内に可変波長の予備光源を一つ用意する方法では、広い波長範囲での波長制御（設定）が難しい。特に現用光源と同等精度の諸特性（波長精度等）を個別波長の現用光源並に実現するのは極めて難しい。

【 0 0 1 0 】

本発明は上記従来技術の問題点に鑑みなされたもので、その目的とする所は、光源の簡単な冗長構成により故障時の自動切替／切戻しが高精度かつ低コストで効率良く行える光源の冗長切替方法及び該方法による波長多重伝送装置を提供することにある。

【 0 0 1 1 】

10

【課題を解決するための手段】

上記の課題は例えば図 1 の構成により解決される。即ち、本発明（ 1 ）の光源の冗長切替方法は、異なる波長 $x_1 \sim x_n$ からなる複数の現用光源 $11_1 \sim 11_n$ の各分岐光の内の任意故障した現用光源 11_i (x_i) と所定の関係にある何れか一つの分岐光 x_j と、予備光源 52 の光 p との四光波混合により、前記故障した現用光源 (x_i) と同一波長の代替光 y_i を生成し、前記故障した現用光源の送信光 x_i を代替光 y_i に切り替えるものである。

【 0 0 1 2 】

本発明（ 1 ）によれば、健全な現用光源 11_j の分岐光 x_j と予備光源 52 の光 p とに基づき故障光源 11_i の代替光 y_i を生成するので、健全な現用光源 11_j の送信系には全く影響を与えない。また健全な現用光源 11_j の分岐光 x_j と予備光 p との四光波混合により代替光 y_i を生成するので、故障した光源光 x_i と同一波長の代替光 y_i を高精度に生成できる。また光源（直流光）についての冗長切替であるため、その切替制御には高速性を要求されない。

20

【 0 0 1 3 】

好ましくは本発明（ 2 ）においては、上記本発明（ 1 ）において、予備光源 52 の分岐光 p を伝送路区間の予備通信チャネル用に使用すると共に、伝送路区間の何れかの現用チャネルで障害が検出されたことにより、前記予備光源の分岐光 p に障害チャネルの主信号を乗せ替えて送信する。従って、予備光源の光を現用光源の代替用のみならず、伝送路区間における現用通信チャネルの代替用にも使用でき、予備光源の有効利用が図れる。

30

【 0 0 1 4 】

また好ましくは本発明（ 3 ）においては、上記本発明（ 1 ）又は（ 2 ）において、予備光源の波長を複数の現用光源の等間隔な波長列の中央に配置したものである。

【 0 0 1 5 】

ところで、一般に入力光 x_j と p との四光波混合においては、例えば入力光 p を励起光と考えると、出力には四光波混合光（位相共役光） y_i として、

$$y_i = 2p - x_j$$

が生成される。今、説明の簡単のために、健全な分岐光の配列 $x_j = 7, 6, 5, 3, 2, 1$ となし、その中央に予備光 $p = 4$ を配置したとすると、代替光の配列 $y_i = 1 (= 8 - 7), 2 (= 8 - 6), 3 (= 8 - 5), 5 (= 8 - 3), 6 (= 8 - 2), 7 (= 8 - 1)$ となる。従って、どの現用光源が故障しても他の健全な現用光源により効率良く代替できる。また、予備光源の波長 p を中央に配置することにより、伝送路区間上の予備通信チャネルは光伝送路通過波長帯域の中央に位置することとなり、よって高品質、高信頼性の予備通信チャネルを提供できる。

40

【 0 0 1 6 】

また好ましくは本発明（ 4 ）においては、上記本発明（ 3 ）において、故障した現用光源の波長を x_i 、予備光源の波長を p 、故障した現用光源と所定の関係にある現用光源の波長を x_j とする時に、前記故障した現用光源と同一波長の代替光 y_i を、

$$y_i = 2p - x_j$$

50

の関係により生成する。本発明(4)は上記本発明(3)に好適なる四光波混合の方法(入出力の波長関係)を特定したものである。

【0017】

また上記の課題は例えば図1の構成により解決される。即ち、本発明(5)の波長多重伝送装置は、異なる波長 $x_1 \sim x_n$ の光を発生する複数の現用光源 $11_1 \sim 11_n$ と、現用光源と異なる波長 p の光を発生する予備光源52と、現用光源からの送信光 $x_1 \sim x_n$ を分岐すると共に、該現用光源の光送信ルートに代替光 $y_1 \sim y_n$ を挿入可能な複数の光カプラ $12_1 \sim 12_n$ と、外部制御S1により各光カプラからの分岐光の内の何れか一つの分岐光 x_j を選択する分岐光選択部51と、分岐光選択部の出力の分岐光 x_j と予備光源の光 p との四光波混合により所要に波長変換された代替光 y_i を生成する波長変換部53と、波長変換部の出力の代替光を対応する光カプラに分配する代替光分配部54と、何れかの現用光源 11_i につき障害が検出されたことにより、前記分岐光選択部及び波長変換部を制御して前記障害の発生した現用光源 11_i (x_i) と同一波長の代替光 y_i を生成させ、対応する光カプラに供給する切替制御部60とを備えるものである。従って、光源の簡単な冗長構成により故障時の自動切替/切戻しが高精度に行える。

10

【0018】

好ましくは本発明(6)においては、上記本発明(5)において、予備光源52の光 p の一部を分岐させる光カプラ 12_p と、予備光源の分岐光 p を電気的主信号CH_pにより変調する光変調器13_p と、予備光源の分岐光を他の複数の現用の信号光と共に合波して伝送路区間に送信する光合波部14と、伝送路区間の何れかの現用チャネルで障害が検出されたことにより、前記予備光源の分岐光を障害チャネルの主信号CH_iにより変調して送信させるチャネル切替制御部(不図示)とを備える。従って、予備光源52の有効利用が図れる。

20

【0019】

また好ましくは本発明(7)においては、上記本発明(5)又は(6)において、予備光源の波長を複数の現用光源の等間隔な波長列の中央に配置したものである。

【0020】

また好ましくは本発明(8)においては、上記本発明(5)において、切替制御部60は、予備光源の波長を p 、故障した現用光源の波長を x_i とする時に、分岐光選択部で選択する現用光源の波長 x_j を、

30

$$x_j = 2p - x_i$$

の関係より求める。従って、代替光生成用の現用光源が容易に求まる。なお、代替光生成用の現用光源は予め生成し、メモリに記憶した表から求めても良い。

【0021】

また好ましくは本発明(9)においては、上記本発明(5)において、分岐光選択部51は、例えば図4(A)に示す如く、外部制御S1により入力に分岐光をON/OFFする複数の光スイッチ(OSW1~OSWn)と、各光スイッチからの出力光を合波する光合波器(AWG等)とを備える。

【0022】

40

また好ましくは本発明(10)においては、上記本発明(5)において、分岐光選択部51は、例えば図4(B)に示す如く、入力の各分岐光を合波する光合波器(AWG等)と、外部制御S1により光合波器の出力の多重光の内の何れか一つの分岐光を通過させる光帯域通過フィルタ(BPF)とを備える。

【0023】

また好ましくは本発明(11)においては、上記本発明(5)において、分岐光選択部51は、例えば図4(C)に示す如く、入力の各分岐光を合波する光合波器(AWG等)と、外部制御S1により光合波器の出力の多重光の内の何れか一つの分岐光を反射させるファイバブラッググレーティング(FBG)と、光合波器とファイバブラッググレーティングとの間の光路に介在させた光サーキュレータ(OC)とを備える。

50

【 0 0 2 4 】

好ましくは本発明（ 1 2 ）においては、上記本発明（ 5 ）において、波長変換部 5 3 は、例えば図 6（ A ）に示す如く、四光波混合発生用の光非線形素子として半導体光増幅器（ S O A ）を備える。

【 0 0 2 5 】

また好ましくは本発明（ 1 3 ）においては、上記本発明（ 5 ）において、波長変換部 5 3 は、例えば図 6（ B ）に示す如く、四光波混合発生用の光非線形素子として分散シフトファイバ（ D S F ）を備える。

【 0 0 2 6 】

また好ましくは本発明（ 1 4 ）においては、上記本発明（ 5 ）において、波長変換部 5 3 は、例えば図 6（ C ）に示す如く、四光波混合発生用の光非線形素子として分布帰還レーザダイオード（ D F B - L D ）を備えると共に、別途予備光源 5 2 を備える代わりに、自素子内で発生する励起光 p を予備光源とする。従って、出力の四光波混合光（位相共役光）を効率良く生成できると共に、予備光源 5 2 を別途に設ける必要は無く、回路構成が簡単になる。

【 0 0 2 7 】

また好ましくは本発明（ 1 5 ）においては、上記本発明（ 1 2 ）～（ 1 4 ）において、波長変換部 5 3 は、光非線形素子の出力側に外部制御 S 3 により波長通過帯域を可変な光帯域通過フィルタ（ B P F ）を備える。従って、所要波長の四光波混合光 y_i を高精度に抽出できる。

【 0 0 2 8 】

好ましくは本発明（ 1 6 ）においては、上記本発明（ 5 ）において、切替制御部 6 0 は、復旧した現用光源 11_i の光出力後に代替光 y_i の挿入を O F F させる。従って、復旧時の光源光は途切れることが無く、データ伝送の無瞬断切戻し制御が可能となる。

【 0 0 2 9 】

また好ましくは本発明（ 1 7 ）においては、上記本発明（ 1 6 ）において、例えば図 2 に示す如く、光カプラ 1 2 の出力側に半導体光増幅器を利得飽和領域で使用する光リミッタ手段（ O L A ）を備える。従って、光カプラ 1 2 における復旧光 x_i と代替光 y_i との一時的な重複合波によりその光出力レベルが例えば 3 d B 程度増したとしても、光リミッタ手段からの光出力レベルは略一定に保たれ、よって他の波長の光信号には影響を与えない。

【 0 0 3 0 】

また好ましくは本発明（ 1 8 ）においては、上記本発明（ 1 6 ）において、例えば図 2 に示す如く、光カプラ 1 2 の出力側に希土類添加光増幅器（エルビウムドープファイバ等）を利得飽和領域（波長毎に利得飽和領域の形態等）で使用する光リミッタ手段（ O L A ）を備える。

【 0 0 3 1 】

【 発明の実施の形態 】

以下、添付図面に従って本発明に好適なる複数の実施の形態を詳細に説明する。なお、全図を通して同一符号は同一又は相当部分を示すものとする。

【 0 0 3 2 】

図 2 は第 1 の実施の形態による波長多重伝送装置の一部構成を示すブロック図で、図において、 1 0 は各波長 $x_1 \sim x_n$ の現用光を各チャネルの電気信号 C H 1 ～ C H n（ギガビットクラス等）により変調して送信する送信部、 1 1₁ ～ 1 1_n は夫々に波長 $x_1 \sim x_n$ の直流光を発生する現用光源（ L D 等）、 1 2₁ ～ 1 2_n は夫々現用光 $x_1 \sim x_n$ の一部を分岐すると共に該分岐光の一方に代替光 $y_1 \sim y_n$ を合波可能な光カプラ、 O L A は光増幅に飽和特性を有する光リミッタアンプ、 1 3₁ ～ 1 3_n はマッハツェンダ方式等による光変調器、 1 4 は各波長 $x_1 \sim x_n$ の信号光を合波（多重）する光合波部、 1 5 は多重信号光の光増幅を行う光アンプ（ O A ）、 1 6 は入力の多重信号光を各波長 $x_1 \sim x_n$ の信号光に分波する光分波部、 1 7 は各波長 x_1

10

20

30

40

50

～ x_n の信号光を各チャネルの電気信号 $CH_1 \sim CH_n$ に復調する受信部である。

【0033】

更に、18は各波長又はこれらの多重信号光 $x_1 \sim x_n$ のスペクトラム分析（光出力レベル、波長等の監視）を行う光スペクトラムアナライザ、50は故障光源の代替光を生成する代替光生成部、51は制御信号 S_1 に従い入力分岐光 $x_1 \sim x_n$ より何れか一つの分岐光 x_j を選択する分岐光選択部、52は固定波長 p の予備光（励起光）を発生する予備光源、53は入力分岐光 x_j と予備光 p を使用した光非線形効果（非縮退四光波混合）に基づき所要に波長変換された代替光（以下、四光波混合光又は位相共役光とも称す） y_i を生成する波長変換部、54は入力代替光 y_i をその波長に応じて対応する光カプラ12に分配する代替光分配部、60は現用光源の自動冗長切替／切戻し制御を行うCPUとその制御プログラムを記憶したメモリ等から成る切替制御部、61は切替制御部の制御バスである。

10

【0034】

送信部10では、現用光源 $11_1 \sim 11_n$ からの直流光 $x_1 \sim x_n$ の各一部を光カプラ12₁ ～ 12_n で分岐し、この内の現用光 $x_1 \sim x_n$ は光変調器13₁ ～ 13_n により夫々電気的主信号 $CH_1 \sim CH_n$ を重畳され、光合波部14を経由して相手局に送出される。一方、分岐光 $x_1 \sim x_n$ は分岐光選択部51に入力され、切替制御部60からの選択信号 S_1 に従い何れか一つの分岐光 x_j が選択されて波長変換部53に送られる。なお、この光カプラ12₁ ～ 12_n は光挿入機能を備えており、現用光源が故障した時には代替光分配部54から対応する代替光 $y_1 \sim y_n$ を受け取る。

20

【0035】

代替光生成部50では、予備光源52からの直流光 p を波長変換部53に送る。波長変換部53は分岐光選択部51からの分岐光 x_j と予備光源52からの予備光 p との非縮退四光波混合により所要に波長変換された代替光（四光波混合光／位相共役光） y_i を生成する。この代替光の波長 y_i は、非縮退四光波混合における励起光（予備光）の波長を p 、プローブ光（分岐光）の波長を x_j とする時に、次式の関係、

$$y_i = 2p - x_j$$

を満足するものである。この時、好ましくは、健全な現用光源の波長 x_j ($i = n \sim 1$) と予備光源の波長 p とを予め所定に配列しておくことにより、任意故障光源の波長 x_i ($i = 1 \sim n$) と同一波長の代替光 y_i ($i = 1 \sim n$) を他の健全な現用光源 x_j ($j = n \sim 1$) から生成できるようにする。

30

【0036】

図14は実施の形態による一例の光波長配置を示しており、ここではグループ1の光波長配置を採用する場合を説明する。グループ1では現用光源 $11_1 \sim 11_8$ に夫々1nm間隔の波長列 $x_1 \sim x_4$, $x_5 \sim x_8$ ($= 1550 \sim 1553 \text{ nm}$, $1555 \sim 1558 \text{ nm}$) を割り当て、これらの中央に予備光源の波長 p ($= 1554 \text{ nm}$) を配置している。

【0037】

係る波長の配置では、例えば健全な現用光源 x_j ($= 1558 \text{ nm}$) を使用して生成される代替光の波長 y_i は、 $y_i = 3108 - 1558 = 1550 \text{ nm}$ であり、これは現用光源 11_1 の代替用に使用できる。また健全な現用光源 x_j ($= 1557 \text{ nm}$) を使用して生成される代替光の波長 y_i は、 $y_i = 3108 - 1557 = 1551 \text{ nm}$ であり、これは現用光源 11_2 の代替用に使用できる。以下、同様に進み、健全な現用光源 x_j ($= 1550 \text{ nm}$) を使用して生成される代替光の波長 y_i は、 $y_i = 3108 - 1550 = 1558 \text{ nm}$ であり、これは現用光源 11_8 の代替用に使用できる。即ち、健全な現用光源 11_j ($j = 8 \sim 1$) を使用することで任意故障光源 11_i ($i = 1 \sim 8$) を代替でき、こうして、全ての故障光源 $11_1 \sim 11_8$ を他の健全な現用光源 $11_8 \sim 11_1$ の分岐光を利用して代替できる。グループ2についても同様である。この関係は各光源の波長間隔が等間隔であり、かつ予備光源の波長がこれ

40

50

らの中央に配列されていれば常に成り立ち、波長間隔の数値には依存せず、また総波長数が増えても保たれる。従って、ITU-Tの標準勧告案 G_{mcs} (波長間隔 0.8 nm) の波長列にも適用できる。また上記は $1.5\text{ }\mu\text{m}$ 帯の例を述べたが、例えば $1.3\sim 1.6\text{ }\mu\text{m}$ 帯等で実現できる。

【0038】

こうして、ある現用光源 x_i が故障した時には、予備光源 p と正常な他の現用光源の一つの分岐光 x_j とを使用した波長変換部53における非縮退四光波混合により故障光源 x_i と同一波長の代替光 y_i を生成し、故障光源の光カプラに提供可能となる。

【0039】

以下、現用光源 11_2 が故障した場合の冗長切替/切戻し動作を具体的に説明する。光スペクトラムアナライザ18は光合波部14における現用チャネル光(光出力レベル、波長等)の監視を行っており、今、現用光源 11_2 の波長 x_2 に異常が検出されると、その旨を切替制御部60に通知する。これを受けた切替制御部60は、故障光源 11_2 に制御信号C2を送って該故障光源 11_2 の光出力を断にすると共に、予備光源52の波長 p と故障光源 11_2 の波長 x_2 とから、分岐光選択部51で選択すべき他の健全な現用光源の波長 x_j を、

$$x_j = 2p - x_2 = x_7$$

の関係により求める。なお、この波長 x_7 は図14の表から求めても良い。更に、切替制御部60は波長 x_7 を選択するための選択信号S1を分岐光選択部51に送り、これにより分岐光選択部51は現用光源 11_7 からの分岐光 x_7 を選択する。また切替制御部60は代替光 y_2 ($= x_2$) を抽出するための選択信号S3を波長変換部5の波長可変光帯域通過フィルタ(不図示)に送り、これにより波長変換部53では予備光 p , 分岐光 x_7 等を含むトータルの四光波混合光の中から代替光 y_2 ($= x_2$) のみが抽出される。更に、この代替光 y_2 (現用光 x_2 と同じ光出力レベルを有する) は、代替光分配部54を経由して故障光源 11_2 の光カプラ 12_2 に挿入され、代替光源として使用される。

【0040】

次に故障光源 11_2 が修理又は新しい光源により交換されて復旧すると、光カプラ 12_2 では一時的に復旧光源 11_2 の現用光 x_2 と代替光 y_2 とが合波される結果、光カプラ 12_2 の光出力レベルは一時的に倍幅(3dBアップ)するが、光カプラ 12_2 の光出力レベルは途切れないため、データ伝送の無瞬断切戻しが可能となる。その後は、代替光 y_2 の供給が停止され、復旧した現用光源 11_2 のみが動作状態となり、光カプラ 12_2 の光出力レベルは標準に戻る。また、この切戻し制御の終了後、各部は初期状態に戻され、装置は現用光源の故障発生に対する待機状態となる。

【0041】

以下、本第1の実施の形態による波長多重伝送装置の主要部の構成を説明する。図3は第1の実施の形態における光合波/分波部を説明する図で、図3(A)はアレイ導波路回折格子(AWG: Arrayed-Waveguide Grating)を使用した場合の光合/分波部14/16の構成を示している。

【0042】

図3(A)において、入/出力スラブ導波路の曲率中心は入/出力導波路群の各中央の導波路端にあり、アレイ導波路群(AWG)は夫々の光軸がこの曲率中心を通る様に放射状に配置されている。この場合のスラブ導波路とアレイ導波路群とは凹面鏡と同じ光学配置となり、レンズと同等の動作が得られる。即ち、入力導波路に入射された多重光 $1 \sim n$ は入力側のスラブ導波路において回折により広がり、AWG導波路群を同位相で励振する。AWGの各導波路は互いに結合しない様に離れて配置され、かつ夫々の長さ是一定値 L ずつ異なっている。従って、AWG導波路を伝搬後の各光はAWG導波路端での位相が一定量ずつずれている。一方、出力側のスラブ導波路においては、AWG導波路端から放射される光は、この位相ずれを加味して夫々に同位相条件が成立する特定の方向に回折することになり、こうして、出力導波路端には各波長に分波された単色光 $1 \sim$

10

20

30

40

50

n が得られる。かくして、この様なアレイ導波路回折格子 (AWG) 素子を図示の如く使用すると光分波部 16 が得られ、またこの AWG 素子を逆向き使用すれば光合波部 14 が得られる。なお、図 3 (B) は反射形回折格子を使用した場合の他の光合 / 分波器 14 / 16 の構成を示しており、これらの他にも様々な構成の光合 / 分波器を使用できる。

【0043】

図 4 は第 1 の実施の形態における分岐光選択部を説明する図で、図 4 (A) は一例の分岐光選択部 51 の構成を示している。ここでは、入力 of 各分岐光 $x_1 \sim x_n$ が方向性結合器形の光スイッチ O S W 1 ~ O S W n を介して AWG 合波器の入力ポートに入力している。スイッチ制御信号 S 1 は通常は O F F にされており、この場合の各分岐光 $x_1 \sim x_n$ は O F F 端子側に出力され、必要なら無反射終端される。そして、例えば分岐光 x_1 を選択したい場合は、光スイッチ O S W 1 の制御信号 S 1 のみを O N にする。これによりスイッチ導波路部の伝搬定数が制御され、入力の分岐光 x_1 は O N 端子側に出力される。更に該分岐光 x_1 は AWG 合波器の入力ポートに入力し、AWG 素子を介して共通の出力ポートに出力される。他の分岐光 $x_2 \sim x_n$ についても同様である。なお、光スイッチ O S W 1 ~ O S W n としては他にも様々な構成 (マッハツェンダ形, 全反射形, 非対象 Y 分岐形, 光ゲート形等) の光スイッチを使用できる。

10

【0044】

図 4 (B) は他の例の分岐光選択部 51 の構成を示している。ここでは、入力の各分岐光 $x_1 \sim x_n$ は AWG 合波器により合波され、多重光 $x_1 \sim x_n$ として出力される。通過波長を可変な光バンドパスフィルタ B P F は外部入力の波長選択信号 S 1 に従って対応する波長 x_j の分岐光のみを通過させる。

20

【0045】

図 4 (C) は更に他の例の分岐光選択部 51 の構成を示している。ここでは、入力の各分岐光 $x_1 \sim x_n$ は AWG 合波器により合波され、多重光 $x_1 \sim x_n$ として出力される。更に多重光 $x_1 \sim x_n$ は光サーキュレータ O C の端子 a に入力して端子 b に出力され、反射波長を可変なファイバブラッググレーティング F B G に入力する。このファイバブラッググレーティング F B G では外部入力の波長選択信号 S 1 に従う特定の波長 (例えば x_1) のみを反射させる。この反射光 x_1 は光サーキュレータ O C の端子 b に入力して端子 c に出力され、こうして出力端子 c には所望の分岐光 $x_j (= x_1)$ のみを得られる。

30

【0046】

図 5 は第 1 の実施の形態における一例の可変波長フィルタ (音響光学チューナブル波長フィルタ) を説明する図で、音響光学基板上に形成された光導波路と、前記光導波路と交差して該光導波路に沿って弾性表面波を伝搬させるトランスデューサとを備え、該トランスデューサに加える電気信号により制御可能な弾性表面波 (グレーティング) の下で前記光導波路を伝搬する光波に各種の相互作用を生じさせる場合を示している。

【0047】

図において、1 は例えば X カット板 (Y 軸伝搬) の LiNbO_3 よりなる音響光学基板、2 a, 2 b は T i の高濃度拡散領域、3 は T i 拡散光導波路 (チャネル光導波路)、4 は導波路 3 上に弾性表面波 (SAW: Surface Acoustic Wave) を励起させるためのトランスデューサ (IDT: Interdigital Transducer)、4 a, 4 b は金属 (Al 等) の薄膜からなる指電極、5 a, 5 b はワックスやゴム等の柔軟な材質からなる弾性表面波の吸収体である。

40

【0048】

基板 1 の両側に固い T i の高濃度拡散領域 2 a, 2 b を設け、該領域 2 a, 2 b における音速を増すことで、SAW パワーを基板 1 の表面のかつ領域 2 a, 2 b 間に閉じ込め、SAW 駆動電力の低減化を図る。中央の T i 拡散光導波路 3 は T i の熱拡散により形成されている。熱拡散法によれば、常光線と異常光線の各屈折率 n_o , n_e を共に同程度変化させることができる。

【0049】

50

基板 1 の一方の端（光入力側）に図示の如くトランスデューサ 4 を基板 1 に装荷し、両指電極 4 a , 4 b 間に高周波（R F）信号を印加することで、 LiNbO_3 の圧電特性を利用して S A W を発生する。指電極 4 a , 4 b 間の距離 l と S A W 波長 λ との間には、例えば、 $l = \lambda / 2$ 、の関係がある。この時、基板 1 に生成される S A W パワーは入力 R F 信号電力にトランスデューサ 4 の効率を掛けたものである。光入力側に向かう S A W は吸収体 5 a で吸収され、直ちに消滅する。一方、光出力側に向かう S A W は領域 2 a , 2 b の間の基板 1 上を音速（位相速度） v で伝搬する。

【 0 0 5 0 】

この状態で導波路入力端に T E（又は T M）モード光の偏波を入力すると、該偏波は導波路伝搬中の S A W の及ぼす弾性光学効果により、所定の作用長 L を経過した所でその偏波面が 90° 回転し（但し、S A W パワーにより調整可）、T M（又は T E）モード光の偏波にモード変換される。この位置に吸収体 5 b を設けることで、その後の導波路 3 では S A W との相互作用が行われず、よって導波路出力端から T M（又は T E）モードの偏波を取り出せる。

【 0 0 5 1 】

この場合に、2 つの導波モード T E , T M の伝搬定数を β_{TE} , β_{TM} 、実効屈折率を N_{TE} , N_{TM} とし、かつ S A W の波長 λ 、周波数 f 、位相速度 v とすると、位相整合条件は（1）式、

$$\begin{aligned} |\beta_{TE} - \beta_{TM}| &= (2\pi/\lambda) |N_{TE} - N_{TM}| \\ &= 2\pi/\Lambda \\ &= 2\pi f/v \end{aligned} \quad (1)$$

の関係となり、上記（1）式を満たす周波数 f の S A W によりモード変換が生じ、その変換効率は S A W パワーにより制御可能である。更に、上記（1）式より（2）式、

$$= |N_{TE} - N_{TM}| \quad (2)$$

の関係が得られる。一例の数値例を述べると、 LiNbO_3 を用いる場合の複屈折率 $|N_{TE} - N_{TM}|$ は約 0.072 であるため、光通信で使用する波長 $\lambda = 1550 \text{ nm}$ の光で上記モード変換を生じさせるためには、 $\Lambda = 21.5 \mu\text{m}$ となる。また基板 1 上の音速（位相速度） v は約 3700 m/s であるため、R F 信号の周波数 $f (= v/\lambda)$ としては、 172 MHz が必要となる。また入力 R F パワーは、入力光と S A W との相互作用長 L に依存するが、仮に $L = 30 \text{ mm}$ とすると、R F パワーは 10 mW 程度である。かくして、少ない R F 信号レベル及び R F パワーで入力光の T E / T M 波を出力光の T M / T E 波に効率良く変換できる。そして、図示しないが、後段に T M（又は T E）波を抽出するためのポーラライザを設けることにより、広帯域な音響光学チューナブル波長フィルタ B P F を構成できる。この可変波長フィルタ B P F は後述の波長変換部 5 3 でも使用できる。

【 0 0 5 2 】

図 6 は第 1 の実施の形態における波長変換部を説明する図で、図 6（A）は波長変換部 5 3 の非線形光増幅素子として半導体光増幅器 S O A を使用した場合を示している。ここでは、予備光源 5 2 からの予備光 p と分岐光選択部 5 1 からの分岐光 x （例えば x_1 ）とが光カプラで合波され、半導体光増幅器 S O A に入力される。この時、好ましくは、予備光（励起光）を予め直線偏波にしておくと共に、分岐光 x の光路に偏波補償部（不図示）を設け、現用光源からの分岐光の偏波面を一定（例えば予備光の偏波面と同一）に保つ。これにより半導体光増幅器 S O A の出力の位相共役光（F W M 光）は偏波依存性がなくなり、F W M 光を安定に発生できる。なお、偏波補償部としては、通常の偏波補償回路の他、偏波保存ファイバ等を使用出来る。

【 0 0 5 3 】

半導体光増幅器 S O A 内では予備光（励起光） p と分岐光（信号光） x との四光波混合（F W M : optical Four - Wave Mixing）により次式、

10

20

30

40

50

$$\omega_y = 2\omega_p - \omega_x$$
 を満足する波長の位相共役光 ω_y が生成されると共に、各波長 ω_y , ω_p , ω_x の光が後段の可変波長帯域通過フィルタ B P F に入力する。B P F は切替制御部 60 からの波長選択信号 S 3 に従い位相共役光 ω_y のみを抽出し、該位相共役光 ω_y は光アンプ O A で所要パワー（現用光源と同一の光パワー）に増幅され、外部に出力される。なお、この位相共役光 ω_y の出力の O N / O F F は、例えば制御信号 C S により半導体光増幅器 S O A の機能又はその出力光を O N / O F F 制御することで行われる。なお、半導体光増幅器 S O A としては、1.3 μ m 帯 ~ 1.6 μ m 帯の内の所要帯域に増幅帯域を有するものを使用できる。

【0054】

図6（B）は波長変換部53の非線形光増幅素子として分散シフトファイバ D S F を使用した場合を示している。この分散シフトファイバ D S F 内では予備光（励起光） ω_p と分岐光（信号光） ω_x との四光波混合により次式、

$$\omega_y = 2\omega_p - \omega_x$$
 を満足する波長の位相共役光（F W M 光） ω_y が生成される。なお、D S F を使用する場合は、位相共役光 ω_y の出力の O N / O F F 制御を行うため、例えば B P F の出力段等に光スイッチ（不図示）を設け、通常は F W M 光が出力されないようにする。そして、切替制御部 60 から波長選択指示入力 S 3 があると、このスイッチは閉じられると共に、B P F は F W M 光の指定波長に自動的にチューニングされる。なお、この光スイッチ機能を実現する構成例としては、通常の光スイッチを直列に入れる方法や、B P F の波長毎の損失を制御する方法等がある。また、分散シフトファイバ D S F としては、1.3 μ m 帯 ~ 1.6 μ m 帯の内の所要帯域に零分散波長を持つ光ファイバを使用できる。

【0055】

図6（C）は波長変換部53の非線形光増幅素子として分布帰還（D F B : D i s t r i b u t e d F e e d B a c k）レーザダイオード D F B - L D を使用した場合を示している。D F B - L D では内部で励起光 ω_p を発生できるので、外部の予備光源 52 及び内部の光カプラが省略されている。D F B - L D 内では励起光 ω_p と分岐光（信号光） ω_x との四光波混合により次式、

$$\omega_y = 2\omega_p - \omega_x$$
 を満足する波長の位相共役光 ω_y が生成される。

【0056】

以下、一例の D F B - L D を詳細に説明する。図7、図8は一例の D F B - L D を説明する図（1）、（2）で、図7（A）は D F B - L D の一部破断斜視図を示している。図7（A）において、n - I n P 基板 21 の表面には n - I n G a A s P ガイド層 22 が形成され、これらの接合面には、膜厚が光進行方向に周期的に変化する様な、波形の回折格子（グレーティング）23 が形成されている。回折格子 23 は、その実質的な中央部 23 c で周期を Λ / 4（ Λ : 導波構造内の光の波長）だけずらした位相シフト構造を備える。更に、ガイド層 22 の上にはアンドーフト多重量子井戸（M Q W）活性層 24 が形成され、更に活性層 24 の上には p - I n G a A s P ガイド層 25 及び p - I n P 層 26 がこの順に形成されている。ここで、M Q W 活性層 24 は、膜厚 7 n m の $I n_{x'} \cdot G a_{1-x'} \cdot A s_y \cdot P_{1-y}$ （ $x' = 0.532$ ）井戸層と膜厚 10 n m の $G a_x \cdot I n_{1-x} \cdot A s_y \cdot P_{1-y}$ （ $x = 0.283$, $y = 0.611$ ）障壁層とが交互に 5 層づつ積層されて構成されている。また、上記 p - I n P 層 26 から n - I n P 基板 21 の上部までは下に凸状にパターンニングされており、その平面形状は光の進行方向に伸びたストライプ形状となっている。また、n - I n P 基板 21 における前記ストライプ形状の凸部の両側には p - I n P 層 27 及び n - I n P 層 28 がこの順に形成され、更にまた、最上の p - I n P 層 26 及び n - I n P 層 28 の上には p - I n G a A s P 層 29 が形成されている。そして、n - I n P 基板 21 の下面には n 側電極 30 が形成され、かつ p - I n G a A s P 層 29 の上面には 3 つに分割された p 側電極 31 a ~ 31 c が夫々形成されている。

【0057】

10

20

30

40

50

図 7 (B) は図 7 (A) の a - a 断面図を示している。なお、ここでは励起光 p をポンプ光 p 、入力の方岐光 x をプローブ光 s 、出力の位相共役光 y を位相共役光 c として説明する。DFB-LDの両端面 2 A, 2 B には少なくとも位相共役光 c (四光波混合光)を透過させるための無反射膜 3 2 がコーティングされている。また、このような DFB-LD の共振器長は例えば $900\text{ }\mu\text{m}$ 、中央の p 側電極 3 1 b の長さは例えば約 $580\text{ }\mu\text{m}$ 、両端の p 側電極 3 1 a, 3 1 c の長さは夫々に例えば約 $160\text{ }\mu\text{m}$ となっている。

【 0 0 5 8 】

DFB-LD の p 側電極 3 1 a ~ 3 1 c より MQW 活性層 2 4 を介して n 側電極 3 0 に駆動電流を流すことで、該 MQW 活性層 2 4 において波長 1549 nm の光を出力 40 mW で連続発振させる。この場合に、p 側電極 3 1 a ~ 3 1 c には例えば 400 mA の電流を流す。発振光は、2つの回折格子 2 3 により DFB-LD の内部に強く閉じ込められる結果、単一モードで、利得帯域幅の狭い、安定したスペクトルが得られ、この発振光を四光波混合のためのポンプ光 p として使用可能である。また、DFB-LD の両端面を無反射コートすることにより、発振光 p と異なる波長の光はレーザ内部で反射されることなく通過する。この状態で、第 1 の励振端 (端面) 2 A よりプローブ光 (信号光) s を供給すると、非縮退四光波混合により、第 2 の励振端 (端面) 2 B からはプローブ光 s と、一部のポンプ光 p と、位相共役光 c とが出力される。ここで、非縮退とは、プローブ光 s とポンプ光 p の波長が異なるという意味で用いられる。また、位相共役光 c の強度はポンプ光 p の強度の 2 乗に比例する。

【 0 0 5 9 】

図 8 に非縮退四光波混合による DFB-LD の出力光のスペクトルを示す。プローブ光の角周波数を s 、ポンプ光の角周波数を p 、位相共役光の角周波数を c とすると、これらの間には次式の関係、

$$c = 2p - s$$

があることが知られている。従って、プローブ光 (信号光) s から位相共役光 c への光周波数変換 (波長変換) が可能となる。

【 0 0 6 0 】

また、3つの p 側電極 3 1 a ~ 3 1 c に流す電流の大きさを相違させることにより、DFB-LD の単一の発振モードがシフトすることが知られている。駆動回路 4 0 により、例えば両端の p 側電極 3 1 a, 3 1 c に注入する電流を一定に保持し、かつ中央の P 側電極 3 1 b に注入する電流を増すと、発振波長が長波長側にシフトする。従って、ポンプ光 p の波長を自由に可変 (例えば 1554 nm , 1563 nm 等) でき、これに伴い図 1 4 に示すグループ 1, グループ 2 の様な波長配置を容易に実現出来る。なお、このポンプ光 p の波長を自由に可変することで、ある一つの分岐光 x_j から異なる波長の代替光 (位相共役光) y_1 , y_2 , y_3 等を生成する様に装置を構成することも可能である。なお、DFB-LD としては、 $1.3\text{ }\mu\text{m}$ 帯 ~ $1.6\text{ }\mu\text{m}$ 帯の内の所要帯域に増幅帯域を有するものを使用できる。

【 0 0 6 1 】

図 9 は第 1 の実施の形態における代替光分配部 5 4 を説明する図である。波長変換部 5 3 からの入力の代替光 y (例えば故障した現用光 x_1 に相当) は AWG 分波器により代替光 y_1 の出力ポートのみに出力され、対応する光カプラ 1 2₁ に分配される。他の代替光 $y_2 \sim y_n$ についても同様である。

【 0 0 6 2 】

図 1 0 は第 1 の実施の形態による現用光源切替制御のフローチャートである。通常はシステムの電源投入後にこの処理に入力する。ステップ S 1 では光スペクトラムアナライザ 1 8 のエラー検出信号 E T に基づき何れかの波長 (現用光源) が故障か否かを判別し、故障でない場合は監視を継続する。何れかの波長で故障が検出されると、ステップ S 2 では故障波長 x_i ($i = 1 \sim n$) を特定する。ステップ S 3 では故障した現用光源 1 1_i に制御信号 C_i を送り、該光源 1 1_i の光出力を停止させる。ステップ S 4 では代替波

10

20

30

40

50

長 y_i を生成するための他の健全な現用波長 x_j を計算により又は図 14 の表より求める。ステップ S 5 では分岐光選択部 51 に波長選択信号 S 1 を送って対応する分岐光 x_j を選択させる。ステップ S 6 では波長変換部 53 に波長選択信号 S 3 を送って対応する FWM 光 y_i を抽出させる。ステップ S 7 では波長変換部 53 に制御信号 C S を送り、非線形光増幅器の四光波混合機能を付勢する。

【0063】

なお、この現用光源 11_i の故障は別途保守者に通知され、これを受けた保守者は故障した現用光源 11_i を取り外すと共に、修理した又は新たな現用光源 11_i をシステムに活線挿入し、必要なら動作特性（波長，光出力レベル等）を確認する。そして、異常がなければ交換した現用光源 11_i についての復旧リセットボタン（不図示）を押す。

10

【0064】

図 11 は第 1 の実施の形態による現用光源切戻し制御のフローチャートである。通常は上記故障光源の切替後にこの処理に入力する。ステップ S 11 では故障した現用光源 11_i についての復旧リセットの入力を待つ。やがて復旧リセットの入力があると、ステップ S 12 では復旧した光源 11_i に制御信号 C_i を送り、該光源 11_i の光出力を ON にさせる。この時、通常は復旧光源 11_i の動作特性が安定するまでにある程度の時間を要する。そこで、切替制御部 60 では好ましくはステップ S 13 で内部の所定時間のタイマ T 1 をスタートさせ、ステップ S 14 ではタイマ T 1 のタイムアウトを待つ。

【0065】

このとき、光パワーの切戻しの態様には次の二つの場合が考えられる。一つは、図 2 の光リミッタアンプ OLA を備えないか、又は線形の光アンプ OA を備える場合である。今、例えば現用光源 11₁ が復旧したとすると、光カプラ 12₁ では復旧光 x_1 と代替光 y_1 とが合波される結果、光変調器 13₁ の光入力レベルは一時的に 3 dB アップとなる。しかし、一般にこの程度の光レベル変動では後段及び受信側の光学系に有害な光サージを生じることは無い。またこの程度の光レベル変動は通常の光受信系の変動耐力範囲内であり、各主信号の復号に別段の影響を与えるものではない。その後、波長変換部 53 の代替光 y_1 を停止させると、光変調器 13₁ の光入力レベルは標準値に戻る。

20

【0066】

光パワーの切戻しの態様のもう一つは、図 2 の光リミッタアンプ OLA を備えるか、又は線形の光アンプ OA を利得飽和領域で動作させる場合である。なお、この様な OLA/OA としては、各光ファイバ増幅器の特性を各波長帯域毎に利得飽和領域となるように選択したり、又は各半導体光増幅器を各波長帯域毎に利得飽和領域となるように駆動制御することで実現出来る。この場合は、光カプラ 12₁ の出力側で 3 dB の変動があっても、該変動は OLA/OA の非線形増幅作用により吸収され、OLA/OA の光出力パワーは略一定に保たれる。従って、光信号 $x_1 \sim x_n$ の各信号パワーにはアンバランスは生じず、この切戻し区間におけるデータ通信をより高信頼性で継続できる。

30

【0067】

図 11 に戻り、やがてステップ S 14 の判別でタイマ T 1 がタイムアウトすると、ステップ S 15 では波長変換部 53 に制御信号 C S を送り、非線形光増幅器の四光波混合機能又は代替光の出力を消勢する。この様に、上記いずれの切戻しの態様でも、光変調器 13 への入力光には瞬断を生じないため、光源の無瞬断切り戻しが可能となる。

40

【0068】

なお、その後、切替制御部 60 は上記図 10 の冗長切替制御に入力する。こうして、代替光によるバックアップと復旧光源への切戻しとが自動的に行われ、波長多重伝送システムを高信頼性で安全に運用可能となる。

【0069】

図 12 は第 2 の実施の形態による波長多重伝送装置の一部構成を示すブロック図で、予備光源 52（又は DFB-LD）の予備光 p を、上記代替光 y を生成するのみならず、光伝送路上で相手局と主信号のやり取りを行うための予備チャネルの通信光 p としても使用可能な場合を示している。本第 2 の実施の形態による波長多重伝送装置の基本

50

的な構成及び動作は上記図2の第1の実施の形態による波長多重伝送装置で述べたものと同様で良い。但し、新たに、予備光源52(又はDFB-LD)からの予備光 p を分岐する光カプラ12pと、該分岐された予備光 p を予備チャネルの電気信号CH p で変調するための光変調器13 p とを備え、この予備チャネルの光信号を光合波14で合波するように構成した点で異なっている。なお、受信側でも予備チャネルの光信号を受信処理するための構成が含まれる。

【0070】

本第2の実施の形態では、光伝送路上に予備通信チャネル p を備える結果、上記自局の現用光源11 $_1$ ~ 11 $_n$ の冗長切替制御のみならず、光伝送路上の現用通信チャネルの自動冗長切替/切戻し制御も可能となる。しかも、一般に光伝送路帯域の両端に位置する現用チャネル光 x_1 , x_n 等は、通信帯域の両肩部に位置するため、現用光源11 $_1$, 11 $_n$ が正常に動作していても、中間の光ケーブルや中継器動作に起因する異常等により、局相手側受信局におけるエラーレートが劣化する場合がある。係る場合でも、本第2の実施の形態によれば、エラーレートが劣化した現用チャネル光 x_1 又は x_n を波長通過帯域の中央に位置する予備チャネル光 p に切り替えることが可能であり、高品質の予備通信チャネルを提供できる。

【0071】

今、相手局の受信で障害(断, 劣化等)が検出された現用チャネルについて、相手局からの障害通知情報が保守監視用チャネルを使って伝送されてくる。これを受けたチャネル切替制御部(不図示)は、自局の光送信レベル(波長, 光出力レベル等)が正常であれば伝送路区間における障害と判断し、障害チャネルの主信号を予備チャネルに寄せ替えて送信する。

【0072】

なお、チャネル切替制御部による現用と予備回線の自動切替/切戻し制御に関しては、例えばSDH(Synchronous Digital Hierarchy)方式におけるAPS(Automatic Protection Switch)バイト(K1, K2)を使用した自動切替/切戻し制御を採用できる。従って、簡単な構成により、光源のみならず光通信回線についても現用 n :予備1となる様な冗長構成が効率良く実現され、こうして予備光源の有効利用が図られる。

【0073】

図13は第3の実施の形態による波長多重伝送装置の一部構成を示すブロック図で、上記第1又は第2の実施の形態による n :1の冗長切替構成を複数バンドに渡って複数並列に設けた場合を示している。図において、100A, 100Bは波長多重伝送装置、10 $_1$, 10 $_2$ は第1, 第2の送信部、14 $_1$, 14 $_2$ は第1, 第2の光合波部、16 $_1$, 16 $_2$ は第1, 第2の光分波部、17 $_1$, 17 $_2$ は第1, 第2の受信部、50 $_1$, 50 $_2$ は第1, 第2の代替光生成部、18は光スペクトラムアナライザ(SPAN)、60は切替制御部である。各部の構成及び動作は上記第1又は第2の実施の形態で述べたものと同様で良い。

【0074】

図14はこの場合の一例の光波長配置を示している。ここでは第1, 第2のグループ1, 2の2つの冗長系を備えており、夫々が現用8:予備1の自動切替/切戻し制御可能に構成されている。こうして、任意数のグループの冗長系を容易に構成出来る。

【0075】

なお、上記各実施の形態では予備光 p を励起光として出力の四光波混合光 y_i を次式の関係、

$$y_i = 2p - x_j$$

により生成する場合を述べたが、これに限らない。例えば分岐光 x_j を励起光として出力の四光波混合光 y_i を次式の関係、

$$y_i = 2x_j - p$$

により生成する様に構成しても良い。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 6 】

また、上記本発明に好適なる複数の実施の形態を述べたが、本発明思想を逸脱しない範囲内で各部の構成、制御、及びこれらの組合せの様々な変更が行えることは言うまでも無い。

【 0 0 7 7 】

【 発明の効果 】

以上のべた如く本発明によれば、光源の簡単な冗長構成により光源故障時の自動切替 / 切戻しが高精度かつ低コストで行えるため、光波長多重伝送システムの普及及び信頼性向上に寄与するところが極めて大きい。

【 図面の簡単な説明 】

10

【 図 1 】 本発明の原理を説明する図である。

【 図 2 】 第 1 の実施の形態による波長多重伝送装置の一部構成を示すブロック図である。

【 図 3 】 第 1 の実施の形態における光合波 / 分波部を説明する図である。

【 図 4 】 第 1 の実施の形態における分岐光選択部を説明する図である。

【 図 5 】 第 1 の実施の形態における可変波長フィルタを説明する図である。

【 図 6 】 第 1 の実施の形態における波長変換部を説明する図である。

【 図 7 】 一例の DFB-LD を説明する図 (1) である。

【 図 8 】 一例の DFB-LD を説明する図 (2) である。

【 図 9 】 第 1 の実施の形態における代替光分配部 54 を説明する図である。

【 図 10 】 第 1 の実施の形態による現用光源切替制御のフローチャートである。

20

【 図 11 】 第 1 の実施の形態による現用光源切戻し制御のフローチャートである。

【 図 12 】 第 2 の実施の形態による波長多重伝送装置の一部構成を示すブロック図である。

【 図 13 】 第 3 の実施の形態による波長多重伝送装置の一部構成を示すブロック図である。

【 図 14 】 実施の形態による光波長配置を示す図である。

【 符号の説明 】

10 送信部

11₁ ~ 11_n 現用光源

12₁ ~ 12_n 光カプラ

30

13₁ ~ 13_n 光変調器

14 光合波部

15 光アンプ (O A)

16 光分波部

17 受信部

18 光スペクトラムアナライザ

50 代替光生成部

51 分岐光選択部

52 予備光源

53 波長変換部

40

54 代替光分配部

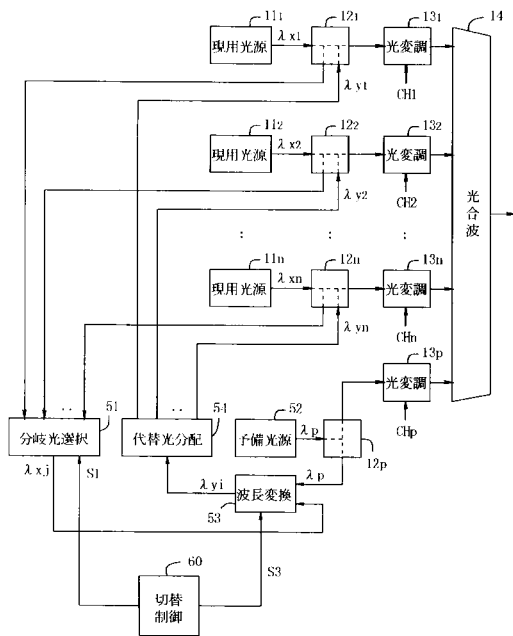
60 切替制御部

61 制御バス

O L A 光リミッタアンプ

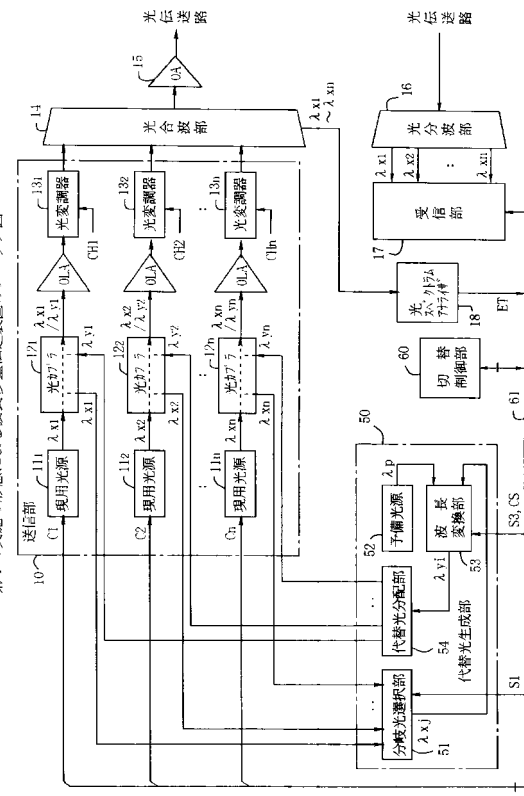
【図 1】

本発明の原理を説明する図



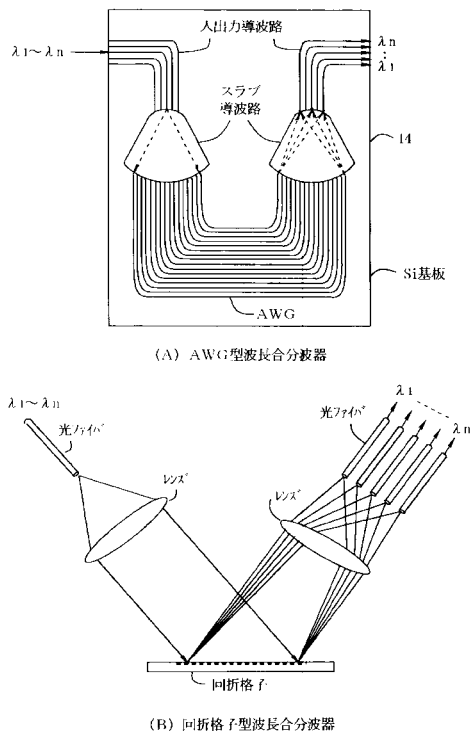
【図 2】

第1の実施の形態における波長多重伝送装置のブロック図



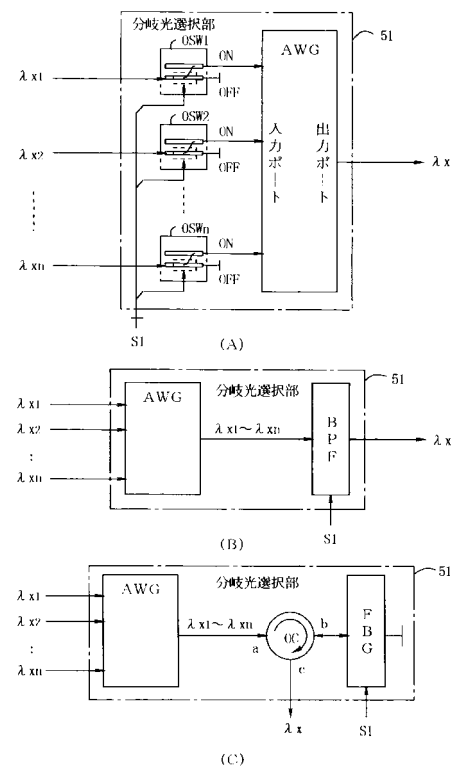
【図 3】

第1の実施の形態における光合波／分波部を説明する図



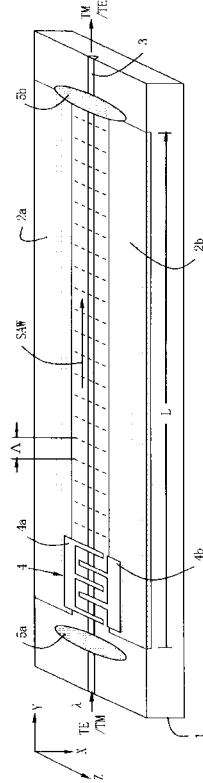
【図 4】

第1の実施の形態における分岐光選択部を説明する図



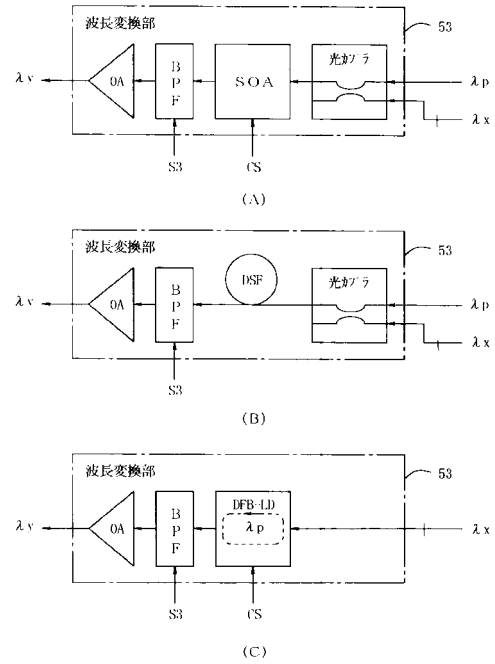
【図 5】

第1の実施の形態における可変波長フィルタを説明する図



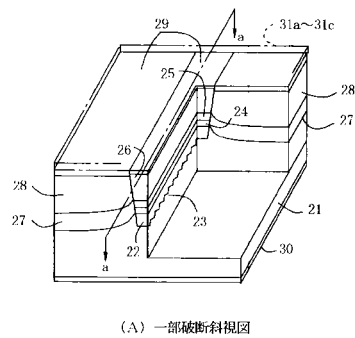
【図 6】

第1の実施の形態における波長変換部を説明する図



【図 7】

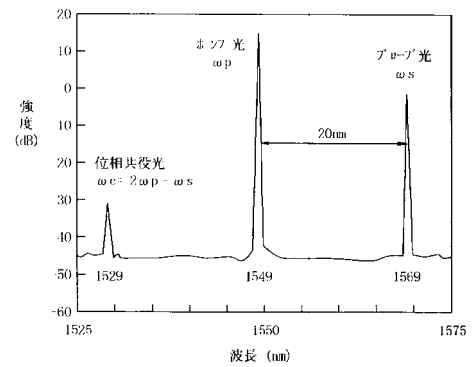
一例のDFBレーザダイオードを説明する図(1)



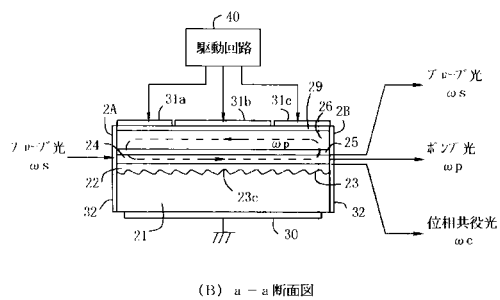
(A) 一部破断斜視図

【図 8】

一例のDFBレーザダイオードを説明する図(2)



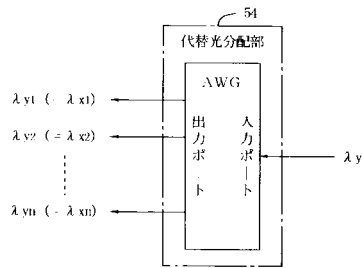
出力光のスペクトル



(B) a-a断面図

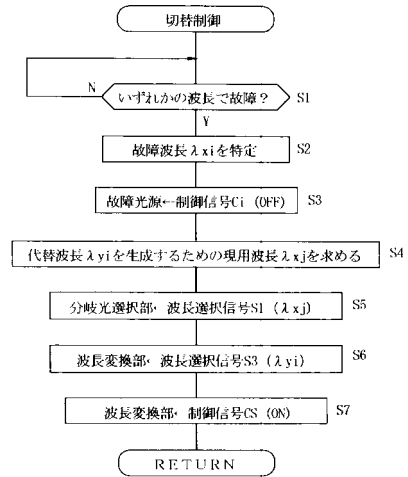
【図 9】

第1の実施の形態における代替光分配部を説明する図



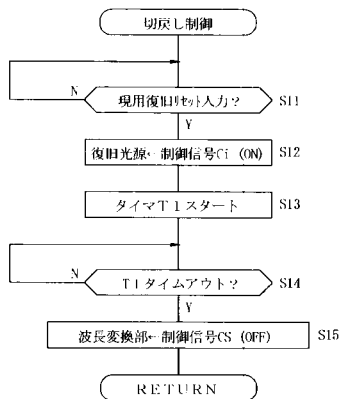
【図 10】

第1の実施の形態による現用光源切替制御のフローチャート



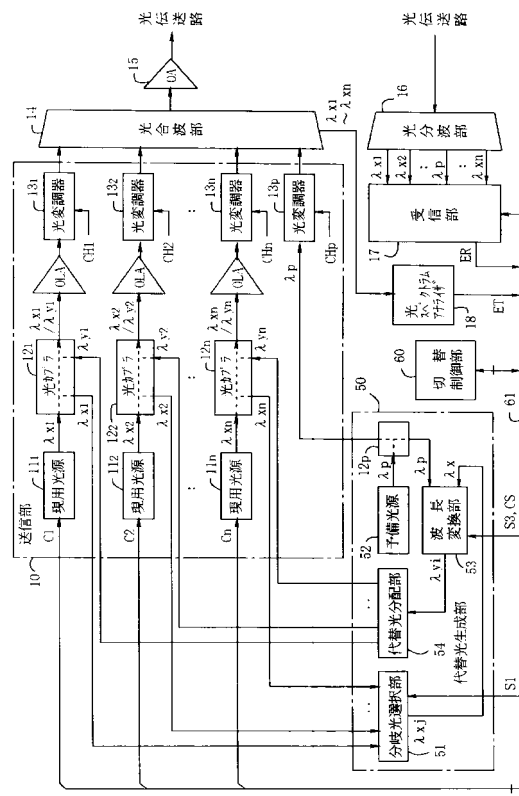
【図 11】

第1の実施の形態による現用光源切戻し制御のフローチャート



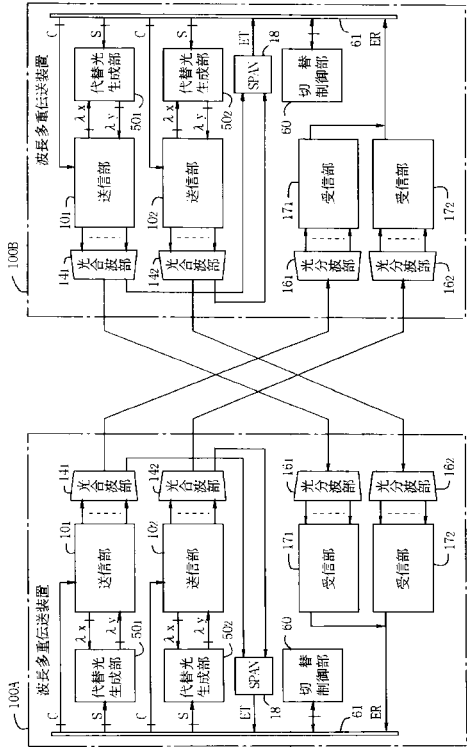
【図 12】

第2の実施の形態による波長多重伝送装置のブロック図



【図 13】

第3の実施の形態による波長多重伝送装置のブロック図



【図 14】

実施の形態による光波長配置を示す図

光源	現用光源の波長 (λx)	予備光源の波長 (λp)	変換後の波長 (λy)
現用 1	1550	—	1558
現用 2	1551	—	1557
現用 3	1552	—	1556
現用 4	1553	—	1555
予備 1	—	1554	—
現用 5	1555	—	1553
現用 6	1556	—	1552
現用 7	1557	—	1551
現用 8	1558	—	1550
現用 9	1559	—	1567
現用 10	1560	—	1566
現用 11	1561	—	1565
現用 12	1562	—	1564
予備 2	—	1563	—
現用 13	1564	—	1562
現用 14	1565	—	1561
現用 15	1566	—	1560
現用 16	1567	—	1559

(単位 nm)

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平10-322287(JP,A)
特開平10-65649(JP,A)
特開平08-191270(JP,A)
特公平1-20578(JP,B2)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

H04B10/00-10/28

H04J14/00-14/08

H01S5/042

G02F1/35