

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-220893

(P2012-220893A)

(43) 公開日 平成24年11月12日(2012.11.12)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>GO2F 1/01 (2006.01)</b>	GO2F 1/01 C	2H079
<b>HO4J 14/02 (2006.01)</b>	HO4B 9/00 E	5K102
<b>HO4J 14/00 (2006.01)</b>	HO4B 9/00 M	
<b>HO4B 10/18 (2006.01)</b>	HO4B 9/00 J	
<b>HO4B 10/02 (2006.01)</b>	GO2F 1/061 503	
審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 18 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2011-89484 (P2011-89484)  
 (22) 出願日 平成23年4月13日 (2011. 4. 13)

特許法第30条第1項適用申請有り 平成23年2月28日 社団法人電子情報通信学会発行の「電子情報通信学会 2011年 総合大会講演論文集 (DVD-ROM)」に発表

(71) 出願人 000004226  
 日本電信電話株式会社  
 東京都千代田区大手町二丁目3番1号  
 (74) 代理人 100119677  
 弁理士 岡田 賢治  
 (74) 代理人 100115794  
 弁理士 今下 勝博  
 (72) 発明者 岩城 亜弥子  
 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内  
 (72) 発明者 乾 哲郎  
 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

最終頁に続く

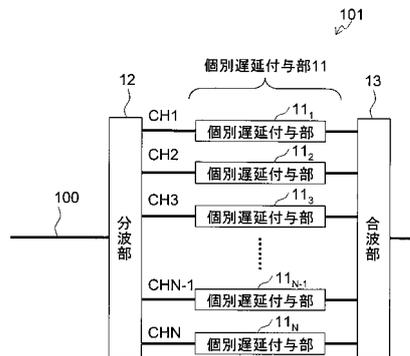
(54) 【発明の名称】 非線形光学効果抑圧器及び光中継装置

(57) 【要約】

【課題】本発明は、波長チャネル間の相互作用によって生じる非線形光学効果を抑圧し、波長分割多重光伝送システムにおいて伝送可能距離の伸延を可能にすることを目的とする。

【解決手段】本発明の非線形光学効果抑圧器は、複数の波長チャネルの光信号が多重化された波長多重信号光を各波長チャネルの光信号に分岐する分波部12と、分波部12からの各波長チャネルの光信号に、各波長チャネルで異なる遅延量の遅延を付与する個別遅延付与部11と、個別遅延付与部11からの各波長チャネルの光信号を合波する合波部13と、を備える。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

複数の波長チャネルの光信号が多重化された波長多重信号光を各波長チャネルの光信号に分岐する分波部と、

前記分波部からの各波長チャネルの光信号に、各波長チャネルで異なる遅延量の遅延を付与する個別遅延付与部と、

前記個別遅延付与部からの各波長チャネルの光信号を合波する合波部と、  
を備える非線形光学効果抑圧器。

## 【請求項 2】

前記個別遅延付与部は、隣接する波長チャネルとの間に、前記光信号のシンボル間隔の半分以上の時間幅を有する遅延差が生じるように、各波長チャネルの光信号に遅延を付与することを特徴とする請求項 1 に記載の非線形光学効果抑圧器。

10

## 【請求項 3】

前記波長多重信号光を伝搬した光ファイバ伝送路の群遅延特性と逆特性の群遅延特性を有する共通波長分散補償部を、前記分波部の前段にさらに備える請求項 1 又は 2 に記載の非線形光学効果抑圧器。

## 【請求項 4】

複数の波長チャネルの光信号が多重化された波長多重信号光を各波長チャネルの光信号に分岐する分波部と、

前記分波部からの各波長チャネルの光信号を、前記波長多重信号光を伝搬した光ファイバ伝送路における各波長チャネルの群遅延特性と逆特性の群遅延特性を有する媒質に通過させる個別波長分散補償部と、

前記個別波長分散補償部からの各波長チャネルの光信号を合波する合波部と、  
を備える非線形光学効果抑圧器。

20

## 【請求項 5】

複数の波長チャネルの光信号が多重化された波長多重信号光が光ファイバ伝送路から入力され、入力された前記波長多重信号光を増幅する第 1 光増幅器と、

前記第 1 光増幅器からの波長多重信号光が入力され、前記光ファイバ伝送路で発生した非線形光学効果を抑圧する、請求項 1 から 4 のいずれかに記載の非線形光学効果抑圧器と、

30

前記非線形光学効果抑圧器からの波長多重信号光を増幅する第 2 光増幅器と、  
を備える光中継装置。

## 【請求項 6】

複数の波長チャネルの光信号が多重化された波長多重信号光を各波長チャネルの光信号に分波し、各波長チャネルで異なる遅延量の遅延を付与し、当該遅延付与後の各波長チャネルの光信号を合波する個別遅延付与手順を有する非線形光学効果抑圧方法。

## 【請求項 7】

前記個別遅延付与手順において、隣接する波長チャネルとの間に、前記光信号のシンボル間隔の半分以上の時間幅を有する遅延差が生じるように、各波長チャネルの光信号に遅延を付与することを特徴とする請求項 6 に記載の非線形光学効果抑圧方法。

40

## 【請求項 8】

前記波長多重信号光を伝搬した光ファイバ伝送路の群遅延特性と逆特性の群遅延特性を有する媒質を、前記波長多重信号光に通過させる共通波長分散補償手順を、前記個別遅延付与手順の前にさらに有する請求項 6 又は 7 に記載の非線形光学効果抑圧方法。

## 【請求項 9】

複数の波長チャネルの光信号が多重化された波長多重信号光を各波長チャネルの光信号に分波し、各波長チャネルの光信号を、前記波長多重信号光を伝搬した光ファイバ伝送路における各波長チャネルの群遅延特性と逆特性の群遅延特性を有する媒質に通過させ、当該媒質を通過後の各波長チャネルの光信号を合波する個別波長分散補償手順を有する非線形光学効果抑圧方法。

50

## 【請求項 10】

複数の波長チャネルの光信号が多重化された波長多重信号光が光ファイバ伝送路から入力され、入力された前記波長多重信号光を増幅する第1光増幅手順と、

前記第1光増幅手順で増幅後の波長多重信号光が入力され、請求項6から9のいずれかに記載の非線形光学効果抑圧方法を用いて、前記光ファイバ伝送路で発生した非線形光学効果を抑圧する非線形光学効果抑圧手順と、

前記非線形光学効果抑圧手順で非線形光学効果を抑圧した波長多重信号光を増幅する第2光増幅手順と、

を有する光中継方法。

## 【発明の詳細な説明】

10

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、波長分割多重光伝送システムにおける伝送可能距離を伸延するための非線形光学効果抑圧器及び光中継装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

波長分割多重を用いた波長分割多重光伝送システムにおいては、伝送する信号を光波の振幅および位相を変調することによって表現し、複数の波長に異なる信号チャネルを割り当てて伝送を行う。送信ノードにおいて生成された複数の波長チャネルの光信号は、合波器により多重化され、光ファイバ伝送路および光増幅器等で構成される中継光ノードを通過して受信ノードまで伝送される。受信ノードにおいて、各々の波長チャネルの光信号は光受信器によって光信号から電気信号に変換され、符号判定によって伝送された信号を確定する。

20

## 【0003】

また、100Gb/s以上の波長分割多重光伝送システムにおいては、符号判定の際にデジタル信号処理を用いることにより、波長分散等の線形な信号劣化の補償を行うことが可能となっている。

## 【先行技術文献】

## 【非特許文献】

## 【0004】

30

【非特許文献1】D. Sperti, P. Serena and A. Bononi, "A comparison of different options to improve PDM-QPSK resilience against cross-channel nonlinearities," 36th European Conference on Optical Communication (ECOC 2010), paper Th.9.A.1, 2010.

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0005】

波長分割多重光伝送システムにおいては、光ファイバ伝送路および光増幅器内で生じる非線形光学効果による信号劣化が課題となっている（非特許文献1）。これらの非線形光学効果は伝送される光信号の強度に応じて影響が増大するため、波長分割多重光伝送システムにおいて伝送可能距離を制限する要因となっている。

40

## 【0006】

非線形光学効果の中でも相互位相変調（XPM）や四光波混合（FWM）等といった複数波長チャネルの相互作用によるものは、受信端におけるデジタル信号処理を用いての補償が困難である。特に、受信端にてコヒーレント検波を行う伝送方式においては、相互位相変調によって光信号の位相が正しい信号の状態から大きくずれてしまい、大幅な伝送ペナルティを生じることが問題となっている。

## 【0007】

50

本発明は、波長チャンネル間の相互作用によって生じる非線形光学効果を抑圧し、波長分割多重光伝送システムにおいて伝送可能距離の伸延を可能にすることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記目的を達成するために、本発明は、波長分割多重伝送において、隣接する波長チャンネルを分波し、各波長チャンネルに異なる遅延を付与し、各波長チャンネルを合波する。これにより、波長分割多重伝送において、複数波長チャンネルの相互作用による非線形光学効果を抑圧し、長距離伝送を可能にする。

【0009】

具体的には、本発明の非線形光学効果抑圧器は、複数の波長チャンネルの光信号が多重化された波長多重信号光を各波長チャンネルの光信号に分岐する分波部と、前記分波部からの各波長チャンネルの光信号に、各波長チャンネルで異なる遅延量の遅延を付与する個別遅延付与部と、前記個別遅延付与部からの各波長チャンネルの光信号を合波する合波部と、を備える。

【0010】

本発明の非線形光学効果抑圧器は、分波部と、個別遅延付与部と、を備えるため、各波長チャンネルで異なる遅延量の遅延を付与することができる。このため、波長チャンネル間の相互作用によって生じる非線形光学効果を抑圧し、波長分割多重光伝送システムにおいて伝送可能距離の伸延を可能にすることができる。

【0011】

本発明の非線形光学効果抑圧器では、前記個別遅延付与部は、隣接する波長チャンネルとの間に、前記光信号のシンボル間隔の半分以上の時間幅を有する遅延差が生じるように、各波長チャンネルの光信号に遅延を付与することが好ましい。

本発明により、隣接する波長チャンネルの同じシンボルから受ける非線形光学効果の影響を抑えることができ、信号品質の改善が可能となる。

【0012】

本発明の非線形光学効果抑圧器では、前記波長多重信号光を伝搬した光ファイバ伝送路の群遅延特性と逆特性の群遅延特性を有する共通波長分散補償部を、前記分波部の前段にさらに備える。

本発明により、光ファイバ伝送路にて生じる波長分散による信号歪を補償することができるため、非線形光学効果をさらに抑圧することが可能となる。

【0013】

具体的には、本発明の非線形光学効果抑圧器は、複数の波長チャンネルの光信号が多重化された波長多重信号光を各波長チャンネルの光信号に分岐する分波部と、前記分波部からの各波長チャンネルの光信号を、前記波長多重信号光を伝搬した光ファイバ伝送路における各波長チャンネルの群遅延特性と逆特性の群遅延特性を有する媒質に通過させる個別波長分散補償部と、前記個別波長分散補償部からの各波長チャンネルの光信号を合波する合波部と、を備える。

【0014】

本発明の非線形光学効果抑圧器は、分波部と、個別波長分散補償部と、を備えるため、各波長チャンネルで異なる遅延量の遅延を付与することができる。このため、波長チャンネル間の相互作用によって生じる非線形光学効果を抑圧し、波長分割多重光伝送システムにおいて伝送可能距離の伸延を可能にすることができる。

【0015】

具体的には、本発明の光中継装置は、複数の波長チャンネルの光信号が多重化された波長多重信号光が光ファイバ伝送路から入力され、入力された前記波長多重信号光を増幅する第1光増幅器と、前記第1光増幅器からの波長多重信号光が入力され、前記光ファイバ伝送路で発生した非線形光学効果を抑圧する、本発明に係る非線形光学効果抑圧器と、前記非線形光学効果抑圧器からの波長多重信号光を増幅する第2光増幅器と、を備える。

【0016】

10

20

30

40

50

本発明の光中継装置は、光増幅器を備えるため、光ファイバ伝送路における信号損失を光増幅器で補償することができる。また、本発明の光中継装置は、非線形光学効果抑圧器を備えるため、波長チャンネル間の相互作用によって生じる非線形光学効果を抑圧することができる。したがって、本発明の光中継装置は、波長分割多重光伝送システムにおいて伝送可能距離の伸延を可能にすることができる。

【0017】

具体的には、本発明の非線形光学効果抑圧方法は、複数の波長チャンネルの光信号が多重化された波長多重信号光を各波長チャンネルの光信号に分波し、各波長チャンネルで異なる遅延量の遅延を付与し、当該遅延付与後の各波長チャンネルの光信号を合波する個別遅延付与手順を有する。

10

【0018】

本発明の非線形光学効果抑圧方法は、個別遅延付与手順を有するため、各波長チャンネルで異なる遅延量の遅延を付与することができる。このため、波長チャンネル間の相互作用によって生じる非線形光学効果を抑圧し、波長分割多重光伝送システムにおいて伝送可能距離の伸延を可能にすることができる。

【0019】

本発明の非線形光学効果抑圧方法では、前記個別遅延付与手順において、隣接する波長チャンネルとの間に、前記光信号のシンボル間隔の半分以上の時間幅を有する遅延差が生じるように、各波長チャンネルの光信号に遅延を付与することが好ましい。

本発明により、隣接する波長チャンネルの同じシンボルから受ける非線形光学効果の影響を抑えることができ、信号品質の改善が可能となる。

20

【0020】

本発明の非線形光学効果抑圧方法では、前記波長多重信号光を伝搬した光ファイバ伝送路の群遅延特性と逆特性の群遅延特性を有する媒質を、前記波長多重信号光に通過させる共通波長分散補償手順を、前記個別遅延付与手順の前にさらに有してもよい。

本発明により、光ファイバ伝送路にて生じる波長分散による信号歪を補償することができるため、非線形光学効果をさらに抑圧することが可能となる。

【0021】

具体的には、本発明の非線形光学効果抑圧方法は、複数の波長チャンネルの光信号が多重化された波長多重信号光を各波長チャンネルの光信号に分波し、各波長チャンネルの光信号を、前記波長多重信号光を伝搬した光ファイバ伝送路における各波長チャンネルの群遅延特性と逆特性の群遅延特性を有する媒質に通過させ、当該媒質を通過後の各波長チャンネルの光信号を合波する個別波長分散補償手順を有する。

30

【0022】

本発明の非線形光学効果抑圧方法は、個別波長分散補償手順を有するため、各波長チャンネルで異なる遅延量の遅延を付与することができる。このため、波長チャンネル間の相互作用によって生じる非線形光学効果を抑圧し、波長分割多重光伝送システムにおいて伝送可能距離の伸延を可能にすることができる。

【0023】

具体的には、本発明の光中継方法は、複数の波長チャンネルの光信号が多重化された波長多重信号光が光ファイバ伝送路から入力され、入力された前記波長多重信号光を増幅する第1光増幅手順と、前記第1光増幅手順で増幅後の波長多重信号光が入力され、本発明に係る非線形光学効果抑圧方法を用いて、前記光ファイバ伝送路で発生した非線形光学効果を抑圧する非線形光学効果抑圧手順と、前記非線形光学効果抑圧手順で非線形光学効果を抑圧した波長多重信号光を増幅する第2光増幅手順と、を有する。

40

【0024】

本発明の光中継方法は、光増幅手順を有するため、光ファイバ伝送路における信号損失を補償することができる。また、本発明の光中継方法は、非線形光学効果抑圧手順を有するため、波長チャンネル間の相互作用によって生じる非線形光学効果を抑圧することができる。したがって、本発明の光中継方法は、波長分割多重光伝送システムにおいて伝送可能

50

距離の伸延を可能にすることができる。

【 0 0 2 5 】

なお、上記各発明は、可能な限り組み合わせることができる。

【発明の効果】

【 0 0 2 6 】

本発明によれば、波長チャネル間の相互作用によって生じる非線形光学効果を抑圧し、波長分割多重光伝送システムにおいて伝送可能距離の伸延を可能にすることができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 7 】

【図 1】第一の実施形態に係る非線形光学効果抑圧器の構成例を示す。

10

【図 2】個別遅延付与部 1 1 を適用後の各波長チャネルの群遅延特性の一例を示す。

【図 3】遅延差 と伝送品質との関係の評価結果を示す。

【図 4】遅延量の方向と伝送品質の関係の評価結果を示す。

【図 5】波長分散の補償比率と伝送品質の関係の一例を示す。

【図 6】第四の実施形態に係る非線形光学効果抑圧器の構成例を示す。

【図 7】第四の実施形態に係る非線形光学効果抑圧器の群遅延特性の一例を示す。

【図 8】第四の実施形態に係る非線形光学効果抑圧器 1 0 2 を適用後の各波長チャネルの群遅延特性の一例を示す。

【図 9】第四の実施形態で示す非線形光学効果抑圧器 1 0 2 のデバイス構成例を示す。

【図 1 0】第四の実施形態で示す非線形光学効果抑圧機能を用いた波長選択スイッチの構成例を示す。

20

【図 1 1】個別遅延付与部 1 1 にて固定量の遅延を付与する構成における、各波長チャネルの群遅延特性の一例を示す。

【図 1 2】個別遅延付与部 1 1 にて可変量の遅延を付与する構成における、各波長チャネルの群遅延特性の一例を示す。

【図 1 3】第九の実施形態に係る非線形光学効果抑圧器の構成例を示す。

【図 1 4】第九の実施形態に係る非線形光学効果抑圧器 2 0 1 の群遅延特性の一例を示す。

【図 1 5】第九の実施形態に係る非線形光学効果抑圧器 2 0 1 を適用後の各波長チャネルの群遅延特性の一例を示す。

30

【図 1 6】第九の実施形態で示す非線形光学効果抑圧器 2 0 1 を実現するデバイスの構成例を示す。

【図 1 7】第一〇の実施形態で示す反射型液晶素子の位相変調量の一例を示す。

【図 1 8】第一〇の実施形態に係る非線形光学効果抑圧器 2 0 1 を適用後の各波長チャネルの群遅延特性の一例を示す。

【図 1 9】第一一の実施形態に係る波長選択スイッチの構成例を示す。

【図 2 0】第一二の実施形態に係る波長分割多重光伝送システムの構成例を示す。

【図 2 1】第一四の実施形態に係る波長分割多重光伝送システムの構成例を示す。

【図 2 2】第一六の実施形態に係る波長分割多重光伝送システムの構成例を示す。

【発明を実施するための形態】

40

【 0 0 2 8 】

添付の図面を参照して本発明の実施形態を説明する。以下に説明する実施形態は本発明の実施の例であり、本発明は、以下の実施形態に制限されるものではない。なお、本明細書及び図面において符号が同じ構成要素は、相互に同一のものを示すものとする。

【 0 0 2 9 】

(第一の実施形態)

本実施形態に係る非線形光学効果抑圧方法は、個別遅延付与手順を有する。本実施形態に係る非線形光学効果抑圧器の構成を図 1 に示す。本実施形態に係る非線形光学効果抑圧器 1 0 1 は、分波部 1 2、個別遅延付与部 1 1、合波部 1 3 によって構成される。

【 0 0 3 0 】

50

個別遅延付与手順では、非線形光学効果抑圧器 101 が以下のように動作する。

分波部 12 に、複数の波長チャネルの光信号が多重化された波長多重信号光が入力される。分波部 12 は、入力された波長多重信号光を各波長チャネルの光信号に分岐する。光信号の分岐数は、波長分割多重にて多重された波長チャネル数  $N$  と等しくする。個別遅延付与部 11<sub>1</sub> ~ 11<sub>N</sub> は、分波部 12 からの各波長チャネルの光信号に、各波長チャネルで異なる遅延量の遅延を付与する。例えば、個別遅延付与部 11<sub>1</sub> ~ 11<sub>N</sub> の遅延量は、それぞれ異なる。合波部 13 は、個別遅延付与部 11 からの各波長チャネルの光信号を合波する。これにより、遅延が付与された波長チャネルを合波し、再び元の波長分割多重信号を出力する。

#### 【0031】

図 2 に、個別遅延付与部 11 の遅延付与後の各波長チャネルの群遅延特性の一例を示す。波長チャネル  $CH1$  の群遅延と波長チャネル  $CH2$  の群遅延との間には、 $\Delta\tau$  の遅延差がある。このように、個別遅延付与部 11 は、隣接する波長チャネルとの間に  $\Delta\tau$  の遅延差がつくように遅延を付与する。

#### 【0032】

以上説明したように、非線形光学効果抑圧器 101 は、各波長チャネルで異なる遅延量の遅延を付与する。これにより、非線形光学効果を抑圧することができる。

#### 【0033】

(第二の実施形態)

第一の実施形態で示す個別遅延付与手順において、個別遅延付与部 11 は、波長チャネル毎に分岐した光信号に対し、隣接する波長チャネルとの間に  $\Delta\tau$  の遅延差がつくように遅延を付与する。遅延差  $\Delta\tau$  は、光信号のシンボル間隔  $T_s$  の半分以上の時間幅を有する遅延差が生じるように、 $T_s / 2$  ( $T_s$  は光信号のシンボル間隔) とする。

#### 【0034】

112 Gb/s の偏波多重四値位相変調 (DP-QPSK) 信号を分散シフトファイバで  $L$  帯伝送させた場合において、隣接する波長チャネルの間に付与する遅延差  $\Delta\tau$  と伝送品質との関係を実験により評価した結果を図 3 に示す。図 3 の結果より、波長チャネル間に付与する遅延差  $\Delta\tau$  は、光信号のシンボル間隔  $T_s = 35.7$  ps の半分である  $17.9$  ps 以上とすることで信号品質の改善が図られることが分かる。したがって、隣接する波長チャネルの間に付与する遅延差  $\Delta\tau$  は、 $T_s / 2$  ( $T_s$  は光信号のシンボル間隔) とする。 $T_s / 2$  である場合、隣接する波長チャネルの同じシンボルから受ける非線形光学効果の影響を抑えることができ、信号品質の改善が可能となる。

#### 【0035】

光学デバイスを用いて第一の実施形態で示す非線形光学効果抑圧器 101 を構成する場合において、隣接する波長チャネル間に遅延差  $\Delta\tau$  は、 $T_s / 2$  ( $T_s$  は光信号のシンボル間隔) の範囲において、実現するデバイスの設計に拠るものとする。

#### 【0036】

(第三の実施形態)

第一の実施形態で示す非線形光学効果抑圧器 101 の個別遅延付与部 11 において波長チャネル間に付与する遅延差  $\Delta\tau$  の方向は、光ファイバ伝送路 100 で生じた群遅延と同じ方向でも逆方向でも構わない。128 Gb/s の偏波多重四値位相変調信号において、波長チャネル間に付与する遅延量の方向と伝送品質の関係を計算機シミュレーションで評価した結果を図 4 に示す。

#### 【0037】

図 4 の各プロットに関しては、黒丸は群遅延と同じ方向に遅延差を付与した場合、白丸は群遅延と逆方向に遅延差を付与した場合の評価結果である。図 4 の結果より、光信号のシンボル間隔  $T_s = 31.3$  ps の半分である  $15.6$  ps では、遅延差を付与する方向による伝送品質の差は生じない。したがって、波長チャネル間に付与する波長チャネル間の遅延差  $\Delta\tau$  を  $T_s / 2$  ( $T_s$  は光信号のシンボル間隔) とする場合、遅延差を付与する方向による伝送品質の差は生じない。波長チャネル間の遅延差  $\Delta\tau$  を光ファイバ伝

10

20

30

40

50

送路 100 で生じた群遅延と逆方向に付与する場合、波長分割多重光伝送システム全体の伝送遅延を抑えることが可能である。

【0038】

(第四の実施形態)

光ファイバ伝送路において生じた各波長チャネルの波長分散は、第二の実施形態で示す非線形光学効果抑圧器において補償することが望ましい。この場合、共通波長分散補償手順を、第二の実施形態で示す個別遅延付与手順の前にさらに有する。共通波長分散補償手順では、光ファイバ伝送路 100 の群遅延特性と逆特性の群遅延特性を有する媒質を、波長多重信号光に通過させる。

【0039】

中継系にて光ファイバ伝送路で生じる波長分散を補償する場合において、波長分散の補償比率と伝送品質の関係を図 5 に示す。図 5 の通り、光ファイバ伝送路にて生じる波長分散の蓄積を完全に補償し、波長分散による信号歪を補償することで、光信号のピークパワーを抑圧し、非線形光学効果をさらに抑圧することが可能となる。

【0040】

波長分散補償機能を備えた構成による非線形光学効果抑圧器の概要を図 6 に示す。図 6 で示す非線形光学効果抑圧器 102 は共通波長分散補償部 14、分波部 12、個別遅延付与部 11、合波部 13 によって構成される。共通波長分散補償部 14 は光ファイバ伝送路 100 の群遅延特性と逆特性の群遅延特性を有する。これにより、共通波長分散補償部 14 において光ファイバ伝送路 100 にて生じる波長分散の蓄積を完全に補償する。

【0041】

分波部 12、個別遅延付与部 11 及び合波部 13 の機能及び動作は、第一の実施形態及び第二の実施形態において述べたとおりである。すなわち、分波部 12 では波長多重信号光を各波長チャネルの光信号に分岐させる。光信号の分岐数は、波長分割多重にて多重された波長チャネル数  $N$  と等しくする。個別遅延付与部 11 においては、分岐した波長チャネル間に遅延差を付与し、合波部 13 では、遅延が付与された波長チャネルを合波し、再び元の波長多重信号光を出力する。

【0042】

図 7 に、本実施形態に係る非線形光学効果抑圧器 102 の群遅延特性の一例を示す。共通波長分散補償部 14 を備えるため、非線形光学効果抑圧器 102 の群遅延特性は、光ファイバ伝送路 100 にて生じる群遅延とは逆の群遅延特性を有する。図 8 に、本実施形態に係る非線形光学効果抑圧器 102 を適用後の各波長チャネルの群遅延特性の一例を示す。共通波長分散補償部 14 を備えるため、各チャネル内における波長分散も完全に補償することができる。これにより、非線形光学効果をさらに抑圧することが可能となる。

【0043】

(第五の実施形態)

第四の実施形態で示す非線形光学効果抑圧器 102 のデバイス構成例を図 9 に示す。図 9 では、共通波長分散補償部 14 として導波路型分散補償器を用い、分波部 12 及び合波部 13 として回折格子を用いる。光信号が光ファイバ伝送路で受けた波長分散を導波路型分散補償器 14 において補償した後、分波部 12 としての回折格子で  $N$  本の波長チャネル毎に分岐する。分岐した波長チャネルに対して、各々が通過する導波路の光路長に応じて波長チャネル間に遅延差を与える。は、 $T_s / 2$  ( $T_s$  は光信号のシンボル間隔) とする。遅延差を与えた波長チャネルを再び合波部 13 としての回折格子で合波し、出力ポートに波長多重信号光を出力する。

【0044】

共通波長分散補償部 14 及び個別遅延付与部 11 をプレーナ光波回路にて構成することで、1 枚の光波回路の基板に非線形光学効果抑圧器 102 の機能部を集積することが可能となる。共通波長分散補償部 14 は、図 9 にて示す導波路型分散補償器の構成の他、導波路の屈折率特性を調整することによる分散補償器の構成もありうる。

【0045】

10

20

30

40

50

## (第六の実施形態)

第四の実施形態で示す非線形光学効果抑圧器 102 を用いた波長選択スイッチの構成を図 10 に示す。当該波長選択スイッチは、共通波長分散補償部 14、分波部 12、 $1 \times N$  スイッチ 15、個別遅延付与部 11、合波部 13 によって構成される。ただし、 $N$  は波長多重信号光の波長チャンネル数とする。 $M$ 、 $L$ 、 $K$  は各々の出力ポートに多重される波長チャンネル数とする。

## 【0046】

波長選択スイッチに入力された光信号が光ファイバ伝送路 100 から受けた波長分散を共通波長分散補償部 14 にて補償し、分波部 12 にて波長多重信号光を各波長チャンネルの光信号に分岐する。分岐した各々の波長チャンネルに対して、 $1 \times N$  スイッチ 15 によって各波長チャンネルの出力ポートを選択した後、個別遅延付与部 11 にて同一のポートに出力される複数の波長チャンネルの間に遅延差を付与する。合波部 13 は、遅延差を与えた光信号を、同一のポートに出力される複数の波長チャンネルの光信号同士で合波し、各出力ポートに波長多重信号光を出力する。

10

## 【0047】

## (第七の実施形態)

第六の実施形態において、個別遅延付与部 11 において各波長チャンネルに付与する遅延差が固定値である場合、各波長チャンネルに付与する遅延差は波長分割多重グリッドの隣接チャンネルとの間に対して遅延差を付与するものとし、 $T_s / 2$  ( $T_s$  は光信号のシンボル間隔) とする。個別遅延付与部 11 にて固定量の遅延を付与する構成において、各波長チャンネルの群遅延特性を図 11 に示す。

20

## 【0048】

## (第八の実施形態)

第六の実施形態において、個別遅延付与部 11 において各波長チャンネルに付与する遅延差を可変に制御可能である場合、同一出力ポートへ出力される波長チャンネルの間に対して遅延差を付与するものとし、 $T_s / 2$  ( $T_s$  は光信号のシンボル間隔) とする。各波長チャンネルに付与する遅延量は  $1 \times N$  スイッチ 15 の出力ポートを切り替えるたびに再設定される。波長分割多重グリッド上の隣接チャンネルが同一出力ポートへ出力されない場合、次に近い波長チャンネルの間に対して遅延差を付与する。

30

## 【0049】

個別遅延付与部 11 にて可変量の遅延を付与する構成において、出力ポート数が 2 の場合における各波長チャンネルの群遅延特性を図 12 に示す。図 12 (a) は出力ポート 1 における群遅延特性を示し、図 12 (b) は出力ポート 2 における群遅延特性を示す。出力ポート 1 からは波長チャンネル CH1 及び CH3 の光信号を出力し、出力ポート 2 からは波長チャンネル CH2 及び CH4 の光信号を出力する。この場合、波長チャンネル CH1 及び CH3 は遅延差を有し、波長チャンネル CH2 及び CH4 は遅延差を有する。図 12 の構成を採用することで、第七の実施形態で示した構成と比較し、各波長チャンネルに付与する遅延量の絶対値を低く抑えることが可能となる。

## 【0050】

## (第九の実施形態)

本実施形態に係る非線形光学効果抑圧方法は、個別波長分散補償手順を有する。本実施形態に係る非線形光学効果抑圧器の構成を図 13 に示す。本実施形態に係る非線形光学効果抑圧器 201 は、分波部 22、個別波長分散補償部 21、合波部 23 によって構成される。

40

## 【0051】

個別波長分散補償手順では、非線形光学効果抑圧器 201 が以下のように動作する。本実施形態に係る非線形光学効果抑圧器 201 は、波長チャンネルごとに波長分散補償を行う。本実施形態に係る非線形光学効果抑圧器 201 は、分波部 22、個別波長分散補償部 21、合波部 23 によって構成される。

## 【0052】

50

分波部 2 2 は、波長多重信号光を各波長チャンネルの光信号に分岐する。個別波長分散補償部 2 1 は、分波された波長チャンネル毎に備えられた個別波長分散補償部  $2 1_1 \sim 2 1_N$  を備える。個別波長分散補償部  $2 1_1 \sim 2 1_N$  は、分波部 2 2 からの各波長チャンネルの光信号を、各波長チャンネルの群遅延特性とは逆の特性となるような波長分散特性を有する媒質に通過させる。これにより、個別波長分散補償部 2 1 は、分岐した各波長チャンネルに対して、個別波長分散補償部 2 1 にて光信号が光ファイバ伝送路 1 0 0 中で受けた波長分散を補償する。合波部 2 3 は、波長分散を補償された波長チャンネルを合波し、再び元の波長多重信号光を出力する。

#### 【 0 0 5 3 】

図 1 4 に、本実施形態に係る非線形光学効果抑圧器 2 0 1 の群遅延特性の一例を示す。図 1 5 に、本実施形態に係る非線形光学効果抑圧器 2 0 1 を適用後の各波長チャンネルの群遅延特性の一例を示す。当該本実施形態の構成においては、光ファイバ伝送路 1 0 0 中で各波長チャンネルに生じた群遅延差が波長分散の補償を行った後も保存される。このため、光ファイバ伝送路 1 0 0 中で生じた群遅延差が十分大きければ、個別遅延付与部 1 1 を備えなくても同様の群遅延特性を得ることが可能である。

10

#### 【 0 0 5 4 】

( 第一〇の実施形態 )

第九の実施形態で示す非線形光学効果抑圧器 2 0 1 を実現するデバイスの構成例を図 1 6 に示す。本実施形態に係る非線形光学効果抑圧器 2 0 1 は、サーキュレータ 3 1 と、回折格子 3 2 と、コリメータ 3 3 と、反射型液晶素子 3 4 と、を備える。回折格子 3 2 は合波部 2 2 及び分波部 2 3 として機能し、反射型液晶素子 3 4 が個別波長分散補償部 2 1 として機能する。

20

#### 【 0 0 5 5 】

サーキュレータ 3 1 は、入力ポートから入力された波長多重信号光を回折格子 3 2 に入射させる。回折格子 3 2 は、波長多重信号光を各波長チャンネルの光信号に分岐する。コリメータ 3 3 は、空間にて分岐された波長チャンネルの光信号を平行光にして反射型液晶素子 3 4 に入射させる。反射型液晶素子 3 4 は、各波長チャンネルに位相変調を与えることによって、光ファイバ伝送路中で付加された波長分散の補償を行う。回折格子 3 2 は、反射型液晶素子 3 4 にて反射された波長チャンネルの光信号を再び合波し、波長多重信号光として出力する。

30

#### 【 0 0 5 6 】

図 1 7 に、反射型液晶素子 3 4 の位相変調量の一例を示す。図 1 7 では、波長チャンネル CH 1、波長チャンネル CH 2、波長チャンネル CH 3 となるに従って、波長方向の位相変調量の変化が急峻となっている。反射型液晶素子 3 4 で与えられる位相変調量の波長方向の変化量は二次関数で表されるため、その比例定数を変えることで補償する分散量を変化させることができる。

#### 【 0 0 5 7 】

図 1 8 に、非線形光学効果抑圧器 2 0 1 を適用後の各波長チャンネルの群遅延特性の一例を示す。位相変調による波長分散補償では各波長チャンネルに対して独立に波長分散補償を行うことが可能であるため、波長チャンネル間の群遅延差を保存することができる。このため、各波長チャンネルで異なる遅延量の遅延を付与し、非線形光学効果を抑圧することができる。

40

#### 【 0 0 5 8 】

( 第一一の実施形態 )

図 1 9 に、本実施形態に係る波長選択スイッチの構成例を示す。本実施形態に係る波長選択スイッチ 2 0 2 は、第九の実施形態で示す非線形光学効果抑圧器 2 0 1 を用いる。波長選択スイッチ 2 0 2 は、分波部 2 2、個別波長分散補償部 2 1、 $1 \times N$  スイッチ 2 5、合波部 2 3 によって構成される。ただし、N は波長多重信号光の波長チャンネル数とする。分波部 2 2 は、波長多重信号光を各波長チャンネルの光信号に分岐する。個別波長分散補償部 2 1 は、分岐した各波長チャンネルに対して、光信号が光ファイバ伝送路 1 0 0 中で受け

50

た波長分散を補償する。1×Nスイッチ25は、各波長チャネルの出力ポートを選択する。合波部23は、同一のポートに出力される波長チャネルを合波し、各出力ポートに波長多重信号光を出力する。

【0059】

(第一二の実施形態)

本実施形態に係る波長分割多重光伝送システムの構成を図20に示す。本実施形態に係る波長分割多重光伝送システムは、送信ノード110から受信ノード120に波長多重信号光を送信する際に、光中継装置である中継ノード130において波長チャネル間の非線形光学効果の抑圧を行う。中継ノード130は、局舎間などの中長距離伝送路に挿入されるノードである。

10

【0060】

中継ノード130は、本実施形態に係る光中継方法を用いて波長多重信号光を中継する。例えば、中継ノード130は、第1光増幅器132と、本発明に係る非線形光学効果抑圧器131と、第2光増幅器133と、を備える。図20に示す光中継方法は、第1光増幅手順と、非線形光学効果抑圧手順と、第2光増幅手順と、を順に有する。非線形光学効果抑圧手順において、第四の実施形態ないし第九の実施形態で示す非線形光学効果抑圧器を用いることで、非線形光学効果を抑圧する。

【0061】

第1光増幅手順では、第1光増幅器132は、複数の波長チャネルの光信号が多重化された波長多重信号光が光ファイバ伝送路100から入力され、入力された波長多重信号光を増幅する。これにより、第1光増幅器132は、光ファイバ伝送路100で累積した信号損失を第1光増幅器132で補償する。

20

【0062】

非線形光学効果抑圧手順では、非線形光学効果抑圧器131は、非線形光学効果抑圧器にて波長チャネル間の相互作用によって生じる非線形光学効果の抑圧を行う。非線形光学効果抑圧器131は第四の実施形態ないし第九の実施形態の構成を取り、光ファイバ伝送路100で累積した波長分散の補償を行う。その後、第四の実施形態を用いた構成においては、各波長チャネル間に遅延差を付与する。遅延差は、 $T_s / 2$  ( $T_s$ は光信号のシンボル間隔)とする。

【0063】

第2光増幅手順では、第2光増幅器133は、非線形光学効果抑圧器131からの波長多重信号光を増幅する。

30

なお、本実施形態では、第1光増幅手順と、非線形光学効果抑圧手順と、第2光増幅手順と、を順に行ったが、これに限られない。例えば、第1光増幅手順と、非線形光学効果抑圧手順とを順に行ってもよいし、非線形光学効果抑圧手順と、第2光増幅手順とを順に行ってもよい。

【0064】

(第一三の実施形態)

第一二の実施形態において、隣接する波長チャネルで異なるシンボルレートの光信号が多重されている場合は、非線形光学効果抑圧手順において、非線形光学効果抑圧器131は、最もシンボル間隔が広い信号フォーマットの半シンボル分の遅延を付与する。例えば、10Gb/s、40Gb/s、100Gb/sの信号ビットレートが混在する波長分割多重光伝送システムにおいて、波長チャネル間に付与する遅延差は、10Gb/sの光信号におけるシンボル間隔の半分である50psとなる。

40

【0065】

(第一四の実施形態)

図21に、本実施形態に係る波長分割多重光伝送システムの構成例を示す。本実施形態に係る波長分割多重光伝送システムは、第六の実施形態ないし第一の実施形態で示す波長選択スイッチ103又は202を用い、光アドドロップマルチプレクサにおいて波長チャネル間の非線形光学効果抑圧を行う。光ノード140においては、光ファイバ伝送路1

50

00で累積した信号損失を光増幅器141で補償し、光アドドロップマルチプレクサにおける波長パスの挿入・通過・分岐を行う波長選択スイッチ143に第六の実施形態ないし第一の実施形態の波長選択スイッチ103又は202を用い、各光ノード140において、光ファイバ伝送路100を伝送中に波長パスに付加された波長分散の補償を行う。その後、第六の実施形態を用いた構成においては、当該光ノード140を通過する波長パスに対して、波長チャンネル間に遅延差を付与する。遅延差は、 $T_s / 2$  ( $T_s$ は光信号のシンボル間隔)とする。

#### 【0066】

(第一五の実施形態)

第一四の実施形態において、隣接する波長チャンネルで異なるシンボルレートの光信号が多重されている場合は、最もシンボル間隔が広い信号フォーマットの半シンボル分の遅延を付与する。例えば、 $10\text{Gb/s}$ 、 $40\text{Gb/s}$ 、 $100\text{Gb/s}$ の信号ビットレートが混在する波長分割多重光伝送システムにおいて、波長チャンネル間に付与する遅延差は、 $10\text{Gb/s}$ の光信号におけるシンボル間隔の半分である $50\text{ps}$ となる。

10

#### 【0067】

(第一六の実施形態)

図22に、本実施形態に係る波長分割多重光伝送システムの構成例を示す。本実施形態に係る波長分割多重光伝送システムは、第六の実施形態ないし第一の実施形態で示す波長選択スイッチ103又は202を用い、光クロスコネクタにおいて波長チャンネル間の非線形光学効果抑圧を行う。光ノード150においては、光ファイバ伝送路100で累積した信号損失を光増幅器155~158で補償し、光クロスコネクタにおける波長パスの経路切替を行う波長選択スイッチ151~154に第六の実施形態ないし第一の実施形態の波長選択スイッチ103又は202を用い、各光ノード150において、光ファイバ伝送路100を伝送中に波長パスに付加された波長分散の補償を行う。その後、第六の実施形態を用いた構成においては、当該光ノード150を通過する波長パスに対して、波長チャンネル間に遅延差を付与する。遅延差は、 $T_s / 2$  ( $T_s$ は光信号のシンボル間隔)とする。

20

#### 【0068】

(第一七の実施形態)

第一六の実施形態において、隣接する波長チャンネルで異なるシンボルレートの光信号が多重されている場合は、最もシンボル間隔が広い信号フォーマットの半シンボル分の遅延を付与する。例えば、 $10\text{Gb/s}$ 、 $40\text{Gb/s}$ 、 $100\text{Gb/s}$ の信号ビットレートが混在する波長分割多重光伝送システムにおいて、波長チャンネル間に付与する遅延差は、 $10\text{Gb/s}$ の光信号におけるシンボル間隔の半分である $50\text{ps}$ となる。

30

#### 【産業上の利用可能性】

#### 【0069】

本発明は、情報通信産業に適用することができる。

#### 【符号の説明】

#### 【0070】

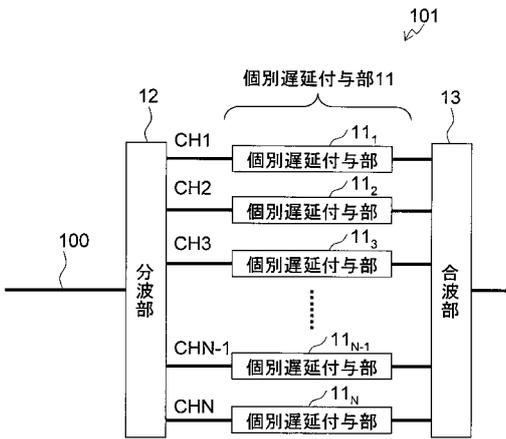
- 11、11<sub>1</sub>、11<sub>2</sub>、11<sub>3</sub>、11<sub>N-1</sub>、11<sub>N</sub>：個別遅延付与部
- 12、22：分波部
- 13、13<sub>1</sub>、13<sub>2</sub>、13<sub>N</sub>、23：合波部
- 14：共通波長分散補償部
- 15、15<sub>1</sub>、15<sub>2</sub>、15<sub>N</sub>、25、25<sub>1</sub>、25<sub>2</sub>、25<sub>N</sub>：1×Nスイッチ
- 21、21<sub>1</sub>、21<sub>2</sub>、21<sub>3</sub>、21<sub>N-1</sub>、21<sub>N</sub>：個別波長分散補償部
- 31：サーキュレータ
- 32：回折格子
- 33：コリメータ
- 34：反射型液晶素子
- 100：光ファイバ伝送路

40

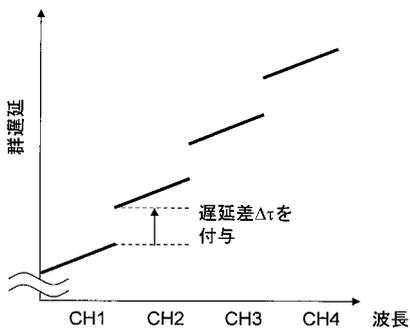
50

- 1 0 1、1 0 2、1 2 1、1 3 1、2 0 1 : 非線形光学効果抑圧器
- 1 0 3、1 4 3、1 5 1、1 5 2、1 5 3、1 5 4、2 0 2 : 波長選択スイッチ
- 1 1 0 : 送信ノード
- 1 1 1 : 送信器
- 1 1 2 : 合波器
- 1 1 3、1 2 2、1 4 1、1 4 4、1 5 5、1 5 6、1 5 7、1 5 8 : 光増幅器
- 1 2 0 : 受信ノード
- 1 2 3 : 分波器
- 1 2 4 : 受信器
- 1 3 0 : 中継ノード
- 1 3 2 : 第1光増幅器
- 1 3 3 : 第2光増幅器
- 1 4 0、1 5 0 : 光ノード

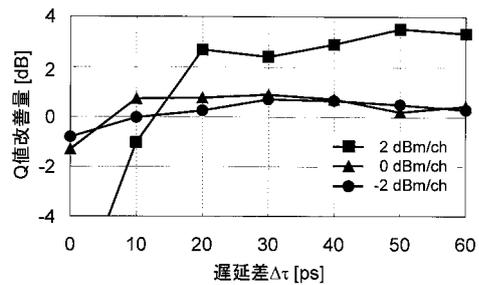
【 図 1 】



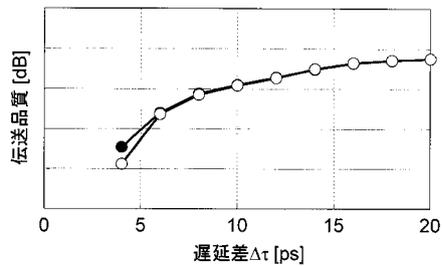
【 図 2 】



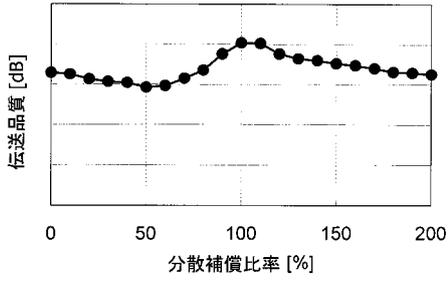
【 図 3 】



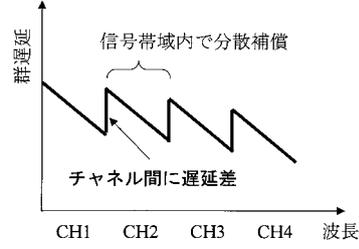
【 図 4 】



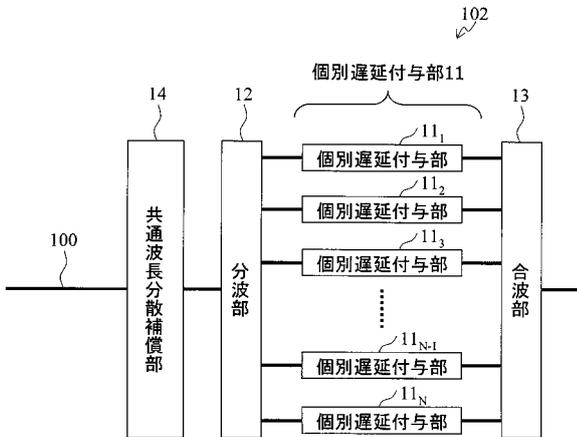
【図5】



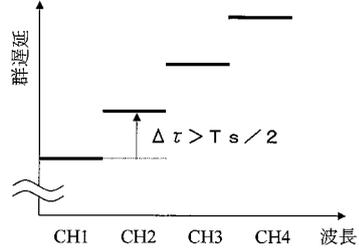
【図7】



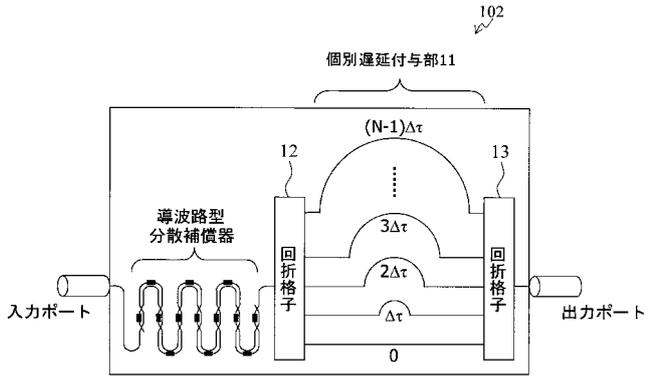
【図6】



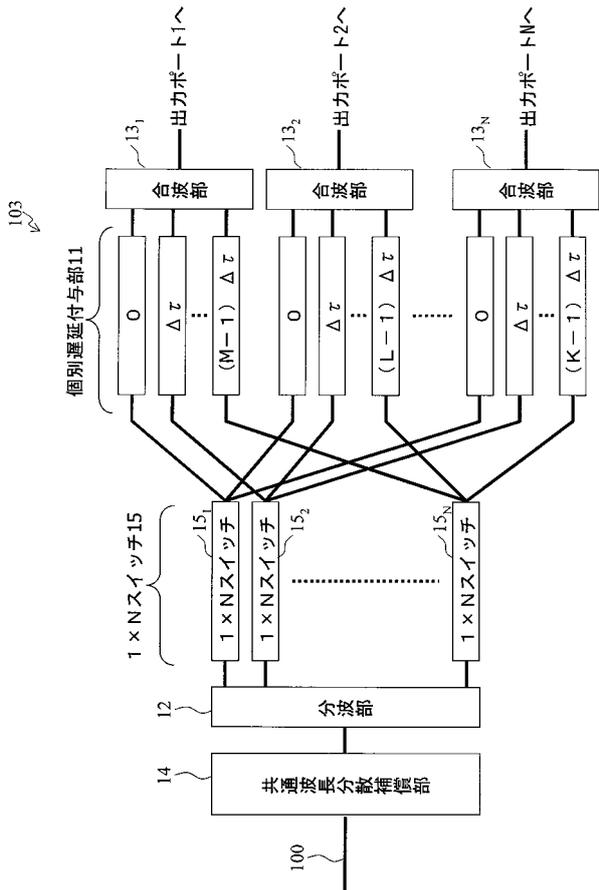
【図8】

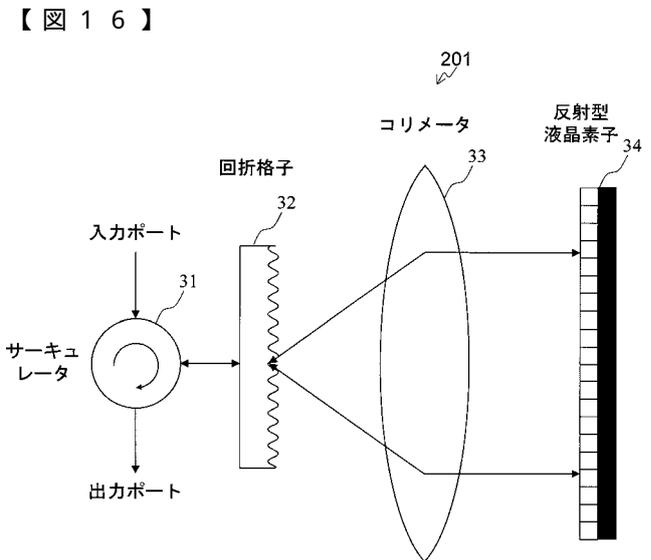
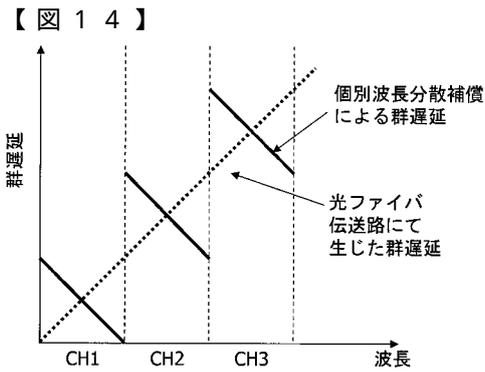
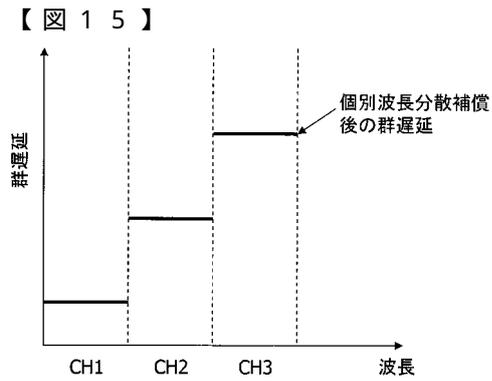
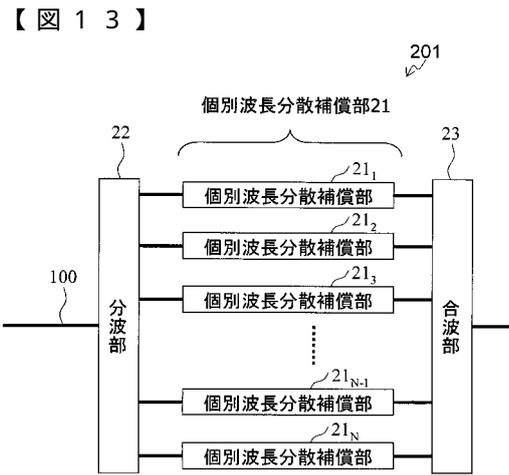
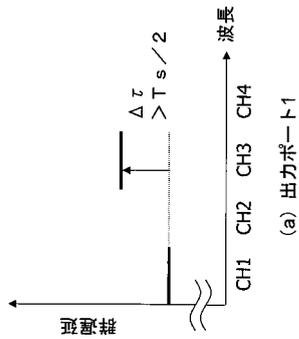
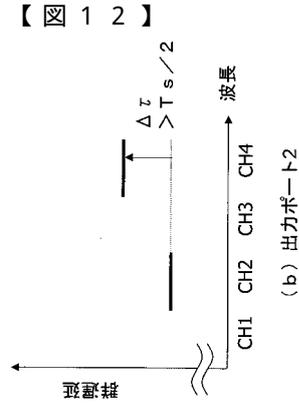
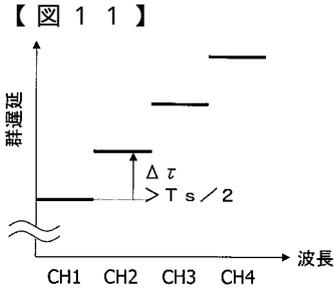


【図9】

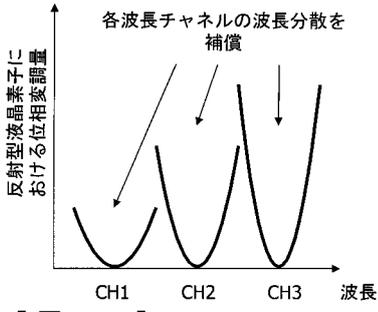


【図10】

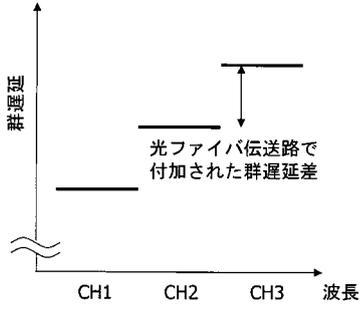




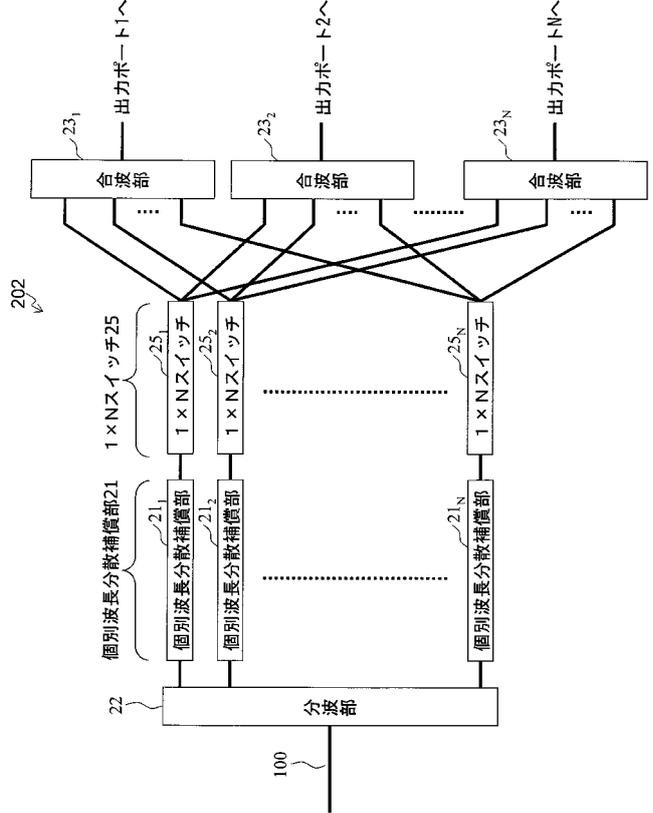
【図 17】



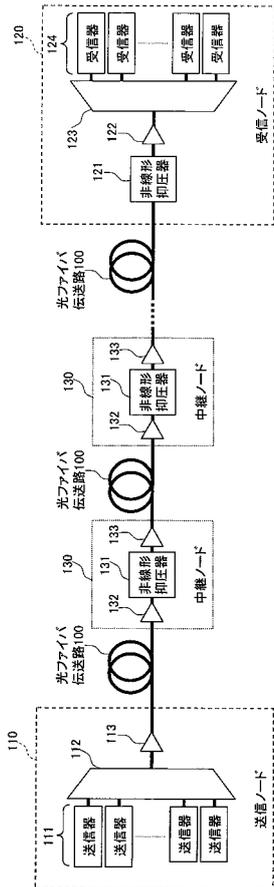
【図 18】



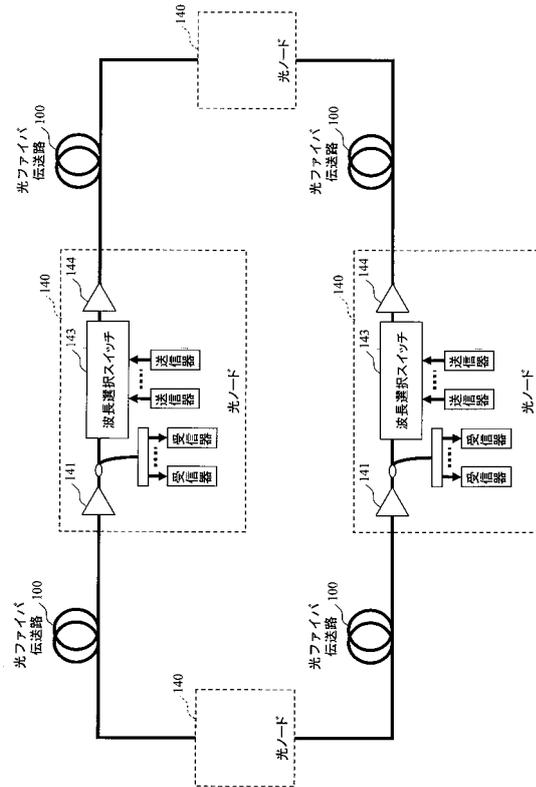
【図 19】



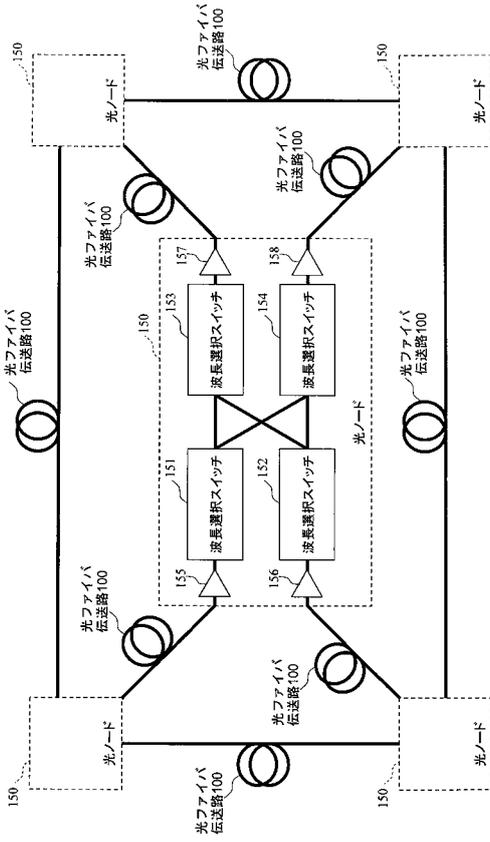
【図 20】



【図 21】



【図 22】



## フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I テーマコード(参考)  
H 0 4 B 10/17 (2006.01)  
H 0 4 B 10/16 (2006.01)  
G 0 2 F 1/061 (2006.01)

(72)発明者 福德 光師  
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

(72)発明者 富沢 将人  
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

Fターム(参考) 2H079 AA02 AA12 BA03 CA04 DA08 EA11 GA04 KA01 KA08 KA20  
5K102 AA01 AD01 AH23 AH24 AH27 KA02 KA06 KA33 KA42 PA02  
PC02 PD14 PH11 PH41 PH47 PH48 RB01 RB02 RB11 RB12