

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4463808号
(P4463808)

(45) 発行日 平成22年5月19日 (2010. 5. 19)

(24) 登録日 平成22年2月26日 (2010. 2. 26)

(51) Int. Cl.	F I
HO 4 J 14/00 (2006. 01)	HO 4 B 9/00 E
HO 4 J 14/02 (2006. 01)	HO 4 B 9/00 G
HO 4 B 10/24 (2006. 01)	HO 4 B 9/00 M
HO 4 B 10/02 (2006. 01)	
HO 4 B 10/18 (2006. 01)	

請求項の数 15 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2006-511779 (P2006-511779)	(73) 特許権者	000005223
(86) (22) 出願日	平成17年3月31日 (2005. 3. 31)		富士通株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2005/006234		神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(87) 国際公開番号	W02005/096534	(74) 代理人	100078330
(87) 国際公開日	平成17年10月13日 (2005. 10. 13)		弁理士 笹島 富二雄
審査請求日	平成18年5月15日 (2006. 5. 15)	(72) 発明者	及川 陽一
(31) 優先権主張番号	特願2004-101764 (P2004-101764)		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
(32) 優先日	平成16年3月31日 (2004. 3. 31)	(72) 発明者	豊巻 崇
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		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
(31) 優先権主張番号	特願2004-262153 (P2004-262153)	(72) 発明者	大塚 友行
(32) 優先日	平成16年9月9日 (2004. 9. 9)		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
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 低密度波長多重光伝送システムおよび低密度波長多重光伝送方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

低密度波長多重方式に対応した第1波長グリッド上に配置される複数の光信号を発生する複数の第1光送信器および該各第1光送信器から出力される光信号を合波して低密度波長多重光を伝送路に送出する第1合波器を有する光送信端局と、該光送信端局から伝送路を介して伝えられる低密度波長多重光を分波する第1分波器および該第1分波器から出力される各波長の光信号を受信する複数の第1光受信器を有する光受信端局と、を備えた低密度波長多重光伝送システムにおいて、

前記第1波長グリッド上の複数の波長を増設波長に設定し、

前記光送信端局は、2波以上の増設波長に対応する前記第1光送信器に代えて、高密度波長多重方式に対応した第2波長グリッド上において前記第1合波器の前記増設波長を含む通過帯域内に配置される複数の光信号を発生する複数の第2光送信器と、該各第2光送信器から出力される光信号を合波した高密度波長多重光を生成することが可能な第2合波器と、を有する増設光送信ユニットを設けると共に、該増設光送信ユニットから出力される高密度波長多重光を前記2波以上の増設波長にそれぞれ対応した成分に分波して前記第1合波器に出力する第3分波器と、前記増設光送信ユニットから前記第3分波器および前記第1合波器を介して伝送路に送出される高密度波長多重光のトータルパワーが前記増設波長以外に対応した前記第1光送信器から出力される光信号の1波長あたりのパワーに略等しくなるように、前記増設光送信ユニットから出力される高密度波長多重光を減衰させる光減衰器を備え、

10

20

前記光受信端局は、2波以上の増設波長に対応する前記第1光受信器に代えて、前記第1分波器から出力される2波以上の増設波長にそれぞれ対応した高密度波長多重光を合波する第3合波器と、該第3合波器から出力される高密度波長多重光を分波する第2分波器と、該第2分波器から出力される各波長の光信号を受信する複数の第2光受信器と、を有する増設光受信ユニットを設けると共に、前記光減衰器の減衰量に応じた利得で前記第3合波器から出力される高密度波長多重光を増幅する光増幅器を備えたことを特徴とする低密度波長多重光伝送システム。

【請求項2】

請求項1に記載の低密度波長多重光伝送システムであって、

前記第1波長グリッドは、20nmの波長間隔を有することを特徴とする低密度波長多重光伝送システム。

10

【請求項3】

請求項2に記載の低密度波長多重光伝送システムであって、

前記第1波長グリッド上に配置される複数の光信号の波長が1530nmおよび1550nmを含むとき、

前記増設波長として1530nmおよび1550nmを設定し、当該増設波長に対応する前記増設光送信ユニットおよび前記増設光受信ユニットとしてCバンド用のユニットをそれぞれ使用することを特徴とする低密度波長多重光伝送システム。

【請求項4】

請求項2に記載の低密度波長多重光伝送システムであって、

前記第1波長グリッド上に配置される複数の光信号の波長が1570nm、1590nmおよび1610nmを含むとき、

前記増設波長として1570nm、1590nmおよび1610nmのうちの少なくとも2波長を設定し、当該増設波長に対応する前記増設光送信ユニットおよび前記増設光受信ユニットとしてLバンド用のユニットをそれぞれ使用することを特徴とする低密度波長多重光伝送システム。

20

【請求項5】

請求項2に記載の低密度波長多重光伝送システムであって、

前記第1波長グリッド上に配置される複数の光信号の波長が1530nm、1550nm、1570nm、1590nmおよび1610nmを含むとき、

前記増設波長として1530nmおよび1550nmを設定し、当該増設波長に対応する前記増設光送信ユニットおよび前記増設光受信ユニットとしてCバンド用のユニットをそれぞれ使用すると共に、

前記増設波長として1570nm、1590nmおよび1610nmのうちの少なくとも2波長を設定し、当該増設波長に対応する前記増設光送信ユニットおよび前記増設光受信ユニットとしてLバンドに対応したユニットをそれぞれ使用することを特徴とする低密度波長多重光伝送システム。

30

【請求項6】

請求項1に記載の低密度波長多重光伝送システムであって、

前記伝送路に分散シフトファイバが用いられるとき、

前記第1波長グリッド上に配置される複数の光信号の波長のうちのLバンド内にある波長を増設波長に設定することを特徴とする低密度波長多重光伝送システム。

40

【請求項7】

請求項1に記載の低密度波長多重光伝送システムであって、

前記第2波長グリッドは、0.8nmの波長間隔を有することを特徴とする低密度波長多重光伝送システム。

【請求項8】

請求項1に記載の低密度波長多重光伝送システムであって、

前記第2波長グリッドは、0.4nmの波長間隔を有することを特徴とする低密度波長多重光伝送システム。

50

【請求項 9】

低密度波長多重方式に対応した第 1 波長グリッド上に配置される複数の光信号を複数の第 1 光送信器で発生し、該各第 1 光送信器から出力される光信号を第 1 合波器で合波した低密度波長多重光を伝送路に送出し、該伝送路を伝送された低密度波長多重光を第 1 分波器で分波し、該分波された各波長の光信号を複数の第 1 光受信器で受信する低密度波長多重光伝送方法において、

前記第 1 波長グリッド上の複数の波長を増設波長に設定し、

送信側では、2 波以上の増設波長に対応する前記第 1 光送信器から前記第 1 合波器に出力される光信号に代えて、高密度波長多重方式に対応した第 2 波長グリッド上において前記第 1 合波器の前記増設波長を含む通過帯域内に配置される複数の光信号を複数の第 2 光送信器で発生し、該各第 2 光送信器から出力される光信号を第 2 合波器で合波した高密度波長多重光を、第 3 分波器で前記 2 波以上の増設波長にそれぞれ対応した成分に分波して前記第 1 合波器に出力すると共に、前記第 3 分波器および前記第 1 合波器を介して伝送路に送出される高密度波長多重光のトータルパワーが前記増設波長以外に対応した前記第 1 光送信器から出力される光信号の 1 波長あたりのパワーに略等しくなるように、前記高密度波長多重光を光減衰器で減衰させ、

受信側では、2 波以上の増設波長に対応する前記第 1 光受信器で光信号を受信するのに代えて、前記第 1 分波器から出力される 2 波以上の増設波長にそれぞれ対応した高密度波長多重光を第 3 合波器で合波し、該第 3 合波器から出力される高密度波長多重光を第 2 分波器で分波し、該分波された各波長の光信号を複数の第 2 光受信器で受信すると共に、前記第 3 合波器から出力される前記高密度波長多重光を光増幅器により前記光減衰器の減衰量に応じた利得で増幅することを特徴とする低密度波長多重光伝送方法。

【請求項 10】

請求項 9 に記載の低密度波長多重光伝送方法であって、

前記第 1 波長グリッド上に配置し得る最大の信号数を越えた光信号の増設を可能とする光通信サービスを行うことを特徴とする低密度波長多重光伝送方法。

【請求項 11】

請求項 1 に記載の低密度波長多重光伝送システムであって、

前記第 1 波長グリッド上に配置される複数の光信号の波長のうちの 1530 nm および 1550 nm の少なくとも 1 波長を増設波長に設定し、

前記複数の第 2 光送信器は、高密度波長多重方式に対応した第 2 波長グリッド上において前記第 1 合波器の前記増設波長を含む通過帯域内に不等間隔に配置される 3 波または 4 波の光信号を発生することを特徴とする低密度波長多重光伝送システム。

【請求項 12】

請求項 11 に記載の低密度波長多重光伝送システムであって、

前記光送信端局は、1530 nm および 1550 nm の各増設波長に対して前記第 2 波長グリッド上にそれぞれ 4 波の光信号を配置するとき、当該 4 波の光信号の周波数間隔の組み合わせを 200 GHz、300 GHz および 400 GHz としたことを特徴とする低密度波長多重光伝送システム。

【請求項 13】

請求項 11 に記載の低密度波長多重光伝送システムであって、

前記光送信端局は、1530 nm および 1550 nm の各増設波長に対して前記第 2 波長グリッド上にそれぞれ 4 波の光信号を配置するとき、1530 nm の増設波長に対応した 4 波の光信号の周波数間隔の組み合わせを 200 GHz、300 GHz および 400 GHz とし、1550 nm の増設波長に対応した 4 波の光信号の周波数間隔の組み合わせを 300 GHz、400 GHz および 500 GHz としたことを特徴とする低密度波長多重光伝送システム。

【請求項 14】

請求項 11 に記載の低密度波長多重光伝送システムであって、

前記複数の第 2 光送信器は、半導体外部変調器付 DFB レーザを含むことを特徴とする

低密度波長多重光伝送システム。

【請求項15】

請求項9に記載の低密度波長多重光伝送方法であって、

前記第1波長グリッド上に配置される複数の光信号の波長のうちの1530nmおよび1550nmの少なくとも1波長を増設波長に設定し、

送信側では、前記増設波長に対応する前記第1光送信器から前記第1合波器に出力される光信号に代えて、高密度波長多重方式に対応した第2波長グリッド上において前記第1合波器の前記増設波長を含む通過帯域内に不等間隔に配置される3波または4波の光信号を複数の第2光送信器で発生することを特徴とする低密度波長多重光伝送方法。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、波長の異なる複数の光信号を含んだ波長多重光を光ファイバを用いて伝送する光伝送システムおよび光伝送方法に関し、特に、低密度波長多重方式において光信号を増設するための技術に関する。

【背景技術】

【0002】

波長間隔が0.8nm、さらにはその半分の0.4nmの複数の光信号を扱う高密度波長多重(Dense wavelength division multiplexing; 以下、DWDMとする)システムは、伝送容量を飛躍的に増大できる通信システムとして開発および実用化が進められてきて20

【0003】

そこで、高い精度の波長管理が不要になる程度に光信号の波長間隔を広げて、信号数が少数のWDMシステムを低価格で実現するシステムが切望されるようになり、最近、20nmの波長間隔で8波の光信号(8チャンネル)まで扱うことができる低密度波長多重(Coarse Wavelength Division Multiplexing; 以下CWDMとする)システムが開発および商用化されてきている。このCWDMシステムは、伝送容量が比較的小さなアクセス(30

【0004】

一方、CWDMシステムでは、光ファイバを用いた高速デジタル通信方式の国際規格であるSDH(Synchronous Digital Hierarchy)に準拠した光信号のみならず、イーサネット系データ通信に用いられる光信号も収容可能なことが望まれている。このような要望に応えるためには、既存のCWDMシステムについて、8チャンネル以上に信号数を増設40

【0005】

従来、CWDMシステムの信号数を一般的な規格値を越えて増設する手法については、装置メーカーにおいてもサポートしておらず、8チャンネル(フルバンドで16チャンネル)までしか扱うことができなかった。最近になって、CWDMシステムにDWDMシステムを融合させることで信号数を増設するための検討がなされるようになった(例えば、非特許文献1、2参照)。

【非特許文献1】ADVA Optical Networking, "ADVA Launches Major CWDM Feature Release for FSP 2000", [online], 2003年10月28日, インターネット<URL: http://www.advaoptical.com/adva_press.asp?id=66&action=view&msgid=331>

50

【非特許文献2】H. Hinderthur and L. Friedric, “WDM hybrid transmission based on CWDM plus DWDM”, Lightwave Europe, volume 2, Issue 7, [online], 2003年7月, Lightwave Europe, インターネット<URL: http://lw.pennnet.com/Articles/Article_Display.cfm?Section=ARCHI&ARTICLE_ID=183295&VERSION_NUM=1&p=63>

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、上記のような従来の技術においては、DWDMシステムに対応した光信号のCWDMシステムへの接続の方法だけが検討されており、接続されたDWDM対応の光信号に対するファイバ伝送時の方式的な検討はなされていない。このため、実効的なファイバ伝送を行うことは困難な状況であった。すなわち、DWDMシステムで運用される複数の波長の光信号を、パワーまたは波長間隔等の設定をそのままにしてCWDMシステムに直接接続し、CWDMシステムの信号数の増設を行った場合、ファイバ非線形効果による波形劣化や、CWDMシステム用の光合分波器の特性に起因したクロストーク等による雑音増加などが、増設したDWDM側の光信号に発生して伝送品質の低下を招いてしまうという問題が考えられる。

【0007】

本発明は上記の点に着目してなされたもので、CWDM方式における光信号の増設をDWDMシステムに使用される光伝送装置を利用して低コストで実現すると同時に、伝送品質の低下を回避することのできるCWDM光伝送システムおよびCWDM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】

【0008】

上記の目的を達成するため、本発明のCWDM光伝送システムは、CWDM方式に対応した第1波長グリッド上に配置される複数の光信号を発生する複数の第1光送信器および該各第1光送信器から出力される光信号を合波してCWDM光を伝送路に送出する第1合波器を有する光送信端局と、該光送信端局から伝送路を介して伝えられるCWDM光を分波する第1分波器および該第1分波器から出力される各波長の光信号を受信する複数の第1光受信器を有する光受信端局と、を備えたシステムに関するものである。このCWDM光伝送システムの1つの態様は、前記第1波長グリッド上の複数の波長を増設波長に設定する。そして、前記光送信端局は、2波以上の増設波長に対応する前記第1光送信器に代えて、DWDM方式に対応した第2波長グリッド上において前記第1合波器の前記増設波長を含む通過帯域内に配置される複数の光信号を発生する複数の第2光送信器と、該各第2光送信器から出力される光信号を合波したDWDM光を生成することが可能な第2合波器と、を有する増設光送信ユニットを設けると共に、該増設光送信ユニットから出力されるDWDM光を前記2波以上の増設波長にそれぞれ対応した成分に分波して前記第1合波器に出力する第3分波器と、前記増設光送信ユニットから前記第3分波器および前記第1合波器を介して伝送路に送出されるDWDM光のトータルパワーが前記増設波長以外に対応した前記第1光送信器から出力される光信号の1波長あたりのパワーに略等しくなるように、前記増設光送信ユニットから出力されるDWDM光を減衰させる光減衰器を備える。また、前記光受信端局は、2波以上の増設波長に対応する前記第1光受信器に代えて、前記第1分波器から出力される2波以上の増設波長にそれぞれ対応したDWDM光を合波する第3合波器と、該第3合波器から出力されるDWDM光を分波する第2分波器と、該第2分波器から出力される各波長の光信号を受信する複数の第2光受信器と、を有する増設光受信ユニットを設けると共に、前記光減衰器の減衰量に応じた利得で前記第3合波器から出力されるDWDM光を増幅する光増幅器を備える。

【0009】

上記のような態様のCWDM光伝送システムによれば、CWDM方式に対応した複数の光信号のうちの2波以上の光信号に代えて、増設光送信ユニットから出力されるDWDM光が第3分波器を介して第1合波器に与えられ、そのDWDM光と増設波長以外のCWDM

M光とが合波されて伝送路に送出される。このとき伝送路に送出されるDWDM光のトータルパワーが光減衰器によってCWDM光の1波長あたりのパワーと略等しくなるように減衰されているため、伝送路で非線形効果が発生することなくCWDM光および増設されたDWDM光が光受信端局まで伝送される。光受信端局では、伝送路から出力される光が第1分波器により分波され、CWDMに対応した各波長の光信号は第1光受信器でそれぞれ受信され、2波以上の増設波長にそれぞれ対応したDWDM光は第3合波器を介して光増幅器に送られて光送信端局側の光減衰器での減衰量に応じて利得で増幅される。そして、光増幅器から出力されるDWDM光は、増設光受信ユニットの第2分波器で分波され、各波長の光信号が第2光受信器でそれぞれ受信される。

【発明の効果】

10

【0012】

上記のような本発明のCWDM光伝送システムによれば、CWDM方式における光信号の増設を、伝送路における非線形効果による伝送品質の低下を回避しつつ、DWDMシステムに使用される光伝送装置を利用して低コストで実現することができる。これにより、CWDM方式における最大信号数を超えて光信号を増設することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】本発明の第1実施形態によるCWDM光伝送システムの構成を示す図である。

【図2】一般的なCWDM/DWDMの信号波長配置の一例を示す図である。

【図3】CWDM用の合分波器の通過特性と増設可能なDWDM光の信号数の一例を示す図である。

20

【図4】上記第1実施形態における送信時の各光信号のパワーの一例を示した図である。

【図5】本発明の第2実施形態によるCWDM光伝送システムの構成を示す図である。

【図6】上記第2実施形態における送信時の各光信号のパワーの一例を示した図である。

【図7】本発明の第3実施形態によるCWDM光伝送システムの構成を示す図である。

【図8】上記第3実施形態における送信時の各光信号のパワーの一例を示した図である。

【図9】本発明の第4実施形態によるCWDM光伝送システムの構成を示す図である。

【図10】上記第4実施形態における送信時の各光信号のパワーの一例を示した図である。

。

【図11】上記第4実施形態に関連したCWDM光伝送システムの他の構成を示す図である。

30

【図12】図11のCWDM光伝送システムにおける送信時の各光信号のパワーの一例を示した図である。

【図13】本発明の第5実施形態によるCWDM光伝送システムの構成を示す図である。

【図14】上記第5実施形態における送信時の各光信号のパワーの一例を示した図である。

。

【図15】本発明の第6実施形態についてCバンドに配置可能なDWDM対応の光信号を説明するための図である。

【図16】3波の光信号をWDM伝送する場合にFWMによるアイドラ光の発生周波数ポイントを示す図である。

40

【図17】4波の光信号をWDM伝送する場合にFWMによるアイドラ光の発生周波数ポイントを示す図である。

【図18】図17について1530nm帯および1550nm帯に不等間隔配置される光信号とFWMによるアイドラ光との相対的な関係を整理した図である。

【図19】1530nm帯および1550nm帯の光信号の配置間隔を200GHz、300GHzおよび400GHzとした場合の具体的な信号配置例を示す図である。

【図20】1530nm帯の光信号の配置間隔を200GHz、300GHzおよび400GHzとし、1550nm帯の光信号の配置間隔を300GHz、400GHzおよび500GHzとした場合の具体的な信号配置例を示す図である。

【図21】上記第6実施形態についてDWDM対応の光信号を8波増設する場合のシステ

50

ム構成例を示す図である。

【図 2 2】図 2 1 のシステム構成例に対応した信号配置の模式図である。

【図 2 3】上記第 6 実施形態について DWDM 対応の光信号を上り回線および下り回線で 4 波ずつ増設した双方向システムの構成例を示す図である。

【図 2 4】図 2 3 のシステム構成例に対応した信号配置の模式図である。

【符号の説明】

【0 0 1 4】

1 0 … 光送信端局

1 1₁ ~ 1 1₈, 1 1 1₁ ~ 1 1 1_{2 4} … 光送信器 (E/O)

1 2, 1 1 2, 2 0 2_{4 5}, 2 0 2_{6 7}, 2 0 2_{7 8} … 合波器

2 0 … 光受信端局

2 1, 1 0 2_{4 5}, 1 0 2_{6 7}, 1 0 2_{7 8}, 2 2 1 … 分波器

2 2₁ ~ 2 2₈, 2 2 2₁ ~ 2 2 2_{2 4} … 光受信器 (O/E)

3 0 … 伝送路

1 0 0₄ ~ 1 0 0₇, 1 0 0_{4 5}, 1 0 0_{6 7} … 増設光送信ユニット

1 0 1₄ ~ 1 0 1₇, 1 0 1_{4 5}, 1 0 1_{6 7} … 可変光減衰器 (VOA)

2 0 0₄ ~ 2 0 0₇, 2 0 0_{4 5}, 2 0 0_{6 7} … 増設光受信ユニット

2 0 1₄ ~ 2 0 1₇, 2 0 1_{4 5}, 2 0 1_{6 7} … 光増幅器

【発明を実施するための最良の形態】

【0 0 1 5】

以下、本発明を実施するための最良の形態について添付図面を参照しながら説明する。なお、全図を通して同一の符号は同一または相当部分を示すものとする。

【0 0 1 6】

図 1 は、本発明の第 1 実施形態による CWDM 光伝送システムの構成を示す図である。

【0 0 1 7】

図 1 において、本実施形態の CWDM 光伝送システムは、例えば、光送信端局 1 0 と、その光送信端局 1 0 に伝送路 3 0 を介して接続される光受信端局 2 0 と、を備えて構成される。

【0 0 1 8】

光送信端局 1 0 は、例えば、CWDM に対応した 2 0 nm の波長間隔を有する波長グリッド上に配置される複数（ここでは 8 波とする）の光信号 CH 1 ~ CH 8 のうちの光信号 CH 1 ~ CH 4, CH 6 ~ CH 8 を発生する光送信器 (E/O) 1 1₁ ~ 1 1₄, 1 1₆ ~ 1 1₈ と、各光信号 CH 1 ~ CH 8 に対応した 8 個の入力ポートおよび 1 個の出力ポートを有する合波器 1 2 と、光信号 CH 5 に代わる増設光として DWDM 光を発生する増設光送信ユニット 1 0 0₅ と、その増設光送信ユニット 1 0 0₅ の出力ポートおよび合波器 1 2 の光信号 CH 5 に対応した入力ポートの間に挿入された可変光減衰器 (VOA) 1 0 1₅ と、を有する。

【0 0 1 9】

各光送信器 1 1₁ ~ 1 1₄, 1 1₆ ~ 1 1₈ は、従来の CWDM システムに用いられる光送信器と同様のものである。ここでは例えば、光送信器 1 1₁ から出力される光信号 CH 1 の波長が 1 4 7 0 nm、光送信器 1 1₂ から出力される光信号 CH 2 の波長が 1 4 9 0 nm、光送信器 1 1₃ から出力される光信号 CH 3 の波長が 1 5 1 0 nm、光送信器 1 1₄ から出力される光信号 CH 4 の波長が 1 5 3 0 nm、光送信器 1 1₆ から出力される光信号 CH 6 の波長が 1 5 7 0 nm、光送信器 1 1₇ から出力される光信号 CH 7 の波長が 1 5 9 0 nm、光送信器 1 1₈ から出力される光信号 CH 8 の波長が 1 6 1 0 nm にそれぞれ設定されている。なお、本実施形態において増設波長となる光信号 CH 5 の波長は 1 5 5 0 nm に設定される。また、各光送信器 1 1₁ ~ 1 1₄, 1 1₆ ~ 1 1₈ から出力される光信号パワーは、後述するように伝送路 3 0 において非線形効果が発生することない所要のレベルとなるように予め調整されている。

【0 0 2 0】

10

20

30

40

50

合波器12は、各光信号CH1～CH8に対応した各入力ポートに与えられうる光信号を合波し、その合波光を1つの出力ポートを介して伝送路30に送出するものである。なお、この合波器12の通過特性については後述する。

【0021】

増設光送信ユニット100₅は、例えば、DWDMに対応した0.8nmの波長間隔を有する波長グリッド上に配置される複数（ここでは、後述するように16波とする）の光信号を発生する光送信器（E/O）111₁～111₁₆と、各光送信器111₁～111₁₆から出力される光信号に対応した16個の入力ポートおよび1個の出力ポートを有する合波器112と、を備える。

【0022】

各光送信器111₁～111₁₆は、既存のDWDMシステムに用いられる光送信器と同様のものである。各光送信器111₁～111₁₆から出力される光信号の波長は、後述するように合波器12の光信号CH5に対応した入力ポートの通過帯域内となるように設定されている。合波器112は、各光送信器111₁～111₁₆から出力される光信号を合波してDWDM光を生成し、そのDWDM光を光信号CH5に代わる増設光として可変光減衰器101₅に出力する。

【0023】

可変光減衰器101₅は、入力光に対する減衰量が可変な公知の光減衰器である。この可変光減衰器101₅の減衰量は、後で詳しく説明するように、合波器12から伝送路30に送出されるDWDM光のトータルパワーが光信号CH1～CH4, CH6～CH8の1波長あたりのパワーに略等しくなるように、予め設定されているか、若しくは、ここでは図示を省略したが外部等から与えられる制御信号に従って制御されている。

【0024】

光受信端局20は、例えば、伝送路30に接続される1個の入力ポートおよびCWDM対応の波長グリッド上の各光信号CH1～CH8に対応した8個の出力ポートを有する分波器21と、その分波器21の光信号CH1～CH4, CH6～CH8に対応した出力ポートから出力される光信号をそれぞれ受信する光受信器（O/E）22₁～22₄, 22₆～22₈と、分波器21の光信号CH5に対応した出力ポートに接続される光増幅器201₅と、その光増幅器201₅から出力されるDWDM光を受信する増設光受信ユニット200₅と、を有する。

【0025】

分波器21は、伝送路30を伝搬して入力ポートに与えられうる波長多重光を、各光信号CH1～CH8に対応した通過帯域に応じて分波し、各々の分波光に対応する出力ポートからそれぞれ出力する。なお、この分波器21の波長に対する通過特性についても後述する。

【0026】

各光受信器22₁～22₄, 22₆～22₈は、従来のCWDMシステムに用いられる光受信器と同様のものであり、分波器21の光信号CH1～CH4, CH6～CH8に対応した出力ポートから出力される光信号をそれぞれ受信してデータの識別処理等を行う。

【0027】

光増幅器201₅は、分波器21の光信号CH5に対応した出力ポートから出力されるDWDM光を、光送信端局10の可変光減衰器101₅の減衰量に応じた利得で増幅して出力する一般的な光増幅器である。なお、この光増幅器201₅については、自動利得一定制御（AGC）または自動出力一定制御（ALC）を行うようにするのが好ましい。

【0028】

増設光受信ユニット200₅は、例えば、光増幅器201₅の出力ポートに接続される1個の入力ポートおよびDWDM対応の波長グリッドに対応した16個の出力ポートを有する分波器221と、その分波器221の各出力ポートから出力される光信号をそれぞれ受信する光受信器（O/E）222₁～222₁₆と、を有する。分波器221は、分波器21から出力され入力ポートに与えられうるDWDM光を分波し、各々の光信号に対応

10

20

30

40

50

する出力ポートからそれぞれ出力する。各光受信器 $222_1 \sim 222_{16}$ は、既存のDWDMシステムに用いられる光受信器と同様のものであり、分波器221の各出力ポートから出力される光信号をそれぞれ受信してデータの識別処理等を行う。

【0029】

伝送路30は、ここでは、一般的な $1.3\mu\text{m}$ 零分散シングルモードファイバ(SMF)が使用される。

【0030】

次に、上記のような構成のCWDM光伝送システムにおける光信号の増設について説明する。

【0031】

最初に、本CWDM光伝送システムにおける光信号の波長配置およびDWDM対応の光信号の増設可能数について説明する。

【0032】

図2は、一般的なCWDM/DWDMの信号波長配置の一例を示したものである。図2に示すように、CWDMの信号波長配置は、波長間隔が 20nm と規定され、 $1460 \sim 1530\text{nm}$ の波長帯域を示すSバンド、 $1530 \sim 1565\text{nm}$ の波長帯域を示すCバンドおよび $1565 \sim 1625\text{nm}$ の波長帯域を示すLバンドに亘る広い波長帯域に複数の光信号が配置される。一般的なCWDM対応の波長グリッドでは、 1470nm 、 1490nm 、 1510nm 、 1530nm 、 1550nm 、 1570nm 、 1590nm および 1610nm の各波長に光信号が配置される。このため、本実施形態でも上記の各波長に対応させて短波長側から順に8波の光信号CH1～CH8を設定している。これに対してDWDMの信号波長配置は、波長間隔が 0.8nm (100GHz)や 0.4nm (50GHz)などに規定され、CバンドまたはLバンドにそれぞれ対応させて複数の光信号が配置される場合が多く、Cバンド用またはLバンド用の各種光伝送装置が実用化されている。

【0033】

上記のような一般的なCWDM対応の波長配置を適用した光伝送システムについて、既存のDWDMシステムに使用される光伝送装置をそのまま利用して光信号の増設を行うことを考えると、増設可能なDWDM光の波長数は、CWDM光伝送システムに用いられる送信側の合波器12および受信側の分波器21の通過帯域に応じて決まることになる。すなわち、例えば図3に示すように、上記合波器12および分波器21は、CWDM対応の各光信号の波長にそれぞれ対応した通過帯域をもち、各々の通過帯域の幅は例えば 13.0nm 程度である。したがって、CWDMに対応した1波の光信号に代えて、当該通過帯域内に配置することのできるDWDMに対応した光信号の波長数は、例えば 0.8nm の波長間隔で光信号を配置した場合に最大で16波($0.8\text{nm} \times 16\text{波} = 12.8\text{nm}$)となる。

【0034】

具体的に、既存のDWDMシステムに使用されるCバンド用の光伝送装置を増設に利用する場合には、CWDMに対応した光信号CH4、CH5がCバンド内に位置するため(図2参照)、これらの波長を増設波長に設定できる。光信号CH5を増設波長に設定すれば、その増設波長を含んだ合分波器の通過帯域の全体がCバンド用の光伝送装置の信号帯域内に存在するので、DWDMに対応した光信号を16波まで増設することが可能である。光信号CH4を増設波長に設定すれば、その増設波長を含んだ合分波器の通過帯域の略半分がCバンド用の光伝送装置の信号帯域内に存在するので、DWDMに対応した光信号を8波まで増設することが可能である。よって、上記の光信号CH4、CH5の両方を増設波長に設定したときには、最大で24波の光信号を増設できることになる。

【0035】

また、既存のDWDMシステムに使用されるLバンド用の光伝送装置を増設に利用する場合には、CWDMに対応した光信号CH6、CH7、CH8がCバンド内に位置するため(図2参照)、これらの波長を増設波長に設定できる。光信号CH7を増設波長に

10

20

30

40

50

設定すれば、その増設波長を含んだ合分波器の通過帯域の全体がLーバンド用の光伝送装置の信号帯域内に存在するので、DWDMに対応した光信号を16波まで増設することが可能である。光信号CH6または光信号CH8を増設波長に設定すれば、その増設波長を含んだ合分波器の通過帯域の略半分がLーバンド用の光伝送装置の信号帯域内に存在するので、DWDMに対応した光信号を8波まで増設することが可能である。よって、上記の光信号CH6, CH7, CH8のすべてを増設波長に設定したときには、最大で32波の光信号を増設できることになる。もちろん、既存のCーバンド用およびLーバンド用の各光伝送装置を組み合わせてもよく、さらに多くの波長の光信号を増設することが可能である。また、DWDMに対応した光信号の波長間隔を0.4nm(50GHz)とすれば、増設可能な信号数を上記の2倍とすることができる。

10

【0036】

前述の図1に示した第1実施形態の構成では、光信号CH5に代えてDWDMに対応した光信号が増設されるので、増設光送信ユニット100₅および可変光減衰器101₅、並びに、増設光受信ユニット200₅および光増幅器201₅は、既存のCーバンド用光伝送装置を利用することができ、最大で16波の増設が可能である。CWDM光伝送システム全体での信号数は、光信号CH1~CH4, CH6~CH8と増設される16波のDWDM光とで23波となる。

【0037】

CWDMに対応した1波の光信号CH5に代えて、既存のDWDMシステムに用いられる光送信ユニットで生成される16波の光信号を、従来技術のようにファイバ伝送時のパワーを考慮することなくそのままCWDM光伝送システムに与えた場合、16波のDWDM光のトータルパワーは光信号CH5のパワーよりも遥かに大きくなるため、伝送路に送出される光のパワーが非線形効果の発生するレベルを超えてしまう可能性が高い。そこで、本実施形態では、増設光送信ユニット100₅の出力段に可変光減衰器101₅を設け、合波器12から伝送路30に送出されるDWDM光のトータルパワーが、CWDMに対応した光信号CH1~CH4, CH6~CH8の1波あたりのパワーに略等しくなるように可変光減衰器101₅の減衰量が調整される。

20

【0038】

図4は、第1実施形態における送信時の各光信号のパワーの一例を示した図である。図4では、伝送路30に送出される各光信号CH1~CH4, CH6~CH8のパワーが+2dBm/chに設定される場合に、増設される16波のDWDM光の1波あたりのパワーが-10dBmとなるように可変光減衰器101₅の減衰量が設定される。この可変光減衰器101₅の減衰量は、 $10 \cdot \log$ (増設波長数)で求められ、ここでは $10 \cdot \log(16) = 12$ dBとなる。これにより、合波器12から伝送路30に送出される光のトータルパワーは、CWDMに対応した光信号CH1~CH8だけを合波して伝送路30に送出している場合と同様のレベルとなるため、伝送路30を伝搬する光信号に非線形効果が発生するような状況は回避されるようになる。

30

【0039】

送信時のパワーが低く抑えられた増設光は、伝送路30を伝搬して光受信端局20で受信される時点で、CWDMに対応した各光信号CH1~CH4, CH6~CH8に比べてパワーが非常に小さくなり、そのままの状態では増設光受信ユニット200₅でデータの識別処理等を行うことが困難となる。このため、本実施形態では光受信端局20の分波器21の増設波長に対応した出力ポートに光増幅器201₅を接続し、分波器21で分波されたDWDM光が光増幅器201₅により送信側の可変光減衰器101₅での減衰量に応じた利得で増幅される。これにより、増設光受信ユニット200₅に与えられるDWDM光のトータルパワーは、既存のDWDMシステムに用いられる光受信ユニットの場合と同様のレベルに補償されるため、増設光受信ユニット200₅内の各光受信器222₁~222₁₆での受信処理が可能になる。

40

【0040】

ここで、本CWDM光伝送システムにおける増設光の伝送特性について具体例を挙げて

50

詳しく説明する。

【0041】

本CWDM光伝送システムでは、増設光送信ユニット100₅から出力され可変光減衰器101₅および合波器12を介して伝送路30に送出される最大16波のDWDM光は、前述の図4に示した一例を想定すると、1波あたりのパワーが−10 dBm/c h、16波のトータルパワーが+2 dBmを有することになる。伝送路30として、例えば全長が50 km、伝送損失が20 dBのSMFの使用を想定すると、光受信端局20に到達する16波のDWDM光のトータルパワーは−18 dBm、1波あたりのパワーは−30 dBm/c hとなる。さらに、分波器21を通過する際に4 dB程度の損失が発生し、光増幅器201₅に入力されるDWDM光は、1波あたりのパワーが−34 dBm/c hとなる。

10

【0042】

ここで、光増幅器201₅の雑音指数(NF)として5 dBを想定すると、光増幅器201₅から出力されるDWDM光の光信号対雑音比(OSNR)は、次式により算出される。

【0043】

$$\begin{aligned} \text{OSNR} &= (\text{入力パワー}) - \text{NF} + 57.9 \\ &= -34 \text{ dBm/c h} - 5 \text{ dB} + 57.9 = 18.9 \text{ dB} \end{aligned}$$

ただし、上式の第3項目はCバンドに対応した定数である。このように光増幅器201₅から出力されるDWDM光に含まれる各波長の光信号は、19 dB程度のOSNRが確保されるため、増設光受信ユニット200₅内の各光受信器222₁~222₁₆において十分に受信処理することが可能となる。

20

【0044】

上述したように第1実施形態のCWDM光伝送システムによれば、DWDMシステムに用いられる既存の光伝送装置をそのまま利用することで低コストの利点を生かしつつ伝送時の信号品質の低下を回避して、光信号の増設を行うことができる。これにより、従来のCWDMシステムにおいて伝送可能な最大信号数(8波)を越えた光通信サービスを安価に提供することが可能になる。

【0045】

次に、本発明の第2実施形態について説明する。

30

【0046】

図5は、第2実施形態のCWDM光伝送システムの構成を示す図である。

【0047】

図5に示すCWDM光伝送システムは、上述した第1実施形態の構成について、光信号CH5に加えて光信号CH7に対応した波長を増設波長に設定し、既存のDWDMシステムに使用されるLバンド用の光伝送装置も利用して増設可能な信号数を増大させたものである。具体的には、光送信端局10について、第1実施形態で用いていた光送信器11₇に代えて増設光送信ユニット100₇および可変光減衰器101₇を設け、増設光送信ユニット100₇から出力されるDWDM光のパワーを可変光減衰器101₇で調整した後に合波器12の光信号CH7に対応した入力ポートに与えるようにする。また、光受信端局20について、第1実施形態で用いていた光送信器22₇に代えて増設光受信ユニット200₇および光増幅器201₇を設け、分波器21の光信号CH7に対応した出力ポートから出力されるDWDM光を光増幅器201₇で増幅した後に増設光受信ユニット200₇に与えるようにする。なお、増設光送信ユニット100₇および可変光減衰器101₇、並びに、増設光受信ユニット200₇および光増幅器201₇の各構成については、増設光送信ユニット100₅および可変光減衰器101₅、並びに、増設光受信ユニット200₅および光増幅器201₅の各構成と基本的に同様であり、各々の信号波長帯域がCバンド対応からLバンド対応にシフトしたものであるため、ここでの具体的な説明を省略する。

40

【0048】

50

上記のような構成のCWDM光伝送システムでは、図6に示す光信号の波長配置にあるように、Lーバンド内に位置する光信号CH7が増設波長に設定されることにより、合波器12および分波器21の対応する通過帯域内（図3参照）に、例えば0.8nmの波長間隔の光信号を最大で16波配置することができる。このようなCWDM対応の光信号CH7に代わるLーバンドの16波のDWDM光を、上述した光信号CH5に対応したCーバンドのDWDM光と同様の条件下で伝送した場合、光受信端局20内の光増幅器201₇から出力されるDWDM光のOSNRは、次式により算出される。

【0049】

$$OSNR = (\text{入力パワー}) - NF + 58.3$$

$$= -34 \text{ dBm} / c h - 5 \text{ dB} + 58.3 = 19.3 \text{ dB}$$

10

ただし、上式の第3項目はLーバンドに対応した定数である。このように光信号CH7に代わるLーバンドのDWDM光についても19dB以上のOSNRを確保できるため、増設光受信ユニット200₇における受信処理が十分に可能である。

【0050】

したがって、第2実施形態によれば、既存のDWDMシステムに使用されるCーバンド用およびLーバンド用の光伝送装置を利用して最大で32波の光信号を増設することができ、CWDM光伝送システム全体での信号数は、光信号CH1～CH4、CH6、CH8と増設される32波のDWDM光とを合わせて38波まで増大させることが可能になる。

【0051】

次に、本発明の第3実施形態について説明する。

20

【0052】

図7は、第3実施形態のCWDM光伝送システムの構成を示す図である。

【0053】

図7に示すCWDM光伝送システムは、上述した第2実施形態の構成について、光信号CH5、CH7に加えて光信号CH4、CH6に対応した波長も増設波長に設定し、既存のDWDMシステムに使用されるCーバンドおよびLーバンド用の光伝送装置を利用して増設可能な信号数をさらに増大させたものである。

【0054】

具体的には、光送信端局10について、光信号CH4、CH5に代わる増設光としてのDWDM光を発生する増設光送信ユニット100₄₅と、そのDWDM光のトータルパワーを調整する可変光減衰器101₄₅と、その可変光減衰器101₄₅を通過したDWDM光を光信号CH4に対応する成分および光信号CH5に対応する成分に分波して合波器12の各入力ポートに出力する分波器102₄₅と、が設けられる。また、光信号CH6、CH7に代わる増設光としてのDWDM光を発生する増設光送信ユニット100₆₇と、そのDWDM光のトータルパワーを調整する可変光減衰器101₆₇と、その可変光減衰器101₆₇を通過したDWDM光を光信号CH6に対応する成分および光信号CH7に対応する成分に分波して合波器12の各入力ポートに出力する分波器102₆₇と、が設けられる。

30

【0055】

光受信端局20については、分波器21の光信号CH4、CH5に対応した各出力ポートから出力されるDWDM光を合波する合波器202₄₅と、その合波器202₄₅から出力されるDWDM光を増幅する光増幅器201₄₅と、その光増幅器201₄₅から出力されるDWDM光の受信処理を行う増設光受信ユニット200₄₅と、が設けられる。また、分波器21の光信号CH6、CH7に対応した各出力ポートから出力されるDWDM光を合波する合波器202₆₇と、その合波器202₆₇から出力されるDWDM光を増幅する光増幅器201₆₇と、その光増幅器201₆₇から出力されるDWDM光の受信処理を行う増設光受信ユニット200₆₇と、が設けられる。

40

【0056】

上記のような構成のCWDM光伝送システムでは、図8に示す光信号の波長配置にあるように、Cーバンド内に位置する光信号CH4が増設波長に設定されることにより、合波

50

器 1 2 および分波器 2 1 の対応する通過帯域内（図 3 参照）に、例えば 0.8 nm の波長間隔の光信号を最大で 8 波配置することができ、同じ C バンド内に位置する光信号 CH 5 に対応した通過帯域内に配置可能な最大 16 波の光信号と合わせて、C バンドについて最大で 24 波の光信号を含む DWDM 光を増設することができる。また、これと同様に、L バンド内に位置する光信号 CH 6 が増設波長に設定されることにより、合波器 1 2 および分波器 2 1 の対応する通過帯域内に最大で 8 波配置することができ、同じ L バンド内に位置する光信号 CH 7 に対応した通過帯域内に配置可能な最大 16 波の光信号と合わせて、L バンドについても最大で 24 波の光信号を含む DWDM 光を増設することができる。これらの増設光は、第 2 実施形態の場合と同様に、各光増幅器 2 0 1_{4,5}, 2 0 1_{6,7} の出力で 19 dB 程度の OSNR を確保できるため、増設光受信ユニット 2 0 0₇ における受信処理が十分に可能である。

10

【0057】

したがって、第 3 実施形態によれば、既存の DWDM システムに使用される C バンド用および L バンド用の光伝送装置を利用して最大で 48 波の光信号を増設することができ、CWDM 光伝送システム全体での信号数は、光信号 CH 1 ~ CH 3, CH 8 と増設される 48 波の DWDM 光とを合わせて 52 波まで増大させることが可能になる。

【0058】

なお、上記の第 3 実施形態では、L バンドの増設波長として光信号 CH 6, CH 7 の各波長を設定したが、この組み合わせ以外にも、光信号 CH 7, CH 8 の組み合わせ若しくは光信号 CH 6, CH 8 の組み合わせ、または、光信号 CH 6, CH 7, CH 8 の組み合わせが設定可能である。

20

【0059】

次に、本発明の第 4 実施形態について説明する。

【0060】

上述した第 1 ~ 第 3 の実施形態では、伝送路 3 0 として 1.3 μm 零分散シングルモードファイバが使用される場合の構成を示した。第 4 実施形態では、零分散波長を 1.5 μm にシフトさせた分散シフトファイバ (DSF) を伝送路 3 0 として使用する場合について説明する。

【0061】

図 9 は、第 4 実施形態の CWDM 光伝送システムの構成を示す図である。

30

【0062】

図 9 に示すように、伝送路 3 0 に分散シフトファイバを用いて波長多重した光信号の伝送を行う場合、C バンドの DWDM 光については 4 波混合 (FWM) が発生して伝送品質が低下してしまう可能性がある。このため、既存の DWDM システムに用いられる光伝送装置を利用して低コストに信号光波長の増設を行うための 1 つの方法としては、L バンド内の光信号 CH 6 ~ CH 8 を増設波長に設定することが有効である。そこで本実施形態では、例えば光信号 CH 7 を増設波長とし、それに対応させて、光送信端局 1 0 内に増設光送信ユニット 1 0 0₇ および可変光減衰器 1 0 1₇ を設けると共に、光受信端局 2 0 内に増設光受信ユニット 2 0 0₇ および光増幅器 2 0 1₇ を設けるようにする。これらの増設光送信ユニット 1 0 0₇ および可変光減衰器 1 0 1₇、並びに、増設光受信ユニット 2 0 0₇ および光増幅器 2 0 1₇ は、上述した第 2 実施形態に用いられるものと同様であり、DWDM に対応した光信号の波長間隔を例えば 0.8 nm とした場合には、図 1 0 に示す光信号の波長配置にあるように、最大で 16 波の光信号を増設することが可能である。このように伝送路 3 0 に分散シフトファイバを用いた CWDM 光伝送システムについても、増設波長を L バンド内に設定することで上述した第 1 実施形態の場合と同様の効果を得ることができる。

40

【0063】

なお、上記の第 4 実施形態では、L バンド内の光信号 CH 7 が増設波長に設定される一例を示したが、分散シフトファイバ使用時の増設波長はこれに限らず、例えば図 1 1 の構成図および図 1 2 の波長配置図に示すように、光信号 CH 7, CH 8 を増設波長に設定

50

することも可能である。もちろん、光信号CH7に代えて光信号CH6, CH8のいずれか一方を増設波長に設定しても、また、光信号CH6～CH8のいずれか2つ若しくは全部の組み合わせを増設波長に設定しても構わない。

【0064】

次に、本発明の第5実施形態について説明する。

【0065】

第5実施形態では、一芯の1.3 μm SMFを用いて双方向に光信号を伝送するCWDM光伝送システムへの応用例を説明する。

【0066】

図13は、第5実施形態のCWDM光伝送システムの構成を示す図である。

10

【0067】

図13に示す構成では、CWDM対応の波長グリッド上の8波の光信号CH1～CH8のうちの波長番号が奇数の光信号CH1, CH3, CH5, CH7が上り回線を伝送され、波長番号が偶数の光信号CH2, CH4, CH6, CH8が下り回線を伝送されるような双方向のCWDM光伝送システムについて、上り回線側の光信号CH5, CH7および下り回線側の光信号CH6, CH8がそれぞれ増設波長に設定され、各々の増設波長に対応させて、上述した各実施形態の場合と同様に増設光送信ユニット100_iおよび可変光減衰器101_i、並びに、増設光受信ユニット200_iおよび光増幅器201_i（ただし、 $i = 4 \sim 7$ ）がそれぞれ設けられる。なお、伝送路30の一端近傍に配置した合分波器51は、上り回線側の合波器12から出力される光信号CH1, CH3および光信号CH5, CH7に対応したDWDM光を伝送路30に送ると共に、それとは逆に伝送路30を伝搬してきた光信号CH2, CH8および光信号CH4, CH6に対応したDWDM光を下り回線側の分波器21'に伝えるものである。また、伝送路30の他端近傍に配置した合分波器52は、下り回線側の合波器12'から出力される光信号CH2, CH8および光信号CH4, CH6に対応したDWDM光を伝送路30に送ると共に、それとは逆に伝送路30を伝搬してきた光信号CH1, CH3および光信号CH5, CH7に対応したDWDM光を上り回線側の分波器21に伝えるものである。

20

【0068】

上記のような構成のC双方向WDM光伝送システムでは、例えば、増設されるDWDM光の波長間隔を0.8 nmとした場合、図14に示すように、上り回線については、光信号CH5に対応したCバンドの16波と、光信号CH7に対応したLバンドの16波とによって最大で32波のDWDM光を増設することができ、下り回線については、光信号CH4に対応したCバンドの8波と、光信号CH6に対応したLバンドの8波とによって最大で16波のDWDM光を増設することが可能になる。

30

【0069】

なお、上記の第5実施形態における下り回線については、光信号CH8を増設波長に設定することも可能である。また、CWDMに対応した8波の光信号CH1～CH8についての上り回線および下り回線に対する割り振りは、上記のような波長番号が奇数が偶数によるものに限定されず、任意の規則に従って割り振りを行うことが可能である。

【0070】

40

次に、本発明の第6実施形態について説明する。

【0071】

上述した第4実施形態では、零分散波長を1.5 μm にシフトさせた分散シフトファイバ(DSF)を伝送路30として使用する場合に、CバンドのDWDM光に対する4波混合(FWM)の発生を考慮して、Lバンド内の光信号CH6～CH8を増設波長に設定する一例を示した。しかし、少数波長の増設（例えば4波までの増設）を行う場合には、Cバンド内での増設であっても光信号を不等間隔に配置することにより、FWMの発生周波数でのクロストーク劣化を回避することが可能になる。そこで、第6実施形態では、上記のような場合に対応したCWDM光伝送システムの具体例について説明する。

【0072】

50

まず、図15(A)(B)に示すように、ITU-T規格で決められたCバンドにおいて、CWDM対応の光信号CH4が配置される1530nm±10nmの帯域内には、DWDM対応の波長グリッド上の点が15個存在し(CH1'~CH15')、CWDM対応の光信号CH5が配置される1550nm±10nmの帯域内には、DWDM対応の波長グリッド上の点が25個存在する(CH16'~CH40')。しかしながら、CWDM対応の合波器12および分波器21の各通過帯域がCWDMの信号間隔20nm、つまり±10nmよりも狭いので、上記DWDM対応の波長グリッド上の全ての点に光信号を配置することは実用上不可能である。例えば、合波器12および分波器21の各通過帯域が±6.5nmの場合、CWDMの光信号CH4に対応した1530nm帯では、CH1'からCH10'までの10個のグリッド上にDWDMの光信号を配置することができ、その周波数帯域は900GHzになる。また、CWDMの光信号CH5に対応した1550nm帯では、CH20'からCH35'までの16個のグリッド上にDWDMの光信号を配置することができ、その周波数帯域は1500GHzになる。

10

【0073】

ここで、上記のような1530nm帯および1550nm帯の周波数帯域について、DWDMの光信号とFWMによるアイドラ光との相対的な関係を検討する。

【0074】

一般に、 f_1 、 f_2 、 f_3 の周波数を有する3波の光信号をWDM伝送する場合、FWMによるアイドラ光の発生周波数ポイントは、縮退四光波混合によるものも含めて例えば図16に示すようになる。なお、図中の Δf_{12} は、 f_1 と f_2 の間隔を表し、 Δf_{23} 、 Δf_{13} もこれと同様である。図16の一例に示すように、周波数 $f_1 \sim f_3$ の各光信号を不等間隔(ここでは、100GHzおよび300GHz間隔)にすることで、各光信号の周波数とFWMによるアイドラ光の発生周波数とは重ならなくなり、クロストークの発生によって伝送品質を劣化させることはなくなる。3波の光信号についてのアイドラ光の発生周波数ポイントは、図16より9箇所あることが分かる。

20

【0075】

次に、上記のようなFWMによるアイドラ光の発生周波数ポイントについて、4波の光信号をWDM伝送する場合に拡張して検討する。図17はその検討結果を示したものである。図17において、上側に示した1530nm帯では、前述したようにDWDMの光信号を配置可能な周波数帯域が900GHzであるので、 $f_1 \sim f_4$ の周波数を有する4波の光信号の配置間隔を例えば200GHz、300GHzおよび400GHzとする。具体的にここでは、前述の図15(A)に示したDWDM対応の光信号CH1'、CH3'、CH6'およびCH10'が配置される。この不等間隔の信号配置でのFWMによるアイドラ光の発生周波数ポイントは、図17の上側の2段目~5段目に示す通り多数あるが、各光信号CH1'、CH3'、CH6'およびCH10'の周波数に重なるポイントは存在していないことが分かる。また、1530nm帯内で各光信号とFWMによるアイドラ光とのクロストークが生じないことに加えて、上記のFWMによるアイドラ光の発生周波数ポイントが、1550nm帯に配置される光信号の周波数と重ならないことも重要である。

30

【0076】

図17では、下側に示した1550nm帯についても、4波の光信号の配置間隔を例えば200GHz、300GHzおよび400GHzとする。具体的にここでは、前述の図15(A)に示したDWDM対応の光信号CH23'、CH25'、CH28'およびCH32'が配置される。これら1550nm帯に配置される各光信号の周波数は、1530nm帯についてのFWMによるアイドラ光の発生周波数ポイントと重なっていないことが図17より分かる。また、1550nm帯についてのFWMによるアイドラ光の発生周波数ポイントも、1530nm帯の場合と同様に多数あるが、各光信号CH23'、CH25'、CH28'およびCH32'の周波数に重なるポイントは存在しておらず、加えて、1530nm帯の各光信号の周波数CH1'、CH3'、CH6'およびCH10'とも重なっていない。

40

50

【0077】

図18は、上記のような1530nm帯および1550nm帯に不等間隔でそれぞれ配置した各光信号とFWMによるアイドラ光との相対的な関係を整理したものである。このように、1530nm帯の光信号に起因したFWMによるアイドラ光のうちの最長波長から1550nm帯の光信号のうちの最短波長までの間隔を示すFWMクロストーク余裕幅W45と、1550nm帯の光信号に起因したFWMによるアイドラ光のうちの最短波長から1530nm帯の光信号のうちの最長波長までの間隔を示すFWMクロストーク余裕幅W54とが、それぞれ100GHzのn倍（nは整数）、すなわち、波長グリッド間隔以上となるように設定することが必要である。

【0078】

10

前述の図17に示したように、1530nm帯の4波の光信号の配置間隔および1550nm帯の4波の光信号の配置間隔をそれぞれ200GHz、300GHzおよび400GHzとした場合には、FWMクロストーク余裕幅W45、W54がいずれも400GHzとなる。図19は、1530nm帯および1550nm帯の各々4波の光信号の配置間隔を200GHz、300GHzおよび400GHzとした場合における、各光信号の具体的な配置例を列挙したものである。このように本実施形態において4波の光信号を200GHz、300GHzおよび400GHzの不等間隔で配置するということは、図19に示した組み合わせの信号配置を適用することを意味している。

【0079】

また、図20は、1530nm帯の4波の光信号の配置間隔を200GHz、300GHzおよび400GHzとし、1550nm帯の4波の光信号の配置間隔を300GHz、400GHzおよび500GHzとした場合について、各光信号とFWMによるアイドラ光との相対的な関係を整理したものである。なお、図20には、上記のような配置間隔を適用する場合の各光信号の具体的な配置の一例として、1530nm帯に光信号CH1'、CH3'、CH6'、CH10'を配置し、1550nm帯に光信号CH23'、CH26'、CH30'、CH35'を配置している。このような信号配置においては、FWMクロストーク余裕幅W45が400GHzとなり、FWMクロストーク余裕幅W54が100GHzとなる。

20

【0080】

図21は、DWDM対応の光信号を8波増設する場合のシステム構成例を示したものである。また、図22は、図21のシステム構成例に対応した信号配置の模式図である。CWDM対応の光信号CH4、CH5に代えて増設されるDWDM対応の4波+4波の光信号は、前述したように不等間隔配置とすることでFWMによるクロストークの発生を回避しているので、上述した第1～第5実施形態の場合のようにDWDM対応の光信号を他のCWDM対応の光信号に対して減衰させて伝送路30に送る必要がなくなる。このため、システムのレベルダイヤに依じて、図21に示したような光増幅器103₄、103₅、203₄、203₅を光送信端局10若しくは光受信端局20のいずれか一方または双方に設け、CWDM対応の光信号レベルに対してDWDM対応の増設光信号レベルを同等若しくは高めるようにしてもよい。

30

【0081】

40

図23は、DWDM対応の光信号を上り回線および下り回線でそれぞれ4波ずつ増設する場合の双方向システムの構成例を示したものである。また、図24は、図23の双方向システムの構成例に対応した信号配置の模式図である。上り回線には、CWDM対応の光信号CH1、CH2、CH3と、光信号CH4に代えて増設されるDWDM対応の4波の光信号とが割り当てられる。また、下り回線には、CWDM対応の光信号CH6、CH7、CH8と、光信号CH5に代えて増設されるDWDM対応の4波の光信号とが割り当てられる。

【0082】

上記の図21や図23に示した各構成においては、1530nm帯および1550nm帯にDWDM対応の光信号が増設されるため、DWDM用の光送信器111₁～111₄

50

として、半導体外部変調器付DFB-LD（EA変調器付DFBレーザ）を適用することができる。半導体外部変調器付DFB-LDを用いた光送信器は、LN型の外部変調器を用いた光送信器に比べて、低価格で、小型になるという利点がある。

【0083】

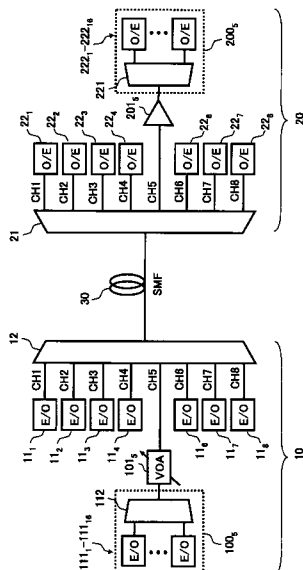
また、上記のような波長配置では、増設されるDWDM対応の各光信号の波長間隔が少なくとも200GHzあるので、光送信器の波長安定化制御に一般に使用される波長ロッカーなどを設けることが不要になる。このため、より低価格で小型の光送信器を用いてシステムを構成することが可能になる。

【0084】

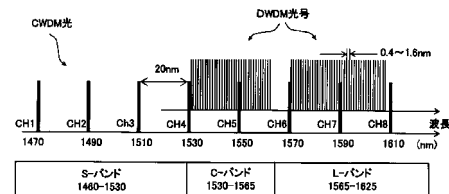
なお、上記の第6実施形態では、不等間隔の波長配置を適用した光信号がDSFを用いた伝送路30に送出される場合を説明したが、上記のような波長配置の光信号は、DSFのみならず、SMFを用いた伝送路にもそのまま送出することが可能である。つまり、第6実施形態の構成は、3波若しくは4波程度の少数波長の増設に対応したシステムとして、ファイバ伝送路の種類に依存しないという効果も合わせもつことになる。

10

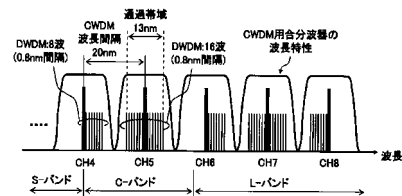
【図1】



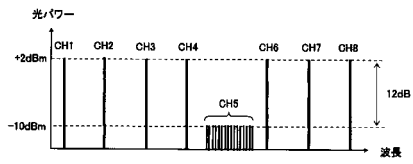
【図2】



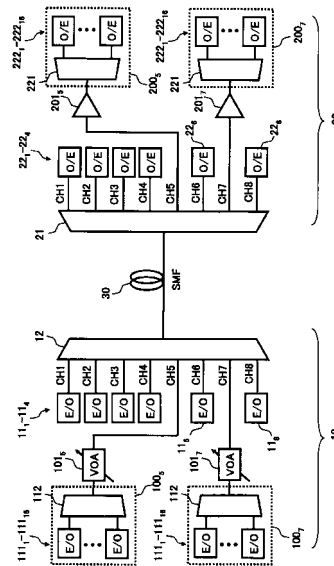
【図3】



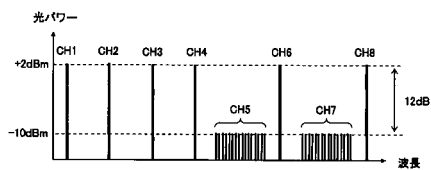
【図 4】



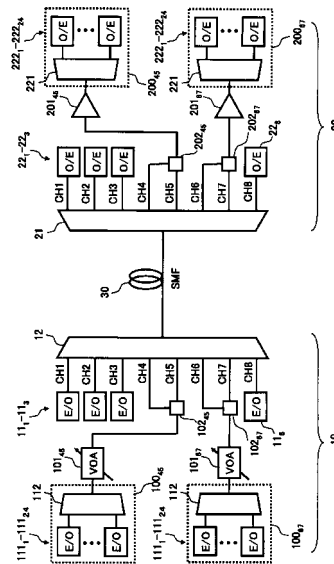
【図 5】



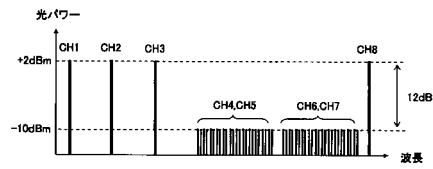
【図 6】



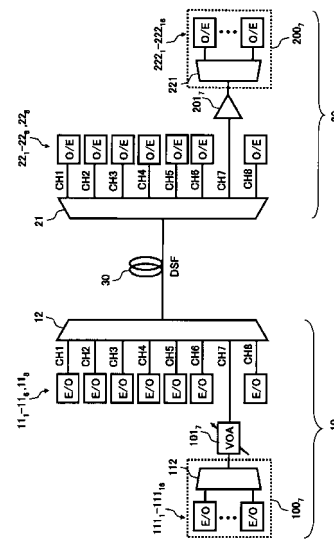
【図 7】



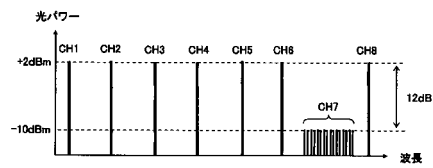
【図 8】



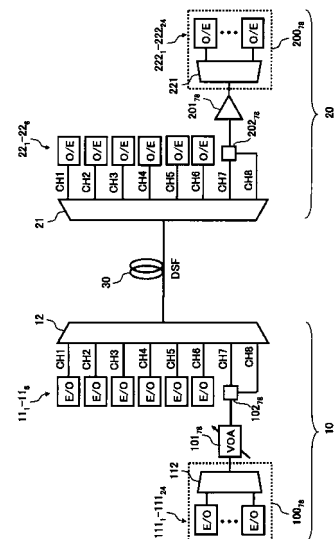
【図 9】



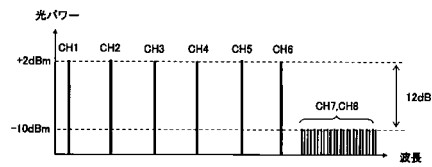
【図 10】



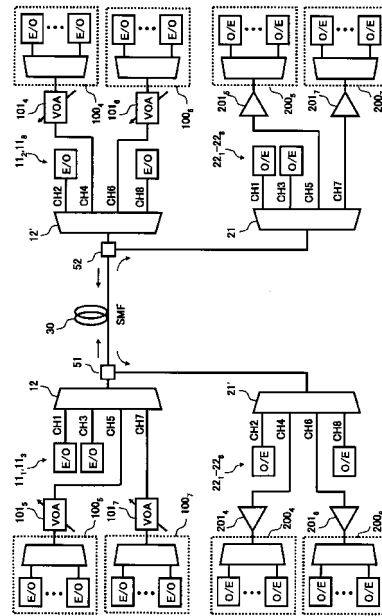
【図 11】



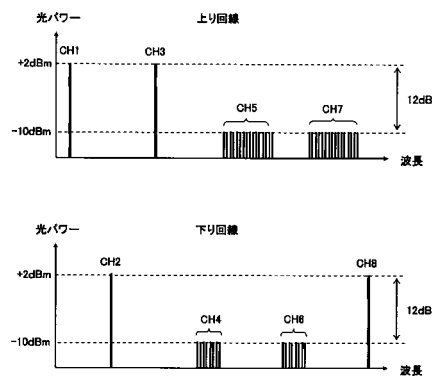
【図 1 2】



【図 1 3】



【図 1 4】



【図 1 5】

(A)

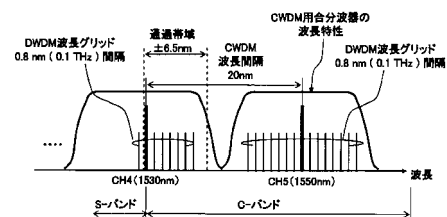
CH 番号	波長 (nm)	周波数 (THz)
1	1528.77	196.1
2	1529.55	196.0
3	1530.33	195.9
4	1531.12	195.8
5	1531.90	195.7
6	1532.68	195.6
7	1533.47	195.5
8	1534.25	195.4
9	1535.04	195.3
10	1535.82	195.2
11	1536.61	195.1
12	1537.40	195.0
13	1538.19	194.9
14	1538.98	194.8
15	1539.77	194.7

1530nm帯のDWDM信号配置

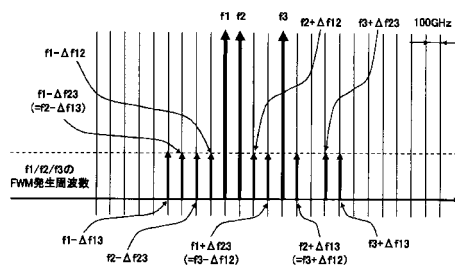
CH 番号	波長 (nm)	周波数 (THz)
16	1540.56	194.6
17	1541.35	194.5
18	1542.14	194.4
19	1542.94	194.3
20	1543.73	194.2
21	1544.53	194.1
22	1545.32	194.0
23	1546.12	193.9
24	1546.92	193.8
25	1547.72	193.7
26	1548.51	193.6
27	1549.32	193.5
28	1550.12	193.4
29	1550.92	193.3
30	1551.72	193.2
31	1552.52	193.1
32	1553.33	193.0
33	1554.13	192.9
34	1554.94	192.8
35	1555.75	192.7
36	1556.55	192.6
37	1557.36	192.5
38	1558.17	192.4
39	1558.98	192.3
40	1559.79	192.2

1550nm帯のDWDM信号配置

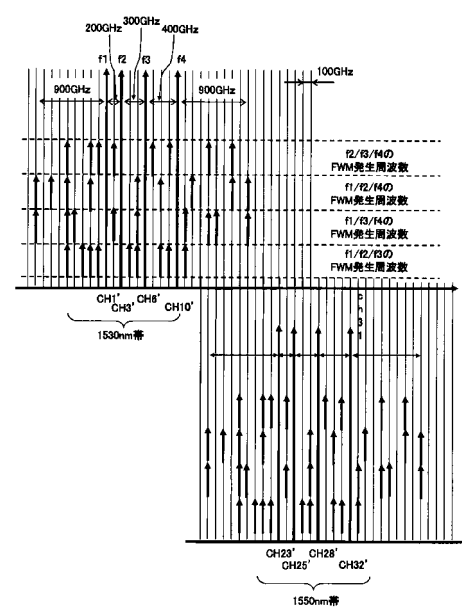
(B)



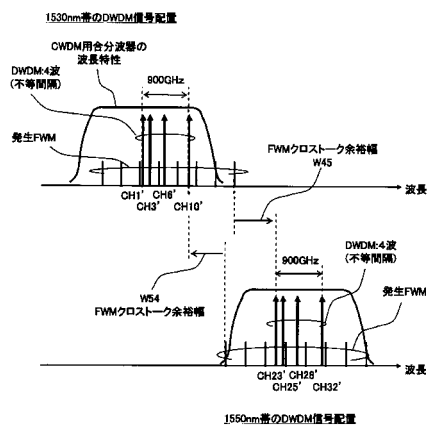
【図 16】



【図 17】



【図 18】



【図 19】

1530nm帯のDWDM信号配置例

CH 番号	波長 (nm)	周波数 (THz)
1	1528.77	198.1
3	1530.33	198.8
6	1532.68	199.6
10	1535.82	199.2

CH 番号	波長 (nm)	周波数 (THz)
1'	1528.77	198.1
4'	1531.12	198.8
8'	1534.25	199.4
10'	1535.82	199.2

CH 番号	波長 (nm)	周波数 (THz)
1'	1528.77	198.1
3'	1530.33	198.8
7'	1533.47	199.5
10'	1535.82	199.2

CH 番号	波長 (nm)	周波数 (THz)
1'	1528.77	198.1
4'	1531.12	198.8
6'	1532.68	199.6
10'	1535.82	199.2

1550nm帯のDWDM信号配置例

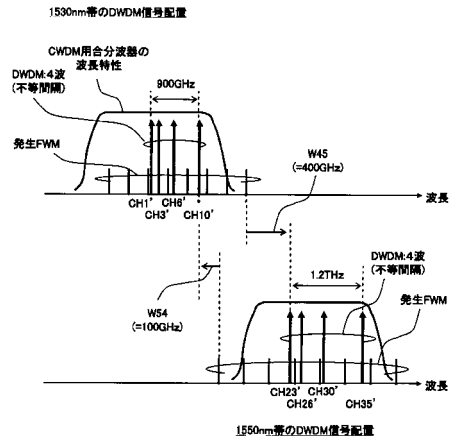
CH 番号	波長 (nm)	周波数 (THz)
23	1546.12	193.9
25	1547.72	193.7
28	1550.12	193.4
32	1553.33	193.0

CH 番号	波長 (nm)	周波数 (THz)
23'	1546.12	193.9
26'	1548.51	193.6
28'	1550.12	193.4
32'	1553.33	193.0

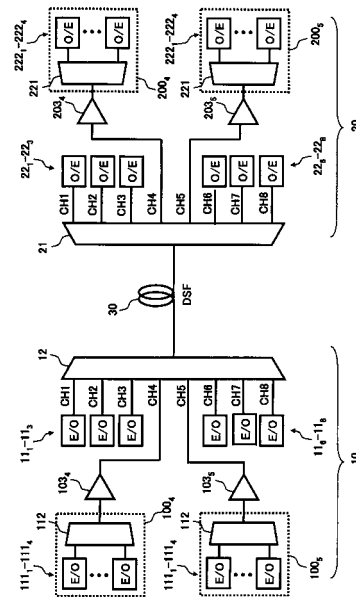
CH 番号	波長 (nm)	周波数 (THz)
23'	1546.12	193.9
26'	1548.51	193.6
28'	1550.12	193.4
32'	1553.33	193.0

CH 番号	波長 (nm)	周波数 (THz)
23'	1546.12	193.9
26'	1548.51	193.6
28'	1550.12	193.4
32'	1553.33	193.0

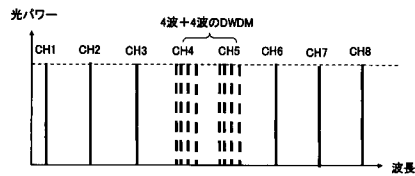
【図 20】



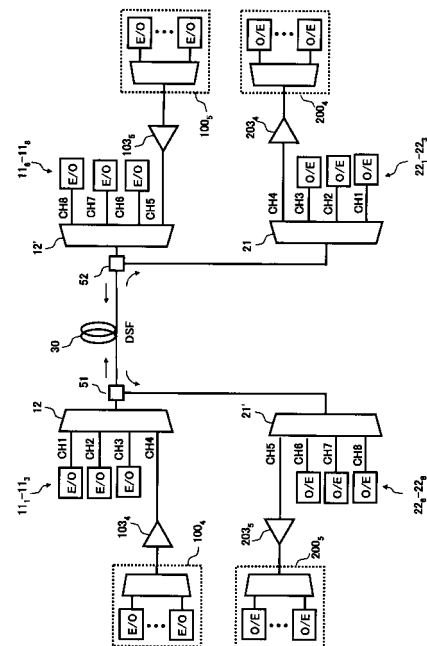
【図 21】



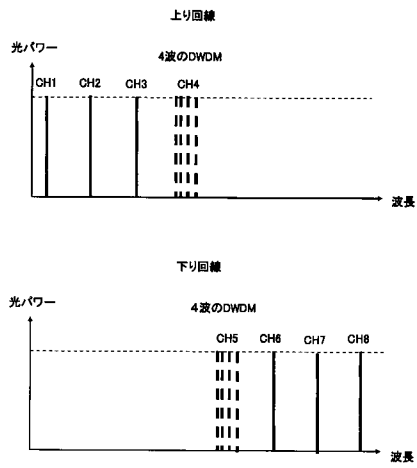
【図 22】



【図 23】



【図 24】



フロントページの続き

審査官 工藤 一光

(56)参考文献 特開2003-115822 (JP, A)

Antosik, R., Super-Channel Architectures for In-Service Capacity Expansion of CWDM/DWDM Systems, International Conference on Transparent Optical Networks, 米国, IEEE, 2003年 6月, Vol. 2, p.84-86

T. Sakamoto, J. Kani, M. Jinno, S. Aisawa, M. Fukui, M. Yamada, K. Oguchi, Wide wavelength band (1535-1560 nm and 1574-1600 nm), 28×10 Gbit/s WDM transmission over 320 km dispersion-shifted fibre, Electronics Letters, 米国, IEEE, 1998年 2月, Vol. 34, No. 4, p. 392 - 394

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04B10/00-10/28

H04J14/00-14/08