

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3845450号  
(P3845450)

(45) 発行日 平成18年11月15日(2006.11.15)

(24) 登録日 平成18年8月25日(2006.8.25)

(51) Int. Cl. F I  
H04Q 3/52 (2006.01) H04Q 3/52 C

請求項の数 12 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願平9-518790	(73) 特許権者	テレフォンアクチーボラゲット エル エム エリクソン (パブル)
(86) (22) 出願日	平成8年11月13日(1996.11.13)		スウェーデン国エス-126 25 ストックホルム(番地なし)
(65) 公表番号	特表2000-500314(P2000-500314A)	(74) 代理人	弁理士 浅村 皓
(43) 公表日	平成12年1月11日(2000.1.11)	(74) 代理人	弁理士 浅村 肇
(86) 国際出願番号	PCT/SE1996/001465	(74) 代理人	弁理士 清水 邦明
(87) 国際公開番号	W01997/018685	(74) 代理人	弁理士 林 拓三
(87) 国際公開日	平成9年5月22日(1997.5.22)		
審査請求日	平成15年11月12日(2003.11.12)		
(31) 優先権主張番号	08/555,716		
(32) 優先日	平成7年11月14日(1995.11.14)		
(33) 優先権主張国	米国(US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光波長交換によるモジュラオプティカルクロスコネクタアーキテクチャ

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

波長通信チャネルを高速に経路選択して交換するための光クロスコネクタノードにおいて、  
 複数の光ファイバ入力リンクとおよび出力リンクであって、各リンクが複数の波長チャネルを含み、  
 入力波長変換器であって、各々が前記入力リンクに接続されて複数の波長チャネルの櫛を波長チャネルの他の櫛に変換するよう構成された入力波長変換器と、  
 各々の入力リンクの入力ポートと、全ての入力リンクから受信された全ての波長チャネルを結合させる複数の出力ポートを備え、全ての入力波長チャネルの結合された信号を光スターカブラの各々の出力ポートに供給する単一光スターカブラであって、前記入力波長変換器は各々の入力ファイバリンクの波長チャネルの櫛を選択的に波長チャネルの異なる櫛に変換して、光カブラ内の波長競合を避けるように構成され、  
 光スターカブラの出力ポートの一つに接続されて、全ての前記入力リンクで受信される全ての入力波長チャネルの一つを選択する同調可能な光フィルタと、  
 各々が対応して同調可能な光フィルタの各々に接続されて選択された波長チャネルを異なる波長チャネルに変換する出力光波長変換器と、および  
 前記出力波長変換器で生成されて選択された波長チャネルを対応する光ファイバ出力リンクに結合する光コンバイナ、を含んでなる光クロスコネクタノード。

## 【請求項2】

10

20

請求項 1 に記載の光クロスコネクトノードにおいて、新しく追加されたファイバリンク、及び又は波長チャンネルの各々に一つの新たな同調可能な光フィルタおよび波長変換器を加えて、前記光クロスコネクトノードにファイバリンク、および/または、追加の波長チャンネルを加える手段を更に有する、光クロスコネクトノード。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の光クロスコネクトノードにおいて、前記波長変換器は 4 波長混合半導体光増幅器である、光クロスコネクトノード。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の光クロスコネクトノードにおいて、前記光クロスコネクトは光カプラを通して電子的クロスコネクトに接続された、光クロスコネクトノード。

10

【請求項 5】

請求項 1 に記載の光クロスコネクトノードにおいて、複数の前記同調可能フィルタの一つによって一つの波長チャンネルを複数の出力ファイバリンクに経路選択される、光クロスコネクトノード。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の光クロスコネクトノードにおいて、複数のファイバリンクに経路選択される一つの波長チャンネルはアナログ信号を含む、光クロスコネクトノード。

【請求項 7】

請求項 1 に記載の光クロスコネクトノードにおいて、前記出力光波長変換器は、前記同調可能フィルタで選択された波長を、前記入力ファイバリンクで使用される波長として格納する、光クロスコネクトノード。

20

【請求項 8】

請求項 1 に記載の光クロスコネクトノードにおいて、新たに追加されるファイバリンクおよび、又は波長チャンネルの各々に、入力波長変換器、同調可能なフィルタ、および出力波長変換器とを追加することで、前記ノード内に存在する要素に最小限のインパクトで新たなファイバリンクおよび新たな波長チャンネルモジュールを追加する手段を更に有する、光クロスコネクトノード。

【請求項 9】

各々が複数の波長チャンネルを含む複数の光ファイバ入力リンクと出力リンクと、各々が前記入力リンクの一つに接続されて複数の波長チャンネルの櫛を波長チャンネルの他の櫛に変換するよう構成された入力波長変換器と、各々の入力リンクの入力ポートと全ての入力リンクから受信された全ての波長チャンネルを結合して前記入力波長チャンネルの結合された信号を前記スターカブラの各々の出力ポートに提供する前記複数の出力ポートとを有する単一光カプラと、各々が前記単一光カプラの出力ポートに接続されて波長チャンネルを選択する同調可能な光フィルタと、各々が同調可能な光フィルタに対応して接続されて選択された波長チャンネルを異なる波長チャンネルに中継する出力光波長変換器と、および前記出力波長変換器で生成されて選択された波長チャンネルを混合して対応する光ファイバ出力リンク上に混合する光コンバイナと、を含む既存の光クロスコネクトノードにファイバ光リンクを追加する方法であって、

30

追加するリンクの数を決定し、及び

40

追加される各々のリンクに対して、前記リンクを追加された入力波長変換器を通して前記単一光カプラの可能な入力に結合し、追加された同調可能なフィルタと出力波長変換器を前記単一光カプラの可能な出力ポートに結合し、および、前記追加された波長変換器の出力を光コンバイナに接続する、ファイバ光リンクを付加する方法。

【請求項 10】

請求項 9 に記載の方法であって、さらに、前記単一の光カプラが付加的ファイバリンク、および/または、追加された波長チャンネルを取り扱う追加容量があるかを決定し、および、十分な容量があれば、前記単一の光カプラを新たな大きな容量の光カプラと交換する、ファイバ光リンクを付加する方法。

【請求項 11】

50

請求項 9 に記載の方法において、さらに、追加された入力波長変換器を前記単一の光カプラの可能な入力ポートに加え、さらに追加された同調可能フィルタと対応する出力波長変換器を前記単一光カプラの利用可能な出力ポートに付加して既存の光クロスコネクトノードの光ファイバに新たな波長チャネルを追加し、および、前記追加された波長変換器の出力を光コンバイナに結合する、ファイバ光リンクを追加する方法。

#### 【請求項 12】

複数の光クロスコネクトノード (OXC s) を含む伝送ネットワークで用いられる請求項 9 記載の方法において、当該方法はさらに、入力波長チャネルを前記単一の光カプラを介して複数の出力ファイバに経路接続し、前記入力波長チャネルは一つの光クロスコネクトノードから前記伝送ネットワークを介して異なる地理上位置の他のクロスコネクトノードへのブロードキャストである、方法。

10

#### 【発明の詳細な説明】

##### 発明の分野

この発明は光通信に関し、特に、光学的に交換/経路選択する高速トラヒックのための光路クロスコネクトノードアーキテクチャに関する。

##### 発明の背景と要約

電気通信網は、常に増大するサービス範囲を提供しつつあり、これは既存の電気通信網よりも増大した容量を必要とする。転送ネットワークは大きく複雑で多数の異なる技術とサービスを統合するので、その設計と管理のために、良く定義された機能エンティティを有するネットワークモデルが有用である。そうした階層化転送ネットワークアーキテクチャは、回線レイヤ、パスレイヤ、物理伝送媒体レイヤを含む。階層構造は、各ネットワーク層が他の層から独立に展開するのを容易にする。この発明にとって特に興味があるのは、例えば電子/デジタルクロスコネクト (DXC) ノードなどノードと呼ばれるパスレイヤデバイスを使った、回線レイヤと伝送レイヤの間のリンクである。このデジタルクロスコネクトノードは、より低いデータ速度への交換と経路選択に加えて、より低い伝送階層へのチャネル多重分離のような機能を遂行する。今日、光学技術は、高速な時分割多重 (TDM) デジタルデータストリーム、例えば 2.5 Gbit/s のデータストリームを転送する物理レイヤに、主として採用されている。

20

光リンク上をデータが転送できる高速度、例えば 2.5 Gbit/s に比較して、電子パスレイヤノードは、遙かに低い速度、例えば 155 Mbit/s で作動する。転送ネットワークの容量増加の需要に応じるためには、電子ノード交換と経路選択の使用が原因で起こるボトルネックを除去する必要がある。従って、光クロスコネクト (OXC) ノードを使用してそうした高速度 (2.5 Mbit/s) の動的経路選択と波長チャネルの割り当てを遂行する既存の電気通信網のパスレイヤに、「トランスペアレントな」光レイヤを追加して、そうしたボトルネックを除去することが、この発明の一つの目的である。こうして、送信装置から伝送された信号は、電気的なクロスコネクトを常に通らずに、そのパスレベルのいくつかの光クロスコネクトノードを通る経路を選択する。

30

このネットワーク構造の重要な利点は、光電子変換とこの変換に関連する損失の必要なしに、光クロスコネクトノードがそのパスレイヤでの転送ネットワークを通じて大量のデータを経路選択することである。その上、光パスレイヤ上の高速伝送はネットワークに対して「トランスペアレント」である。トラヒックを電子クロスコネクトよりも遙かに高速で経路選択できるだけでなく、基礎的なパスレイヤを構成する光レイヤまたはデジタルレイヤに衝撃を与えることなしに、例えば 2.5 Gbit/s から 10 Gbit/s に、容易に光レイヤ伝送速度を増加できる。この方法で、クロスコネクトノード構成を修正することなしに、光クロスコネクトノードを通じて、遙かに速いトラヒック転送速度へ、ネットワークをアップグレードできる。

40

チャネル交換を遂行するために光空間スイッチマトリクスを採用した光クロスコネクトノードは、多数の欠点に苦しんでいる。第 1 に、光空間スイッチは比較的が高価で、光クロスコネクトノードのインプリメントの初期コストが高くなる。第 2 に、空間スイッチは複雑な装置である。実際、あるノードへの追加容量は、途方もなく遙かに複雑な空間スイッ

50

チを追加することを意味する。第3に、空間スイッチは柔軟性に欠ける。光ファイバリンクは、既存の空間スイッチへモジュールにより追加できない。それどころか、新しくリンクを追加するためには、新しい空間スイッチを設計して、非常に高いコストで設置しなければならない。第4の欠点は、柔軟性が欠けていることに関する。波長チャンネルが光クロスコネクタノード内に「混合している」ので、異なった入力波長チャンネルを使用して、これにより波長の再使用を制限しなければ、波長の競合が発生する。

この発明の一つの目的は、経済的で、単純で、フレキシブルな光クロスコネクタノードアーキテクチャを提供することである。

この発明の一つの目的は、光リンクモジュール性と波長モジュール性の両方を提供する光クロスコネクタノードアーキテクチャを提供することである。

10

更に一つの目的は、既存のアーキテクチャを大きく影響することなしにこうしたモジュール性を達成し、これにより、ノードを再構成する必要なしに、要求に基づいて、個別のファイバリンクおよび/または波長を追加できるようにすることである。

更に一つの目的は、光空間スイッチの使用を必要とせずに波長交換と経路選択を提供する光クロスコネクタアーキテクチャを提供することである。

この発明の一つの目的は、光子的、波長変換を使用して、ノード内の波長の競合を避けて（これにより波長の再使用を可能にして）、ネットワーク中で使用されるあらゆる波長および/または光ファイバのマルチキャストを可能にすることである。

光子的、波長変換と同調可能な光フィルタを使用して、光クロスコネクタノードを通じて波長チャンネルを交換し経路選択することにより、この発明は、選択的トラヒック経路選択 / 交換 / マルチキャスト機能を実施するための空間スイッチの必要を除く。光クロスコネクタから光空間スイッチの必要を除くことは、光、クロスコネクタノードのインプリメントのコストを大きく減少させる。しかしながら、この発明のアーキテクチャは、希望すれば、空間スイッチと共に使用できる。その上、この発明の光クロスコネクタノードアーキテクチャは、そのモジュール性のゆえに、かなりの設計の柔軟性と、更なる経済さえ提供する。光パスレイヤを既存のネットワークに追加するとき、初期容量の需要は比較的小さく、結果として、コストが、既存ネットワークのアップグレードまたは新ネットワークの設立の重要な要素になりそうなので、モジュール性が特に望ましい。各リンクまたは追加波長に限定されたモジュールのコストは、空間スイッチのようなノード内の他の既存の高価な部品に関するコストよりも受け入れやすい。この発明を使用すれば、相当な努力とコストで空間スイッチ全体を置き換える必要なしに、単に新リンクおよび/または波長チャンネルを追加するだけで、パス / ノードレベルの転送ネットワーク容量を容易に増加できる。

20

30

モジュール方式クロスコネクタノードアーキテクチャは、各々複数の波長チャンネルを収容する複数の光ファイバ入力リンクを含む。各ファイバリンクは、スターカブラのような（しかしこれに限定されない）光カブラの入力ポートに接続されている。「能動」交換装置である高価な空間スイッチと対照をなして、スターカブラは安価な受動装置である。光カブラの各出力は同調可能な光フィルタに接続され、後者は出力ファイバに接続されるチャンネルの波長に同調される。従って、この同調可能なフィルタは、特定の波長に同調されることにより、光カブラの出力ポートから出力光リンクまでその特定の波長を有する波長チャンネルを選択し経路とする。この動作は、波長チャンネル経路選択と呼ばれる。

40

この同調可能なフィルタの出力は、対応する波長変換器に接続され、後者は、波長チャンネル交換と呼ばれるものを遂行する。言い換えれば、波長変換器は、希望するならば、入力波長を異なった出力波長にシフトする。結果として、1つの波長チャンネル上に含まれる情報が、他の波長チャンネルに「スイッチされ」得る。各波長変換器からの出力信号は、種々の結合器ノードにおいて多重複数チャンネルへ組み合わせられて単一の光ファイバリンクになる、つまり、波長分割多重化が行われる。波長チャンネルが空間領域よりも波長領域でスイッチされるので、光空間スイッチは全く必要ない。デジタル / 電子クロスコネクタもまた、光カブラにおいて、電子光学式の送信機および受信器を通じて結合され得る。

もう一つの実施例において、高度にモジュール的な、光クロスコネクタノードは、各々複

50

数の波長チャネルを含む複数の光ファイバ入力リンクと複数の光ファイバ出力リンクをインターフェイスする。単一の入力光ファイバリンク（波長チャネルの「WDM櫛」と呼ばれる）へ波長分割多重化（WDM）された波長チャネルの入力セットを、もう一つの波長のセットへ中継するために、各入力リンクは1つの入力波長変換器へ接続されている。各入力波長変換器の出力は、1つの光学カプラの入力部に接続される。入力WDM櫛を異なった、干渉しない波長へ適当に変換することにより、光カプラ内の光波長の競合が回避される。光カプラの各出力ポートは、同調可能な光フィルタと波長変換器の対応するペアに接続されるが、これは、ある希望する波長チャネルをその光カプラから1つの出力リンクへ経路選択して、この経路選択された波長を元の入力波長へ中継するためである。種々の波長変換器からの波長チャネル出力は、対応する光コンバイナを通じて、1つの光ファイバリンク上に多重化される。

10

このモジュール方式光クロスコネクタアーキテクチャの一つの長所は、新しいファイバリンクを容易に安価に真にモジュール方式の仕方で追加できることである。より詳細には、新しい光ファイバリンクを追加するのに必要なことは、新リンクに結合された下記の光学部品を追加することだけである、すなわち、入力波長変換器、同調可能な出力フィルタ、出力波長変換器、出力コンバイナである。もし光カプラが余分の入力ポートと出力ポートを持っていれば、この既存の光カプラを使用できる。たとえ全ての光カプラポートが使用されていても、この既存のカプラを新しい、より大きな容量の光カプラに置き換えるだけでよい。受動光カプラは比較的安価なので、新しい光学カプラを必要とする新しいファイバリンクの追加は、それにもかかわらず、光クロスコネクタノードの構造に非常に小さな影響しか与えない。同様に、各ファイバ上で搬送される波長の数も、安価な仕方で増加できる。各新波長チャネルは、追加の同調可能な出力フィルタ/波長変換器のペアだけを必要とする。言い換えれば、新しく追加された各波長チャネルについて、光カプラの出力に追加された1つの同調可能なフィルタ/波長変換器のペアが必要である。既存の同調可能なフィルタ/波長変換器のペアは、影響されない。繰り返すが、変更する必要がある唯一の部品は光カプラで、これが波長チャネルの総数と同じ数の出力ポートを有するようになる。

20

従って、本書に開示されたアーキテクチャを使用して、新しい波長および/またはリンクを共にまたは別々に、単純な仕方でモジュール方式で追加できる。開示したアーキテクチャの一つに新しいファイバリンクを追加する例を使用して、追加すべきリンクの数を決定できる。追加する各リンクについて、追加の入力波長変換器を通じて、リンクは光カプラの利用可能な入力ポートに結合される。追加の同調可能なフィルタと対応する出力波長変換器が、光カプラの利用可能な出力ポートに結合される。追加の波長変換器からの出力が、光コンバイナに接続されている。

30

この発明によりアーキテクチャのもう一つの利点は、単一の入力波長チャネルを複数の出力波長チャネルとファイバリンクへマルチキャストすることである。一つの有利なアプリケーションは、中心的な位置でオリジナル信号を生成し、この信号を転送ネットワーク上の1つの光クロスコネクタノードから、複数の異なる地理的位置にある他のクロスコネクタノードへ、同報通信することを含む。

この発明のこれらおよび他の利点を、図面との関連において、以下に更に説明する。

40

#### 【図面の簡単な説明】

図1は、ローカル転送通信網内の光通信レイヤを図示する略図である。

図2は、波長経路選択ネットワークの略図である。

図3は、固定波長レーザと同調可能な受信器を有する同報通信兼選択ネットワークの略図である。

図4は、この発明の好ましい実施例による波長交換を使用する光クロスコネクタの機能ブロック図である。

図5は、波長変換器の動作の諸原則を図示する略図である。

図6は、この発明の好ましい実施例による4波混合半導体光増幅器波長変換器の制御の例を図示する機能ブロック図である。

50

図7(a)は、光クロスコネクトを制御するための管理システムの機能ブロック図である。

図7(b)は、個別の光デバイスの制御を例示する機能ブロック図である。

図8は、この発明のもう一つの実施例による波長交換を使用する高度にモジュール的な光クロスコネクトアーキテクチャの機能ブロック図である。

#### 図面の詳細な説明

以下の説明において、限定のためでなく説明のために、特定の回路、回路部品、インターフェイス、技法などの仕様の詳細が示されるが、これはこの発明の完全な理解を提供するためである。しかしながら、この仕様の詳細から離れた他の実施例でこの発明を実施できることは、当業者に明らかであろう。他の例においては、公知の方法、装置、回路の詳細な説明は、不必要な細部でこの発明の説明を曖昧にしないために、省略される。

図1を参照すると、ネットワークポロジと伝送プロトコルの将来の発展に容易に適応可能な転送ネットワークがあり、「トランスペアレントな」光レイヤ10がこれに含まれる。トランスペアレントの意味は、ネットワークバスレイヤの既存の電気レイヤ上で使用されるデータ速度とプロトコルに影響せず、さもなければおもてに現れないことである。光リンク11(光リンクは濃い肉太の線で図示されている)と光クロスコネクトノード12(ときどき単に光クロスコネクト(OXC)と呼ばれる)をインタフェイスする多数の柔軟なネットワークノードを通じて、転送ネットワークのバスレイヤに光レイヤ10が追加される。一般にOXC12は、非常に速い速度で光波長通信チャネルの動的経路選択と交換/割当てを可能にする(各波長は単一のトラヒックチャネルを搬送する)。トラヒック信号は、本来典型的にデジタル信号であるが、アナログ信号を含むこともあり得る。しかしながら、もっぱら説明の目的のために、この説明ではトラヒックが高速デジタルビットストリームで構成されると仮定する。

より低い/より遅いビットレートの伝送階層における多重分離と経路選択は、データを再配置する電子光学トランシーバ(図示なし)を使用して、光レイヤから電子/デジタルクロスコネクト(DXC)14へ信号を変換することにより達成される。例えばDXCは、1つのトラヒックチャネル内で搬送される複数の信号チャネルの時分割多重分離を遂行し、またかなり遅い速度で経路選択、交換、その他のデジタル処理機能を遂行する。OXCのインターフェイスにより多数の潜在的に可能なネットワークアプリケーションが光ネットワーク11に示されるが、その中には、電子広帯域ネットワーク20へのユーザインターフェイス、アッド/ドロップマルチプレクサ(ADM)16を介しての自動式構内交換(PABX)18へのインターフェイス、広帯域ISDN(B-ISDN)へのアクセス、家庭、ローカルエリアネットワーク(LAN)22のような小型ネットワークへのインターフェイスが含まれる。

空間および波長の領域で、既存および広帯域の通信システムの容量を増加するために、光子交換を有利に使用できるが、一方、電子レイヤにより一層適切に遂行できるデータ処理とデータ記憶の機能を遂行するために、光子工学が特に適しているわけではない。この組み合わせノードアーキテクチャにより、(1)光学的技術と(2)電子的技術の両方の「最良の」特徴が利用される。すなわち、(1)非常な高速度で一般的トラヒックのチャネルの比較的単純な光経路選択と、(2)より遅い速度で、より複雑な個別の信号チャネルの電子経路選択、交換、処理である。この種の相補的な仕方では、光子技法と電子技法を使用することにより、ネットワーク全体のトラヒックのスループットがかなり増加する。その上、伝送ネットワーク上のバスノードを通じた直通の順方向トラヒック伝送のために光電子変換が不必要なので、光クロスコネクトは、高速だけでなく高能率で、大きなブロックをトランスペアレントに経路選択する。

波長分割多重化(WDM)は、単一のファイバ上に多重の、独立した光チャネルを設定するのに使用される。導線または無線波のチャネル帯域を最適化するのに使用される時分割多重(TDM)と対照をなして、ファイバ帯域は直接に波長領域において最も容易にアクセスされる。概念において、波長分割多重化は、別別のチャネル送り元(複数の入力リンク)を単一の通信ファイバへ結合すなわち多重化し、また単一のファイバからの複数の信

10

20

30

40

50

号を隔離すなわち多重分離する。基本的に、波長分割多重化は、周波数分割多重化という用語が電氣的（銅線の）または電磁的（無線）伝送システムで使用されるのと同じである。もちろん、 $V = F \times \lambda$ の関係は、周波数に対する波長の関係を述べる。

WDMネットワーク内で使用される2つの一般的アーキテクチャは、波長経路選択ネットワークと同報通信・選択ネットワークであって、図2と図3に図示されている。図2に示す波長経路選択ネットワークは、同調可能なレーザのような1つまたはそれ以上の波長選択素子からなる。ある信号がネットワークを貫通するパスは、信号の波長と、信号がネットワークに入る入力ポートにより決定される。適当な同調電流により制御されるN個の同調可能なレーザの送り元（ $S_1 - S_N$ ）が、WDMネットワークを通じて、N個の波長独立受信器（図示なし）に相互接続されている。選択された波長に同調することにより、与えられたレーザからの信号を選択された出力へ経路選択することができる。図3に示す同報通信と選択のネットワークは、全ての単独の波長レーザ入力をスターカプラ内に併合して、全ての出力へそれらを「同報通信」する。このアーキテクチャは、固定または同調可能な入力レーザと、固定または同調可能な出力レーザに基づいている。

この発明は、波長分割多重化を使用しており、また同調可能なフィルタ、波長変換器、光カプラを使用し、光空間スイッチを使用せずに、多重波長チャンネルの光経路選択と交換を遂行する。この発明の光クロスコネクタアーキテクチャを使用すれば、ある入力波長チャンネルをどれか他の波長チャンネルへ、リンクごとに割り当てることができる。このバーチャル波長パス技法は、ネットワーク内で必要とされる周波数の総数を最小化するので有利である。波長パススキームにおいては、各パスに1つの波長を割り当てることにより、2つのノードの間に各光パスを設定できる。結果として、全ネットワークを通じてあらゆるリンク内の各波長に、異なった波長を割り当てなければならない。バーチャル波長パススキームにおいては、波長はリンクごとに割り当てられ、従って、光パスの波長はノードごとに割り当てられる。結果として、バーチャル波長パススキームにおいては、より少ない数の全ネットワークの波長が要求される。

光波長変換をするために、種々な方法/装置を使用できる。大部分の光波長変換装置は、半導体デバイスの非線形効果を利用する。この発明で使用し得る光波長変換方法の例には、全光学式および光電子式波長変換器が含まれる。特定な例の中には、半導体光増幅器（SOA）中の利得飽和、マッハ-ゼンド干渉計のブランチ上の半導体光増幅器内の屈折率変調、半導体光増幅器内の4波混合（FWM）が含まれる。これらの特定の波長変換方法は、大きな離調帯域幅と、同調可能なレーザを介しての離調の光学的制御を提供する。もちろん、光-電子変換器を採用した場合は、ビットレートへのトランスペアレンシイと伝送フォーマットが失われる。この発明の説明を単純にする目的で、以下の説明のみは、半導体進行波光増幅器型波長変換器内の4波混合を使用した例に基づく。これに加えて、このタイプの波長変換器は、信号変調フォーマットから独立した周波数変換が可能であり、非常に高いビットレートの信号を処理し、（すなわち40 Gbit/s以上）、波長分割多重化された「櫛」全体または光ファイバ上にある波長のセットを中継できるので、有利である。その上、FWM変換器は例えばCATV信号のようなアナログ信号を中継するのに使用できる。

次に図4に関連して、この発明の一実施例により純粋な波長交換を実施する光クロスコネクタアーキテクチャを説明する。この光クロスコネクタアーキテクチャにおいて、波長チャンネル経路選択と交換は、同調可能なフィルタと波長変換器を使用して、全く波長領域内で遂行される。もっぱら説明の目的のためであるが、3つの光ファイバ入力リンクが光クロスコネクタ50へ接続され、各ファイバリンクは複数の波長分割多重チャンネルを搬送する。もちろん、3個を超えるリンクを収容しても良い。この実施例において、光クロスコネクタ内のチャンネルの競合を避けるために、異なった光ファイバリンクへ多重化された搬送波長の「櫛」は、その光スペクトルの隣接した、重複しない部分を占めなければならない。同一構成の3つの出力光ファイバリンクが、光クロスコネクタ50を離れるところを示されている。各ファイバリンク上の光信号は、エルビウムにドープしたファイバ増幅器（EDFA）のような適当な光増幅器58a、58b...58nを使用して増幅される

10

20

30

40

50

。同様に、出力E D F A増幅器68 a、68 b . . . 68 nが供給されて、光クロスコネクタにより生成された出力信号を増幅するために提供される。これらの増幅器は光クロスコネクタアーキテクチャにとって本質的に重要なものではないが、光クロスコネクタノード内のファイバパスと部品の併合した損失のゆえに、これらが信号を増幅することが望ましい。

入力ファイバリンク1、2、3と共に、デジタルクロスコネクタ(DXC)52に接続した電子光学式送信機54によりローカル的に生成された光波長チャンネルが、スターカプラのような光カプラ60により結合され、光カプラ60がその各出力ポートへ結合された信号を同報通信する。スターカプラの出力は、各出力ファイバについて1グループずつ、N出力の3グループにまとめられる(Nは波長チャンネルの数である)。これにより、ノードに入る波長チャンネルのセットの全てが光カプラの各出力ポート上で利用可能にされる。結果として、どれかの波長チャンネルがどれかの入力ファイバから、どれかの出力ファイバリンクのどれかの波長チャンネルへ、経路選択される。光カプラ60の複数の出力は、それぞれ同調可能な複数のフィルタ62に接続されている。6個の同調可能なフィルタ62 aないし62 fが、限定を目的としない単純な例示として示されているが、ここで各入力および出力のファイバリンクは2つの波長チャンネルを含む。結果として、合計6個(3リンク×2チャンネル)の可能な波長が、出力のどれかの1つに選択的に経路を決められる。もちろん、2つを超える波長チャンネルを1つのファイバへ多重化できる。それから光カプラ60上の各出力ポートが接続されるのは同調可能な光フィルタ62 aないし62 fの一つであり、これが6つの可能な波長チャンネルの1つに同調される。従って、同調可能なフィルタ62は、特定波長に同調されることにより、光カプラ60からその出力光ファイバリンクまでその特定の波長を有する波長チャンネル、すなわち波長チャンネル経路を選択し、経路を決める。

各々同調可能なフィルタのフィルタは、対応する波長変換器64 aないし64 fへ接続され、後者は波長チャンネル交換を遂行する。言い換えれば、希望により波長変換器が、入力波長を異なる出力波長へ変換する。結果として、波長チャンネル内に包含されている情報は、他の波長チャンネルへ「交換」される。もちろん、チャンネルが既に希望する波長にあれば、波長変換器が波長を変換する必要はない。各波長変換器64 aないし64 fからの出力信号は、対応するコンバイナ66 aないし66 cに結合され、複数の波長チャンネルが単一の光ファイバリンクへ多重化される、すなわち、波長分割多重化が行われる。限定を目的としないこの例においては、リンクごとに2つの波長チャンネルがあるので、各コンバイナは2つの周波数変換器出力を1つの出力リンクへ多重化する。

波長チャンネルは空間領域内ではなく波長領域内で交換されるので、光空間スイッチは全く必要ない。交換要素として波長変換器を使用すれば、ネットワークの柔軟性を増大し、ネットワークの管理を単純化し、光クロスコネクタのコストを減少する。

要素62 aないし62 fのために、適当な同調可能なフィルタ、例えばファブリペローフィルタ、音響光学フィルタ、分散ブラッグ反射器(DBR)上の能動フィルタのようなものが使用できる。これらの装置は、光学的利得、狭いフィルタ線幅(linewidth)、多機能性への潜在能力と共に、他の光電子デバイスとのモノリシック集積の利点を有する。

次に図5と図6により、半導体進行波増幅器(SOA)内の4波混合(FWM)に基づく波長変換器の例を説明する。4波混合は、異なった波長で2つの波が1つの半導体光増幅器に注入されるときに起こる非線形効果である。図5を参照すると、SOA内のFWMに基づく周波数変換器が得られるが、これは、変換されるべき入力信号<sub>s</sub>(周波数 $f_1$ を中心とする)および同一の線形分極を有する光ポンプ<sub>p</sub>(周波数 $f_2$ を中心とする)を、SOAに注入することにより得られる。SOA内の材料光非線形性が、ポンプと入力信号の間の離調である $= f_3 - f_1$ により周波数をシフトした第3の出力フィールド<sub>o</sub>(これは周波数 $f_3$ を中心とする入力信号<sub>s</sub>の共役のものである)を生成する。周波数<sub>o</sub>におけるフィールドは、<sub>s</sub>と同一のスペクトル(しかし逆の周波数のスペクトルを有する)を有するので、変調が保存され、またsの搬送波長は変換インターバル $= \omega_o - \omega_s$ により中継される。

種々の物理現象が半導体光増幅器内で4波混合を起こし得るが、その中には、アクティブ

10

20

30

40

50

領域内でポンプ信号の「ピーティング」(つまり、うなり周波数のことをいう)や、帯域間搬送波ダイナミクスによる非線形利得と指数飽和により誘導される搬送波密度の脈動が含まれる。レーザ放出来たまたはポンプの周波数  $f_2$  に関して僅かに離調した周波数  $f_1$  で入力信号が注入されるとき、搬送波密度の、そして結果として利得と屈折率の両方の、うなり周波数において変調が生成される。フィールドの、(屈折率を通じての)周波数変調と(利得を通じての)強度変調は、スペクトル内に2つの側波帯を生成する。それらの1つは注入されたフィールドと同一の周波数であり、もう1つは、 $2f_2 - f_1$ の周波数に当たる。注入されたフィールドが  $f_1$  と  $f_2$  の差に対して低い周波数で変調されるとき、複数の新周波数の出力もまた変調される。もし利得の非線形性が周波数から独立していれば、この変調は入力信号  $f_1$  の供役のもの  $f_3$  である。

10

図6に、周波数変換の一例を示す。信号  $s$  とポンプ  $p$  を含む入力光波が、半導体光ファイバ71に結合される。ポンプ信号は、適当な制御電流により調節される同調可能なポンプレーザ74により生成される。こうして、制御電流とそれのポンプを変更することにより、波長の中継(translation)の量を容易に変更できる。入力信号とポンプには周波数の差があり、図5に関して上述したように、結合されたときに、その周波数の差における搬送波密度の変調を導入する。この変調は、利得飽和の均一性のゆえに、利得スペクトル全体に影響する。入力信号をこの光スペクトル内のいずれかの他の波長に中継できる。ポンプとSOAからの元の信号を抑えて、波長中継された出力信号のみを残すように、光フィルタ72を同調することができる。

このFWM SOA波長変換器は、ある量により、単一の波長チャンネルまたは複数の波長チャンネルの組み合わせ/セットの全体を波長変換するのに使用できる。FWM変換の処理は、信号またはそのスペクトルから独立している。結果として、強度変調された信号、強度変調された信号のWDM櫛、そしてアナログ信号をさえ、このFWM変換処理を使用して波長変換できる。

20

図7Aと7Bは、多数の光クロスコネクタを制御するための管理システムアーキテクチャを図示する。この管理アーキテクチャは、オペレーティングシステム100を含む3つのプロセッサレイヤ、仲介デバイス102、独立した「管理ネットワーク106」に接続するデバイスプロセッサ104を含む3つのプロセッサ層を含んでなる。オペレーティングシステム100により、オペレータがネットワークを再構成し、保護パスを設定し、ステータスを監視することが可能になる。マンマシンインターフェイスをオペレーティングシステム100に供給して、全体のネットワーク構成または個別のノードの構成をグラフィック的に表示できる。適当な波長チャンネルを割り当て、また空いているパスとチャンネルを計算し自動的に選択する経路選択アルゴリズムを使用することにより、構成管理は自動的にネットワーク内の終端端末の間にチャンネルを設定する。各クロスコネクタノードに1つの仲介デバイスが配置されていて、デバイスプロセッサへオペレーティングシステムのためのコマンドを分配する。仲介デバイスの主要なタスクは、コミュニケーションリンクを維持することであるが、たとえば、ノードを横切る信号レベル等化の管理のような追加の機能性を割り当てることもできる。

30

各クロスコネクタノードに1つの仲介デバイス102が配置されて、オペレーティングシステム100からのコマンドを複数のデバイスプロセッサ104へ分配している。仲介デバイス102の主要なタスクは、このコミュニケーションリンクを維持することであるが、仲介デバイスはまた、ノードを横切ったの制御信号等化のような他の諸機能を遂行することもできる。各仲介デバイスと複数のデバイスプロセッサの間の通信は、RS-485バスを通過して遂行される。デバイスプロセッサ104は、各クロスコネクタ内で、全ての必要なパラメータを管理しモニタする。例えば、光増幅器の場合は、入力と出力の電力、ポンプ電力電流、温度が全てモニタされ得る。図7に示す光増幅器を考察されたい。上記のように、入力電力、出力電力、ポンプ電力電流、温度が全てモニタされ指示され得る。デバイスプロセッサ104は、デジタル信号とアナログ信号の両方を処理し、RS-232バスを使用して他のデバイスプロセッサへ接続する。

40

モジュール方式光クロスコネクタアーキテクチャのもう1つの実施例を図8により次に示

50

すが、ここで図4からの類似の要素は図8で類似の参照番号を有する。図4に示した光クロスコネクタアーキテクチャの欠点の一つは、もし入力ファイバリンクが同一の波長を搬送すると、スターカプラ60内に競合が起こることである。従って、ノード内のこうした競合を避けるためには全ての波長が異ならなければならないので、ネットワーク内で波長の再使用が妨げられる。図8は、ネットワーク内の波長/周波数の再使用を図示するが、この中で入力リンク1、同2、同3は、(波長に対応する)類似の周波数 $f_0$ と $f_1$ を含む。繰り返すが、説明の目的のために、リンクごとに3つのファイバリンクと2つの波長チャンネルが示されている。

半導体光増幅器における4波混合は、図8に示すOXCアーキテクチャにおいて、2つの重要な機能、すなわち光子交換と波長競合回避を遂行する。図8のアーキテクチャ内で遂行される光子交換機能は、図4のOXCアーキテクチャの説明と結びつけて既に述べた。波長競合回避の機能に関して、波長変換器を使用すれば、同一波長の2つのチャンネルが同一出力ノードへ経路選択するとき起こり得る波長の競合を回避する。チャンネルの1つの波長を異なる波長へシフトすることにより、そうした競合を避けて、それにより一層信頼できて柔軟な光ネットワークを完遂できる。複数の波長チャンネルが1つのリンク上に多重化される状況においては、複数のチャンネルが光カプラ内で混合する以前に各ファイバリンク上の全WDM櫛をシフトするために、FWM SOA波長変換器が使用される。

この発明のこの実施例によれば、入力波長変換器70a、同70b、同70cは、各波長チャンネルの入力周波数を異なった周波数のセットへシフトする。図4に関して使用された例のように、図8の例は各々2つのチャンネルだけを搬送するリンクを有する3つのファイバリンクのみを仮定している。しかしながら図4と対照的に、図8の各入力ファイバリンクの2つの波長チャンネルは、同一の $f_0$ と $f_1$ である。もちろん、遙かに大きな数のリンクと波長チャンネルを使用できる。こうして、各ファイバリンク上の入力周波数 $f_0$ と $f_1$ の櫛を、その波長コンバータ70により他の櫛または周波数へシフトできる。この例では、光リンク1上の入力波長周波数 $f_0$ と $f_1$ は、波長変換器70aにより中継(translate)されない(ただし、希望するならば中継されるようにもできる)。光リンク2上の波長チャンネル $f_0$ と $f_1$ は、波長変換器70b内で、それぞれ周波数 $f_3$ と $f_4$ に変換される。光リンク3上の波長チャンネル $f_0$ と $f_1$ は、波長変換器70c内で、周波数 $f_3$ と $f_4$ とは異なった周波数 $f_5$ と $f_6$ に変換される。結果として、光カプラ60内で結合される個別の波長は、衝突/競合しない。こうした単純化されたWDM櫛の波長中継を遂行するために、光カプラ60の入力においてFWM SOA波長変換器が使用される。

図4について前述した同調フィルタ62aないし62fおよび波長変換器64aないし64fのペアは、出力ファイバへの種々なチャンネルの経路指定と波長領域内での波長交換をそれぞれ遂行する。波長変換器64aないし64fは、希望すれば、 $f_3$ と $f_4$ のチャンネルまたは $f_5$ と $f_6$ のチャンネルを対応する $f_0$ とFIの周波数(波長)へ中継でき、これが波長変換器70により受信される。この特徴により、ノード波長交換機能がノードの外側でトランスペアレントのまま残ることができる。同様に、波長変換器のペアからの出力は、それぞれのコンバイナへコンバインされて、各リンクのWDMチャンネルを再構成する。

図4と図8に開示された光クロスコネクタアーキテクチャは、ノンブロッキングであり、波長チャンネルの競合を防止し、リンクと波長の両方がモジュール的である。結果として、入力および出力ファイバリンクを追加するには、図4のアーキテクチャのためには、追加の対応する同調可能なフィルタ62と波長変換器64のペアを有する各々の新しいファイバを挿入するだけでよい。図8のアーキテクチャのためには、もう一つの波長変換器も追加される。そうしたリンクおよび対応するリンク要素の追加は、事前に存在する光クロスコネクタノードの構成要素またはノードの基本構造に影響したり変化させたりせず、結果として、光クロスコネクタはリンクモジュール的である。

同様に、各入力ファイバ上で波長チャンネルの既存の櫛に、新しい波長チャンネルを個別に、モジュール的に追加できる。追加の波長チャンネルには、同調可能なフィルタ/波長変換器のペアの追加が必要なだけである。追加されたフィルタ/変換器のペアの総数と、事前に

10

20

30

40

50

存在したデバイスを変更せずに追加された波長の総数は等しい。従って、光クロスコネク  
トは波長モジュール的である。

光カブラが寸法過大であり (overdimensioned)、追加の入力ポートと出力ポートを有す  
る場合は、既存のOXC変更を加えずに、新しいリンクと波長を追加できる。新リンクお  
よび/または波長を追加するために、より高い性能の光カブラが必要な場合も、このより  
高い性能の光カブラが、既存のカブラに置き換えられる。ハードウェアの唯一の変更は、  
入力および出力のカブラのポートを切断し、再接続することである。OXCのなかで光カ  
ブラは断然最も経済的であり、光空間スイッチよりも確かにより経済的に置き換えること  
ができる。結果として、光クロスコネクトは、トラヒックの中断なしに、市場の需要のよ  
うな最小の増加コストでアップグレードできる。

この発明のOXCアーキテクチャを使用すれば、光クロスコネクトはネットワークのボト  
ルネックではない。その上、初期トラヒック需要が低く見込まれる広帯域ISDN(B-  
ISDN)のような将来のネットワークにおいては、光パスレイヤにより、将来の成功と  
トラヒック需要増加に伴う増加投資をもサポートしながら、通信網を柔軟かつ経済的にア  
ップグレードできる。この発明の光クロスコネクトアーキテクチャは、高度なリンクと波  
長のモジュール性を提供する。追加リンクは、追加リンクの数に一致する数の部品または  
モジュールを追加するだけでOXCへ追加できる。同様に、複数の波長を追加するときは  
、部品の数は追加の波長の数に直接に対応する。アップグレードの支出は、新リンクと関  
連部品、および恐らくは1つの新しい光カブラに限られる。ノードアーキテクチャを再設  
計する必要がなく、また高価な空間スイッチを購入する必要もない。前述のように、これ  
らのアーキテクチャのもう一つの長所は、ネットワーク内の全てのチャンネルに1つの波長  
を割り当てるよりも、波長交換によるバーチャルパス波長技法を採用しているので、波長  
の総数を最小化できることである。

両方のアーキテクチャが、与えられた波長チャンネルが1つよりも多いチャンネルを経路選択  
できる、すなわちマルチキャストを直接にサポートする。その上、どのマルチキャストさ  
れた信号であっても、発信波長と他のマルチキャストされた波長に関係なく、どの波長へ  
も進行できる。このことは、1つのプロダクションセンターから、異なった地理的位置の  
いくつかのアクセスノードへ信号を転送するアプリケーション、すなわちテレビジョン信  
号の放送において、特に魅力的である。FWM SOA波長変換器はデジタル信号と共に  
アナログ信号を中継できるので、転送ネットワーク上でテレビジョン信号をマルチキャ  
ストすることに、この発明の特別なアプリケーションが見出される。

この発明を現在最も実用的であり、好ましい実施例と思われることに関連して説明してき  
たが、この発明が開示された実施例に限定されるのではなく、反対に添付の請求項の精  
神と範囲に含まれる様々な修正と均等な装置を網羅することを意図していることを、理解  
すべきである。

10

20

30

【図1】

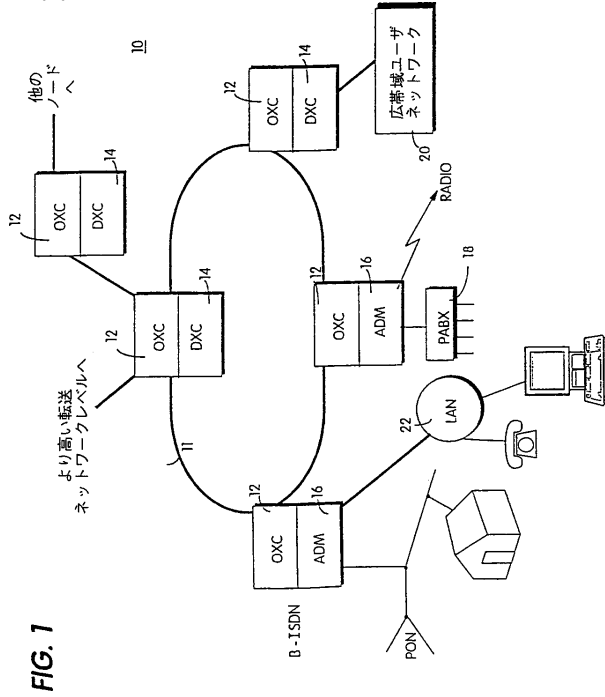


FIG. 1

【図2】

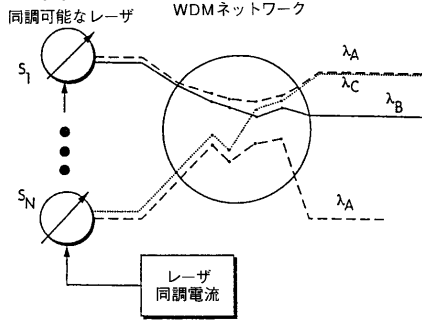


FIG. 2

【図3】

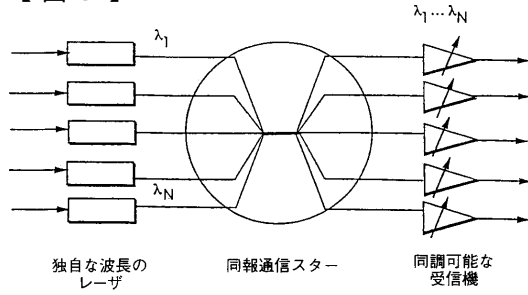


FIG. 3

【図4】

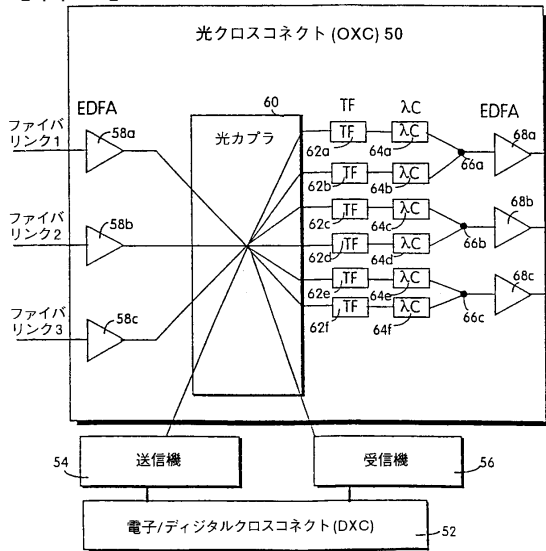


FIG. 4

【図5】

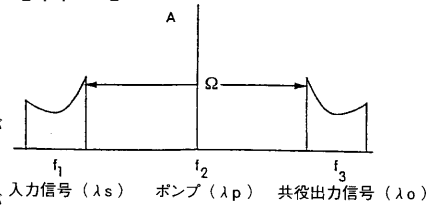


FIG. 5

【図6】

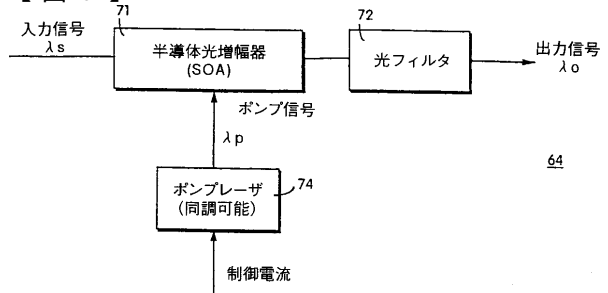


FIG. 6

【 図 7 ( a ) 】

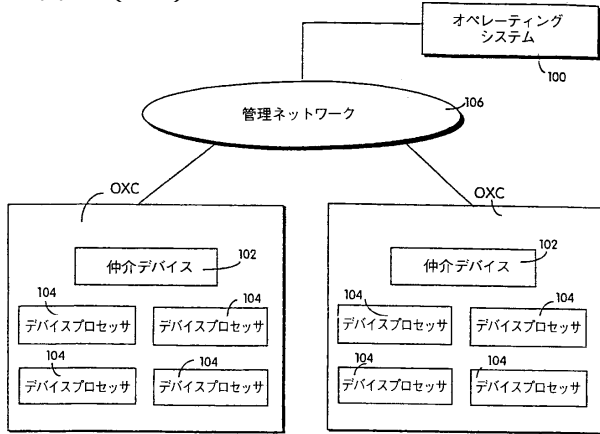


FIG. 7(a)

【 図 7 ( b ) 】

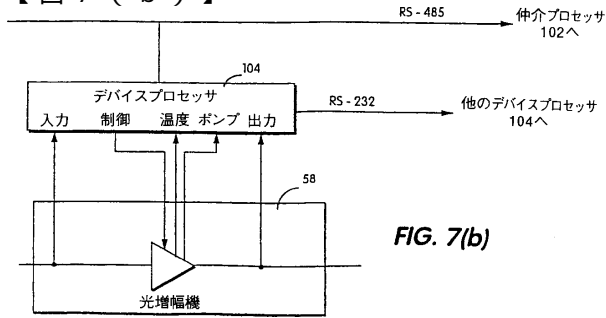


FIG. 7(b)

【 図 8 】

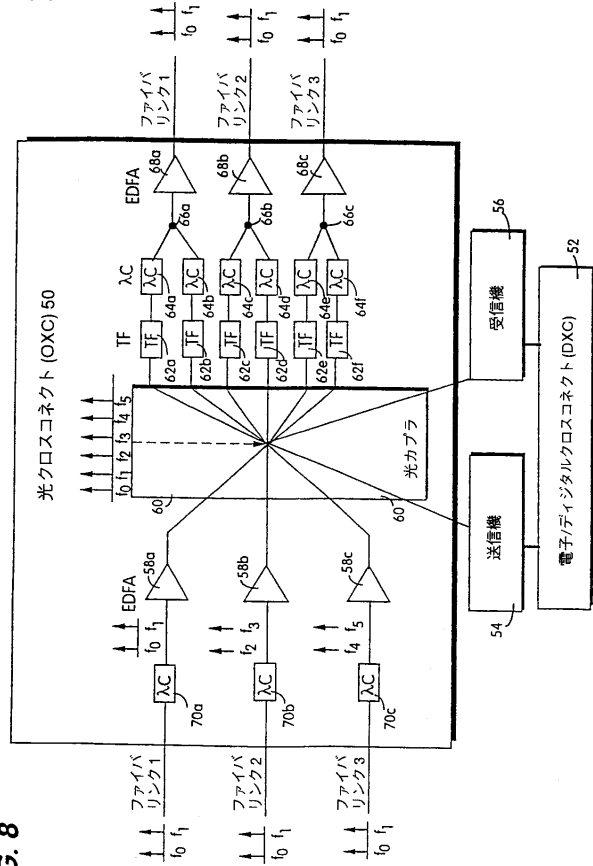


FIG. 8

---

フロントページの続き

(72)発明者 サベラ, ロベルト

イタリア国 アイ - 00181 ローマ, ピアッツア エス.エム.オーシリアトリス, 24

審査官 稲葉 和生

(56)参考文献 特開平01-149593(JP, A)

特開平02-199988(JP, A)

特開平03-219793(JP, A)

Eugenio Iannone and Roberto Sabella, Analysis of Wavelength-Switched High-Density WDM Networks Employing Wavelength Conversion by Four-Wa, IEEE Journal of Lightwave Technology, 米国, IEEE, 1995年 7月, Vol. 13, No. 7, p.1579-1592

Eugenio Iannone and Roberto Sabella, Performance Evaluation of an Optical Multi-Carrier Network Using Wavelength Converters Based on FWM, IEEE Journal of Lightwave Technology, IEEE, 米国, IEEE, 1995年 2月, Vol. 13, No. 2, p.312-324

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04Q 3/52