

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2004-515798  
(P2004-515798A)

(43) 公表日 平成16年5月27日(2004.5.27)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	F I	テーマコード (参考)
GO2B 26/08	GO2B 26/08	E 2H041
GO2B 6/293	GO2B 26/00	5K102
GO2B 26/00	GO2B 6/28	C
HO4B 10/02	GO2B 6/28	B
	HO4B 9/00	T
審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 44 頁)		

(21) 出願番号 特願2002-502486 (P2002-502486)  
 (86) (22) 出願日 平成13年5月16日 (2001.5.16)  
 (85) 翻訳文提出日 平成14年11月18日 (2002.11.18)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US2001/015797  
 (87) 国際公開番号 W02001/094994  
 (87) 国際公開日 平成13年12月13日 (2001.12.13)  
 (31) 優先権主張番号 09/571,833  
 (32) 優先日 平成12年5月16日 (2000.5.16)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

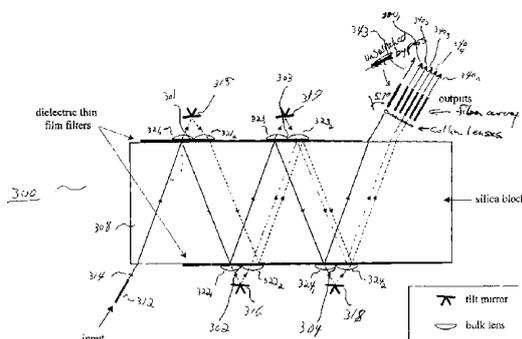
(71) 出願人 502416604  
 フォトウリス, インク  
 アメリカ合衆国 ニュージャージー州 O  
 8854 ピスカタウェイ コーポレート  
 プレイス サウス 20  
 (74) 代理人 100067736  
 弁理士 小池 晃  
 (74) 代理人 100086335  
 弁理士 田村 榮一  
 (74) 代理人 100096677  
 弁理士 伊賀 誠司  
 (72) 発明者 ワジナー, ジェファーソン, エル  
 アメリカ合衆国 ワシントン州 9852  
 O アバディーン ヒルシュベック ハイ  
 ツ 215

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 再構成可能光スイッチ

(57) 【要約】

光スイッチは、複数の波長成分を含むWDM光信号が入射される少なくとも1つの入射ポートと、少なくとも3つの出射ポートと、それぞれ複数の波長成分から1つの波長成分を選択する複数の波長成分選択素子とを備える。更に、光スイッチは、各波長成分選択素子に対応する光学素子を備える。各光学素子は、対応する波長成分選択素子によって選択された波長成分を少なくとも3つの出射ポートのうち1つの出射ポートに、他の波長成分とは独立して向ける。この出射ポートは、全ての出射ポートのうちから任意に選択することができる。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

複数の波長成分を含む WDM 光信号が入射される少なくとも 1 つの入射ポートと、  
少なくとも 3 つの出射ポートと、  
それぞれ上記複数の波長成分から 1 つの波長成分を選択する複数の波長成分選択素子と、  
上記波長成分選択素子に対応し、上記波長成分選択素子によって選択された波長成分を、  
上記少なくとも 3 つの出射ポートのうちの任意に選択可能な 1 つの出射ポートに、他の波長成分とは独立して向ける複数の光学素子とを備える光スイッチ。

## 【請求項 2】

上記入射ポートと波長成分選択素子との間に配設された自由空間領域を備える請求項 1 記載の光スイッチ。 10

## 【請求項 3】

上記波長成分選択素子は、それぞれ上記複数の波長成分のうちの異なる 1 つの波長成分を透過させ、残りの波長成分を反射する薄膜フィルタであることを特徴とする請求項 1 記載の光スイッチ。

## 【請求項 4】

上記光学素子は、マイクロエレクトロメカニカル光学素子であることを特徴とする請求項 1 記載の光スイッチ。

## 【請求項 5】

上記マイクロエレクトロメカニカル光学素子は、マイクロエレクトロメカニカルミラーであることを特徴とする請求項 4 記載の光スイッチ。 20

## 【請求項 6】

上記マイクロエレクトロメカニカルミラーは、複数の位置に亘って傾斜可能であり、該マイクロエレクトロメカニカルミラーの各位置は、入射した波長成分を上記少なくとも 3 つの出射ポートのうち異なる 1 つの出射ポートに反射することを特徴とする請求項 5 記載の光スイッチ。

## 【請求項 7】

上記光学素子は、複数の位置に亘って選択的に傾斜可能なミラーであり、該各位置において、該ミラーは、入射した波長成分を上記少なくとも 3 つの出射ポートのうち異なる 1 つの出射ポートに反射することを特徴とする請求項 1 記載の光スイッチ。 30

## 【請求項 8】

上記ミラーは、それぞれ圧電アクチュエータを備えることを特徴とする請求項 7 記載の光スイッチ。

## 【請求項 9】

上記自由空間領域は、互いに平行な第 1 及び第 2 の面を有する光透過性の基板であり、上記複数の波長成分選択素子は、互いに平行な第 1 及び第 2 の面にそれぞれ配列された第 1 及び第 2 のアレーとして形成されていることを特徴とする請求項 2 記載の光スイッチ。

## 【請求項 10】

上記第 1 及び第 2 のアレーは、配列方向に沿って相対的に位置をずらして配設されていることを特徴とする請求項 9 記載の光スイッチ。 40

## 【請求項 11】

上記光学素子は、複数の位置に亘って傾斜可能なマイクロエレクトロメカニカルミラーであり、該マイクロエレクトロメカニカルミラーの各位置は、入射した波長成分を上記少なくとも 3 つの出射ポートのうち異なる 1 つの出射ポートに反射することを特徴とする請求項 9 記載の光スイッチ。

## 【請求項 12】

上記第 1 のアレー内に配設された各波長成分選択素子は、選択した波長成分を上記第 2 のアレー内に配設された波長成分選択素子に向けることを特徴とする請求項 11 記載の光スイッチ。

## 【請求項 13】

上記各波長成分選択素子と、該各波長成分選択素子に対応する光学素子との間に配設された一対のコリメートレンズを備え、上記各光学素子は、対応するコリメートレンズの対の各レンズの焦点位置に配設されていることを特徴とする請求項1記載の光スイッチ。

【請求項14】

上記各光学素子は、複数のコリメートレンズ及び1つの傾斜ミラーを備えることを特徴とする請求項1記載の光スイッチ。

【請求項15】

上記各光学素子は、一対のミラーを備えることを特徴とする請求項7記載の光スイッチ。

【請求項16】

上記各光学素子は、空間的に移動可能な1つの傾斜ミラーを備えることを特徴とする請求項7記載の光スイッチ。 10

【請求項17】

複数の波長成分を含むWDM光信号の少なくとも第1及び第2の波長成分を入射ポートから複数の出射ポートのうちの選択された出射ポートにルーティングする波長成分ルーティング方法において、

(a) 上記WDM光信号から第1の波長成分を分波するステップと、

(b) 上記第1の波長成分を任意の出射ポートに向けるステップと、

(c) 上記WDM光信号から第2の波長成分を分波し、該第2の波長成分を上記任意の出射ポートとは独立して選択された1つの出射ポートに向けるステップとを有する波長成分ルーティング方法。 20

【請求項18】

上記ステップ(c)は、ステップ(a)及びステップ(b)に続いて実行されることを特徴とする請求項17記載の波長成分ルーティング方法。

【請求項19】

上記第1及び第2の波長成分を方向付けるステップは、該第1及び第2の波長成分を自由空間領域を介して方向付けるステップを有することを特徴とする請求項18記載の波長成分ルーティング方法。

【請求項20】

上記第1の波長成分は、該第1の波長成分に対応する通過波長域を有する薄膜フィルタによって分波されることを特徴とする請求項17記載の波長成分ルーティング方法。 30

【請求項21】

上記第1の波長成分は、傾斜ミラーによって自由空間領域を介して方向付けられることを特徴とする請求項19記載の波長成分ルーティング方法。

【請求項22】

上記傾斜ミラーは、マイクロエレクトロメカニカルミラーであることを特徴とする請求項21記載の波長成分ルーティング方法。

【請求項23】

上記傾斜ミラーは、一対の傾斜ミラーを備えることを特徴とする請求項21記載の波長成分ルーティング方法。

【請求項24】 40

上記第1の波長成分は、空間的に移動可能なミラーによって方向付けられることを特徴とする請求項19記載の波長成分ルーティング方法。

【請求項25】

上記傾斜ミラーは、圧電アクチュエータを備えることを特徴とする請求項21記載の波長成分ルーティング方法。

【請求項26】

上記第1の波長を上記傾斜ミラーにコリメートするステップを有する請求項21記載の波長成分ルーティング方法。

【請求項27】

上記分波及び方向付けは、複数の狭波長域自由空間スイッチによって実行されることを特 50

徴とする請求項 17 記載の波長成分ルーティング方法。

【請求項 28】

上記分波及び方向付けは、複数の調整可能な波長選択カプラによって実行されることを特徴とする請求項 17 記載の波長成分ルーティング方法。

【請求項 29】

上記複数の出射ポートは、N 個の出射ポートを含み、上記分波及び方向付けは、分波器と、N 個の合波器と、 $M > 1$  として、該分波器を該 N 個の合波器に接続する複数の  $1 \times M$  スイッチとによって実行されることを特徴とする請求項 17 記載の波長成分ルーティング方法。

【請求項 30】

複数の波長成分を含む WDM 光信号が入射される少なくとも 1 つの入射ポートと、複数の出射ポートと、

上記複数の波長成分から少なくとも 1 つの波長成分を選択し、該選択された波長成分を上記複数の出射ポートのうちの任意に選択可能な 1 つの出射ポートに、他の波長成分とは独立して向ける波長成分選択 / 方向付け手段とを備える光スイッチ。

【請求項 31】

上記波長成分選択 / 方向付け手段は、複数の狭波長域自由空間スイッチを備えることを特徴とする請求項 30 記載の光スイッチ。

【請求項 32】

上記狭波長域自由空間スイッチは、薄膜フィルタと、傾斜光学素子とを備えることを特徴とする請求項 31 記載の光スイッチ。

【請求項 33】

上記狭波長域自由空間スイッチは、薄膜フィルタと、一对の傾斜ミラーとを備えることを特徴とする請求項 31 記載の光スイッチ。

【請求項 34】

上記狭波長域自由空間スイッチは、薄膜フィルタと、空間的に移動可能な傾斜ミラーとを備えることを特徴とする請求項 31 記載の光スイッチ。

【請求項 35】

上記選択 / 方向付け手段は、複数の調整可能な波長選択カプラを備えることを特徴とする請求項 30 記載の光スイッチ。

【請求項 36】

上記調整可能な波長選択カプラは、音波ヌルカプラであることを特徴とする請求項 35 記載の光スイッチ。

【請求項 37】

複数の出射ポートは、N 個の出射ポートを備え、上記選択 / 方向付け手段は、分波器と、N 個の合波器と、 $M > 1$  として、該分波器を該 N 個の合波器に接続する複数の  $1 \times M$  スイッチとを備えることを特徴とする請求項 30 記載の光スイッチ。

【請求項 38】

上記各波長成分選択素子に対応し、該各波長成分選択素子を通過する波長成分をモニタする検出手段を備える請求項 3 記載の光スイッチ。

【請求項 39】

上記各狭波長域自由空間スイッチに対応する検出手段を備える請求項 31 記載の光スイッチ。

【請求項 40】

上記分波を行うステップの後、上記第 1 の波長成分をモニタするステップを有する請求項 17 記載の波長成分ルーティング方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光通信システムに関し、詳しくは、波長選択可能に光を柔軟にルーティングす

10

20

30

40

50

る光スイッチに関する。

【0002】

【従来の技術】

一般的に波長分割多重 (Wavelength Division Multiplexed: 以下、WDMという。) システムと呼ばれる多波長通信システム (multi-wavelength communication systems) が注目されている。これらのシステムは、情報の異なるストリームを搬送する異なる波長成分からなるWDM光信号を使用する。WDMシステムは、当初は、2点間において1本のファイバで伝送することができる情報容量を増加させるために開発されたものであるが、近年の光フィルタの技術の発展により、特にスイッチング素子が進歩したことにより、波長毎に異なる経路を有する複雑なネットワークが構築できるようになった。更に、所定の波長を所定の経路にルーティングする波長依存型のスイッチング素子に加えて、再構成可能光素子 (reconfigurable optical elements) も実現されている。再構成可能光素子は、所定の波長がルーティングされる経路を動的に変化させることができ、これにより、ネットワークのトポロジを必要に応じて効率的に変化させ、要求される帯域幅の変化に対応し、又はネットワーク障害時にサービスを復旧することができるようになった。

10

【0003】

再構成可能光素子としては、光挿入/分岐多重装置 (Optical Add/Drop Multiplexers: 以下、OADMという。) 及び光クロスコネクタ装置 (Optical Cross-Connects: 以下、OXCという。) 等がある。OADMは、WDM信号から1つ以上の波長成分を分離 (separate) 又は分岐 (drop) し、この成分を別の経路にルーティングするために使用されるものである。分岐された波長成分は、共通のファイバ経路にルーティングされることもあり、分岐された各波長成分がそれぞれの別のファイバ経路にルーティングされることもある。OXCは、OADMより柔軟性が高いデバイスであり、仮想的には、任意の構成の複数の入力WDM信号の成分を任意の数の出力経路に再分配することができる。

20

【0004】

上述した再構成可能光素子の機能は、様々な異なるデバイスによって実現することができる。例えば、一对の合分波器 (demultiplexers/multiplexers) 間に任意の数の異なる広波長域スイッチング機構を挿入するという手法が広く採用されている。OADM素子の例は、米国特許第5504827号、第5612805号、第5959749号に開示されており、一般的なOXCスイッチングアーキテクチャは、ティー・コーチ (T. Koch) 及びアイ・カミノウ (I. Kaminow) 編、イー・マーフィ (E. Murphy) 著、光ファイバ通信 I I I B (Optical Fiber Telecommunications I I I B) 第10章に開示されている。これらの文献に開示されている手法は、波長を順次分離し、必要な切換を行った後に波長を多重化するものであり、ここで、従来のOXCは、スイッチング機構として比較的複雑なM x Mデバイスを用いているため、OXCは、与えられた波長を如何なる出力端子にルーティングすることもできるが、OADMは、2 x 2のアレーの光スイッチを用いているため柔軟性に乏しく、波長を2つの出力端子のうちの何れか1つにルーティングすることしかできない。OADMを用いた代替的な2つの手法では、デバイス間に効果的に挿入され、波長分離及び多重を同時に実行するスイッチング可能なミラーを採用している。第1の手法 (例えば、米国特許第5974207号) では、波長の2倍の厚さの薄膜誘電体合分波器 (thin film dielectric demultiplexer/multiplexer) を使用し、第2の手法 (米国特許第5960133号) では、バルク回折グレーティング (bulk diffraction grating) からの分散 (dispersion) を利用して、波長チャンネルを分波 (分離) した後、波長チャンネルを傾斜ミラーアレー (array of tiltable mirror) に反射させる。OADM技術の他の手法では、再構成可能な方式で多波長を単一のファイバ出力端子に

30

40

50

分離する4ポートデバイスを採用し、このため、受信機においてチャンネルを広波長域光電子変換する必要がある場合、分波器を追加する必要がある。このような動作を実現する第1の手法では、上述した2ポートの回析グレーティング分波器及び傾斜ミラーアレーに光ファイバサキュレータを追加する(I E E Eレーザ及びエレクトロオプティックスサイエティ(I E E E Lasers and Electro-Optics Society)フォード(Ford)他著、ポストデッドラインペーパーLEOS'97(Post deadline papers LEOS'97))。第2の手法では、熱光学移相器(thermo-optical phase shifter)を用いた集積シリカ導波路技術(integrated silica waveguide technology)(例:Doerr, I E E E Phot. Tech. Lett'98)により、各波長毎に挿入状態及び分岐状態を切り換える。この他の4ポートOADMでは、光ファイバサキュレータ及びオプションとして調整可能なファイバグレーティングリフレクタを用いて、分岐されたチャンネルをルーティングする(例:C.R.Giles, IOOC'95, JDS 2000 catalog)。

10

#### 【0005】

##### 【発明が解決しようとする課題】

ここで、従来の全ての光スイッチング技術が有する問題について述べる。これらのデバイスは、短所の観点から2つのクラスに分類できる。すなわち、柔軟性が高いが、コストが高く光損失が大きいデバイスと、安価で光損失が小さいが柔軟性が低いデバイスの2つである。最も柔軟性が高いOXCデバイスは、多数の波長の経路をそれぞれのファイバ(例えば、スイッチを有する合分波器)に切り換えるようにプログラミングできるが、これらのデバイスの挿入損失は、最大で20dBもあり、したがって、挿入損失を補償するための光増幅器を設ける必要がある。このため、それ自体高価なデバイスに加えて、コストが実質的に高くなってしまふ。これらのデバイスは、高コストであるため、例えばファイバグレーティング及び薄膜フィルタ等の柔軟性が低いデバイスが代用される場合が多い。これらのデバイスは、安価で挿入損失も小さい(2~5dB/ノード)が、これらのデバイスは、通常、再構成不可能な波長固定のOADMとして実現されるため、柔軟性に乏しい。更に、これらのデバイスによってより多くの波長を分岐させようとする、これらのデバイスの損失、コスト、サイズ及び/又は複雑性が増大し、より柔軟なOXCデバイスを用いた方が有利になってしまうという点でも、これらのデバイスの柔軟性は低い。近年、

20

30

#### 【0006】

光切換を行う前に入力信号を分波する従来のOXC及びOADM法における顕著な制約は、各出射ポートには、特定の固定された波長のみしか分岐できず、この波長は変更できないという点にある。この構成では、各スイッチには、分波器から予め選択された波長成分のみが入射され、したがって特定の波長のみしか出射することができない。また、これらのデバイスでは、後段で光切換を行わない限り、必要に応じて所定の波長をある出射ポートから他の出射ポートに変え(redirect)、又は複数の波長を1つの出射ポートに変えることができないため、これらのデバイスの柔軟性は制限されている。このような問題は、WDMスイッチのみではなく、例えば米国特許5621829に開示されている1xM広波長域スイッチを含む広波長域スイッチについても同様に生じる。上述のような動作は、ネットワーク内のある要素が特定のポートによってのみアクセス可能であり、(a)そのポートに向けられた波長チャンネルを変更し、又は(b)そのポートを介してアクセスされる特定のファイバに、新たな波長を向けることが望ましい場合に必要とされる

40

50

。このような動作が必要となる状況としては、代替的な波長を用いてリンクを復旧する必要がある場合、又は同一のファイバに新たなWDM波長を追加することによって特定のポートに向けられた情報容量を増加させる必要がある場合の2つの状況がある。

【0007】

光切換の柔軟性の重要性及び光通信ネットワークの価値に鑑み、上述したような従来のデバイスの問題点を克服したスイッチング素子の実現が望まれている。

【0008】

更に、安価で、光信号に対する損失が少なく、全ての各波長成分を任意の入射ポートから任意の出射ポートに互いに独立して自由にルーティングできる光スイッチング素子の実現が望まれている。

10

【0009】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る光スイッチは、複数の波長成分を含むWDM光信号が入射される少なくとも1つの入射ポートと、少なくとも3つの出射ポートと、それぞれ複数の波長成分から1つの波長成分を選択する複数の波長成分選択素子とを備える。更に、本発明に係る光スイッチは、各波長成分選択素子に対応する光学素子を備える。各光学素子は、対応する波長成分選択素子によって選択された波長成分を少なくとも3つの出射ポートのうちの1つの出射ポートに、他の波長成分とは独立して向ける。この出射ポートは、全ての出射ポートのうちから任意に選択することができる。

【0010】

本発明の一具体例においては、光スイッチは、入射ポートと波長成分選択素子との間に配設された自由空間領域を備える。

20

【0011】

本発明の一具体例においては、波長成分選択素子は、それぞれ複数の波長成分のうちの異なる1つの波長成分を透過させ、残りの波長成分を反射する薄膜フィルタである。

【0012】

また、本発明の一具体例においては、光学素子は、複数の位置に亘って傾斜可能な傾斜ミラーであり、各位置は、入射した波長成分を少なくとも3つの出射ポートのうち異なる1つの出射ポートに反射する。傾斜ミラーは、例えばマイクロエレクトロメカニカル(micro-electromechanical: MEM)システム又は圧電システムによって駆動してもよい。

30

【0013】

また、本発明に係る波長成分ルーティング方法は、複数の波長成分を含むWDM光信号の少なくとも第1及び第2の波長成分を入射ポートから複数の出射ポートのうちの選択された出射ポートにルーティングする。この波長成分ルーティング方法では、先ず、WDM光信号から第1の波長成分を分波する。次に、第1の波長成分は、任意の出射ポートに向けられる。更に、WDM光信号から第2の波長成分が分波され、第2の波長成分は、任意の出射ポートとは独立して選択された1つの出射ポートに向けられる。

【0014】

本発明の一具体例においては、第2の波長成分を分波し、方向付けるステップは、第1の波長成分を分波し、方向付けるステップの後に実行される。

40

【0015】

また、本発明の一具体例においては、第1及び第2の波長成分を方向付けるステップは、第1及び第2の波長成分を自由空間領域を介して方向付けるステップを有する。

【0016】

更に、本発明の一具体例においては、第1の波長成分は、第1の波長成分に対応する通過波長域を有する薄膜フィルタによって分波される。

【0017】

更に、本発明の一具体例においては、第1の波長成分は、傾斜ミラーによって自由空間領域を介して方向付けられる。

50

## 【0018】

本発明の一具体例においては、分波及び方向付けは、複数の狭波長域自由空間スイッチによって実行される。或いは、これに代えて、分波及び方向付けは、複数の調整可能な波長選択カプラによって実行してもよい。

## 【0019】

## 【発明の実施の形態】

図1は、本発明に基づいて構成された光スイッチング機構(optical switching fabric)により実現される機能を示している。入射ポート10には、波長分割多重(wavelength division multiplexed:以下、WDMという。)信号が入射される。更に、この他のWDM信号を入射するための追加的な入射ポートを設けてもよい。光スイッチング機構12は、WDM信号の個々の波長成分の出射ポートとして、出射ポート14<sub>1</sub>, 14<sub>2</sub>, ..., 14<sub>n</sub>のうちの1つを選択するように設計されている。すなわち、光スイッチング機構12によれば、任意の波長成分を他の波長成分のルーティングとは独立して、任意の入射ポートから任意の出射ポートに選択的にルーティングすることができる。

10

## 【0020】

なお、光スイッチング機構12は、対称的(symmetric manner)に動作し、どの出射ポートに向けられた如何なる波長成分も、代わりに任意の入射ポートに向けることができる。したがって、当業者に理解されるように、切換経路は、相対的であり、ここで使用する入射又は出射という用語は、スイッチング機構に対して単一の方向にWDM信号又は波長成分を伝搬する要素に限定されるものではない。換言すれば、いわゆる出射ポートからデバイスに光が入射した場合、この出射ポートは入射ポートとして機能し、同様に、いわゆる入射ポートは、出射ポートとしても機能することができる。

20

## 【0021】

後述するように、本発明によれば、図1に示す機能を様々な異なる手法で実現することができる。本発明に基づく様々な構成は、大きく2つのカテゴリに分類される。第1のカテゴリでは、透過及び反射波長域が固定されたフィルタを使用し、波長成分を異なる光経路に個別にルーティングするものである。一方、第2のカテゴリでは、調整可能なフィルタを使用し、波長成分を固定経路にルーティングする。

## 【0022】

図2は、本発明に基づく光スイッチング素子の第1の実施の形態を示している。図2に示す光スイッチング素子300は、光透過性を有する基板308と、複数の誘電体薄膜フィルタ301, 302, 303, 304と、複数のコリメートレンズ対321<sub>1</sub>・321<sub>2</sub>, 322<sub>1</sub>・322<sub>2</sub>, 323<sub>1</sub>・323<sub>2</sub>, 324<sub>1</sub>・324<sub>2</sub>と、複数の傾斜ミラー(tiltable mirror)315, 316, 317, 318と、複数の出射ポート340<sub>1</sub>, 340<sub>2</sub>, ..., 340<sub>n</sub>とを備える。基板308は、互いに平行平坦な表面309, 310を有し、表面309, 310上には、それぞれ第1のフィルタアレーと第2のフィルタアレーが形成されている。第1のフィルタアレーは、薄膜フィルタ301, 303から構成され、第2のフィルタアレーは、薄膜フィルタ302, 304から構成されている。コリメートレンズ対321~324及び傾斜ミラー315~318は、それぞれ各薄膜フィルタ301~304に対応している。後述するように、各薄膜フィルタ301~304と、対応するコリメートレンズ対321~324及び傾斜ミラー315~318は、狭波長域自由空間スイッチ(narrow band free space)、すなわち個々の波長成分を異なる経路にルーティングするスイッチを構成する。光スイッチング素子300の物理的寸法は、WDM信号のビームの直径に基づいて決定される。

30

40

## 【0023】

薄膜フィルタ301~304は、誘電体多層膜構造(dielectric multilayer configuration)を有する周知の部品である(例えば、米国特許5583683号に記載されている)。薄膜フィルタ301~304は、波長に依存す

50

る特性を有し、すなわち薄膜フィルタ301~304の反射率及び透過率は、光の波長に依存している。詳しくは、薄膜フィルタ3101は、薄膜フィルタ301に入射されたWDM光信号の波長成分のうち波長 $\lambda_1$ を有する成分のみを透過する。薄膜フィルタ301は、この他の全ての波長成分を反射する。同様に、薄膜フィルタ302は、波長 $\lambda_2$ を有する成分のみを透過し、他の全ての波長成分を反射する。一方、薄膜フィルタ303, 304は、それぞれ波長 $\lambda_3, \lambda_4$ を有する成分のみを透過し、他の全ての波長成分を反射する。このようにして、本発明に基づく光スイッチング素子300は、異なる通過波長域を有する複数の薄膜フィルタ301~304で波長を分離する。

#### 【0024】

傾斜ミラー315~318は、2つの軸を中心に精密に傾斜可能なミラーであり、例えば小型で信頼性が高いミラーである。傾斜ミラー315~318は、例えばマイクロエレクトロメカニカルシステム(microelectromechanical system: MEMS)を採用した1つ以上の屈曲アーム(flexure arm)によって支持されている。屈曲アームを駆動することにより傾斜ミラー315~318の表面が傾斜し、これにより入射光ビームの伝搬の方向が変えられる。超小型電気機械ミラーの具体例については、米国特許第6028689号及びその参考文献に開示されている。勿論、例えば圧電素子アクチュエータ等の他の機構を用いてミラーの位置を制御してもよい。

#### 【0025】

動作時には、異なる波長成分 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ を含むWDM信号が光入射ポート312からコリメートレンズ314に向けて入射される。WDM信号は、基板308を透過して薄膜フィルタ301に入射される。ここで、薄膜フィルタ301の特性により、波長成分 $\lambda_1$ は薄膜フィルタ301を透過し、他の波長成分は、薄膜フィルタ301で反射され、基板308を介して薄膜フィルタ302に向けられる。薄膜フィルタ301を透過した波長 $\lambda_1$ の成分は、コリメートレンズ321<sub>1</sub>によって、傾斜ミラー315に集束される。傾斜ミラー315は、適切に傾斜されており、波長成分 $\lambda_1$ を反射し、反射された波長成分 $\lambda_1$ は、それぞれ波長成分 $\lambda_1$ を反射する薄膜フィルタ302~304を介して出射ポート340<sub>1</sub>~340<sub>n</sub>のうちの選択された1つの出射ポートに入射される。波長成分 $\lambda_1$ が入射される特定の出射ポートは、傾斜ミラー315の向きによって選択される。

#### 【0026】

上述のように、残りの波長成分 $\lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ は、薄膜フィルタ301で反射され、コリメートレンズ321<sub>2</sub>を介して基板308に戻され、薄膜フィルタ302に向けられる。波長成分 $\lambda_2$ は、薄膜フィルタ302及びコリメートレンズ322<sub>1</sub>を透過し、傾斜ミラー316により、波長成分 $\lambda_2$ を反射する薄膜フィルタ303, 304を介して、選択された出射ポートに入射される方向に向けられる。同様に、他の全ての波長成分は、薄膜フィルタ303, 304によって順次分離され、傾斜ミラー317, 318によって、選択された出射ポートに向けられる。このように、傾斜ミラー315~318を適切に駆動することにより、各波長成分は、他の全ての波長成分から独立して、選択された出射ポートに向けられる。どの傾斜ミラーによっても方向付けされなかった波長は、光バイパスポート、すなわちファイバ343に入射される。なお、図2では、4つの波長を選択的に切り換える実施の形態を示しているが、本発明は、適切な数の狭波長域自由空間スイッチを設けることにより、如何なる数の波長をも選択的に切り換えることができる。

#### 【0027】

図2に示す本発明の実施の形態は、多くの重要な利点を有する。例えば、自由空間切換を採用することにより、光接続(optical connection)の数が最小に維持され、デバイスの挿入損失、複雑性及びコストが抑制される。この利点は、図2に示す実施の形態に必要な光接続の数と、後述する図4に示す本発明の実施の形態に必要な光接続の数とを比較することにより、より明瞭となる。

#### 【0028】

以下では、図2に示す実施の形態の特定の具体例について、例示的に説明する。この具体例では、基板308は、厚さ10mm、幅50mm、長さ90mmの直方体シリカブロッ

10

20

30

40

50

クとして形成されている。入力ファイバに光を向ける単一のコリメートレンズは、ブロックに対し、ブロックの垂直線に対し $5.7^\circ$ の角度を形成する位置に固定されている。このコリメートレンズの焦点距離は、コーニングSMF-28 (Coming SMF-28: 商標)ファイバから出射され、レンズを通過した光が1mmの幅にコリメートされた光ビームとなるように選択される。出射側には、コリメートレンズのアレーが設けられ、これらのうちの各コリメートレンズは、出力アレー内のそれぞれ対応する1つのファイバに光を入射する。ファイバ端は、平坦に研磨され、無反射コーティングされている。また、入力ファイバに入射された後、どの薄膜フィルタも透過しなかった波長成分を集める新たなバイパスポート又はファイバを設けてもよい。バイパスファイバは、元のデバイスでは共振しない(not resonant)更なる波長を使用する将来のアップグレード用の出力端子として設けられる。これに代えて、コスト又は損失の制約に鑑みて適切であれば、このポートを用いて入力波長全体のサブセットを切り換え、残りの(切り換えられていない)波長がスイッチング機構をバイパスするようにしてもよい。狭波長域自由空間スイッチの第1及び第2のアレーは、それぞれ8個の薄膜フィルタを備える。薄膜フィルタは、それぞれ表面寸法が $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ の3空洞共振薄膜フィルタ(three-cavity resonant thin film filter)である。第1のアレーにおいて、基板の端部から10mmの位置に配設されている第1の薄膜フィルタは、光学的に優れた屈折率整合エポキシ(optical-quality, index matching epoxy)によって基板に接着されており、中心波長が $194.0\text{THz}$ ( $1545.32\text{nm}$ )の通過波長域を有する。光学的通過波長域は、通常、ピークから $-0.5\text{dB}$ 下がったレベルにおいて $0.4\text{nm}$ の幅を有し、中心波長から $100\text{GHz}$ 離れた波長において減衰率が $-22\text{dB}$ よりも良い波長域である。薄膜フィルタには、焦点距離が5mmのコリメートレンズが取り付けられている。このコリメートレンズの焦点には、市販されているマイクロエレクトロメカニカル(microelectromechanical: MEM)傾斜ミラーが設けられている。傾斜ミラーに電圧を印加することにより、2つの軸を中心として、傾斜ミラーの傾斜角を変更することができる。傾斜ミラーの調整角度は、通常、 $30^\circ$ を超えることはない。

10

20

**【0029】**

更に、第1のアレーは、第2の狭波長域自由空間スイッチを含み、第2の狭波長域自由空間スイッチは、第1の自由空間スイッチから10mm離れた位置に設けられている。この第2の狭波長域自由空間スイッチにおいて採用されている薄膜フィルタは、 $193.8\text{THz}$ ( $1546.92\text{nm}$ )の中心光波長を有する。更に、基板に沿って、6個の狭波長域自由空間スイッチが設けられており、それぞれの中心波長は、 $1548.52\text{nm}$ 、 $1550.12\text{nm}$ 、 $1551.72\text{nm}$ 、 $1553.32\text{nm}$ 、 $1554.92\text{nm}$ 、 $1556.52\text{nm}$ である。隣接する各狭波長域自由空間スイッチの中心から中心までの距離は、10mmである。

30

**【0030】**

狭波長域自由空間スイッチの第2のアレーは、狭波長域自由空間スイッチの第1のアレーが設けられている基板表面とは反対側の基板表面に設けられている。第2のスイッチのアレーの各スイッチは、それぞれが第1のスイッチのアレーのスイッチの中間となる位置に対応するように、横方向に半分シフトされ、互いに10mm離間して設けられている。第2のスイッチのアレーは、それぞれ $1544.52\text{nm}$ 、 $1546.12\text{nm}$ 、 $1547.72\text{nm}$ 、 $1549.32\text{nm}$ 、 $1550.92\text{nm}$ 、 $1552.52\text{nm}$ 、 $1554.12\text{nm}$ 、 $1555.72\text{nm}$ の中心通過波長域波長を有する8つの薄膜フィルタによって構成されている。

40

**【0031】**

各傾斜ミラーは、ミラーを駆動するための電圧が印加される電子回路を備える。傾斜ミラーによって特定の出力ファイバに向けて波長成分を反射させるように傾斜ミラーを駆動するために必要な電圧は、傾斜ミラー毎に異なる。傾斜ミラーを駆動するための駆動電圧( $-20 \sim +20$ ボルトの範囲)は、出力ファイバに入射される光パワーが最大となるよう

50

に選択される。

【0032】

図2に示す各狭波長域自由空間スイッチは、必ずしも2つのレンズと1つのミラーを用いるものであるとは限らないということは、当業者にとって明かである。すなわち、波長成分を適切に方向付けるために、この他の光学素子を組み合わせて使用してもよい。例えば、レンズを用いることなく、2つの傾斜ミラーを用いても所望の機能を実現することができる。また、これに代えて、2つの軸を中心とする傾斜に加えて空間的に移動できる単一のミラーを用いてもよい。

【0033】

図2に示す狭波長域自由空間スイッチによって受光される個々の波長成分の有無及び強度をモニタすることが重要である場合が多い。特に、WDM信号が多数の波長成分を含んでいる場合、従来のファイバモニタリングタップ(fiber monitoring tap)を用いてこのようなモニタを行うことは困難である。一方、本発明では、各傾斜ミラーには単一の波長成分のみが入射されるため、この問題が容易に克服される。すなわち、各波長成分は、ミラーの背後に設けられ、ミラーを通過した波長成分のパワーの極一部を検出する検出器によってモニタすることができる。この情報と従来のタップモニタリングタップによる情報とを組み合わせることにより、狭波長域自由空間スイッチを介してルーティングされる光の実体(picture)をより完全にモニタしてネットワーク制御及び管理を行うことができる。

【0034】

更に、様々な角度の傾斜ミラーと、入力及び出力ファイバとの間の位置関係を精密に維持することにより、出力ファイバに傾斜ミラーから入射されるパワーを最適化することも重要である。この制御は、従来のファイバモニタリングタップを用いて、ファイバに入射されるパワーをモニタしながら傾斜ミラーを低速で調整することにより行うことができる。しかしながら、この手法は、ファイバ上に多くの他の波長が存在すると複雑となり、この場合、傾斜ミラーの位置を調整する際に、固有のRF周波数による微小な振幅変調により各波長成分をエンコード(encode)することによって、各出力ファイバにおいて検出される各波長成分の検出精度を向上させることが望ましい。このRF変調(RF tone)は、送信機において、各波長成分に対して固有の変調によりエンコードしてもよく、これに代えて、RF振幅変調は、ミラー調整中にミラーの傾きを僅かに振動させ、ファイバへのカップリング効率を僅かに変化させることによって、一時的に行ってもよい。ミラーを振動させる手法は、エンコードされた変調を測定する際、ネットワーク全体をトラック(track)する必要がなく、更に、調整する必要がある場合にのみ、変調をエンコードすればよいという点で優れている。

【0035】

図3は、波長に依存する音響ヌルカップラ(acoustic null coupler)を用いて、調整可能な波長フィルタリングを実現する本発明の第2の実施の形態を示している。このようなカップラは、カップリング領域に適切な音響振動を印加することによって、第1の光ファイバから第2の光ファイバに選択された波長成分のみをクロスカップルする。適切な音響振動が印加されない場合、選択された波長は、第1の光ファイバを伝搬し続ける。音響ヌルカップラの具体例については、1997年ディー・オー・カルバハウス(D. O. Culverhouse)他著「Opt. Lett. 22, 96」及び米国特許第5915050に開示されている。

【0036】

図3に示すように、WDM信号が入射される入力ファイバ50は、第1のヌルカップラ52<sub>1</sub>の入射ポートに接続されている。第1のヌルカップラ52<sub>1</sub>の一方の出射ポートは、出力ファイバ54<sub>1</sub>に接続されており、出力ファイバ54<sub>1</sub>には、1つ以上の個々の波長成分がルーティングされる。第1のヌルカップラ52<sub>1</sub>の他方の出射ポートは、第2のヌルカップラ52<sub>2</sub>の入射ポートに接続されている。第2のヌルカップラ52<sub>2</sub>の出射ポートは、第1のヌルカップラ52<sub>1</sub>の場合と同様に、一方が第2の出力ファイバ54<sub>2</sub>に接続され、他方

が第3のヌルカブラ $52_3$ の入射ポートに接続されている。図3に示すように、上述のようにして更なるヌルカブラをカスケード接続することにより、選択された波長成分がルーティングされる出射ポートを増やすことができる。

【0037】

動作時には、入力ファイバ $50$ に入射された1つ以上の波長成分は、選択された出射ポート $54_1, 54_2, \dots, 54_M$ の前段のヌルカブラ $52_1, 52_2, \dots, 52_M$ に所望の波長成分に対応する適切な音波を印加することにより、任意の出射ポート $54_1, 54_2, \dots, 54_M$ にルーティングすることができる。例えば、所定の $n$ 個の波長成分の何れかを出射ポート $54_3$ にルーティングする場合は、ヌルカブラ $52_3$ に音波を印加する。本発明のこの実施の形態では、波長成分は、ヌルカブラをシリアル形式で通過する必要はあるが、各ヌルカブラの挿入損失は極めて小さい( $0.5$  dB以下)ため、生じる挿入損失は、許容できる範囲内にある。図4を用いて説明する本発明に基づくシリアルで調整可能なフィルタリング処理によっても、上述の4ポート調整可能OADMデバイス技術を用いることにより、本発明のスイッチング機能を実現することができる。

10

【0038】

図4は、従来 of 合分波器及び従来 of  $1 \times m$ スイッチを用いた、本発明の更なる実施の形態を示し、ここで $m$ は、スイッチの出射ポートの数を表している。合分波器としては、例えば、薄膜フィルタを用いてもよく、導波路グレーティングを用いてもよい。図4に示すように、 $n$ (ここで、 $n$ は $m$ と同数である必要はない。)個の波長成分を含むWDM信号を入射する入力ファイバ $60$ は、分波器 $61$ の入射ポートに接続されている。分波器 $61$ は、 $n$ 個の出射ポート $63_1, 63_2, \dots, 63_n$ を備え、各出射ポート $63_1, 63_2, \dots, 63_n$ は、それぞれ $1 \times m$ スイッチ $65_1, 65_2, \dots, 65_n$ の入射ポートに接続されている。第1のスイッチ $65_1$ の $m$ 個の出射ポートは、それぞれ合波器 $67_1, 67_2, \dots, 67_m$ の第1の入射ポートに接続されている。同様に、第2のスイッチ $65_2$ の $m$ 個の出射ポートは、それぞれ合波器 $67_1, 67_2, \dots, 67_m$ の第2の入射ポートに接続されている。この他のスイッチも同様に合波器に接続され、最後に、第 $n$ のスイッチの出射ポートが合波器 $67_1, 67_2, \dots, 67_m$ の第 $n$ の入射ポートに接続されている。

20

【0039】

図4に示す実施の形態では、比較的多くのスイッチ及び合分波器が必要となり、したがって、比較的多くの光接続が必要となるという問題がある。特に、この実施の形態においては、波長成分の数及び出射ポートの数に応じて乗算的に増加する。例えば、10個の出射ポートを有し、16個の波長成分に対応する光学スイッチを構成する場合、図2に示す実施の形態では、光接続の数は11であるが、図4に示す実施の形態では、光接続の数は363となる。光接続の数は、デバイスのコスト及び複雑性に直接関係するため、この観点からは、図2に示すような構造のスイッチがより好ましい。

30

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明に基づく光スイッチング機構により実現される機能を示す図である。

【図2】

本発明に基づく光スイッチング素子の構成を示す図である。

40

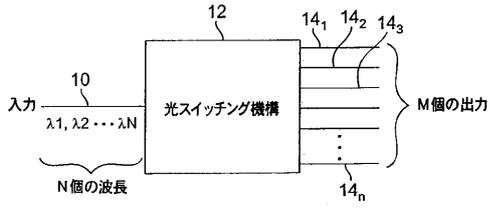
【図3】

波長に依存する音響ヌルカブラを用いた本発明の変形例を示す図である。

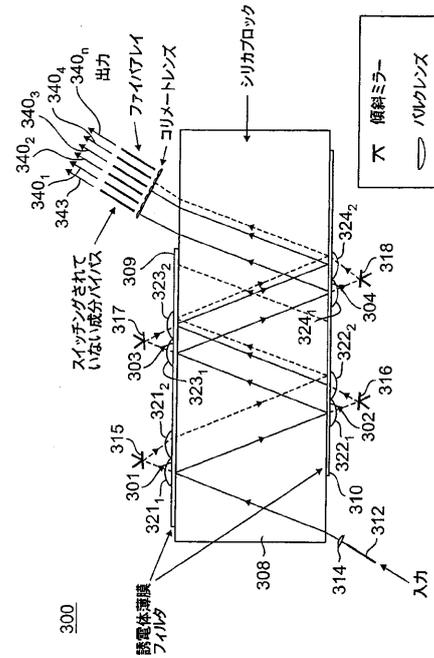
【図4】

合分波器を用いた本発明の他の変形例を示す図である。

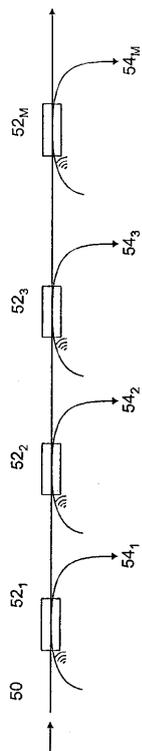
【図 1】



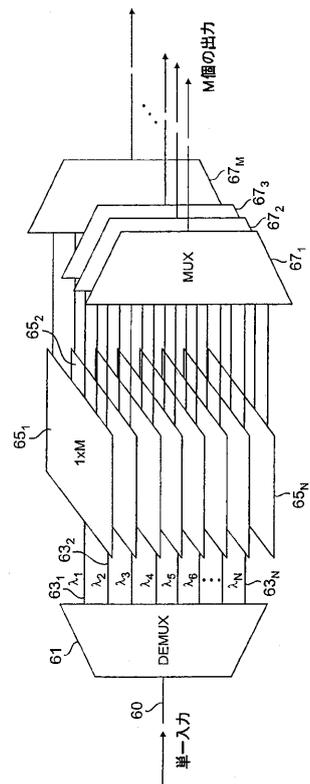
【図 2】



【図 3】



【図 4】



【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization  
International Bureau



(43) International Publication Date  
13 December 2001 (13.12.2001)

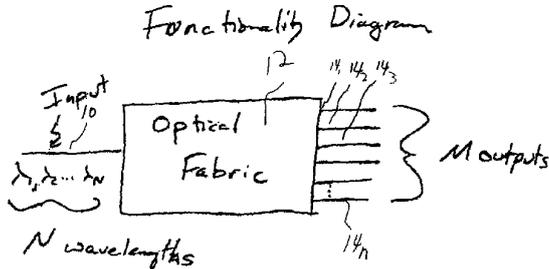
PCT

(10) International Publication Number  
WO 01/94994 A2

- (51) International Patent Classification: G02B 6/00
  - (21) International Application Number: PCT/US01/15797
  - (22) International Filing Date: 16 May 2001 (16.05.2001)
  - (25) Filing Language: English
  - (26) Publication Language: English
  - (30) Priority Data: 09/571,833 16 May 2000 (16.05.2000) US
  - (71) Applicant: PHOTURIS, INC. [US/US]; 20 Corporate Place South, Piscataway, NJ 08854 (US).
  - (72) Inventors: WAGENER, Jefferson, L.; 215 Hirschbeck Heights, Aberdeen, WA 98520 (US). STRASSER, Thomas, Andrew; 6 Harmony Road, Warren, NJ 07059 (US).
  - (74) Agent: MAYER, Stuart, H., Mayer, Fortkort & Williams, PC, Suite 250, 200 Executive Drive, West Orange, NJ 07052 (US).
  - (81) Designated States (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, IE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VN, YU, ZA, ZW.
  - (84) Designated States (regional): ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI patent (BF, BI, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Published: — without international search report and to be republished upon receipt of that report

[Continued on next page]

(54) Title: A RECONFIGURABLE OPTICAL SWITCH



Functional diagram of device.

(57) Abstract: An optical switch includes at least one input port for receiving a WDM optical signal having a plurality of wavelength components, at least three output ports, and a plurality of wavelength selective elements each selecting one of the wavelength components from among the plurality of wavelength components. A plurality of optical elements are also provided, each of which are associated with one of the wavelength selective elements. Each of the optical elements direct the selected wavelength component that is selected by its associated selected element to a given one of the output ports independently of every other wavelength component. The given output port is variably selectable from among all the output ports.

WO 01/94994 A2

**WO 01/94994 A2**



---

*For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.*

## A RECONFIGURABLE OPTICAL SWITCH

### Field Of The Invention

5 The invention relates generally to an optical communications system and more particularly to an optical switch for flexibly routing light in a wavelength-selective manner.

### Background Of The Invention

10 Significant interest exists in multi-wavelength communication systems, which are typically referred to as Wavelength Division Multiplexed (WDM) systems. These systems use a WDM optical signal having different wavelength components that support different streams of information. While WDM systems were initially investigated to increase the information capacity that a fiber could  
15 transmit between two points, recent improvements in optical filtering technology, among other things, has led to the development of switching elements which allow a complex network of paths to be constructed that differ from wavelength to wavelength. Furthermore, in addition to the availability of wavelength dependent switching elements in which a given wavelength is routed along a given path,  
20 reconfigurable optical elements have become available. Such reconfigurable optical elements can dynamically change the path along which a given wavelength is routed to effectively reconstruct the topology of the network as necessary to accommodate a change in demand or to restore services around a network failure.

Examples of reconfigurable optical elements include optical Add/Drop  
25 Multiplexers (OADM) and Optical Cross-Connects (OXC). OADMs are used to separate or drop one or more wavelength components from a WDM signal, which is then directed onto a different path. In some cases the dropped wavelengths are directed onto a common fiber path and in other cases each dropped wavelength is directed onto its own fiber path. OXCs are more flexible devices than OADMs,

which can redistribute in virtually any arrangement the components of multiple WDM input signals onto any number of output paths.

The functionality of the previously mentioned reconfigurable optical elements can be achieved with a variety of different devices. For example, a common approach employs any of a number of different broadband switching fabrics inserted between a pair of demultiplexers/multiplexers. Examples of OADM elements are disclosed in U.S. Patent Nos. 5,504,827, 5,612,805, and 5,959,749, and general OXC switching architecture is reviewed by E. Murphy in chapter 10 of Optical Fiber Telecommunications IIIB, edited by T. Koch and I. Kaminow. As shown in these references, these approaches sequentially demultiplex the wavelengths, perform the necessary switching and then remultiplex, where the OXC can direct a given wavelength onto any output because a conventional OXC uses a relatively complex MxM device for the switching fabric, while OADMs are less flexible due to their use of an array of 2x2 optical switches that can only direct between one of two outputs. Two alternate approaches to OADMs employ switchable mirrors effectively inserted between a device that simultaneously performs wavelength demultiplexing and multiplexing. The first of these approaches uses a thin film dielectric demultiplexer/multiplexer that is traversed twice by the wavelengths (e.g., U.S. Pat. No. 5,974,207), while the second approach uses dispersion from a bulk diffraction grating to demultiplex (separate) the wavelength channels before they reflect off an array of tiltable mirrors (U.S. Patent No. 5,960,133). Another set of OADM technologies employ 4-port devices that drop multiple wavelengths onto a single fiber output in a reconfigurable manner, and thus require an additional demultiplexer if the channels need to undergo broadband optoelectronic conversion at the receiver. One realization of such functionality uses fiber optic circulators added to a two-port version of the previously-described diffraction grating demultiplexer and tilt mirror array (Ford et al., Postdeadline papers LEOS '97, IEEE Lasers and Electro-Optics Society). A second realization uses integrated silica waveguide technology (e.g., Doerr, IEEE Phot. Tech. Lett '98) with thermo-optic phase shifters to switch between the add

WO 01/94994

PCT/US01/15797

and drop states for each wavelength. Another four-port OADM employs a fiber optic circulator and an optional tunable fiber grating reflector to route the dropped channels (e.g., C. R. Giles, IOOC '95, JDS 2000 catalog)

5 All of the aforementioned conventional optical switching technologies have shortcomings. These devices generally fall into two classes with respect to their shortcomings: very flexible devices with high cost and high optical loss, and lower flexibility devices, which are less expensive and have lower optical loss. The most flexible OXCs can be programmed to switch the path of any of a large number of wavelengths, each onto its own fiber (e.g. demux/mux with switches), however  
10 these devices may have up to 20 dB of insertion loss and therefore require an optical amplifier to compensate for the loss. This substantially adds to the cost of an already expensive device. Because these devices are so costly, less flexible alternatives such as fiber gratings and thin film filters are often used. While these devices have a significantly lower cost and insertion loss (2-5 dB/node), they are  
15 typically less flexible because they are implemented as fixed wavelength OADMs that cannot be reconfigured. These devices are also inflexible because as you scale them so that they drop more wavelengths their loss, cost, size and/or complexity increase to the point that the more flexible OXC alternatives become more attractive. Recently, as shown in U.S. Patent No. 5,479,082, some flexibility has  
20 been added to these lowest cost OADM devices so that they can selectively drop or pass a predetermined subset of wavelengths that was previously designated as fixed. In addition, the previously described reconfigurable OADM devices offer somewhat enhanced flexibility, but typically at the expense of higher insertion loss (for Demux/switches), limited wavelength resolution (for bulk grating approaches),  
25 and/or higher cost for additional Mux/Demux equipment used in connection with four-port devices.

One particular limitation of the conventional OXC and OADM approaches, which demultiplex the incoming signal before optical switching is performed, is that each output port can only drop a particular fixed wavelength that cannot be  
30 altered. In this configuration each switch is arranged so that it only receives a

WO 01/94994

PCT/US01/15797

preselected wavelength component from the demultiplexer, and therefore can only output that particular wavelength. Unless subsequent optical switching is used, the flexibility of these devices is limited since it is not possible to redirect a given wavelength from one output port to another output port or to redirect multiple  
5 wavelengths to a given output port, should that become necessary. This functionality is desirable when a unique element within the network is accessible through a particular port, and it is desirable to (a) change the wavelength channel directed to that port, or (b) direct additional wavelengths over that particular fiber accessed via that port. Two situations where this functionality proves useful is  
10 when a link needs to be restored using an alternate wavelength, or when the information capacity directed to a specific port needs to be increased by adding additional WDM wavelengths down the same fiber.

In view of the important role of optical switching to the flexibility and thus the value of an optical communications network, it would be advantageous to  
15 provide a switching element that does not have the shortcomings of the previously mentioned devices.

Accordingly, there is a need for an optical switching element that is inexpensive, imparts relatively low loss to optical signals and which is sufficiently flexible to direct each and every wavelength component from any input port to any  
20 output port independently of one another.

#### **Summary Of The Invention**

The present invention provides an optical switch that includes at least one input port for receiving a WDM optical signal having a plurality of wavelength  
25 components, at least three output ports, and a plurality of wavelength selective elements each selecting one of the wavelength components from among the plurality of wavelength components. A plurality of optical elements are also provided, each of which are associated with one of the wavelength selective elements. Each of the optical elements direct the selected wavelength component  
30 that is selected by its associated selected element to a given one of the output ports

independently of every other wavelength component. The given output port is variably selectable from among all the output ports.

In accordance with one aspect of the invention, the optical switch includes a free space region disposed between the input port and the wavelength selective elements.

In accordance with another embodiment of the invention, the wavelength selective elements are thin film filters each transmitting therethrough a different one of the wavelength components and reflecting the remaining wavelength components.

In accordance with yet another embodiment of the invention, the optical elements are mirrors that are selectively tiltable in a plurality of positions such that in each of the positions the mirrors reflect the wavelength component incident thereon to a different one of the output ports. The tiltable mirrors may be actuated by a micro-electromechanical system or a piezoelectric system, for example.

The present invention also provides a method for directing at least first and second wavelength components of a WDM signal, which includes a plurality of wavelength components, from an input port to selected ones of a plurality of output ports. The method begins by demultiplexing the first wavelength component from the WDM signal. The first wavelength component is then directed to a given output port. The second wavelength component is also demultiplexed from the WDM signal and directed to one of the output ports selected independently from the given output port.

In accordance with one aspect of the invention, the step of demultiplexing and directing the second wavelength component is performed after the step of demultiplexing and directing the first wavelength component.

In accordance with another aspect of the invention, the steps of directing the first and second wavelength components includes the steps of directing the first and second wavelength components through a free space region.

WO 01/94994

PCT/US01/15797

In accordance with yet another aspect of the invention, the first wavelength is demultiplexed by a thin film filter having a passband corresponding to the first wavelength.

5 In accordance with another aspect of the invention, the first wavelength component is directed through the free space region by a tiltable mirror.

In accordance with another aspect of the invention, the demultiplexing and directing steps are performed by a plurality of narrow band free space switches. Alternatively, the demultiplexing and directing steps are performed by a plurality of tunable, wavelength selective couplers.

10

#### **Brief Description Of The Drawings**

FIG. 1 shows the functionality to be achieved by an optical switching fabric constructed in accordance with the present invention.

15 FIG. 2 illustrates one embodiment of the optical switching element according to the present invention.

FIG. 3 shows an alternative embodiment of the invention that employs wavelength dependent acoustic null couplers.

FIG. 4 shows another alternative embodiment of the invention that employs multiplexers/demultiplexers.

20

#### **Detailed Description**

25 FIG. 1 shows the functionality to be achieved by an optical switching fabric constructed in accordance with the present invention. A wavelength division multiplexed (WDM) signal is received on input port 10. Additional input ports may also be provided to accept additional WDM signals. Optical switching fabric 12 is designed to direct the individual wavelength components of the WDM signal to select ones of the output ports 14<sub>1</sub>, 14<sub>2</sub>, ... 14<sub>n</sub>. That is, switching fabric 12 can selectively direct any wavelength component from any input port to any output port, independent of the routing of the other wavelengths.

WO 01/94994

PCT/US01/15797

It should be noted that switching fabric 12 operates in a symmetric manner so that any wavelength components directed to any of the output ports can be alternatively directed to any of the input ports. Accordingly, one of ordinary skill in the art will recognize that the switching paths are reciprocal, and thus the terms  
5 input and output as used herein are not limited to elements that transmit a WDM signal or wavelength component in a single direction relative to the switching fabric. In other words, when light enters the device from any so-called output port, this output port serves as an input port, and similarly, any so-called input port can equally serve as an output port.

10 As explained below, the present invention can achieve the functionality depicted in FIG. 1 in a variety of different ways. The different arrangements can be broadly divided into two categories. In the first category, filters having fixed transmission and reflection bands may be employed which enable independent direction of the wavelength components onto different optical paths. Alternatively,  
15 in the second category, tunable filters may be employed which direct the wavelength components along fixed paths.

FIG. 2 illustrates a first embodiment of the optical switching element constructed in accordance with the present invention. In FIG. 2, the optical  
20 switching element 300 comprises an optically transparent substrate 308, a plurality of dielectric thin film filters 301, 302, 303, and 304, a plurality of collimating lens pairs 321<sub>1</sub> and 321<sub>2</sub>, 322<sub>1</sub> and 322<sub>2</sub>, 323<sub>1</sub> and 323<sub>2</sub>, 324<sub>1</sub> and 324<sub>2</sub>, a plurality of tilttable mirrors 315, 316, 317, and 318 and a plurality of output ports 340<sub>1</sub>, 340<sub>2</sub>, ...  
25 340<sub>n</sub>. Substrate 308 has parallel planar surfaces 309 and 310 on which first and second filter arrays are respectively arranged. The first filter array is composed of thin film filters 301 and 303 and the second filter array is composed of thin film  
30 filters 302 and 304. Individual ones of the collimating lens pairs 321-324 and tilttable mirrors 315-318 are associated with each of the thin film filters. As described below, each thin film filter, along with its associated collimating lens pair and tilttable mirror effectively forms a narrow band, free space switch, i.e. a switch  
that routes individual wavelength components along different paths. The overall

physical dimensions of switching element 300 will be determined by the beam diameter of the WDM signal.

Thin film filters 301-304 are well-known components (for example, see U.S. Patent No. 5,583,683), which have a dielectric multilayer configuration. The thin film filters 301-304 have a wavelength dependent characteristic, that is, their reflectivity and transmissivity depends on the wavelength of light. In particular, among the wavelength components of the WDM optical signal received by thin film filter 301, only the component with wavelength  $\lambda_1$  is transmitted therethrough. The remaining wavelength components are all reflected by thin film filter 301. Likewise, thin film filter 302 transmits only the component with wavelength  $\lambda_2$  and reflects all other wavelengths. In the same manner, the thin film filters 303 and 304 transmit components with wavelengths  $\lambda_3$ , and  $\lambda_4$ , respectively, and reflect all other wavelengths. Thus, the present invention demultiplexes wavelengths through a plurality of thin film filters with different pass bands.

The tiltable mirrors 315-318 are any mirrors that can be precisely tilted on 2 axes and are preferably small and very reliable. The exemplary mirrors discussed here are supported by one or more flexure arms that employ a micro-electromechanical system (MEMS). Actuation of the flexure arms tilts the mirror surface to alter the direction of propagation of an incident beam of light. Examples of such micro-electromechanical mirrors are disclosed in U.S. Patent No. 6,028,689 and the references cited therein. Of course, other mechanisms may be alternatively employed to control the position of the mirrors, such as piezoelectric actuators, for example.

In operation, a WDM optical signal composed of different wavelengths  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$  and  $\lambda_4$  is directed from the optical input port 312 to a collimator lens 314. The WDM signal traverses substrate 308 and is received by thin film filter 301. According to the characteristics of the thin film filter 301, the optical component with wavelength  $\lambda_1$  is transmitted through the thin film filter 301, while the other wavelength components are reflected and directed to thin film filter 302 via substrate 308. The wavelength component  $\lambda_1$ , which is transmitted through the thin

WO 01/94994

PCT/US01/15797

film filter 301, is converged by the collimating lens 321<sub>1</sub> onto the tiltable mirror 315. Tiltable mirror 315 is positioned so that wavelength component  $\lambda_1$  is reflected from the mirror to a selected one of the output ports 340<sub>1</sub>-340<sub>n</sub> via thin film filters 302-304, which all reflect wavelength component  $\lambda_1$ . The particular output port that is selected to receive the wavelength component will determine the particular orientation of the mirror 315.

As mentioned, the remaining wavelength components  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ , and  $\lambda_4$  are reflected by thin film filter 301 through lens 321<sub>2</sub> back into substrate 308 and directed to thin film filter 302. Wavelength component  $\lambda_2$  is transmitted through thin film filter 302 and lens 322<sub>1</sub> and directed to a selected output port by tiltable mirror 316 via thin film filters 303-304, which all reflect wavelength component  $\lambda_2$ . Similarly, all other wavelength components are separated in sequence by the thin film filters 303-304 and subsequently directed by tiltable mirrors 317-318 to selected output ports. By appropriate actuation of the tiltable mirrors, each wavelength component can be directed to an output port that is selected independently of all other wavelength components. Any wavelengths that have not been redirected by any of the tiltable mirrors may be received by an optional bypass port or fiber 343. Although the embodiment of FIG. 2 is configured to selectively switch four wavelengths, it will be recognized that the invention more generally may selectively switch any number of wavelengths by employing a corresponding number of narrow band, free space switches.

A number of important advantages are achieved by the embodiment of the invention shown in FIG. 2. For example, because free space switching is employed, the number of optical connections is kept to a minimum, reducing the insertion loss, complexity and cost of the device. This advantage will be more clearly demonstrated below when the number of connections required in FIG. 2 is compared to the number of connections required by the embodiment of the invention shown in FIG. 4.

The following description sets forth for illustrative purposes only one particular example of the embodiment of the invention shown in FIG. 2. In this

WO 01/94994

PCT/US01/15797

example, the substrate 308 is a rectangular silica block having a thickness of 10 mm, a width of 50 mm and a length of 90 mm. A single collimating lens that directed light to the input fiber is fixed relative to the block at a 5.7° angle with respect to the normal to the block. The focal length of the lens is chosen such that

5 light exiting a Corning SMF-28™ fiber and passing thru a lens results in a collimated optical beam with a width of 1mm. At the output, an array of collimating lenses is provided, each of which couples light to one fiber in the output array. The fiber ends are polished flat and have an anti-reflective coating. An optional bypass port or fiber may also be provided, which collects any wavelengths

10 received at the input fiber that has not been transmitted through any of the thin film filters. The bypass fiber provides an output for future upgrades that use additional wavelengths not resonant in the original device. Alternately, this port might also be used if cost or loss restrictions make it preferable to switch a subset of the total incident wavelengths, where the remaining (unswitched) wavelengths bypass the

15 switching fabric. The first and second array of narrow band free-space switches each include eight thin film filters. The thin film filters are each a three-cavity resonant thin film filter with a surface dimension of 10 mm by 10 mm. In the first array, the first thin film filter, which is located 10 mm from the edge of the substrate, is bonded with optical-quality, index matching epoxy to the substrate and

20 has a passband centered at 194.0 THz (1545.32 nm). The optical pass band is nominally 0.4 nm wide at -0.5 dB down from the peak, with an isolation of better than -22 dB starting 100 GHz from the center wavelength. A 5 mm focal length collimating lens is bonded to the thin film filter. A commercially available, micro-electro-mechanical (MEMS) tiltable mirror is then positioned at the focal point of

25 the lens. Voltages can be applied to the tiltable mirror to vary its angular orientation along two axes. Typical angles over which the mirror is adjusted do not exceed 30°.

The first array also includes a second narrow band free-space switch located 10 mm from the first free-space switch. The thin film filter employed in this switch

30 has a center optical wavelength of 193.8 THz (1546.92 nm). Six additional narrow

WO 01/94994

PCT/US01/15797

band free-space switches are located along the substrate having center wavelengths of 1548.52 nm, 1550.12 nm, 1551.72 nm, 1553.32 nm, 1554.92 nm, and 1556.52 nm, respectively. The center-to-center distance between each switch is 10 mm.

The second array of narrow band free space switches is located on the  
5 substrate surface opposing the substrate surface on which the first array of switches is located. The second array of switches, which are also located 10 mm apart from one another, are laterally oriented half way between the first array of switches. The eight thin film filters employed in the second array of switches have center pass  
10 band wavelengths of 1544.52 nm, 1546.12 nm, 1547.72 nm, 1549.32 nm, 1550.92 nm, 1552.52 nm, 1554.12 nm, and 1555.72 nm, respectively.

Each individual tiltable mirror has an electronics circuit to which a voltage is applied to steer the mirror. The voltage necessary to steer the mirror so that the wavelength it reflects is directed to a particular output fiber will differ from mirror to mirror. The operating voltages (-20 to +20 volt range) for steering the mirror are  
15 chosen to maximize the optical power coupled into the desired output fiber.

One of ordinary skill in the art will recognize that each of the narrow band free space switches shown in FIG. 2 do not necessarily require two lenses and a single mirror. Rather, other combinations of optical elements may be used to properly redirect the wavelength components. For example, two tiltable mirrors  
20 may be arranged to achieve the same result without the use of a lens. Alternatively, a single mirror may be used if in addition to being tiltable along two axes its position can also undergo a spatial translation.

It is often important to monitor the presence and intensity of each individual wavelength component received by the switch shown in FIG. 2. This can become  
25 particularly difficult using conventional fiber monitoring taps when the WDM signal includes a large number of wavelength components. In the present invention, this problem may be readily overcome since only a single wavelength component is received by each of the tiltable mirrors. Accordingly, individual wavelength components may be monitored by placing a detector behind the mirror so that it  
30 receives the small portion of the power of the wavelength component that passes

WO 01/94994

PCT/US01/15797

through the mirror. This information combined with conventional tap monitoring can provide network control and administration a more complete monitoring picture of light routed through the switch.

It is also important to maintain accurate alignment between the tiltable mirrors in their various positions and the input and output fibers to optimize the power they receive from the mirrors. This can be accomplished by slow adjustment of the mirrors while monitoring the power coupled to the fiber via conventional fiber monitoring taps. However this approach becomes complicated if many other wavelengths are present on the fiber, in which case it may be useful to improve the detection of each wavelength component by encoding a small amplitude modulation with a unique RF frequency that is detected at the respective output fibers while adjusting the positions of the tiltable mirrors. This RF tone can be encoded at the transmitter with a unique tone for every wavelength, or alternately the RF amplitude modulation can be temporarily encoded during mirror adjustment by providing a small oscillation of the mirror tilt that slightly changes the coupling efficiency to the fiber. The latter approach is beneficial in tones that are encoded where they are measured, eliminating the need to track them throughout the network, and additionally, the tones are only encoded when they are needed for adjustments.

FIG. 3 shows an alternative embodiment of the invention that employs wavelength dependent acoustic null couplers to achieve tunable wavelength filtering. Such a coupler only cross-couples selected wavelengths from a first to a second optical fiber upon application of an appropriate acoustic vibration to the coupling region. If the appropriate acoustic vibration is not applied, the selected wavelengths continue to propagate along the first optical fiber. Examples of an acoustic null coupler are disclosed in D.O. Culverhouse et al., Opt. Lett. 22, 96, 1997 and U.S. Patent No. 5,915,050.

As shown in FIG. 3, an input fiber 50 receiving the WDM signal is connected to an input port of a first null coupler 52<sub>1</sub>. One output port of the first null coupler 52<sub>1</sub> is connected to an output fiber 54<sub>1</sub> on which one or more individual

WO 01/94994

PCT/US01/15797

wavelength components are to be directed. The other output port is connected to an input port of a second null coupler 52<sub>2</sub>. Similar to the output ports of the first null coupler 52<sub>1</sub>, the output ports of the second null coupler 52<sub>2</sub> are respectively connected to a second output fiber 54<sub>2</sub> and the input port of a third null coupler 52<sub>3</sub>.

5 As indicated in FIG. 3, additional null couplers may be cascaded in this manner to provide additional output ports on which selected wavelength components may be directed.

In operation, one or more wavelength components directed along the input fiber 50 can be directed to any selected output port 54<sub>1</sub>, 54<sub>2</sub>, ... 54<sub>m</sub> by applying the appropriate acoustic wave for those components to the null couplers 52<sub>1</sub>, 52<sub>2</sub>, ... 54<sub>m</sub> preceding those connected to the selected output port. For example, if any of the given n wavelength components are to be directed to output port 54<sub>3</sub>, then the acoustic waves should be applied to null coupler 52<sub>3</sub>. Although this embodiment of the invention requires the wavelength components to traverse the null couplers in serial fashion, the resulting insertion loss need not be unacceptably large because the insertion of loss of each individual coupler can be quite small (e.g., less than 0.5 dB). The serial tunable filtering process used in the embodiment of the invention shown in FIG. 4 can also achieve the switching functionality of the present invention by using the previously described four- port tunable OADM device

10  
15  
20 technologies.

FIG. 4 shows another alternative embodiment of the invention that employs conventional multiplexers/demultiplexers and conventional 1xm switches, where n denotes the number of output ports of the switch. The multiplexers/demultiplexers may employ thin film filters or waveguide gratings, for example. As shown, an input fiber 60 supporting a WDM signal having n (where n is not necessarily equal to m) wavelength components is directed to the input port of demultiplexer 61. The demultiplexer 61 has n output ports 63<sub>1</sub>, 63<sub>2</sub>, ... 63<sub>n</sub>, which are respectively coupled to the input ports of the 1xm switches 65<sub>1</sub>, 65<sub>2</sub>, ... 65<sub>n</sub>. The m output ports of the first switch 65<sub>1</sub> are respectively connected to the first input ports of the multiplexers 67<sub>1</sub>, 67<sub>2</sub>, ... 67<sub>m</sub>. Likewise, the n output ports of the second switch 65<sub>2</sub> are

25  
30

WO 01/94994

PCT/US01/15797

respectively connected to the second input ports of the multiplexers  $67_1, 67_2, \dots, 67_m$ . The remaining switches continue to be coupled to the multiplexers in this sequential manner until the output ports of switch  $65_n$  are coupled to the  $m$ th input ports of the multiplexers  $67_1, 67_2, \dots, 67_m$ .

- 5 One problem with the embodiment of the invention shown in FIG. 4 is that it requires a relatively large number of switches and multiplexers/demultiplexers and thus a relatively large number of optical connections. In particular, in this embodiment of the invention the number of optical connections scales with the product of the number of wavelength components and the number of output ports.
- 10 Specifically, for an optical switch having 10 output ports and which supports 16 wavelength components the embodiment of the invention shown in FIG. 2 only requires 11 optical connections whereas the embodiment shown in FIG. 4 requires 363 optical connections. Since the cost and complexity of the resulting device is directly related to the number of optical connections, the inventive switch shown in
- 15 FIG. 2 is particularly attractive.

WO 01/94994

PCT/US01/15797

Claims:

1. An optical switch comprising:  
at least one input port for receiving a WDM optical signal having a  
5 plurality of wavelength components;  
at least three output ports;  
a plurality of wavelength selective elements each selecting one of  
said wavelength components from among the plurality of wavelength components;  
and  
10 a plurality of optical elements each associated with one of the  
wavelength selective elements, each of said optical elements directing the selected  
wavelength component selected by the associated selected element to a given one of  
the at least three output ports independently of every other wavelength component,  
said given output port being variably selectable from among the at least three output  
15 ports.
2. The optical switch of claim 1 further comprising a free space region  
disposed between the input port and the wavelength selective elements.
- 20 3. The optical switch of claim 1 wherein said wavelength selective elements  
are thin film filters each transmitting therethrough a different one of the wavelength  
components and reflecting the remaining wavelength components.
4. The optical switch of claim 1 wherein said optical elements are micro-  
electromechanical (MEM) optical elements.
- 25 5. The optical switch of claim 4 wherein said MEM optical elements are MEM  
mirrors.

WO 01/94994

PCT/US01/15797

6. The optical switch of claim 5 wherein said MEM mirror is tiltable in a plurality of positions such that in each of the positions the MEM mirror reflects the wavelength component incident thereon to a different one of the output ports.
- 5 7. The optical switch of claim 1 wherein said optical elements are mirrors that are selectively tiltable in a plurality of positions such that in each of the positions the mirrors reflect the wavelength component incident thereon to a different one of the output ports.
- 10 8. The optical switch of claim 7 wherein said mirrors each include a piezoelectric actuator.
9. The optical switch of claim 2 wherein said free space region comprises an optically transparent substrate having first and second parallel surfaces, said  
15 plurality of wavelength selective elements being arranged in first and second arrays extending along the first and second parallel surfaces, respectively.
10. The optical element of claim 9 wherein said first and second arrays are laterally offset with respect to one another.
- 20 11. The optical switch of claim 9 wherein said optical element is a MEM mirror tiltable in a plurality of positions such that in each of the positions the MEM mirror reflects the wavelength component incident thereon to a different one of the output ports.
- 25 12. The optical element of claim 11 wherein each of said wavelength selective elements arranged in the first array direct the selected wavelength component to another of said wavelength selective elements arranged in the second array.

WO 01/94994

PCT/US01/15797

13. The optical switch of claim 1 further comprising a pair of collimating lenses disposed between each one of said wavelength selective elements and the optical element associated therewith, each of said optical elements being positioned at a focal point of each lens in its associated collimating lens pair.
- 5
14. The optical switch of claim 1 wherein said optical elements each include a plurality of collimating lenses and a tiltable mirror.
15. The optical switch of claim 7 wherein said optical elements each include a pair of mirrors.
- 10
16. The optical switch of claim 7 wherein said optical elements each include a tiltable mirror that is also spatially translatable.
- 15
17. A method for directing at least first and second wavelength components of a WDM signal that includes a plurality of wavelength components from an input port to selected ones of a plurality of output ports, said method comprising the steps of:
- 20
- (a) demultiplexing the first wavelength component from the WDM signal;
  - (b) directing the first wavelength component to a given output port;
  - (c) demultiplexing the second wavelength component from the WDM signal and directing the second wavelength component to one of the output ports selected independently from the given output port.
- 25
18. The method of claim 17 wherein step (c) is performed subsequent to steps (a) and (b).
19. The method of claim 18 wherein the steps of directing the first and second wavelength components includes the steps of directing the first and second wavelength components through a free space region.
- 30

WO 01/94994

PCT/US01/15797

20. The method of claim 17 wherein the first wavelength is demultiplexed by a thin film filter having a passband corresponding to the first wavelength.
- 5 21. The method of claim 19 wherein the first wavelength component is directed through the free space region by a tiltable mirror.
22. The method of claim 21 wherein the tiltable mirror is a MEM mirror.
- 10 23. The method of claim 21 wherein said tiltable mirror includes a pair of tiltable mirrors.
24. The method of claim 19 wherein the first wavelength component is directed by a spatially translatable mirror.
- 15 25. The method of claim 21 wherein said tiltable mirror includes a piezoelectric actuator.
26. The method of claim 21 further comprising the step of collimating the first wavelength component onto the tiltable mirror.
- 20 27. The method of claim 17 wherein the demultiplexing and directing steps are performed by a plurality of narrow band free space switches.
- 25 28. The method of claim 17 wherein the demultiplexing and directing steps are performed by a plurality of tunable, wavelength selective couplers.
29. The method of claim 17 wherein said plurality of output ports includes N output ports and the demultiplexing and directing steps are performed by a

WO 01/94994

PCT/US01/15797

demultiplexer, N multiplexers, and a plurality of 1xM switches coupling said demultiplexer to said N multiplexers, where  $M > 1$ .

30. An optical switch comprising:  
5 at least one input port for receiving a WDM optical signal having a plurality of wavelength components;  
a plurality of output ports;  
means for selecting at least one of said wavelength components from among the plurality of wavelength components and directing the at least one  
10 selected wavelength component to a given one of the plurality of output ports independently of every other wavelength component, said given output port being variably selectable from among the plurality of output ports.
31. The optical switch of claim 30 wherein said selecting and directing means  
15 comprises a plurality of narrow band free space switches.
32. The optical switch of claim 31 wherein said narrow band free space switch includes a thin film filter and a tiltable optical element.
- 20 33. The optical switch of claim 31 wherein said narrow band free space switch includes a thin film filter and a pair of tiltable mirrors.
34. The optical switch of claim 31 wherein said narrow band free space switch includes a thin film filter and a tiltable mirror that is also spatially translatable.  
25
35. The optical switch of claim 30 wherein said selecting and directing means comprises a plurality of tunable, wavelength selective couplers.
36. The optical switch of claim 35 wherein said couplers are acoustic wave null  
30 couplers.

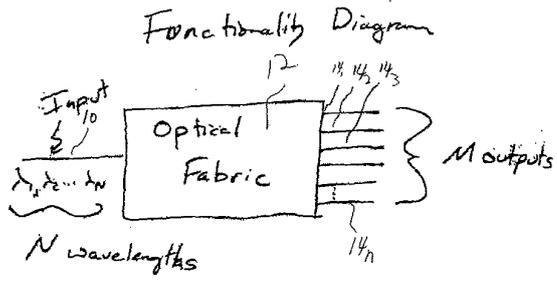
WO 01/94994

PCT/US01/15797

37. The optical switch of claim 30 wherein said plurality of output ports includes N output ports and said selecting and directing means comprises a demultiplexer, N multiplexers, and a plurality of  $1 \times M$  switches coupling said demultiplexer to said N multiplexers, where  $M > 1$ .
- 5
38. The optical switch of claim 3 further comprising a detector associated with each of the wavelength selected elements for monitoring the wavelength component transmitted therethrough.
- 10
39. The optical switch of claim 31 further comprising a detector associated with each of the narrow band free space switches.
40. The method of claim 17 further comprising the step of monitoring the first wavelength component after performing the demultiplexing step.
- 15

WO 01/94994

PCT/US01/15797



Drawing 1: Functional diagram of device.

5

Fig. 1



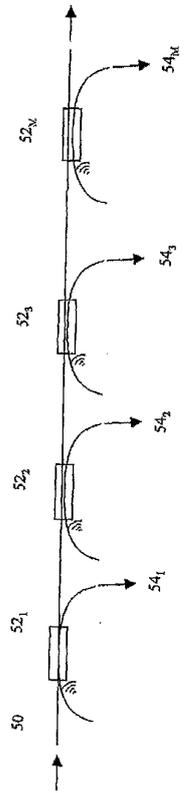


Figure 3

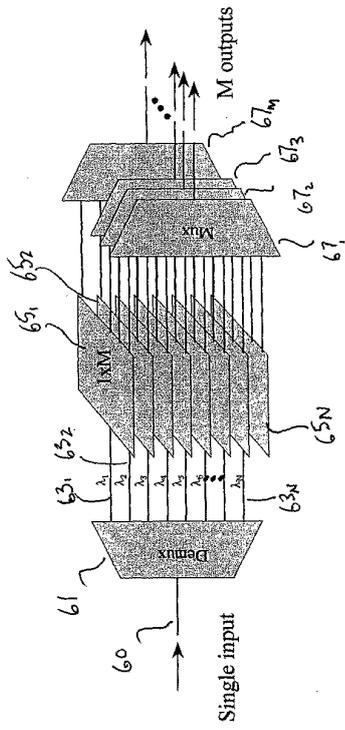


FIG 4

【国際公開パンフレット(コレクトバージョン)】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization  
International Bureau



(43) International Publication Date  
13 December 2001 (13.12.2001)

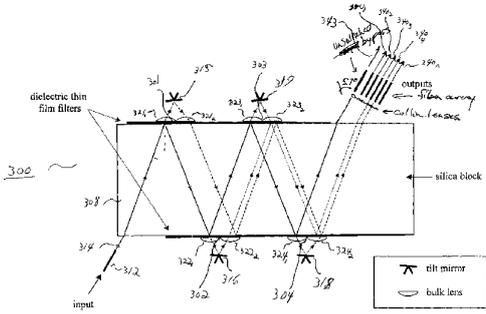
PCT

(10) International Publication Number  
WO 01/094994 A3

- (51) International Patent Classification: **H04Q 11/00**, G02B 6/34
- (52) International Application Number: PCT/US01/15797
- (22) International Filing Date: 16 May 2001 (16.05.2001)
- (25) Filing Language: English
- (26) Publication Language: English
- (30) Priority Data: 09/571,833 16 May 2000 (16.05.2000) US
- (71) Applicant: **PHOTURIS, INC.**, [US/US]; 20 Corporate Place South, Piscataway, NJ 08854 (US).
- (72) Inventors: **WAGENER, Jefferson, L.**; 215 Hirschbeck Heights, Aberdeen, WA 98520 (US). **STRASSER, Thomas, Andrew**; 6 Harmony Road, Warren, NJ 07059 (US).
- (74) Agent: **MAYER, Stuart, H.**; Mayer Fortkert & Williams, PC, 251 North Avenue West, 2nd Floor, Westfield, NJ 07090 (US).
- (81) Designated States (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VN, YU, ZA, ZW.
- (84) Designated States (regional): ARIPO patent (GI, GM, KI, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Published: with international search report
- (88) Date of publication of the international search report: 16 January 2003

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

(54) Title: A RECONFIGURABLE OPTICAL SWITCH



(57) Abstract: An optical switch includes at least one input port for receiving a WDM optical signal having a plurality of wavelength components, at least three output ports, and a plurality of wavelength selective elements each selecting one of the wavelength components from among the plurality of wavelength components. A plurality of optical elements are also provided, each of which are associated with one of the wavelength selective elements. Each of the optical elements direct the selected wavelength component that is selected by its associated selected element to a given one of the output ports independently of every other wavelength component. The given output port is variably selecttable from among all the output ports.

WO 01/094994 A3

## 【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International Application No. PCT/US 01/15797
<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC 7 H04Q11/00 G02B6/34		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 G02B H04Q		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, WPI Data, PAJ		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	SABELLA R ET AL: "IMPACT OF TRANSMISSION PERFORMANCE ON PATH ROUTING IN ALL-OPTICAL TRANSPORT NETWORKS" JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, IEEE. NEW YORK, US, vol. 16, no. 11, November 1998 (1998-11), pages 1965-1971, XP000831709 ISSN: 0733-8724	1, 17, 30
A	figures FIG.1	2-16, 18-29, 31-40
A	US 5 835 517 A (JAYARAMAN VIJAYSEKHAR ET AL) 10 November 1998 (1998-11-10) column 1, line 50 -column 2, line 63 --- -/--	1-40
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents: *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *B* earlier document but published on or after the international filing date *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention *X* document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone *Y* document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art *Z* document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 27 August 2002		Date of mailing of the international search report 05/09/2002
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.O. Box 5510 Patentamt 2 NL-2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer: Meurisse, W

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1998)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/US 01/15797

C/(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4 626 066 A (LEVINSON FRANK H) 2 December 1986 (1986-12-02) the whole document -----	1-40
A	US 5 960 133 A (TOMLINSON W JOHN) 28 September 1999 (1999-09-28) column 5, line 30 -column 7, line 5; figure 5 -----	1-40

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
 Information on patent family members

 International Application No  
 PCT/US 01/15797

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5835517	A	10-11-1998	AU 3744197 A 24-04-1998
			WO 9814807 A1 09-04-1998
			US 6122417 A 19-09-2000
US 4626066	A	02-12-1986	NONE
US 5960133	A	28-09-1999	AU 2471799 A 09-08-1999
			CA 2318080 A1 29-07-1999
			EP 1051876 A1 15-11-2000
			WO 9938348 A1 29-07-1999

## フロントページの続き

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,CH,CY,DE,DK,ES,FI,FR,GB,GR,IE,IT,LU,MC,NL,PT,SE,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EE,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX,MZ,NO,NZ,PL,PT,RO,RU,SD,SE,SG,SI,SK,SL,TJ,TM,TR,TT,TZ,UA,UG,UZ,VN,YU,ZA,ZW

(72)発明者 ストラッサー, トーマス, アンドリュー

アメリカ合衆国 ニュージャージー州 07059 ウォレン ハーモニー ロード 6

Fターム(参考) 2H041 AA14 AA21 AB14 AC08 AZ02 AZ05

5K102 AA11 AD01 MB20 NA02 NA05 NA08 PC05 PC07 PC12 PD14

PH47 PH48 RB02