

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 00815769.3

G02B 6/42 (2006.01)
G02B 6/26 (2006.01)
G02B 6/28 (2006.01)
H01S 3/08 (2006.01)
H04J 14/02 (2006.01)

[45] 授权公告日 2006年7月19日

[11] 授权公告号 CN 1265223C

[22] 申请日 2000.11.14 [21] 申请号 00815769.3

[30] 优先权

[32] 1999.11.16 [33] US [31] 09/442,061

[86] 国际申请 PCT/US2000/031448 2000.11.14

[87] 国际公布 WO2001/037021 英 2001.5.25

[85] 进入国家阶段日期 2002.5.16

[71] 专利权人 PTS 公司

地址 美国加利福尼亚

[72] 发明人 罗伯特·T·韦韦尔卡

史蒂文·P·乔治斯

理查德·S·罗思

审查员 张春伟

[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

代理人 韩宏

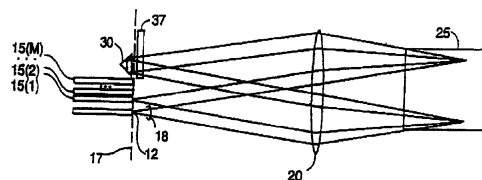
权利要求书 17 页 说明书 28 页 附图 10 页

[54] 发明名称

波长路由器

[57] 摘要

一种波长路由器，选择地在以输入口(12)和输出口(15)之间引导谱带。该路由器包括以配置在该输入口和所述输出口之间的以自由空间光学串，和一路由机构(30)。该自由空间光学串卡包括空气分离元件(20, 25)和可以是单体构造。该光学串包括例如衍射光栅的一色散元件(25)，并被构造使来自输入口的光在到达输出口之前遭遇色散元件两次。该路由机构(30)包括一或多个路由元件并与光学串中的其它元件(37)合作以提供将这些谱带的子组耦合至期望输出口的光学路径。



1、一种用于在一个输入口接收含有多个谱带的光并把所述谱带中的一些子组分别导引到多个输出口中的相应输出口上的波长路由器，该波长路由器包括：

一个自由空间光学串，其设置在输入口与所述输出口之间，用来为导引各个谱带提供光学路径，该光学串含有一个被设置得能截获从输入口传播来的光的色散元件，所述色散元件具有明显小于谱带间隔的分辨率，所述光学串的布局使得光在达到任一个输出口之前能两次遇到所述色散元件；以及

一个路由机构，其含有至少一个能根据其状态把一个给定谱带导引到不同输出口上的可动态构形的路由元件。

2、根据权利要求 1 的波长路由器，其中所述输入口位于一个输入光纤的端头处。

3、根据权利要求 1 的波长路由器，其中所述输出口位于多个输出光纤的相应端头处。

4、根据权利要求 1 的波长路由器，其中所述路由机构的构形使得能把至少两个谱带导引到单个输出口上。

5、根据权利要求 1 的波长路由器，其中所述路由机构的构形将使得至少一个输出口接收不到任何谱带。

6、根据权利要求 1 的波长路由器，其中所述谱带的数目多于输出口的数目，并且输出口的数目大于 2。

7、根据权利要求1的波长路由器，其中所述路由机构含有多个反射元件，每个反射元件与一个相应的谱带相关连。

8、根据权利要求1的波长路由器，其中所述可动态构形的元件具有一个移动自由度。

9、根据权利要求1的波长路由器，其中所述可动态构形的元件具有一个旋转自由度。

10、根据权利要求1的波长路由器，其中所述可动态构形的元件含有一些由微电机系统元件制成的反射镜。

11、根据权利要求1的波长路由器，其中：
所述色散元件是一个光栅；并且
所述光学串含有结合在所述光栅中的光焦度。

12、根据权利要求1的波长路由器，其中：
所述光学串包含一个透镜；
所述色散元件是一个反射光栅；
所述路由机构包含多个可动态构形的元件；
来自所述输入的光被所述透镜准直并被所述反射光栅反射成多个对应于所述各谱带的在角度上分开的光束；
所述在角度上分开的光束分别被所述透镜聚焦到所述可动态构形的元件中的相应元件上；并且

每个给定的可动态构形的元件都有多个状态，每个状态能沿着多个路径中的一个希望路径导引那个对应于该可动态构形的元件的在

角度上分开的光束,使得离开该可动态构形的元件的光再次被所述透镜准直,被所述反射光栅反射,以及再次被所述透镜聚焦到所述多个输出口中对应于所述多个路径中的一个希望路径的那个输出口上。

13、根据权利要求 1 的波长路由器,其中的分辨率是通过使一个路程差大于 3cm 来达到的。

14、根据权利要求 1 的波长路由器,其中:

所述色散元件以不同的角度引导这些谱带,

所述路由机构包括 N 个动态可构形的反射元件,被设置以截获相应的谱带并将其引导回向所述色散元件,及

所述自由空间光学串包括设置在所述光学串中的至少一个聚焦元件,以使所述谱带被聚焦在所述反射元件上。

15、根据权利要求 14 的波长路由器,其中所述色散元件是一个反射光栅,并且光学串包含:

一个透镜,其被设置得能截获来自输入的光,使被截获光准直,把准直光导向所述反射光栅,截获从反射光栅反射的光,使光聚焦,并沿一条路径导引聚焦光,使每个谱带被聚焦到一个不同点;以及

N 个反射元件,其被设置得能截获各个聚焦谱带并导引它们与所述透镜、所述反射光栅、所述透镜和各个输出口相遇。

16、根据权利要求 14 的波长路由器,其中所述色散元件是一个透射光栅,并且光学串包含:

一个设置在所述透射光栅与输入之间的透镜;以及

位于所述透射光栅的远离所述输入一侧的 N 个反射元件,其布局使得通过所述光栅并射到所述反射元件上的光能通过所述透射

光栅、所述透镜和所述输出口。

17、根据权利要求 14 的波长路由器，其中所述色散元件是一个反射光栅，并且光学串包含：

一个曲面反射器，被设置得能截获来自输入口的光，使截获的光准直，把准直光导向所述反射光栅，截获从反射光栅反射的光，使光聚焦，并沿一条路径导引聚焦光，使每个谱带被聚焦到一个不同点上；以及

N 个反射元件，其被设置得能截获各个聚焦谱带并导引它们与所述曲面反射器、所述反射光栅、所述曲面反射器和各个输出口相遇。

18、根据权利要求 14 的波长路由器，其中所述色散元件是一个棱镜。

19、根据权利要求 15 的波长路由器，其中所述光学路径中包含一些由微电机系统元件制成的反射镜。

20、根据权利要求 1 的波长路由器，其中：

所述自由空间光学串包括一个第一柱面透镜，用于使来自输入口的光在一个第一横方向上准直；

所述自由空间光学串包括一个第二柱面透镜，用于使光在一个垂直于所述第一横方向的第二横方向上准直；

所述色散元件为一个透射色散元件，用于使光在所述第一横方向上沿一个特定指向发生色散；

所述自由空间光学串包括一个第三柱面透镜，用于使光在第一横方向上聚焦；

所述路由机构包括 N 个位于所述第三柱面透镜焦平面中的可倾

斜反射镜，每个反射镜用来截获一个相应的谱带并把该谱带导引回到所述第三柱面透镜；

所述路由机构包括多个驱动器，每个驱动器与一个相应的反射镜耦合，以实现相应谱带光路的选择性倾斜；以及

各个谱带通过所述第三柱面透镜在第一横方向上被准直，通过光栅在第一横方向上沿着与所述特定指向相反的指向被色散，通过所述第二柱面透镜在第二横方向上被聚焦，并通过所述第一柱面透镜在第一横方向上被聚焦，由此每个谱带在第一和第二横方向上都被聚焦成一个位于一个由相应可倾斜反射镜所确定的相应位置处的焦点。

21、根据权利要求 20 的波长路由器，它还包括一个被设置得能接收来自所述返回路径的光的输出光纤阵列，这些光纤的位置以通过所述第二柱面透镜的傅里叶关系对应于所述多个可倾斜反射镜的倾斜角。

22、根据权利要求 20 的波长路由器，其中所述多个反射镜由微电机系统元件制成。

23、根据权利要求 1 的波长路由器，其中：

所述自由空间光学串包括一个第一球面透镜，用于使来自输入的光准直；

所述色散元件为一个透射色散元件，用于使光在一个第一横方向上沿一个特定指向发生色散，以使各个谱带在空间分开；

所述自由空间光学串包括一个第二球面透镜，用于使从所述色散元件传播来的光聚焦；

所述路由机构包括多个位于所述第二球面透镜的焦平面中的后向反射器，每个后向反射器都截获一个相应的谱带并把该谱带导引回

到所述第二球面透镜上，同时还使该谱带在一个垂直于第一横方向的第二横方向上发生一个横向位移，所述横向位移取决于该后向反射器的状态；以及

每个谱带通过所述第二球面透镜被准直，通过光栅在第一横方向上沿着一个与所述特定指向相反的指向被色散，通过所述第一球面透镜被聚焦，由此每个谱带都成为一个位于一个由相应后向反射器所确定的相应位置处的焦点。

24、根据权利要求 1 的波长路由器，其中：

所述自由空间光学串包括一个设置得能使来自输入的光准直的具有正光焦度的光学元件；

所述色散元件为一个反射色散元件，用于使从所述光学元件传播来的光在一个第一横方向上沿一个特定指向色散，以使各个谱带在空间分开，所述色散元件把所述谱带导引回到所述光学元件上，后者使来自所述色散元件的光聚焦；

所述路由机构包括多个位于所述光学元件的焦平面中的后向反射器，每个后向反射器都截获一个相应的谱带，并把该谱带导引回到所述光学元件上，同时带使该谱带在一个垂直于所述第一横方向的第二横方向上发生一个横向位移，所述横向位移取决于该后向反射器的状态；以及

每个谱带通过所述光学元件被准直，通过所述色散元件在第一横方向上沿着一个与所述特定指向相反的指向被色散，通过所述光学元件被聚焦，由此每个谱带都成为一个位于由相应后向反射器所确定的相应位置处的焦点。

25、根据权利要求 24 的波长路由器，其中所述光学元件是一个球面透镜。

26、根据权利要求 24 的波长路由器，其中所述光学元件是一个凹面反射器。

27、根据权利要求 24 的波长路由器，其中：
每个后向反射器都包含一个屋脊型棱镜；并且
后向反射器的状态由该后向反射器的屋脊棱镜的横向位置所确定。

28、根据权利要求 24 的波长路由器，其中：
每个后向反射器都包含一个屋脊型棱镜和一个用透明材料制成的可相对运动的相关体，其构形适合于与后向反射器的屋脊型棱镜发生光学接触；并且
后向反射器的状态至少部分地取决于该后向反射器的屋脊型棱镜是否与其相关体发生光学接触。

29、根据权利要求 1 的波长路由器，其中：
所述自由空间光学串包括具有正光焦度的一个第一球面透镜；
所述色散元件为一个透射色散元件，用于使光在一个第一横方向上发生色散；
所述自由空间光学串包括具有正光焦度的一个第二球面透镜；
所述路由机构包括多个后向反射器，每个后向反射器都截获一个相应的谱带并把该谱带导引回到所述第二球面透镜上，同时还使该谱带在一个垂直于第一横方向的第二横方向上发生一个横向位移，所述横向位移取决于该后向反射器的状态；
所述第一球面透镜、所述色散元件、所述第二球面透镜和所述多个后向反射器被设置成使自输入口辐射的光依次遭遇所述第一球面

透镜第一次、所述色散元件第一次、所述第二球面透镜第一次、所述多个后向反射器、所述第二球面透镜第二次、所述色散元件第二次和所述第一球面透镜第二次；

所述第一球面透镜工作所述第一次以准直光，且工作所述第二次以将光聚焦在输出口上；

所述第二球面透镜工作所述第一次以将光聚焦在所述多个后向反射器上，且工作所述第二次以准直光；及

所述色散元件工作所述第一次以在第一横方向上在这些谱带中产生角度分离以使这些谱带相遇它们各自的后向反射器，且工作所述第二次以去除该第一横方向上这些谱带中的所述角度分离。

因此各谱带被聚焦至位于由相应的后向反射器的状态确定的一输出口的一焦点。

30、根据权利要求1的波长路由器，其中：

所述自由空间光学串包括具有正光焦度的一球面透镜；

所述色散元件为一个反射色散元件，用于使光在一个第一横方向上色散；

所述路由机构包括多个后向反射器，每个后向反射器都截获一个相应的谱带，并把该谱带导引回到所述球面透镜上，具有在一个垂直于所述第一横方向的第二横方向上发生一个横向位移，所述横向位移取决于该后向反射器的状态；

所述球面透镜、所述色散元件和所述多个后向反射器被设置成使自输入口辐射的光依次遭遇所述球面透镜第一次、所述色散元件第一次、所述球面透镜第二次、所述多个后向反射器、所述球面透镜第三次、所述色散元件第二次和所述球面透镜第四次；

所述球面透镜工作所述第一次以准直光，工作所述第二次以将光聚焦在所述多个后向反射器上，工作所述第三次以准直光，以及工作

所述第四次将光聚焦在输出口上；

所述色散元件工作所述第一次以在第一横方向上在这些谱带中产生角度分离以使这些谱带相遇它们各自的后向反射器，且工作所述第二次以去除该第一横方向上这些谱带中的所述角度分离；

因此各谱带被聚焦至位于由相应的后向反射器的状态确定的一输出口的一焦点。

31、根据权利要求 1 的波长路由器，其中：

所述自由空间光学串包括一个第一柱面透镜，具有第一横方向上的正光焦度；

所述自由空间光学串包括一个第二柱面透镜，具有在一个垂直于所述第一横方向的第二横方向上的正光焦度；

所述色散元件为一个透射色散元件，用于使光在所述第一横方向上发生色散；

所述自由空间光学串包括一个第三柱面透镜，具有在第一横方向上的正光焦度；

所述路由机构包括 N 个可倾斜反射镜，每个可倾斜反射镜用来截获一个相应的谱带并把该谱带导引回到所述第二柱面透镜，带有依据于该可倾斜反射镜的状态的一角度位移；

所述第一柱面透镜、所述第二柱面透镜、所述透射性色散元件和所述 N 个可倾斜反射镜被设置成使自输入口辐射的光依次遭遇所述第一柱面透镜第一次、所述第二柱面透镜第一次、所述色散元件第一次、所述第三柱面透镜第一次、所述 N 个可倾斜反射镜、所述第三柱面透镜第二次、所述色散元件第二次、所述第二柱面透镜第二次和所述第一柱面透镜第二次；

所述第一柱面透镜工作所述第一次以在第一横方向上准直光，且工作所述第二次以将第一横方向上的光聚焦在输出口上；

所述第二柱面透镜工作所述第一次以在第二横方向上准直光，且工作所述第二次以在第二横方向上聚焦光；

所述第三柱面透镜工作所述第一次以在第一横方向上将光聚焦到所述 N 个可倾斜反射镜上，且工作所述第二次以在第一横方向上准直光；

所述色散元件工作所述第一次以在第一横方向上在这些谱带中产生角度分离以使这些谱带相遇它们各自的可倾斜反射镜，且工作所述第二次以去除该第一横方向上这些谱带中的所述角度分离。

因此各谱带被聚焦至位于由相应的可倾斜反射镜的状态确定的一出口的一焦点。

32、根据权利要求 1 的波长路由器，其中：

所述自由空间光学串包括一个第一柱面透镜，用于使来自输入的光在一个第一横方向上准直；

所述自由空间光学串包括一个第二柱面透镜，用于使自所述第一柱面透镜传播的光在一个垂直于所述第一横方向的第二横方向上发散较少；

所述色散元件为一个反射色散元件，用于使从所述第二柱面透镜传播来的光色散，所述光在一特定指向上沿第一横方向上被色散，所述色散元件把所述谱带以不同的角度导引回到所述第二柱面透镜；

传播离开所述色散元件的这些谱带由所述第二柱面透镜在第二横方向上被准直并通过所述第一柱面透镜在第一横方向被聚焦；

所述路由机构包括多个位于所述第一柱面透镜焦平面中的可倾斜反射镜，每个反射镜用来截获一个相应的谱带并把该谱带导引回到所述第一柱面透镜；

离开其相应的可倾斜反射镜的各个谱带通过所述第一柱面透镜在第一横方向上被准直，通过所述第二柱面透镜在第二横方向上被部

分聚焦, 通过所述色散元件在第一横方向上沿着一个与所述特定指向相反的指向被色散, 并通过所述第二柱面透镜在第二横方向上被聚焦且通过所述第一柱面透镜在第一横方向上被聚焦, 由此每个谱带在第一和第二横方向上都被聚焦成一个位于一个由相应可倾斜反射镜所确定的输出口处的焦点。

33、根据权利要求 1 的波长路由器, 其中:

所述自由空间光学串包括一个第一柱面透镜, 具有第一横方向上的正光焦度;

所述自由空间光学串包括一个第二柱面透镜, 具有在一个垂直于所述第一横方向的第二横方向上的正光焦度;

所述色散元件为一个反射性色散元件, 用于使光在所述第一横方向上发生色散;

所述路由机构包括 N 个可倾斜反射镜, 每个反射镜用来截获一个相应的谱带并把该谱带导引回到所述第一柱面透镜, 带有依据于该可倾斜反射镜的状态的一角度位移;

所述第一柱面透镜、所述第二柱面透镜、所述色散元件和所述 N 个可倾斜反射镜被设置成使自输入口辐射的光依次遭遇所述第一柱面透镜第一次、所述第二柱面透镜第一次、所述色散元件第一次、所述第二柱面透镜第二次、所述第一柱面透镜第二次、所述 N 个可倾斜反射镜、所述第一柱面透镜第三次、所述第二柱面透镜第三次、所述色散元件第二次、所述第二柱面透镜第四次和所述第一柱面透镜第四次;

所述第一柱面透镜工作所述第一次以在第一横方向上准直光, 工作所述第二次以将第一横方向上的光聚焦在所述 N 个可倾斜反射镜上, 工作所述第三次以在第一横方向上准直光, 和工作第四次以在第一横方向上将光聚焦在输出口上;

所述第二柱面透镜工作所述第一次和第二次以在光通过所述第二柱面透镜传递时在第二横方向上准直光，且工作所述第三次和第四次以在光通过所述第二柱面透镜传递时在第二横方向上聚焦光；

所述色散元件工作所述第一次以在第一横方向上在这些谱带中产生角度分离以使这些谱带相遇它们各自的可倾斜反射镜，且工作所述第二次以去除该第一横方向上这些谱带中的所述角度分离。

因此各谱带被聚焦至位于由相应的可倾斜反射镜的状态确定的一出口的在第一和第二横方向上的一焦点。

34、根据权利要求 29 或 30 或 31 或 32 或 33 的波长路由器，其中所述色散元件具有明显小于谱带之间的间隔的分辨率。

35、根据权利要求 34 的波长路由器，其中该分辨率是通过大于 3cm 的一路程差取得的。

36、根据权利要求 29 或 30 的波长路由器，其中：

各所述反向反射器具有定义一相应谱带接纳范围的几何尺寸；及
所述色散元件具有小于所述后向反射器的光谱接纳范围的分辨率以使提供给各被路由的通道一光谱传递函数，该光谱传递函数的特征在于具有相对一平坦顶部的带形。

37、根据权利要求 31 或 32 或 33 的波长路由器，其中：

各所述可倾斜反射镜具有定义一相应谱带接纳范围的几何尺寸；
及

所述色散元件具有小于所述可倾斜反射镜的光谱接纳范围的分辨率以使提供给各被路由的通道一光谱传递函数，该光谱传递函数的特征在于具有相对一平坦顶部的带形。

38、一种波长上路/下路复用器，它包括：

第一和第二波长路由器，它们分别由权利要求 1 所述的波长路由器构成，并以相反方向连接，使得第一波长路由器的各输出口中的一个第一子组与第二波长路由器的各输出口中的一个对应的第一子组发生光学通信，所述第一波长路由器的输入口与一个上游光纤发生光学通信，所述第二波长路由器的输入口与下游光纤发生光学通信，并且所述第一和第二波长路由器各自输出口中的第二子组与网络终端设备发生光学通信，使后者能从两个输出口第二子组中的一个子组接收光，并把光送入两个输出口第二子组中的另一个子组上。

39、根据权利要求 1 的波长路由器，其中所述至少一个可动态构形的路由元件包括一可构形的后向反射器阵列，它包括：

一个含有分别位于两个夹角约为 90° 的平面中的第一和第二安装表面的支持元件；

安装在所述支持元件的第一和第二安装表面上的分别位在第一和第二基底上的第一和第二 MEMS 微反射镜阵列；

所述第一阵列中的一个与所述第二阵列中的 M 个微反射镜相关联的给定微反射镜；以及

分别耦合于所述第一阵列中的每个给定微反射镜以提供所述给定微反射镜的 M 个分立的取向的驱动器，其中每个取向沿着一个朝向所述第二阵列中的一个不同微反射镜的入射方向引导光；

所述第二阵列中的所述 M 个微反射镜具有各自的取向以使当所述给定反射镜被取向以把光导引到所述第二阵列中的一个微反射镜上时，该微反射镜取向基本上与所述给定反射镜的取向成 90° 夹角。

40、根据权利要求 39 的波长路由器，其中：

所述支持元件是一个具有两个互相面对的支持表面的V形块;并且

所述第一和第二阵列上安装有位在这些阵列中的微反射镜与所述第一和第二安装表面之间的所述第一和第二基底。

41、根据权利要求39的波长路由器,其中:

所述支持元件是一个具有两个互相背对的支持表面的棱镜;并且所述第一和第二阵列上安装有一些位于所述第一和第二基底与所述第一和第二安装表面之间的这些阵列中的微反射镜。

42、根据权利要求39的波长路由器,其中微反射镜的偏转角限制在 $\pm 10^\circ$ 量级上。

43、根据权利要求1的波长路由器,其中所述至少一个可动态构形的路由元件包括一可动态构形的后向反射器,它包括:

互相间以特定夹角固定的第一和第二平面反射镜,所述第一和第二平面反射镜定义了一个交轴;

一个安装得能绕一个平行于所述交轴的旋转轴旋转的第三平面反射镜;以及

一个耦合于所述第三平面反射镜的能提供相对于所述旋转轴的第一和第二角位置的驱动器;当位于所述第一角位置时,所述第一与第三平面反射镜之间的夹角约为 90° ,当位于所述第二角位置时,所述第二与第三平面反射镜之间的夹角约为 90° 。

44、一种光学上路/下路复用器,它包括:

第一和第二波长路由器,它们分别由权利要求1所述的波长路由器构成,每个路由器有一个称为输入口的端口和多个称为输出口的另

外端口，这些输出口至少包含第一和第二输出口，每个波长路由器都被构形成能够在其输入口处接收含有多个谱带的光并把从所述谱带中选出的一些子组导引到所述多个输出口中的相应输出口上；

所述第一和第二波长路由器是反方向连接的，使得所述第一波长路由器的输出口中的一个第一子组与所述第二波长路由器的输出口中的一个相应的第一子组发生光学通信，所述每个波长路由器的第一子组输出口数目小于波长路由器的多个输出口的数目，所以所述每个波长路由器都具有输出口的一个第二子组；

这样，

所述第一波长路由器的输入口起着用于光学上路/下路复用器的一个输入口的作用，

所述第二波长路由器的输入口起着用于光学上路/下路复用器的一个输出口的作用，

所述第一波长路由器的第二子组输出口为光学上路/下路复用器提供了一个下路口的功能，以及

所述第二波长路由器的第二子组输出口为光学上路/下路复用器提供了一个上路口的功能。

45、根据权利要求 44 的光学上路/下路复用器，其中每个波长路由器仅含有第一和第二输出口，它们定义了用于该波长路由器的所述第一和第二子组输出口。

46、一种下路和重复光学上路/下路复用器，它包括：

根据权利要求 44 的光学上路/下路复用器；

一个含有一个输入口及第一和第二输出口的分束元件；

一个含有第一和第二输入口及一个输出口的合路元件；以及

一组光学路径，它们能提供所述光学上路/下路复用器的下路口

与所述分束元件的输入口之间、所述分束元件的第一输出口与所述合路元件的第一输入口之间、以及所述合路元件的输出口与所述光学上路/下路复用器的上路口之间的光学通信。

47、根据权利要求 46 的下路和重复光学上路/下路复用器，它还包括一个设置在所述光学上路/下路复用器的下路口与所述分束元件的输入口之间的所述光学路径中的光学放大器。

48、一种波长选择性互连器，它包括：

第一、第二、第三和第四波长路由器，它们分别由权利要求 1 所述的波长路由器构成，每个波长路由器都含有一个称为输入口的端口和多个称为输出口的另外端口，这多个输出口中至少包含了第一和第二输出口，每个波长路由器都被构形得能够在其输入口处接收含有多个谱带的光并把所述各谱带中的一些被选择的谱带子组导引到所述波长路由器的多个输出口中的相应输出口上；

所述第一和第二波长路由器以相反的方向连接，使得所述第一波长路由器的第一输出口与所述第二波长路由器的第一输出口发生光学通信；

所述第三和第四波长路由器以相反的方向连接，使得所述第三波长路由器的第一输出口与所述第四波长路由器的第一输出口之间发生光学通信；

所述第一波长路由器的第二输出口与所述第四波长路由器的第二输出口发生光学通信；

所述第三波长路由器的第二输出口与所述第二波长路由器的第二输出口发生光学通信；

这样，

所述第一和第二波长路由器的输入口起着用于波长选择性互连

器的第一和第二输入口的作用；

所述第三和第四波长路由器的输入口起着用于波长选择性互连器的第一和第二输入口的作用；

所述第一和第二波长路由器的所述第一输出口之间的所述光学通信以及所述第三和第四波长路由器的所述第一输出口之间的所述光学通信提供了用于波长选择性互连器的直通过径，并且

所述第一和第四波长路由器的所述第二输出口之间的所述光学通信以及所述第三和第二波长路由器的第二输出口之间的光学通信提供了用于波长选择性互连器的交换路径。

49、一种下路和重复光学上路/下路复用器，它包括：

根据权利要求 48 的波长选择性互连器；

一个含有一个输入口及第一和第二输出口的分束元件；

一个含有第一和第二输入口及一个输出口的合路元件；以及

一组光学路径，它们能提供所述波长选择性互连器的第二输出口与所述分束元件的输入口之间、所述分束元件的第一输出口与所述合路元件的第一输入口之间、以及所述合路元件的输出口与所述波长选择性互连器的第二输入口之间的光学通信。

50、根据权利要求 49 的下路和重复光学上路/下路复用器，它还包括一个设置在所述波长选择性互连器的第二输出口与所述分束元件的输入口之间的所述光学路径中的光学放大器。

波长路由器

相关申请的互相参考

本申请是1999年11月16日提送的美国专利申请No.09/442,061的部分继续继续，该申请的全部公开内容（包括附件和附录）在此引用以服务于所有目的。

技术领域

本发明一般地涉及光纤通信，较具体地涉及把一个光束的各个不同谱带导引到不同的输出口（或反之，把各输出口处的不同谱带导引到输入口）的技术和器件。

背景技术

因特网和数据通信在全球导致了对带宽的爆炸性需求。目前光纤通信系统采用了一种称之为密集波分复用（DWDM）的比较新的技术来扩展新的和已有的光纤系统的容量，以帮助满足该需求。在DWDM中，多个光波长同时通过单条光纤传送信息。每个波长作为一个携带一个数据流的独立频道工作。光纤的运载容量被所用DWDM频道的数目倍乘。现今使用多达80个频道的DWDM系统已从许多制造商处购得，他们允许今后还可达到更多的频道。

在所有通信网络中，都需要把每个频道（或电路）连接到每个相应的目的点，例如一个终端用户或另一个网络上去。执行这种功能的系统称为互连器。此外，还需要在一个中间点处加入（上路）或退出（下路）一些特定频道。执行这些功能的系统称为上路/下路复用器（ADM, add-drop multiplexer）。目前所有这些网络功能都由电子系

统执行,典型地由一个电子 SONET/SDH 系统执行。然而 SONET/SDH 系统仅被设计成处理单个光学频道。多波长系统为了解处理许多个光学频道将需要多个并行工作的 SONET/SDH 系统。这使得用 SONET/SDH 技术来扩大 DWDM 网络将是困难和昂贵的。

另一种选择是全光学网络。设计工作于波长水平的光学网络通常称作“波长路由网络”或“光传输网络”(OTN)。在波长路由网络中,一条 DWDM 光纤中的各个波长必须是可管理的。需要用工作于波长水平的新型光子网络元件来执行互连、ADM、和其他网络切换功能。两个主要的功能是光学上路/下路复用器(DADM)和波长选择性互连器(WSXC)。

目前为了用光学技术执行波长路由功能,必须首先把光流解复用或滤波成为它的许多个别波长,每个波长位在一条相应光纤上。然后用一个通常称作光学互连器(OXC)的大型光开关阵列把每个波长引导向它的目标光纤。最后,在继续传向目标光纤之前,所有的波长必须被重新复合(复用)。这样的多重处理是复杂和十分昂贵的,而且降低了系统的可靠性和使系统的管理复杂化。OXC 更是一项技术挑战。为了能充分地互连所有的波长,一个典型的 40—80 频道 DWDM 系统将需要数千个开关。具有可接受的光学性能的光机式开关对于庞大和昂贵,广泛使用时又是不可靠的。正在研究中的基于新材料的新集成固态技术距商业应用仍很遥远。

所以,业界正在积极寻找一种能实现经济而可靠的多波长数系统全光学波长路由的解决方法。

发明内容

根据本发明的一个方面,提供了一种用于在一个输入口接收含有多个谱带的光并把所述谱带中的一些子组分别导引到多个输出口中的相应输出口上的波长路由器,该波长路由器包括:一个自由空间光

学串，其设置在输入口与所述输出口之间，用来为导引各个谱带提供光学路径，该光学串含有一个被设置得能截获从输入口传播来的光的色散元件，所述色散元件具有明显小于谱带间隔的分辨率，所述光学串的布局使得光在达到任一个输出口之前能两次遇到所述色散元件；以及一个路由机构，其含有至少一个能根据其状态把一个给定谱带导引到不同输出口上的可动态构形的路由元件。

根据本发明的另一个方面，提供了一种波长上路/下路复用器，包括上述第一和第二波长路由器，它们以相反方向连接，使得第一波长路由器的各输出口中的一个第一子组与第二波长路由器的各输出口中的一个对应的第一子组发生光学通信，所述第一波长路由器的输入口与一个上游光纤发生光学通信，所述第二波长路由器的输入口与下游光纤发生光学通信，并且所述第一和第二波长路由器各自输出口中的第二子组与网络终端设备发生光学通信，使后者能从两个输出口第二子组中的一个子组接收光，并把光送入两个输出口第二子组中的另一个子组上。

根据本发明的又一方面，提供了一种可构形的后向反射器阵列，它包括：一个含有分别位于两个夹角约为 90° 的平面中的第一和第二安装表面的支持元件；安装在所述支持元件的第一和第二安装表面上的分别位在第一和第二基底上的第一和第二 MEMS 微反射镜阵列；所述第一阵列中的一个与所述第二阵列中的 M 个微反射镜相关连的给定微反射镜；以及分别耦合于所述第一阵列中的每个给定微反射镜以为所述给定微反射镜提供 M 个分立的取向的驱动器，其中每个取向沿着一个朝向所述第二阵列中的一个不同微反射镜的入射方向引导光；所述第二阵列中的所述 M 个微反射镜具有各自的取向以使当所述第二阵列中的给定反射镜被取向以把光导引到所述第二阵列中的一个微反射镜上时，该微反射镜取向基本上与所述给定反射镜的取向成 90° 夹角。

根据本发明的又一方面，提供了一种可动态构形的后向反射器，它包括：互相间具有特定固定夹角的第一和第二平面反射镜，所述第一和第二平面反射镜定义了一个交轴；一个安装得能绕一个平行于所述交轴的旋转轴旋转的第三平面反射镜；以及一个耦合于所述第三平面反射镜的能为所述第三平面反射镜提供相对于所述旋转轴的第一和第二角位置的驱动器；当位于所述第一角位置时，所述第一与第三平面反射镜之间的夹角约为 90° ，当位于所述第二角位置时，所述第二与第三平面反射镜之间的夹角约为 90° 。

根据本发明的又一方面，提供了一种制作屋脊型棱镜阵列的方法，该方法包括：提供一个长形棱镜元件；提供一对长形挡板元件，它们的表面具有希望的平整度；把长形棱镜元件的各个表面抛光到希望的平整度；对经过这样抛光后的长形棱镜元件进行一组处理，以得到组成该阵列的多个屋脊型棱镜；以及为该屋脊型棱镜阵列提供用于在该对长形挡板元件之间运动的各个相应定位元件。

根据本发明的又一方面，提供了一种光学上路/下路复用器 (OADM)，它包括：第一和第二波长路由器，每个路由器有一个称为输入口的端口和多个称为输出口的另外端口，这些输出口至少包含第一和第二输出口，每个波长路由器都被构形成能够在其输入口处接收含有多个谱带的光并把从所述谱带中选出的一些子组导引到所述多个输出口中的相应输出口上；所述第一和第二波长路由器是反方向连接的，使得所述第一波长路由器的输出口中的一个第一子组与所述第二波长路由器的输出口中的一个相应的第一子组发生光学通信，所述每个波长路由器的第一子组输出口数目小于波长路由器的多个输出口的数目，所以所述每个波长路由器都具有输出口的一个第二子组；这样，所述第一波长路由器的输入口起着用于 OADM 的一个输入口的作用，所述第二波长路由器的输入口起着用于 OADM 的一个输出口的作用，所述第一波长路由器的第二子组输出口为 OADM 提

供了一个下路口的功能，以及所述第二波长路由器的第二子组输出口为 OADM 提供了一个上路口的功能。

根据本发明的另一方面，提供了一种下路和重复 OADM，它包括：上述 OADM；一个含有一个输入口及第一和第二输出口的分束元件；一个含有第一和第二输入口及一个输出口的合路元件；以及一组光学路径，它们能提供所述 OADM 的下路口与所述分束元件的输入口之间、所述分束元件的第一输出口与所述合路元件的第一输入口之间、以及所述合路元件的输出口与所述 OADM 的上路口之间的光学通信。

根据本发明的又一方面，提供了一种波长选择性互连器 (WSXC)，它包括：第一、第二、第三和第四波长路由器，每个波长路由器都含有一个称为输入口的端口和多个称为输出口的另外端口，这多个输出口中至少包含了第一和第二输出口，每个波长路由器都被构形得能够在其输入口处接收含有多个谱带的光并把所述各谱带中的一些被选择的谱带子组导引到所述波长路由器的多个输出口中的相应输出口上；所述第一和第二波长路由器以相反的方向连接，使得所述第一波长路由器的第一输出口与所述第二波长路由器的第一输出口发生光学通信；所述第三和第四波长路由器以相反的方向连接，使得所述第三波长路由器的第一输出口与所述第四波长路由器的第一输出口之间发生光学通信；所述第一波长路由器的第二输出口与所述第四波长路由器的第二输出口发生光学通信；所述第三波长路由器的第二输出口与所述第二波长路由器的第二输出口发生光学通信；这样，所述第一和第二波长路由器的输入口起着用于 WSXC 的第一和第二输入口的作用；所述第三和第四波长路由器的输入口起着用于 WSXC 的第一和第二输入口的作用；所述第一和第二波长路由器的所述第一输出口之间的所述光学通信以及所述第三和第四波长路由器的所述第一输出口之间的所述光学通信提供了用于 WSXC 的直通路

径,并且所述第一和第四波长路由器的所述第二输出口之间的所述光学通信以及所述第三和第二波长路由器的第二输出口之间的光学通信提供了用于 WSXC 的交换路径。

根据本发明的又一方面,提供了一种下路和重复 OADM,它包括:上述 WSXC;一个含有一个输入口及第一和第二输出口的分束元件;一个含有第一和第二输入口及一个输出口的合路元件;以及一组光学路径,它们能提供所述 WSXC 的第二输出口与所述分束元件的输入口之间、所述分束元件的第一输出口与所述合路元件的第一输入口之间、以及所述合路元件的输出口与所述 WSXC 的第二输入口之间的光学通信。

对本发明的特性和优点的进一步理解可以通过参考本说明书的其余部分和附图来实现。

附图说明

图 1A、1B 和 1C 分别是根据本发明一个利用球面聚焦元件的实施例的一种波长路由器的顶视、侧视和端视示意图;

图 2A 和 2B 分别是根据本发明另一个利用球面聚焦元件的实施例的一种波长路由器的顶视和侧视示意图;

图 3 是根据本发明另一个利用球面聚焦元件的实施例的一种波长路由器的顶视示意图;

图 4A 和 4B 分别示出适用于本发明各实施例的基于可移动屋脊型棱镜的后向反射器两种不同实现方式。

图 4C 和 4D 分别是被制作成单个单元的屋脊型棱镜阵列的侧视和顶视图;

图 5A 示出适用于本发明各实施例的基于可移动反射镜的后向反射器的一种实现方式;

图 5B 和 5C 分别是适用于本发明各实施例的基于微反射镜的后

向反射器阵列的一种实现方式的侧视和顶视图；

图 5D 是基于微反射镜的后向反射器阵列的另一种实现的侧视图；

图 6A 和 6B 分别是根据本发明一个利用柱面聚焦元件的实施例的一种波长路由器的顶视和侧视示意图；

图 7A 和 7B 分别是根据本发明另一个利用柱面聚焦元件的实施例的一种波长路由器的顶视和侧视示意图；

图 8A 和 8B 分别是根据本发明一个柱面光焦度和色散作用结合成单个元件的实施例的一种波长路由器的顶视和侧视示意图；

图 9A 和 9B 分别是根据本发明一个把柱面光焦度和色散作用结合成单个元件的实施例的一种波长路由器的顶视和侧视示意图；

图 10A 和 10B 分别是根据本发明一个利用棱镜作为色散元件的实施例的一种波长路由器的顶视和侧视示意图；

图 11 示出波长路由器的一个代表性控制系统；

图 12A 示出一种优选的谱带形状；

图 12B 和 12C 示出图 1A 中一个代表性路径的路程长度差；

图 13 是说明通过结合两个波长路由器来得到一个光学上路/下路复用器 (OADM) 的原理图；

图 14 是说明通过结合 4 个波长路由器来得到一个波长选择性互连器 (WSXC) 的原理图；

图 15 是说明通过结合 4 个波长路由器来提供在一个光学复用区中共享的保护环 (OMSSP 环) 光学网络中的保护开关的原理图；以及

图 16 和 17 分别是说明基于图 13 的 OADM 和基于图 14 的 WSXC 的下路和重复 OADM 的实施例的原理图。

具体实施方式

引言

下面的说明给出了根据本发明的全光学波长路由器的一些实施例。本发明的实施例可以应用于诸如光学上路/下路复用器(OADM)和波长选择性互连器(Wsxc)等网络元件以达到光学网络系统的目标。

波长路由器的一般功能是在一个输入口接收含有多个(例如N个)谱带的光,并有选择地把各谱带中的一些子组导引到多个(例如M个)输出口中的一些输出口处。大多数的讨论将针对动态(可切换)的实施例,其中的路由机构含有一个或多个其状态可被现场动态改变以实现切换的路由元件。本发明也包括了一些静态的实施例,其中的路由元件在制作时已被构形好,或者是在希望于长期正常工作期间保持构形不变的要求下予以构形的。

本发明的实施例包含一个诸如衍射光栅或棱镜这样的色散元件,它能入射光偏转一个与波长有关的量。被偏转的光的不同部分将被一些不同的路由元件截获。虽然入射光可能具有连续的光谱,但连续光谱中的各个相邻光谱段可被认为是一些不同的谱带,通常希望入射光的光谱包含了多个分开的谱带。

术语“输入口”和“输出口”具有广义的含义。最广义地说,一个“口”的定义是光进入或离开系统的那个点。例如,输入(或输出)口可以是一个光源(或探测器)的位置,或者是一个输入光纤的下游端点(或一个输出光纤的上游端点)。在一些特定实施例中,“口”位置处的结构可以包含一个接纳光纤的光纤连接器或者一个光纤的尾端,该光纤尾的另一端被连接到外部元件上。大多数实施例希望当光通过输入口进入波长路由器后将发散,当光接近输出口时将在波长路由器内部会聚。不过这并不是必要的。

国际通信联合会(ITU)定义了一个标准的波长划分栅格,它包含一个中心在193100GHz的频带和193100GHz前后每隔100GHz的

另外频带。这对应于中心波长约为 1550nm 的间隔约为 0.8mm 的一些波长段。应该理解，上述栅格在频率上是均匀的，但在波长上只是近似均匀的。本发明的实施例最好对应于 ITU 栅格来设计，但 25GHz 和 50GHz 这种更窄的频率间隔(对应的的波长间隔约为 0.2 和 0.4nm)也是感兴趣的。

ITU 还定义了标准的数据调制率。OC-48 对应于约 2.5GHz (实际为 2.488GHz)，OC-192 约对应于 10GHz，OC-768 约对应于 40GHz 的调制率。未调制的激光带宽为 10-15GHz 量级。在目前的实践中，数据率是足够地低的(例如 100GHz 频道间隔下的 OC-192)，使得调制信号的带宽典型地要比频带间隔小得多。这样，只利用了频道容量的一部分。不过如果试图利用更多的可用带宽(例如 100GHz 频道间隔下的 OC-768)，则将引起关于频道自身谱带形状的问题。下面将说明解决这些问题的技术。

利用球面聚焦元件的实施例

图 1A、1B 和 1C 分别是根据本发明一个实施例的一个波长路由器 10 的顶视、侧视、和端视示意图。波长路由器 10 的一般功能是在一个输入口 12 处接收含有多个(例如 N 个)谱带的光，并有选择地把各谱带的一些子组导引到多个(例如 M 个)标记为 15 (1, ..., M) 的输出口中的一些希望输出口上。如图 1C 的端视图所示，各输出口沿一条直线 17 布置，这条直线大体垂直于图 1A 的顶视图图面。图中示出输入和输出口各自与它们相应的输入和输出光纤相通信，但应该理解，输入口也可以直接从一个光源接收光，输出口也可以直接与光探测器耦合。这些图不是按尺寸比例画出的。

从输入口 12 进入波长路由器 10 的光 形成一个发散光束 18，它包含了各种不同的谱带。光束 18 被一个透镜 20 准直并被导向一个反射衍射光栅 25。光栅 25 使光色散，从而不同波长的准直光束被以不

同的角度导引回向透镜 20。图中明确地示出了其中两个光束，并用 26 和 26' 表示（后者以虚线画出）。由于这些准直光束以不同的角度射向透镜，它们将被聚焦到一个横向焦平面中的一些沿直线 27 排列的不同点上。直线 27 位在图 1A 的顶视图图面中。

这些聚焦的光束将分别遇到位于焦平面附近的多个后向反射器 30 (1, ..., N) 中的相应反射器。这些光束将以发散光束的形式被导引回到透镜 20。如下面将详细说明的，每个后向反射器都会使其截获的那个光束以反方向的路径传播，同时可能在垂直于直线 27 的方向上发生位移。较具体地说，这些光束将分别沿着一些大体上平行于图 1B 侧视图和图 1C 端视图中的直线 17 的直线 35 (1, ..., N) 发生位移。

在所示的具体实施例中，每个光束的位移是通过沿着相应后向反射器的直线 35 (i) 移动该反射器的位置来实现的。在下面将说明的其他实施例中，光束位移通过对后向反射器进行重新构形来实现。应该指出，图中示出的后向反射器位于图 1C 平面内的输出口的上方，但这并不是必要的；对于光栅或其他元件的不同取向情况，可能出现其他的相对位置关系。

从后向反射器返回的光束被透镜 20 准直，并再次被导向光栅 25。光栅 25 的第二次作用是消除不同光束之间的角度分离。不过，由于每个光栅可能被其相应的后向反射器造成了位移，因此这些光束有可能被聚焦到直线 17 的不同点上。于是，取决于各后向反射器的位置，每个光束被导引到输出口 15 (1, ..., M) 中的某个口上。

总之，每个谱带都经历了这样的过程：被准直，射向光栅并以一个与波长有关的角度离开光栅，被聚焦到与其对应的后向反射器上并被该反射器位移一个希望的量，被再次准直，再次射入光栅并被光栅抵消原先的色散，然后被聚焦到那个对应于后向反射器所施加的位移量的输出口上。在上述实施例中，光在输入输出口与光栅之间的区域

内共通过了4次，每个方向两次。

这个实施例属于称之为自由空间实施例这种更广义的类型中的空气空间实施例类型。在下面将说明的其他自由空间实施例中，各种光束全都在一个玻璃体内传播。“自由空间”一词是指这样一个事实，即光在传播内传播时其横向尺寸不受限制，但可认为在这些横向尺寸上发生了衍射。由于与色散元件的第二次相遇实际上抵消了第一次相遇时所导入的色散，所以每个谱带都基本上无色散地离开路由器。

图1A至1C示出了一个当光束接近和离开后向反射器30(1, ..., N)时截获光束的四分之一波片37。这个四分之一波片用来补偿光栅25的任何可能与偏振有关的特性。一般地说，从输入口12进入的光可能有任何偏振状态。所以，如果光栅的衍射效率对两个正交偏振态有明显差异，则波长路由器的总透过效率可能是一个与偏振态随时间变化的关系相同的时间函数，并且如果不同的谱带有不同的偏振态，则总透过效率还可能是波长的函数。图1C示意性地示出四分之一波片的轴相对于直线27倾斜了45°。后面将较详细地讨论关于四分之一波片37减小波长路由器对偏振的依赖性的机制。就目前来说，只要注意到波长路由器10的偏振依赖性可以用四分之一波片来减小就可以了。也有可能使用一个法拉第(Faraday)旋光器来完成四分之一波片的功能。

图2A和2B分别是根据本发明一个实施例的波长路由器10'的顶视和侧视示意图。与图1A至1C相对应的元件用同样的或者带撇或带下标的代号表示。该实施例与图1A-1C实施例的差别在于，它利用了透射光栅25'和一对透镜20a和20b。因此，该实施例可以看成是图1A-1C实施例的展开形式。

从输入口12进入波长路由器10'的光形成包含了不同谱带的发散光束18。光束18遇到第一透镜20a后被准直和导向光栅25'。光栅25'使光色散，即不同波长的准直光束以不同角度出射。出射的

准直光束（图中示出了其中一个）遇到第二透镜 20b，被后者聚焦。各聚焦光束分别射入位于焦平面附近的多个后向反射器 30（1，…，N）中的相应反射器。光束被反射并以发散光束形式返回到透镜 20b，经准直后又射向光栅 25'。各个光束之间的角分离被光栅 25' 的第二次作用消除，然后被聚焦到输出口 15（1，…，M）平面上。

在该特定实施例中，输入口 12、透镜 20a、光栅 25'、透镜 20b、和后向反射器基本上是等间距排列的，并且两个透镜的焦距相同，输入口与后向反射器之间的距离为 4 倍（4X）焦距。这样的焦距和相对位置关系称为输入口 12 与后向反射器之间的“4f 中继”，同样，在后向反射器与输出口之间也是“4f 中继”。这种构形并非是必要的，但却是优选的。光学系统最好是远心系统。

图 3 是根据本发明一个实施例的波长路由器 10”的顶视示意图。该实施例是一个实体玻璃实施例，其中用一个凹面反射镜 40 取代了第一个实施例中的透镜 20（或第二个实施例中的透镜 20a 和 20b）。因此，该实施例可认为是图 1A-1C 实施例的进一步折叠形式。像前面一样，从输入口 12 进入波长路由器 10”的光形成一个包含了不同谱带的发散光束 18。光束 18 遇到凹面反射镜 40，变成准直光并被导向反射衍射光栅 25。光栅 25 使光色散，以不同的角度把不同波长的准直光束导回反射镜 40。图中分别用实线和虚线画出了其中两个光束。由于这些准直光束以不同角度射向反射镜，它们将被聚焦在横向焦平面中的不同点上。

聚焦的光束遇到位于焦平面附近的后向反射器 30（1，…，N）。反方向传播的情况与上面实施例中描述的相同，沿着反方向路径传播的光束已在一个垂直于图 3 平面的方向上发生了位移。因此，返回路径将直接位于前向路径的下方，所以不能在图 3 中看到。在返回路径中，光束将遇到凹面反射镜 40、反射光栅 25'、和凹面反射镜 40，其中最后一个相遇使光束被聚焦到各个希望的输出口处（由于这些口

在输入口 12 下方，所以图中未示出)。

基于屋脊型棱镜的后向反射器实现

图 4A 和 4B 示出适用于本发明实施例的基于可移动屋脊型棱镜的后向反射器的另外实现方法。后向反射器 30a 和 30b 可以用来在上述各实施例中实现阵列 30 (1, ..., N)。

图 4A 示意性地示出后向反射器 30a 的工作原理，通过相对于入射光束横向移动反射器 30a 可以使入射光束位移一个取决于反射器移动量的量。图的左侧示出后向反射器处于一个第一位置时的情况。虚线所示的是向下移动后的第二位置。图的右侧示出后向反射器移动到了第二位置时的情况，这时反射光束向下位移的量正比于反射器向下移动的量。图中示出后向反射器是一个屋脊型棱镜，其工作是基于全内反射的。也有可能把后向反射器实现为一对构成一个 V 字的反射镜。这种类型的后向反射器的一个特性是，尽管反射光束相对入射光束偏移了一个取决于入射光束相对于棱镜顶的偏移的量，但总的路程长度是与偏移量无关的。

图 4B 示意性地示出后向反射器 30b 的工作原理，它包含了一个屋脊型棱镜 50 和一对与棱镜分开一个小距离的构成 V 字形的上、下折射率匹配板 51 和 52。通过有选择地使板 51 或 52 中的一个与棱镜元件 50 接触，便可以实现使反射光束位移。图的左侧示出棱镜元件与上板 51 相接触的情况，这时入射光束将进入上板并被上板和棱镜元件的下表面内反射。图的右侧示出棱镜元件与下板 52 相接触的情况，这时入射光束在棱镜元件的上表面发生内反射，然后进入下板，并在下板的下表面上发生内反射。可以看出，这种后向反射器可以提供比棱镜元件的移动量大的光束位移量。

图 4C 和 4D 是被制作成单个元件的一个屋脊型棱镜阵列的侧视和顶视图。为了保持整个阵列的均匀性，屋脊型棱镜阵列首先被制作

成单个长形的棱镜元件，并被粘附在一个支持板的一端。然后把这个组件的顶部和底部抛光成光学平面，并穿过棱镜和支持板组件切割出一些缝隙 53，以确定出各个支持齿 55 上的各个棱镜元件 54 的阵列。分别在这个屋脊型棱镜阵列的上方和下方设置两个挡板 57a 和 57b。这两个挡板也被抛光成光学平面。相应的各个驱动器 58 使每个棱镜元件或者靠着上挡板或者靠着下挡板移动。由于在切割缝隙之前在抛光长形棱镜元件平面时的光学精度，靠着一个给定挡板的任何棱镜的互相对准具有十分高的容差。

每个后向反射器都有一个驱动器 (actuator) 与之关连。图 4A 或 4B 中没有明显画出这个驱动器，但图 4C 明显画出了驱动器 58。驱动器的具体类型不是本发明的范畴，对于熟悉本领域技术的人们来说显然了解许多类型的驱动器机构。虽然图 4C 中示出驱动器是一个分离的单元 (例如一个压电传感器)，但由于支持板可以用可变形弯曲材料做成，所以也能起到驱动器的作用。一种可以从 Piezo Systems, Inc. (公司名, 地址: 186 Massachusetts Avenue, Cambridge, Massachusetts 02139, 美国) 购得的压电陶瓷弯曲器具有层状结构，当在其两个外表面上的电极上施加电压时它将发生弯曲。

基于可动反射镜的后向反射器实现

图 5A 示意性地示出后向反射器 30C 的工作原理，它包含一对互相间有一个夹角的固定反射镜 60a、60b (V 字形的或如图所示的开放结构的) 和一个可转动反射镜 61。图的左侧示出可转动反射镜的位置使得入射光束被导向反射镜 60a 的情况，图的右侧示出可转动反射镜的位置使得入射光束被导向反射镜 60b 的情况。在两种情况下，固定反射镜与可转动反射镜构成的夹角都是 90° ，从而提供了后向反射器的功能。

图 5B 示意性地示出利用微反射镜的后向反射器 30d 的工作原理。

图 5C 是其顶视图。在一个 V 形块 64 的两个斜面上安装了一对微反射镜阵列 62 和 63。微反射镜阵列 62 中的单个微反射镜 65 和微反射镜阵列 63 中的一行微反射镜 66 (1, ..., M) 定义了单个后向反射器。在理解光路是可逆的这一前提下,可以方便地把两个微反射镜阵列称作输入和输出微反射镜阵列。图左侧示出的情况是,微反射镜 65 处于第一取向,把入射光束导向微反射镜 66 (1),后者相对于微反射镜 65 的第一取向的取向为 90° ,把光导向相反于入射光束的方向。图右侧示出的情况是,微反射镜 65 处于第二取向,把入射光束导向微反射镜 66 (M)。这样,微反射镜 65 的运动将选择光束的输出位置,而在正常工作中微反射镜 66 (1, ..., M) 是固定的。微反射镜 65 和微反射镜行 66 (1, ..., M) 可以沿着垂直于图平面的方向被复制和移动。虽然微反射镜阵列 62 仅需是一维的,但若能够通过添加一些微反射镜来提供额外的灵活性则将可能是方便的。

优选的做法是,微反射镜阵列是平面布局的,并且 V 形槽的两面角近似为 90° ,使得两个微反射镜阵列互相以 90° 面对。由于各种目的这一角度可以有很大的改变,但是 90° 的角度将有利于用比较小的微反射镜转动来为入射光导向。例如,可市场购得的微反射镜阵列(如 Texas Instruments 公司的)能偏转 $\pm 10^\circ$ 左右。这种微反射镜阵列可以用微电机系统(MEMS)领域中已知技术制作。在本实施例中,反射镜是作为一个硅芯片表面上的微加工结构来形成的。这些反射镜被结合到也是在芯片表面上微加工出来的枢轴结构上。在一些实现中,利用静电吸引力使微反射镜有选择地环绕一个适当取向的轴倾斜。

图 5D 示意性地示出后向反射器 30e 的工作原理,它与图 5c 实现方法的区别在于利用了棱镜 69 而不是 V 形块 64。对相似的元件使用了相应的代号。与使用 V 形槽的情况类似,希望微反射镜阵列 62' 和 63' 以夹角 90° 互相面对。为此,棱镜三个面的夹角最好是 90° 、

45° 和 45°，并且两个阵列被安装得使各个微反射镜面对着棱镜的两个直角面。

微反射镜阵列最好被密封得与外界环境隔离。密封可以通过把每个微反射镜阵列包含在一个密封腔内来实现，这种密封腔是形成在硅芯片上的微反射镜阵列的表面与棱镜的表面之间的。可以把带有微反射镜阵列的硅芯片的周边粘结到棱镜表面上，同时保持反射镜与棱镜表面之间有适当的间距，通过在硅芯片的周边处制作一个凸缘，可以使密封腔有一个适当的大小。或者，上述凸缘的作用也可以用粘结在硅芯片周边和棱镜表面上的某种其他适当的周边密封隔圈来实现。如果需要，每个微反射镜可以位在芯片上它自己的一个腔内。棱镜表面最好有消反射镀层。

当前优选的是包括两个可倾斜微反射镜阵列的后向反射器实现。输入微反射镜阵列中的每个微反射镜接收第一次遇到了色散元件后的光，并将它导引到输出微反射镜阵列中的一个反射镜上。通过改变输入阵列中反射镜的角度，便可使返回反射光发生一个横向位移从而再次遇到色散元件并从所选的输出口输出。如前所述，本发明的实施例是可反向使用的。V形块这个实现方式通常对大多数光路位在空气中的实施例是优选的，而棱镜的实现方式通常对大多数光路值在玻璃中的实施例是优选的。作为提供一个分立的棱镜或V形块的一种替代方式，输入阵列和输出阵列的安装面可以与路由器的光学室集成地形成在一起。

输入微反射镜阵列的反射镜行数最好至少与输入口数目（如果多于一个）一样多，其列数则最好至少与被选择为要导向输出微反射镜阵列的波长数一样多。类似地，输出微反射镜阵列的行数最好至少与输出口数目一样多，其列数最好至少与被选择为要导向输出口的波长数一样多。

在放大倍数为 1:1 的系统中，输入阵列中的各反射镜行互相平

行并且各反射镜沿着入射光束的一个横向轴方向上的互相间隔对应于各输入口之间的间隔。类似地，输出阵列中的各个反射镜行是互相平行的，并且互相间的横向间隔对应于各输出口之间的间隔。对于其他放大倍数的系统，各反射镜行之间的间距需作相应的调整。

利用柱面聚焦元件的实施例

图 6A 和 6B 分别是根据本发明一个实施例的波长路由器 70 的顶视和侧视示意图。这是一个非折叠实施例，所以可认为对应于图 2A 和 2B 的实施例。与图 2A 和 2B 的实施例一样，该实施例含有一个透射衍射光栅 25'，但与前者不同的是，波长路由器 70 使用了柱面透镜而不是球面透镜，使用了可倾斜反射镜而不是后向反射器。波长路由器 70 的一般功能与其他实施例的相同，也即在输入口 12 处接收含有多个谱带的光，并有选择地把谱带中的各个子组分别导引到多个输出口 15 (1, ..., M) 中的希望输出口上。

这些柱面透镜中包括一对仅在顶视图平面（图 6A）内才有光焦度的透镜 72a、72b，以及一对仅在侧视图（图 6B）平面内才有光焦度的透镜 75a、75b。因此在图 6B 平面中透镜 72a 和 72b 被画成为矩形，在图 6A 平面中透镜 75a 和 75b 被画成为矩形。

从输入口 12 进入路由器 70 的光形成发散光束 18，其中包含了不同的谱带。光束 18 遇到透镜 72a，后者使光在横方向准直，但在另一方向上不起作用，结果使光束的横截面形状从圆形变成椭圆形（也即，在图 6B 平面中光束继续发散，但在图 6A 平面中不再发散）。然后光束相继遇到透镜 75a、光栅 25'、和透镜 75b。透镜 75a 和 75b 的联合作用是使图 6B 平面中的发散光准直，结果光束以恒定的椭圆形横截面传播。光栅 25' 使光在图 6A 平面中色散，结果不同波长的光在图 6A 平面中以不同的角度传播，但在图 6B 中传播方向与波长无关。

准直光束遇到透镜 72b, 被分别聚焦到一些相应的线上。这些聚焦光束分别遇到多个位于焦平面附近的可倾斜反射镜 80 (1, ..., N) 中的相应反射镜。这些仅在图 6A 平面内发散的光束被导向透镜 72b。取决于各个反射镜的倾斜角, 各光束在图 6B 平面内发生了角位移。如下面将说明的, 这些返回光束在图 6A 和 6B 平面内将受到不同的变换。

在图 6A 平面内, 光束被透镜 72b 准直, 并被再次导向光栅 25' (在该平面内透镜 75a、75b 不改变光束的准直情况)。在第二次作用时, 光栅 25' 将消除不同光束间的角分离并把光束导回到透镜 72a, 后者再把这些光束聚焦 (仅在图 6A 平面内) 到输出口 15 (1, ..., M) 上。在图 6A 中, 没有分开地示出返回光束, 这些光束在该平面上的投影与前向光束的投影重合。

在图 6B 平面内, 光束被透镜 75a 和 75b 聚焦到各输出口上。不过, 由于每个光束可能被其相应的反射镜引入了一个角位移, 所以每个光束将被导向输出口 15 (1, ..., M) 中的某一个口上。在图 6B 中, 光栅 25', 透镜 72b 和 72a 不影响光束的方向和光束的发散、准直、会聚情况。在侧视图平面中, 透镜 75a 和 75b 提供了反射镜 80 (1, ..., N) 与输出口 15 (1, ..., M) 之间的傅利叶变换关系。这个傅里叶关系把反射镜处的波前倾斜映射成为输出口处的位置移动。

在该特定实施例中, 输入口 12、透镜 72a、透镜对 75a/75b、透镜 72b、和可倾斜反射镜大致上是等间距排列的, 并且透镜对 75a/75b 的合成焦距是透镜 72a 和 72b 的焦距的两倍。这并非是必要的, 但都是优选的。在这样的焦距和相对位置的布局下, 透镜 72a 和 72b 实现了输入口 12 与可倾斜反射镜之间的 $4f$ 中继。此外, 透镜对 75a/75b (当作单个透镜, 不过要遇到两次) 实现了输入口与输出口之间的 $4f$ 中继。光学系统最好是远心系统。

图 7A 和 7B 分别是根据本发明一个实施例的波长路由器 70' 的顶

视和侧视示意图。该实施例是图 6A 和 6B 实施例的折叠形式，正如图 1A—1C 实施例是图 2A 和 2B 实施例的折叠形式一样。与图 1A—1C 的实施例相同，波长路由器 70' 利用了一个反射衍射光栅 25。从折叠的特性可以看出，该实施例使用了对应于图 6A 和 6B 实施例中的透镜对 72a/72b 和 75a/75b 的单个柱面透镜 72 和 75。

除了光路被折叠之外，该实施例的工作过程与图 6A 和 6B 实施例的基本相同。在该实施例中，光束要 4 次遇到每个透镜，其中两次在输入口与可倾斜反射镜之间，两次在从可倾斜反射镜到输出口的途径中。应该指出，发散光在第一次遇到透镜 75 后变得较不发散，第二次遇到后变成平行（准直）光。

利用聚焦/色散结合元件的实施例

图 8A 和 8B 分别是根据本发明一个实施例的波长路由器 90 和顶视和侧视示意图。除了把球面光焦度结合到了光栅中去之外，该实施例大体上对应于图 1A 和 1B 所示的波长路由器。光焦度和色散作用被结合在单个元件 95 上。这可以通过把光栅刻划在一个弯曲表面上或在一个平面表面上刻划弯曲的光栅线来实现。替代光栅刻线机来获得这种光栅线的一种众知的方法是全息方法，其中首先把光刻胶甩涂到光栅基底上，然后用分别从希望光源和光栅焦点发出的两个发散光束所形成的干涉图形对之曝光。曝光用的光的波长是中间谱带的波长或该波长的整数倍。曝光后的光刻胶可以直接使用，或者当作一个蚀刻处理的掩模使用。

图 9A 和 9B 分别是根据本发明一个实施例的波长路由器 100 的顶视和侧视示意图。该实施例除了把柱面光焦度结合到光栅线条中形成单个元件 105 之外，其余大体上对应于采用了柱面透镜和倾斜反射镜的图 7A 和 7B 中的波长路由器。图 9A 顶视图中光焦度是图 9B 侧视图中光焦度的两倍。这种光栅的全息图形式可以用分别从希望光源

和光栅焦线发出的一个发散光束和一个线光源光束所形成的干涉图形对光刻胶进行曝光来制作。

棱镜实施例

图 10A 和 10B 分别是一个波长路由器 10”的顶视和侧视示意图，该路由器用一个棱镜 107 替代了前述实施例中的光栅。图 10A 和 10B 的实施例对应于图 2A 和 2B 的实施例—其中使用了相对应的代号。

控制电路

图 11 示出一个含有一个波长路由器 112 和代表性控制电路的波长路由系统 110。波长路由器 112 可以根据前述任一个实施例来构筑，可以认为其中包含了诸如各种后向反射器和倾斜反射镜等各个路由元件，一个例如衍射光栅或棱镜这样的色散元件，和一些驱动各路由元件的驱动器（至少在动态实施例中）。图中示出该波长路由器有一个输入口 12 和两个输出口 15 (1)、15 (2)，这里采用了对应于图 1A 的代号。为了确定起见，假定该波长路由器能处理 80 个波长频道。用前面的符号表示就是该路由器的 $M=2$ ， $N=80$ 。操作的要求是把各波长中的两个子组 $\lambda_{(out-1)}$ 和 $\lambda_{(out-2)}$ 分开到两个输出口处。在某些情况下，两个子组都可以包含全部输入波长或者不包含任何波长。

控制电路包含驱动器控制电路 113，后者为波长路由器 110 中的各驱动器提供适当的控制信号。驱动器控制电路受到一个控制器 114 的控制，可以把它看成是控制器与波长路由器之间的接口。驱动器控制电路可以包括一些数字开关、功率驱动器和数/模转换器（DAC）。用来确定多态元件的状态的控制器可以是一个微处理器、一个内置的微控制器、一个 ASIC、或者任何适合于控制驱动器控制电路的逻辑电路。控制器 114 与驱动器控制电路 113 之间的接口可以采取几种常用的形式，例如一组并行控制线或者一个微处理器兼容的地址/数据/

控制总线。

在某些情形中，有可能配置分立的驱动器控制电路。例如，波长路由器可以含有允许直接响应于来自控制器 114 的命令的接口电路。根据设计时的选择，在波长路由器 110 与控制电路之间存在着不可避免的分工。本发明不局限于波长路由器驱动器控制的任何特定的功能分配，在目前的一个实施例中，除了简单的驱动器（驱动器电路）之外，波长路由器根本不包含任何控制电路。实际上，所有的智能性的控制电路都包含在控制电路中。

控制器 114 最好还利用标准或专用的接口和协议与网络环境中的其他计算机通信。这在图中以一个网络管理接口 115 示意性地示出。这些另外的计算机典型地用于执行网络管理应用软件。

谱带形状和分辨率问题

后向反射器阵列所在平面中的物理位置对应于频率值，其间相差一个取决于光栅色散和透镜焦距的比例系数。光栅方程为 $Nm\lambda = \sin\alpha \pm \sin\beta$ ，其中 N 是光栅线条的空间频率， m 是衍射级次， λ 是波长， β 是光学 λ 射角， α 是衍射角。透镜按照公式 $x = f\sin\alpha$ 把衍射角映射成其后焦距 f 处的位置 x 。当反射镜位于透镜后焦面上时，反射镜平面中的位置与波长之间存在线性关系： $\lambda Nm = x/f \pm \sin\beta$ 。对于一个小波长、频率的变化正比于波长的变化。这样就给出位置与频率之间的比例系数： $\Delta x / \Delta \nu = fNm\lambda^2/c$ 。因此，反射镜平面中的位置标度就是带上这个比例系数的频率标度。

图 12A 示出一个基本为梯形的优选谱带形状。简单地说，这是通过使光栅的分辨率细于对频率域采样的反射镜尺寸来达到的。对于光栅光斑尺寸与反射镜尺寸之比极大的情况，每个频道的带通响应将仅仅是反射镜在光栅的可完全分辨的频率平面上的位置所给出的矩形响应。对于有限光栅分辨率的情况，带通响应是光栅衍射所确定的

光斑与反射镜采样矩形的卷积。图 12A 示出了当光栅具有高斯状光斑且在反射镜平面中的分辨率细于反射镜尺寸时的这种卷积结合。对于本发明的实施例来说，提供大的反射镜宽度与光栅分辨率的比值是有利的，这是因为这时得到的矩形谱带形状相对于各谱带间的无用部分的大小来说具有大的可用平坦顶部，而这样使光谱的利用更为有效。

图 12B 还示出了以一定角度从光栅衍射的光束的路程差。这个路程差确定了光栅的频率分力。频率分辨率等于光速除以这个路程差，再乘上一个由光束的横向形状所确定的量级为 1 的系数。在一些特定实施例中，各光学谱带的间距是 ITU 的 100GHz 或更窄。于是光栅的分辨率最好是 10GHz 或更窄，以便在各频道之间留有一个大的平坦谱带形状，这样将可使 100GHz 频道间隔下的 OC-768 数据或 25GHz 频道间隔下的 OC-192 数据能以低的损耗传送。这个 10GHz 或更窄的光栅分辨率要求路程差为 3cm 或更长。在图 1A 的折叠式布局中，该 3cm 是一个来回路程的路程差，也即单程路程差为 1.5cm。

图 12C 示出路程差发生于一个玻璃楔 117 内的一个路由器 10'''。该实施例对应于图 1A 中的路由器。强烈希望这种波长路由器的中心波长对温度变化是稳定的。在优选的 1550nm 中的波长情形中，3cm 的路程差约对应于 20000 个波长。优选设计的路程差变化应在至少为 50°C 的优选温度范围内小于 20000 分之一。这就要路程差的变化小于每摄氏度一百万分之一。达到这一温度稳定性的一种方法是用温度系数小于一百万分之一的玻璃来制作波长路由器中产生路程差的部分，即图 12C 中的玻璃楔 117。

偏振考虑

衍射光栅的效率与入射光的偏振状态有关。任意偏振态入射光学信号的电场 E 都可写成为沿两个正交轴 \hat{x} 和 \hat{y} 线偏振的电场之和：

$$\underline{E} = E_x \hat{x} + E_y \hat{y}$$

其中 \hat{x} 沿光栅色散的方向， \hat{y} 垂直于色散方向。入射信号的光强 I_0 由沿两个正交方向的电场的强度确定：

$$I_0 = |E_x|^2 + |E_y|^2$$

效率取决于两个正交偏振方向上的两个独立的效率系数 ε ，使光栅反射的信号的电场 E' 变为：

$$E' = -\sqrt{\varepsilon_x} E_x \hat{x} - \sqrt{\varepsilon_y} E_y \hat{y}$$

相应的总光强为：

$$I' = \varepsilon_x |E_x|^2 + \varepsilon_y |E_y|^2$$

显然，沿两个正交轴之一线偏振的信号光强经衍射光栅反射后其光强仅与该方向的效率系数有关：

$$I^* = \varepsilon_x |E_x|^2$$

$$I^* = \varepsilon_y |E_y|^2$$

对于大多数衍射光栅， $\varepsilon_x \neq \varepsilon_y$ ，所以总效率与入射信号的偏振态有很大关系。

在本发明的实施例中，通过对一个偏振分量加入一个波延迟来减小或消除这种总效率的变化。这可以利用一个具有非对称结构从而使两个正交方向上的折射率不同的波片来实现。这样，当入射光学信号通过波片后，其一个电场分量将相对于另一分量发生延迟。典型地，波片的结构使得引入的相位差为 π （“半波片”）或 $\pi/2$ （“四分之一波片”）。本发明实施例中采用了四分之一波片（或能近似提供四分之一波的延迟的波片）。

把上述结果应用于衍射光栅的反射，可以看出在经过反射衍射光栅的两次反射后，电场成为

$$E_{fm}^0 = \varepsilon_x E_x \hat{x} - \varepsilon_y E_y \hat{y}$$

总光强为

$$I_{fm}^0 = \varepsilon_x^2 |E_x|^2 + \varepsilon_y^2 |E_y|^2$$

系统总效率可能发生的大变化通过在返回反射镜与透镜（图 1A—1C 中的 20 或图 2A 和 2B 中的 20b）之间加入一个四分之一波片可被消除。在这样的布局下，每个子光束在被返回反射之前（即紧接步骤（5）之前）和被返回反射之后（即紧接步骤（5）之后）两次通过四分之一波片。紧接着它第一次通过四分之一波片之前（即在衍射光栅上经过一次反射之后），其电场为：

$$E' = -\sqrt{\varepsilon_x} E_x \hat{x} - \sqrt{\varepsilon_y} E_y \hat{y}$$

在通过四分之一波片，再经后向反射器的两个表面的反射，并第二次通过四分之一波片之后，电场成为

$$E'' = -\sqrt{\varepsilon_x} E_x \hat{x} - \sqrt{\varepsilon_y} E_y \hat{y}$$

两次通过四分之一波片将使电场的 x 分量旋转成 y 偏振，使 y 分量旋转成 x 偏振。所以经过反射光栅 Gr 的第二次反射后，电场成为：

$$E_{fm} = -\sqrt{\varepsilon_x} \sqrt{\varepsilon_y} E_y \hat{x} + \sqrt{\varepsilon_x} \sqrt{\varepsilon_y} E_x \hat{y}$$

相应的总光强为

$$I_{fm} = \varepsilon_x \varepsilon_y |E_x|^2 + \varepsilon_x \varepsilon_y |E_y|^2 \equiv \varepsilon_x \varepsilon_y I_0$$

于是，电场及其光强与入射光波的偏振态无关，由此消除了与偏振有关的损耗。

类似地，可以设计一个磁光延迟器使线偏振光每经过一次将旋转 45° ，于是两次通过该延迟器后将使 \hat{x} 和 \hat{y} 偏振分别旋转成 \hat{y} 和 \hat{x} 偏振。这种在光栅的第一次与第二次反射之间进行的偏振态互换消除了总光栅效率对偏振态的依赖性。

四分之一波片或磁光延迟器可以放置在图 1A 光学系统的任何位置上，这是因为在任何位置上都可实现第一次与第二次光栅反射之间的两次通过。把四分之一波片或磁光延迟器放置在透镜与光栅之间使得它们能作用在准直光束上。这使得由它们引起的光学像差比较小，而且还能改善波片的性能。

系统应用

下面的讨论将说明利用多个波长路由器的一些系统。所示的每个波长路由器都含有单个输入口和两个输出口，并且为了确定起见假定它们都能处理 80 个波长频道。用前述描述波长路由器的符号来表示，即为 $M=2$ 和 $N=80$ 。各个波长路由器用带下标的代号 110 表示，并且带有如图 11 所示的典型控制电路。不过就纯光学原理来说，可以用不带控制电路的波长路由器 112 来替代。

波长路由器可以根据前述任一个本发明实施例来制作，或者也可用其他方法制作，只要它们能提供这里所说明的波长路由器功能。一般地说，如前所述，前述本发明实施波长路由器的光路都是可逆的。

光学上路/下路复用器 (OADM)

图 13 是说明一种通过以背对背方式结合一对波长路由器 110a 和 110b 所构成的光学上路/下路复用器 (OADM) 的原理图。OADM 的一般功能是在一个输入口 132 处接收一组波长频道，把其中的一个子组（包括全部频道或没有频道）（直通波长）传送给一个输出口 133，把那些不是直通波长的波长（下路波长）分路给一个下路口 135，在一个上路口 137 处接收下路波长的一部分或全部（假定它们携带的新的信息），并把上路波长与直通波长结合起来，使它们从输出口 133 输出。

在背对背构形中，OADM120 的输入口 132 是波长路由器 130a 原来的输入口，而 OADM120 的输出口 133 是波长路由器 130b 原来的输入口。直通路径是通过耦合两个波长路由器的第一输出口来实现的。下路口 135 和上路口 137 是两个波长路由器原来的第二输出口。下路口和上路口可以被耦合到发送和/或接收终端设备或者一个或数个其他网络上。根据具体的应用，可能只需要上路和下路功能中的一

个功能。

波长选择性互连器 (WSXC)

图 14 是说明一种通过结合两对背靠背的波长路由器（共 4 个）所形成的波长选择性互连器（WSXC）的原理图。WSXC 的一般功能是在第一和第二输入口 142 和 142' 处接收第一和第二组波长频道，把各波长中选出的两个子组分别通过各自的直通过路径传送到第一和第二输出口 143 和 143' 处，同时对那些不通过直通过路径传送的波长进行交换。于是，从输入口 142 和 142' 进入的交换波长将从波长路由器 110a 和 110c 的交换输出口 145 和 145' 送出，并分别被传送给波长路由器 110d 和 110b 的交换输入口 147' 和 147。进入交换输入口的交换波长将与直通过路径上的波长结合，并从输出口 143 和 143' 输出。与上述 OADM 的情形相同，WSXC140 的输出口是波长路由器 110b 和 110d 原来的输入口。

OMSSP 环保护开关

图 15 是说明一种用来在一个光学复用部分共享的保护环（OMSSP 环）光学网络中提供保护开关的开关结构 150 的原理图。结构 150 的组成与上述的 WSXC140 类似，由两对背对背的波长路由器 110a—110d（共四个）组成。这个结构与 WSXC 有两个主要方面的差别。首先，在 WSXC 中，上下两对波长路由器都使光沿着相同的方向传送，但在开关结构中，上下两对路由器处理相反方向的光传送，这里任意地把这两个方向称为“东”方向和“西”方向。其次，WSXC 中的交换口被开关结构中的环返路径 152 和 155 取代。这样便有可能把从东光纤进入波长路由器 110a 各波长中的一个子组分出来并把它导引回到波长路由器 110c 并从那里输出到西光纤上。类似地，那些从西光纤进入波长路由器 110d 的波长（或者可能是一个不同的

组)可被分出一部分并导回到波长路由器 110b 进而输出到东光纤上。

从来自东光纤的波长中分出一个子组并把它返回到西光纤上去这一能力使得有可能保护这个环在出现例如激光器故障或 OADM 出错等情况下不发生会影响到各波长中的一个子组的错误模式。

下路和重复 OADM

下路和重复 OADM (有时称作“广播模式” OADM)除了具有上述的 OADM 功能外,还具有继续发送输出口处的下路波长的能力。下面的讨论将说明基于图 13 OADM 和图 14 WSXC 的实施例,不过对其他形式的 OADM 和 WSXC 也是适用的。与 OADM 和 WSXC 中的元件对应的元件用同样的代号表示。

图 16 是说明一种基于图 13 OADM 的下路和重复 OADM 160 的原理图,图 13 OADM 含有输入和输出口 132 和 133,以及下路和上路口 135 和 137。下路和重复 OADM 160 含有相同的输入和输出口,但在 OADM 的下路和上路口 135 和 137 之间还加入了另外的元件,而且还提供了它的其他两个口,即功能性下路和上路口 135'和 137'。

新加入的元件包括一个任选的光学放大器 162,一个具有一个输入和第一、第二输出口的 50%分路耦合器(或其他分束器) 165,以及一个具有第一、第二输入和一个出口的光学耦合器或合路器 167。光学放大器接收来自下路口 135 的光,被任选放大的光在分路耦合器 165 中被分束。从分路耦合器第二输出口传出的光组成了下路波长,据此第二输出口定义了功能性下路口 135'。于是这个输出光对应于来自图 13 中的下路口 135 的光。与从分路耦合器的第一输出口输出的光相同的波长称为“重复波长”,被传送给光学耦合器 167 的第一输入口。

准备进入网络传送的波长称作“上路波长”,被传送给定义了功能性上路口 137'的光学耦合器 167 的第二输入口。这些波长被与重复

波长结合，然后被传送给 OADM 构筑模块的上路口 137。然后，直通波长、重复波长和上路波长从输出口 133 输出。

图 17 是说明一种基于图 14WSXC 的下路和重复 OADM 170 的原理图，图 14 WSXC 含有第一、第二输入口 142、142'和第一、第二输出口 143、143'。第一输入口 142 和第一输出口 143 起着下路和重复 OADM 160'的输入口和输出口的作用，但在第二输出口 143'与第二输入口 142'之间加入了其他元件。由于其他的元件提供了其他的口，即作为下路和重复 OADM 的功能性下路和上路口的另外两个口 172 和 175。

加入的元件与下路和重复 OADM 160 的情况相同，这里也使用了相对应的代号。如上面一样，光学放大器 162 接收来自第二输出口 143'的光，被任选地放大了光在分路耦合器 165 中被分束。来自分路耦合器第二输出口的光组成了下路波长，据此第二输出口定义了功能性下路口 172，于是这个输出光对应于来自图 13 中下路口 135 的光。重复波长被传送给光学耦合器 167 的第一输入口，并与被传送给光学耦合器 167 的第二输入口的上路波长相结合，该第二输入口定义了功能性上路口 175。这些上路波长又与重复波长相结合，并被传送给 WSXC 构筑模块的输入口 142'。然后，直通波长，重复波长，和上路波长从第一输出口 143 输出。

结论

虽然上面是对本发明一些特定实施例的完整说明，但也可采用各种修饰、替代结构和等价结构。例如，虽然把可动态构形的路由元件（后向反射器等）说明成包含了可动元件，但也可以用电光器件来实现切换。例如可以使用电光法卜里—白洛（Fabry-Perot）反射器。

因此，不应当把上面的说明当作是对由权利要求书所定义的本发明范畴的限制。

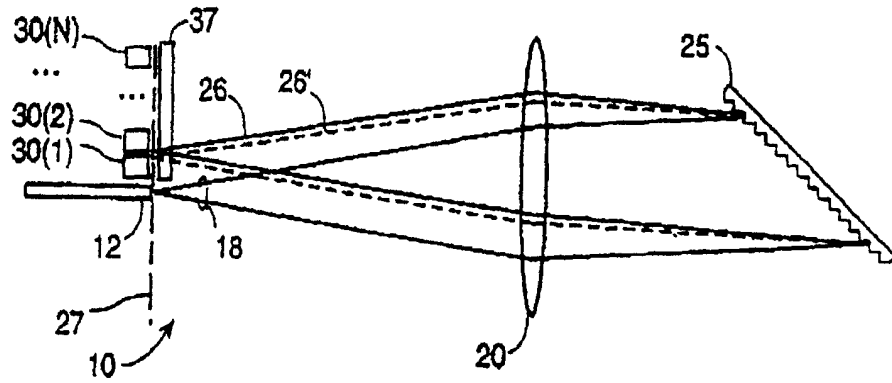


图1A

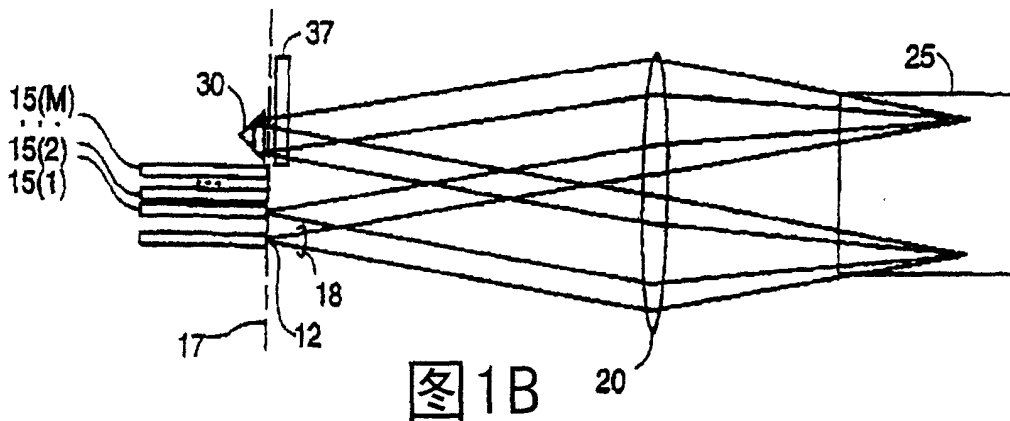


图1B

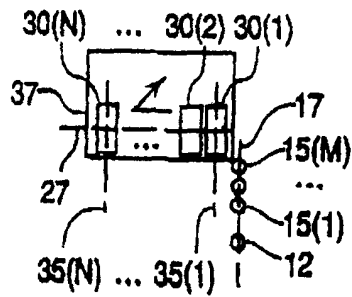


图1C

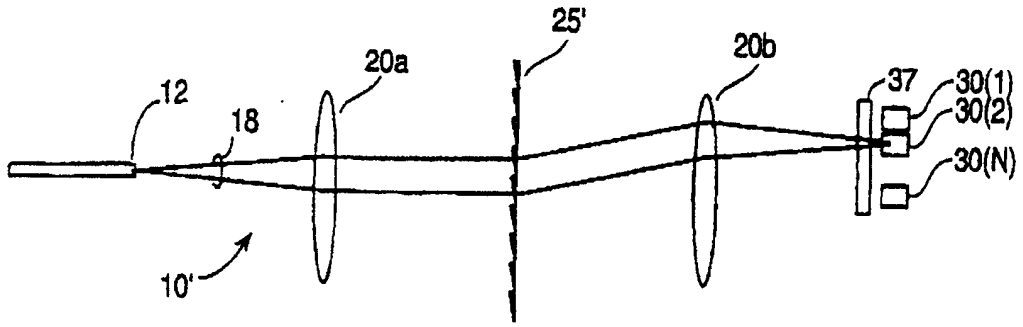


图2A

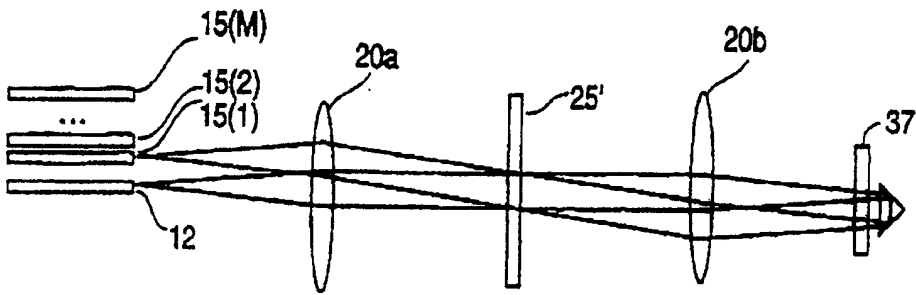


图2B

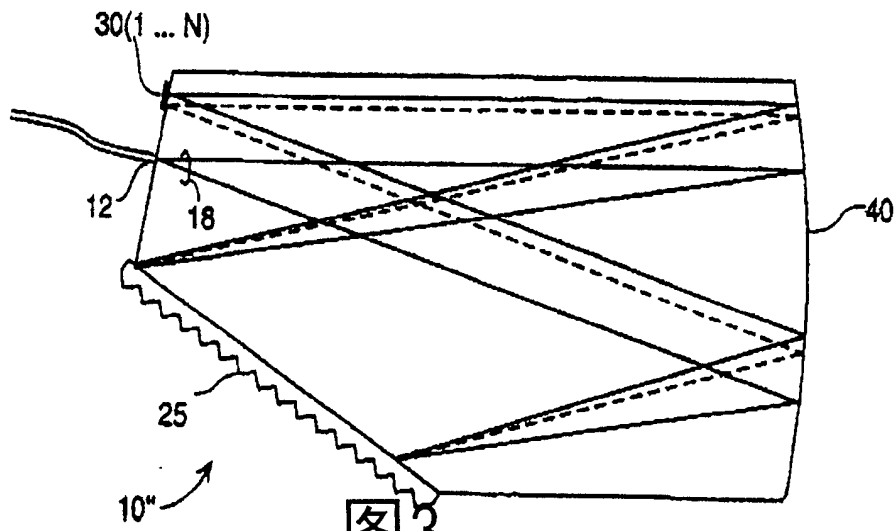


图3

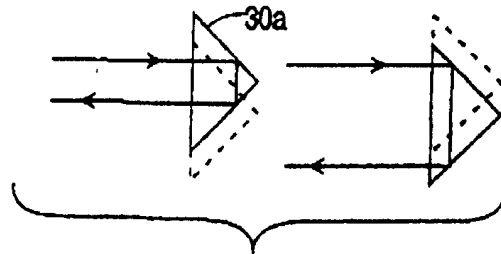


图 4A

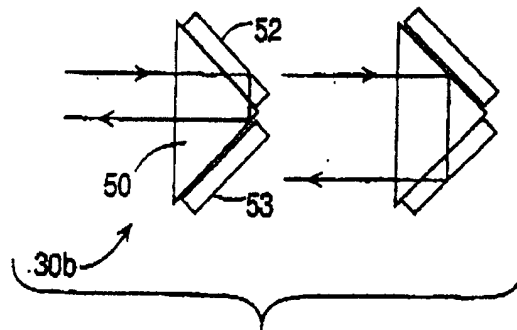


图 4B

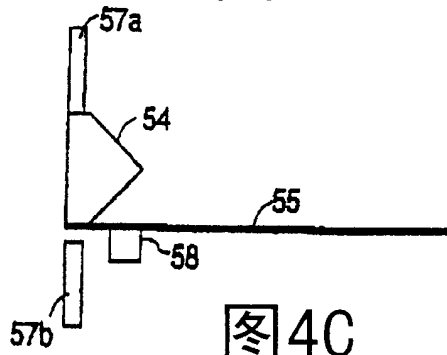


图 4C

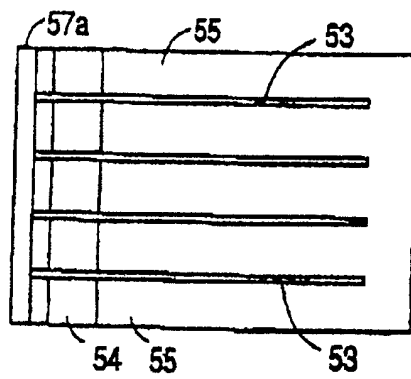


图 4D

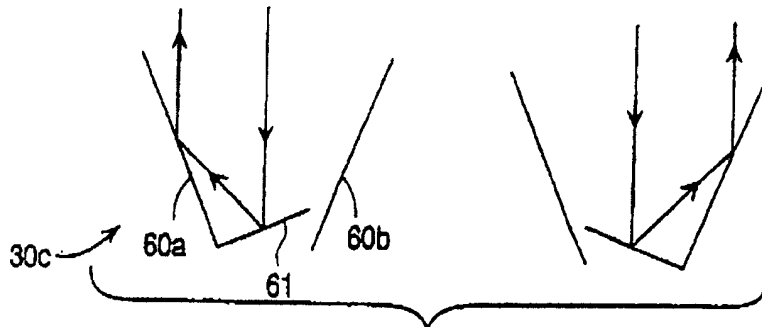


图5A

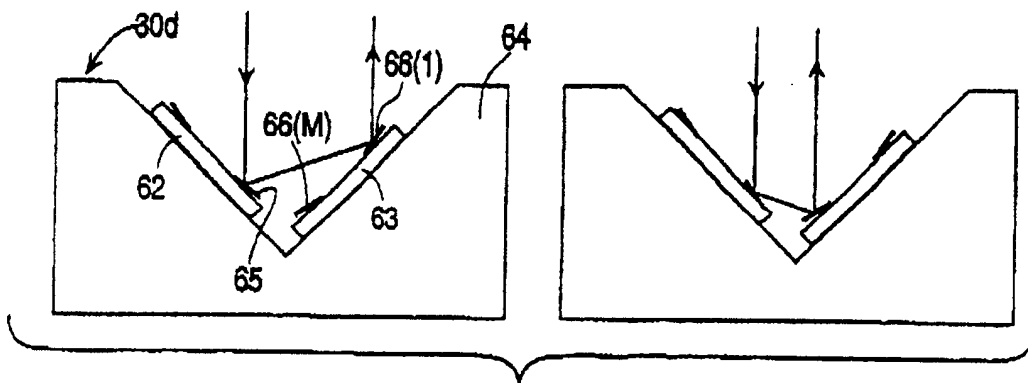


图5B

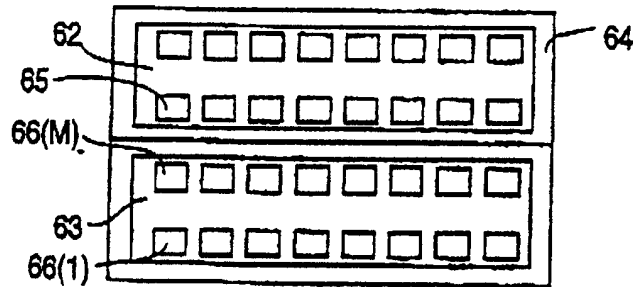


图5C

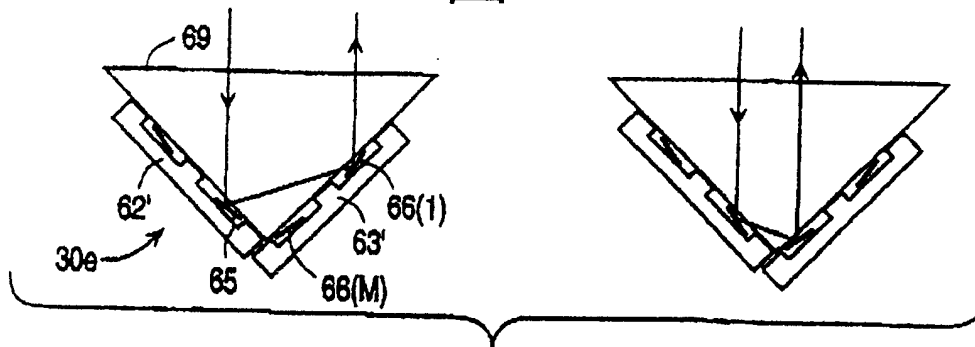


图5D

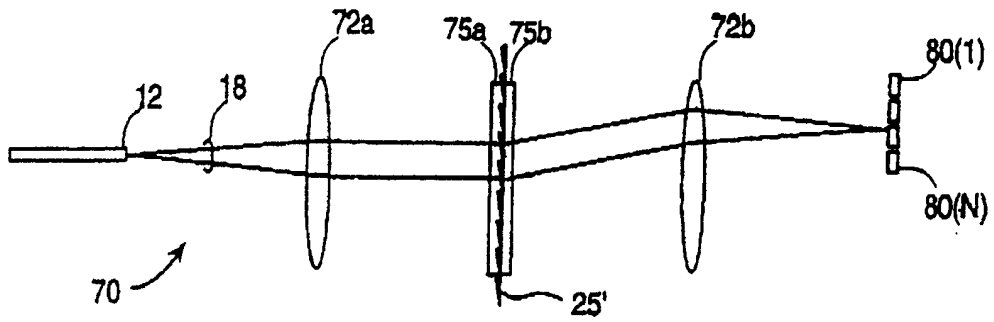


图 6A

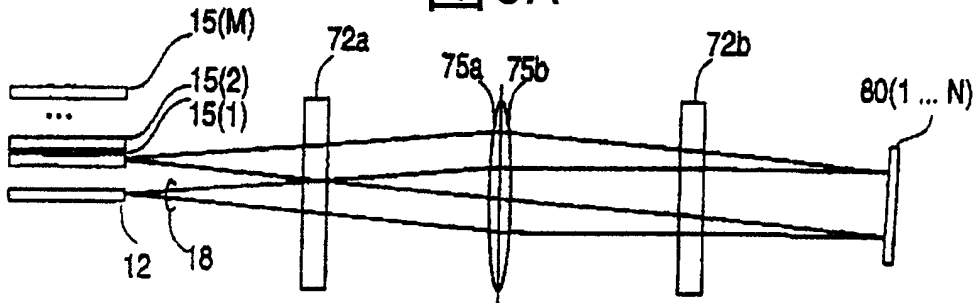


图 6B

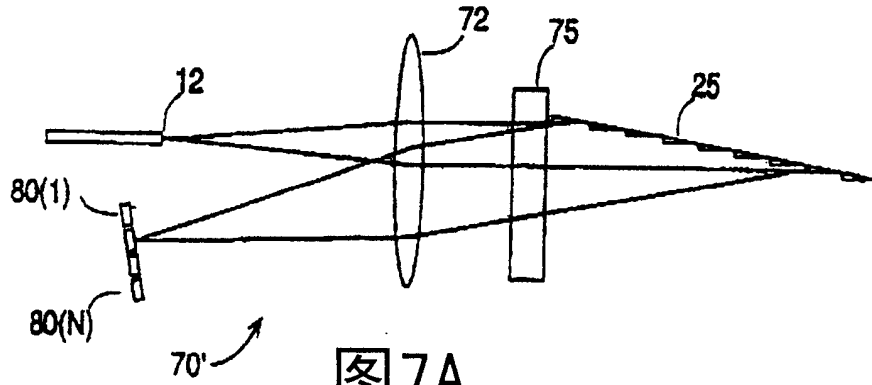


图 7A

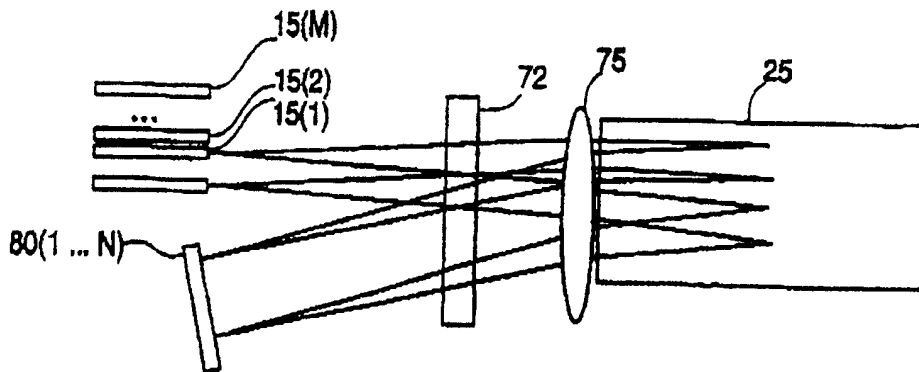


图 7B



图8A

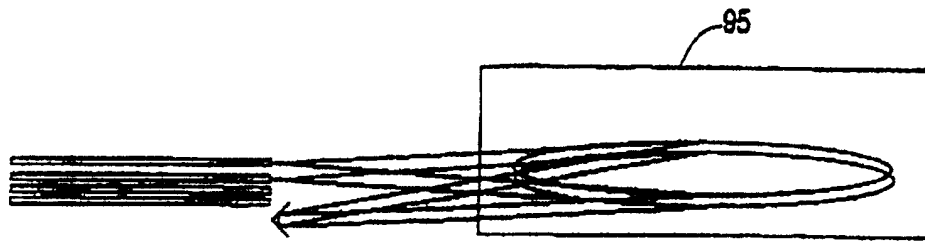


图8B

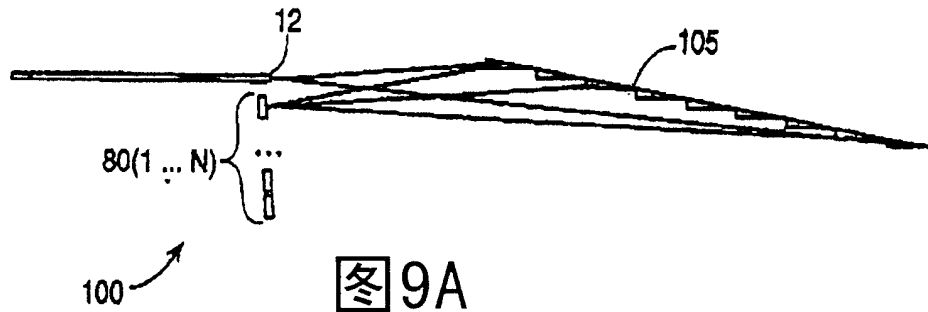


图9A

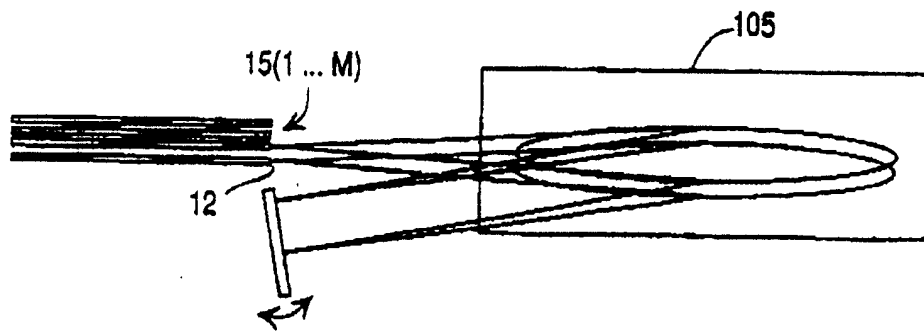


图9B

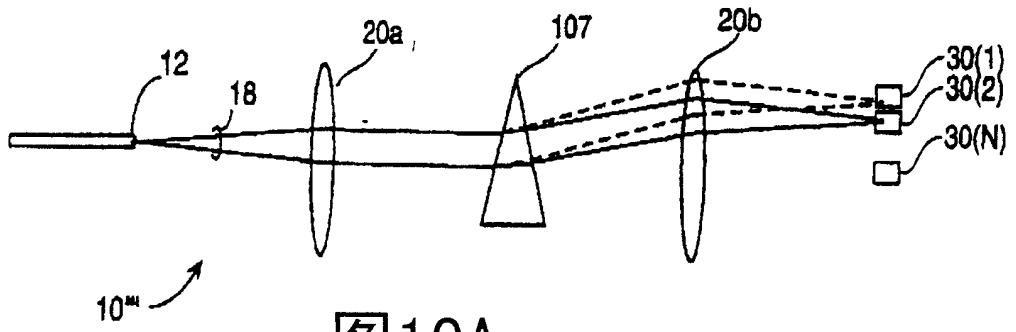


图 10A

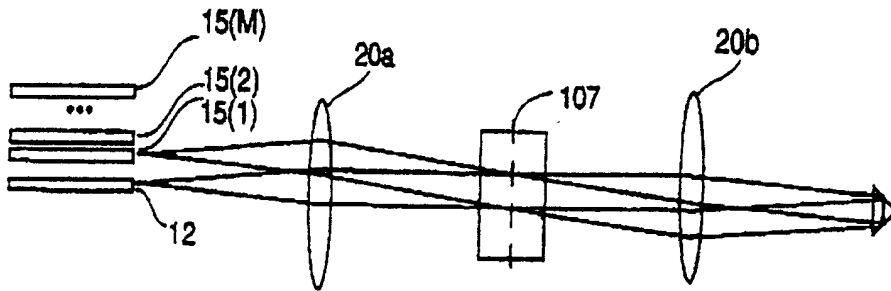


图 10B

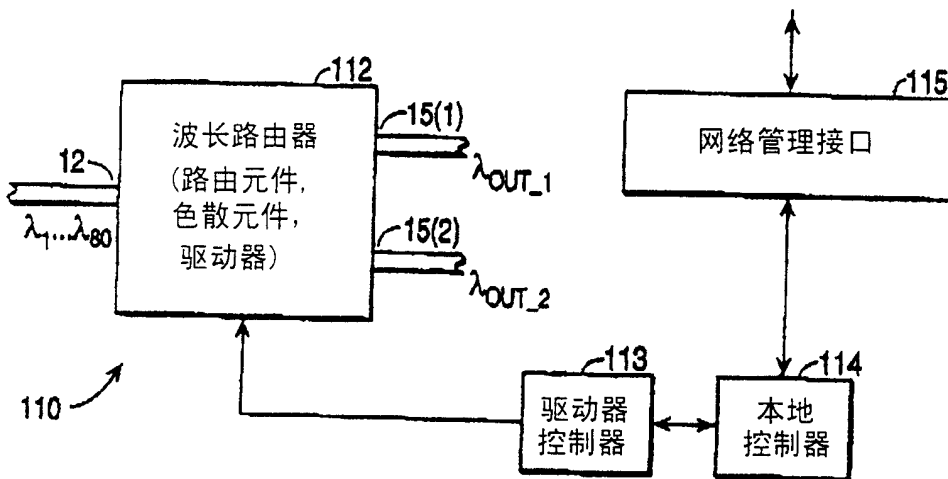


图 11

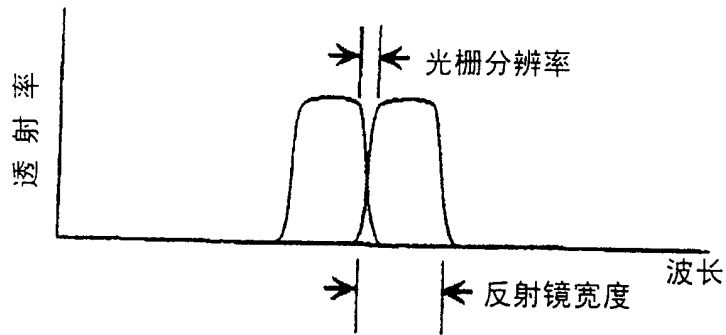


图12A

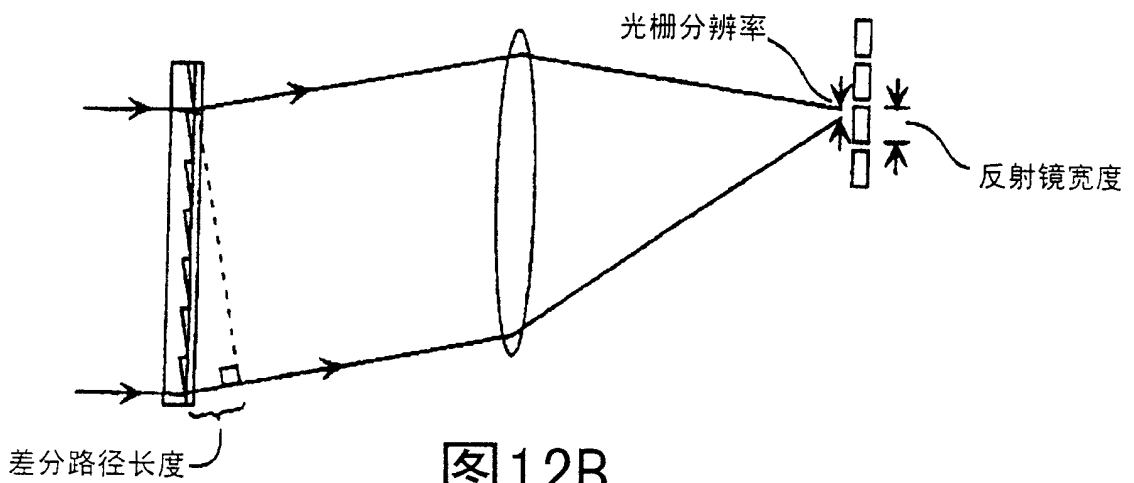


图12B

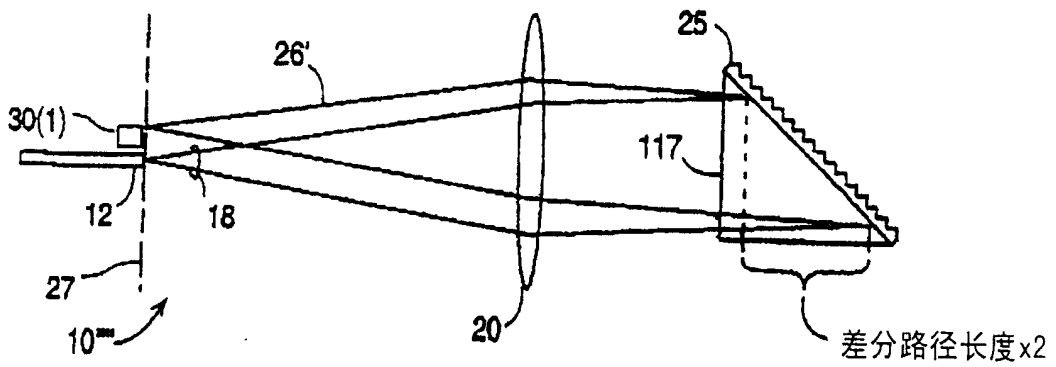


图12C

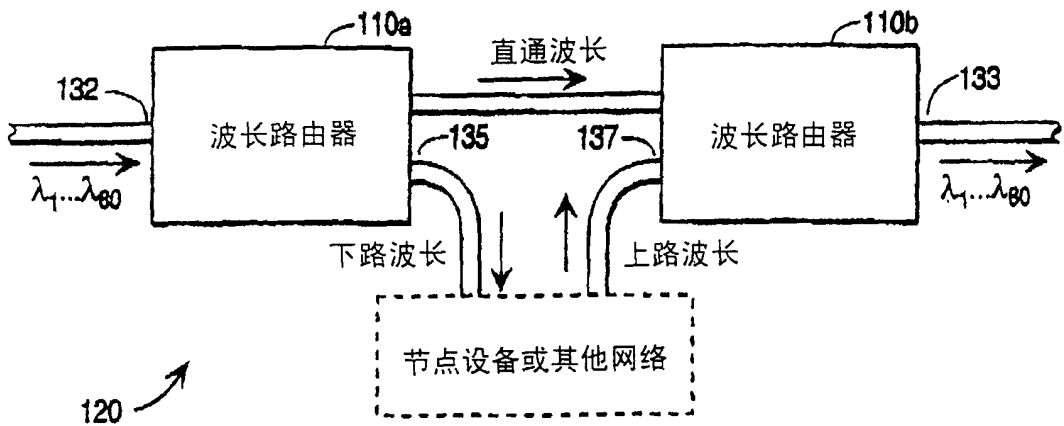


图 13

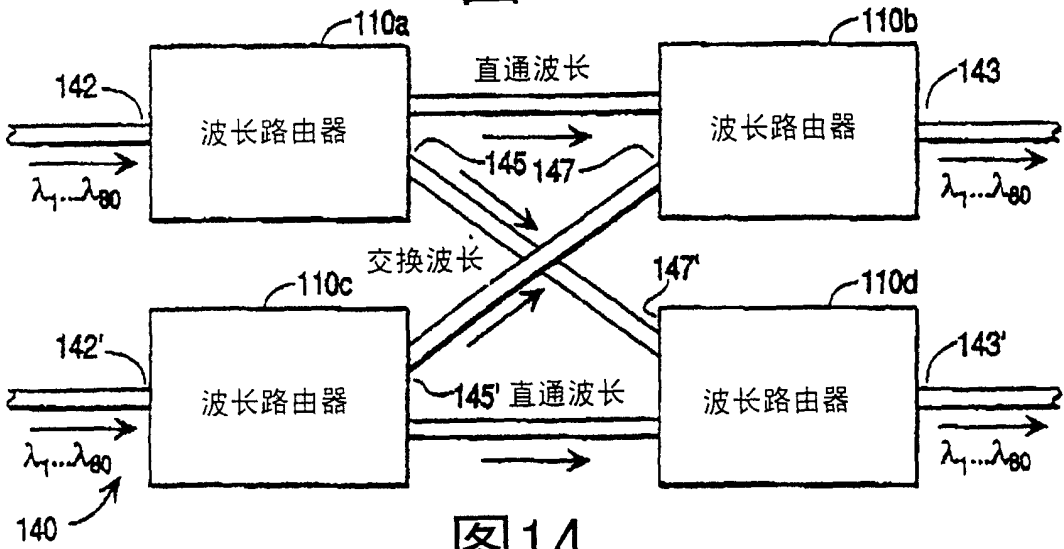


图 14

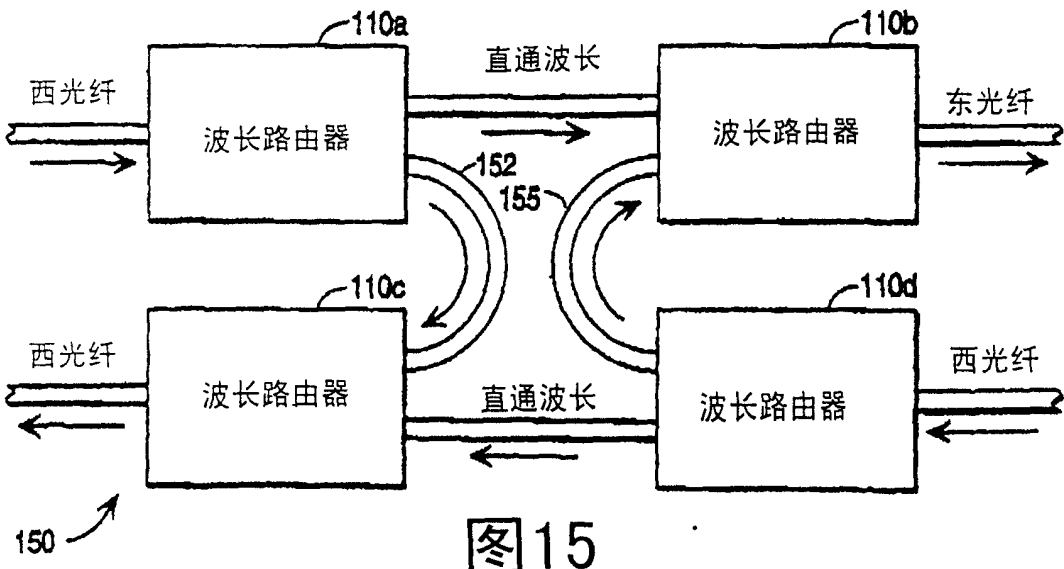


图 15

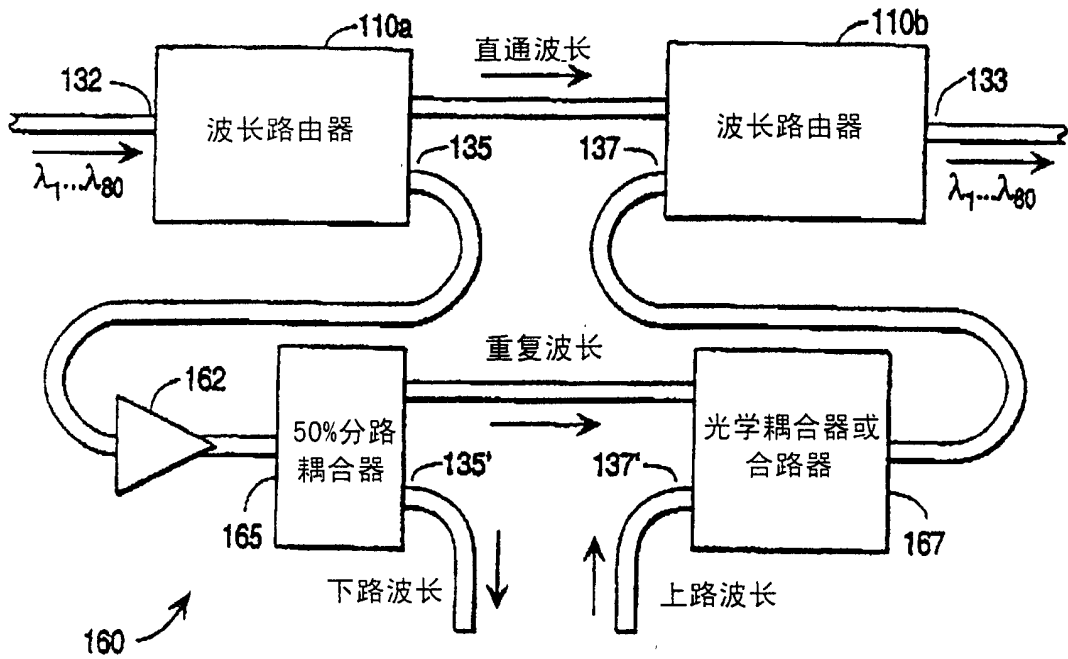


图16

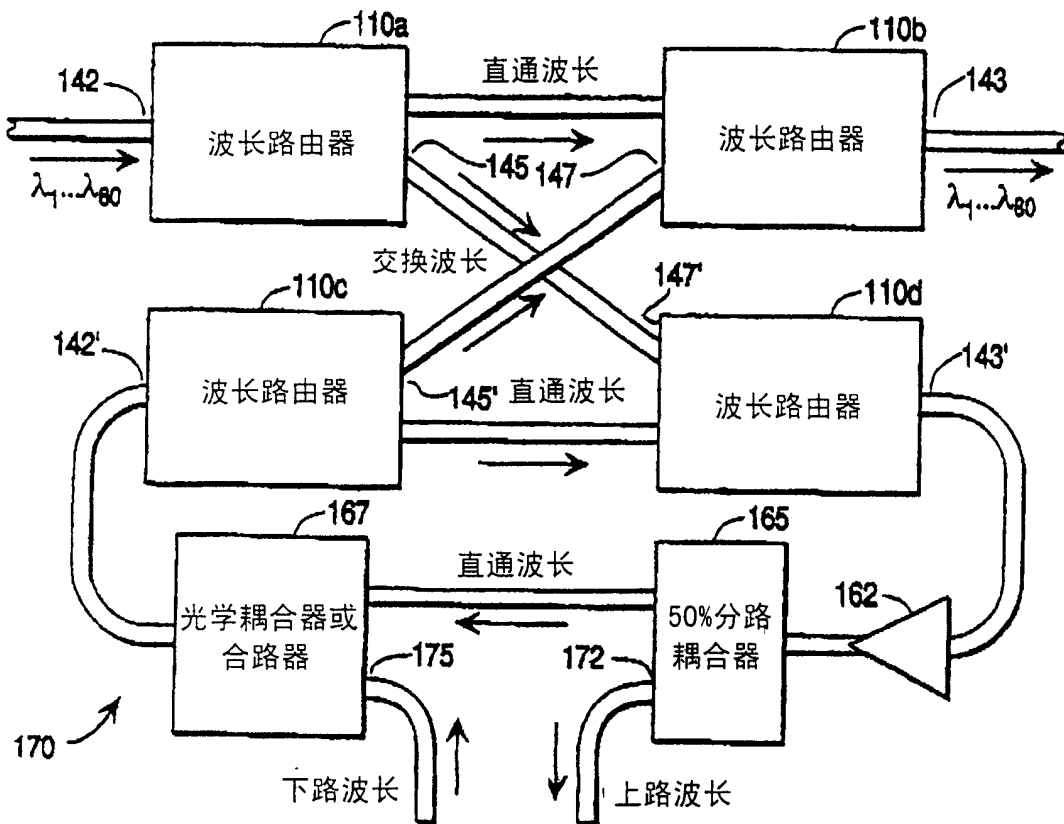


图17