



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1534918 B

(45) 授权公告日 2011.04.06

(21) 申请号 200410029639.9

(22) 申请日 2004.03.26

(30) 优先权数据

10/401,416 2003.03.28 US

(73) 专利权人 阿尔特拉公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 迈克尔·L·卡普兰

(74) 专利代理机构 北京康信知识产权代理有限公司 11240

代理人 余刚

(51) Int. Cl.

H04J 14/02 (2006.01)

H04B 10/12 (2006.01)

(56) 对比文件

EP 0365125 A2, 1990.04.25, 全文.

CN 2515879 Y, 2002.10.09, 全文.

US 6439728 B1, 2002.08.27, 全文.

CN 1390314 A, 2003.01.08, 说明书第 10 页第 1 行 - 第 11 页第 13 行、图 1A-1C, 图 3、权利要求

求 1.

Joseph E. Ford, et al.. Wavelength Add-Drop Switching Using Tilting Micromirrors.

JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY 17 5.1999, 17(5), 904-911.

R D Rallison. Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) and the Dickson Grating. White Paper. 2001, 1-8.

审查员 徐泉

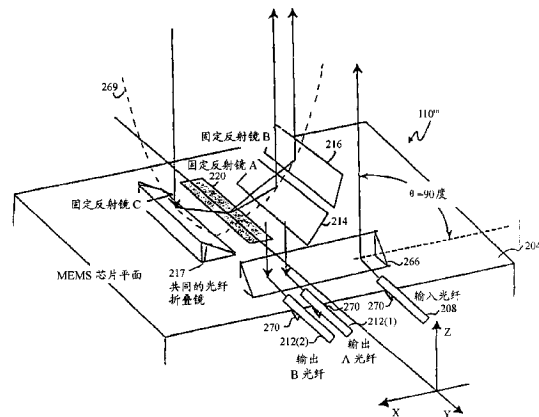
权利要求书 1 页 说明书 10 页 附图 7 页

(54) 发明名称

光路由机构及对光进行路由的方法

(57) 摘要

本发明提供了一种光路由机构, 该光路由机构可以用于这样的波长路由器中, 该波长路由器被配置成从输入光纤接收具有多个光谱带的光, 并且把光谱带的子集引到相应的输出光纤。一个自由空间光学系列提供用于在输入光纤与输出光纤之间对光谱带进行路由的光路。光路由机构具有多个可配置的路由元件, 以便确定怎样引导每个光谱带。一个共同面把光路由机构与输入和输出光纤的末端部分整体地配合, 允许一些光学元件的有效平面化。



CN 1534918 B

1. 一种波长路由器,用于从输入光纤接收具有多个光谱带的光,以及把所述光谱带的子集引到多个输出光纤的各个光纤,所述波长路由器包括:

自由空间光学系列,其被布置成提供用于在所述输入光纤和所述输出光纤之间对所述光谱带进行路由的光路;以及

光路由机构,其通过一个共同面与所述输入和输出光纤的末端部分整体地配合,所述光路由机构具有多个可动态配置的路由元件,每个这样的路由元件被配置成根据这种路由元件的状态把给定的光谱带引到不同的输出光纤,

其中,所述输入和输出光纤的末端被布置在一个垂直于所述自由空间光学系列的光轴的共同平面内,

其中所述光纤的末端基本上根据关系式 $x_1 = x_2 + \frac{1}{2}x_3$ 被布置,其中每个 x_i 测量沿平行于所述共同平面的轴且垂直于对称轴的距离,可动态配置路由元件沿着所述对称轴被布置, x_1 代表所述对称轴与所述输入光纤之间的距离, x_2 代表所述对称轴与到所述对称轴最近的输出光纤之间的距离,以及 x_3 代表到所述对称轴最近的所述输出光纤与到所述对称轴最远的输出光纤之间的距离。

2. 根据权利要求1所述的波长路由器,其进一步包括多个被布置在所述共同面上的光纤折叠元件,每个这样的光纤折叠元件被定向为在一个相应的光纤与平行于自由空间光学系列光轴的路径之间引导光。

3. 根据权利要求2所述的波长路由器,其中:

所述可动态配置路由元件包括在所述共同面上形成的可倾斜微镜;以及

所述光路由机构还具有多个固定反射镜,每个这样的固定反射镜被布置成根据这种路由元件的状态遇到给定的光谱带。

4. 根据权利要求1所述的波长路由器,其进一步包括一个共同的光纤折叠元件,所述共同的光纤折叠元件被布置在所述共同面上,并且被定向,以在每个所述光纤和平行于所述自由空间光学系列光轴的路径之间引导光。

5. 根据权利要求4所述的波长路由器,其中:

所述可动态配置路由元件包括在所述共同面上形成的可倾斜微镜;以及

所述光路由机构还具有一个被布置成遇到每个光谱带的第一固定反射镜,以及多个第二固定反射镜,每个这样的第二固定反射镜被布置成根据这种路由元件的状态遇到所述给定的光谱带。

6. 根据权利要求5所述的波长路由器,其中所述第一固定反射镜和所述多个第二固定反射镜被布置成在基本上沿着圆锥面包络排列的点处遇到所述给定的光谱带。

7. 根据权利要求6所述的波长路由器,其中所述圆锥面包络包括一个抛物面包络。

8. 根据权利要求6所述的波长路由器,其中所述圆锥面包络包括一个椭圆面包络。

9. 根据权利要求4所述的波长路由器,其进一步包括一个窗,所述窗被布置成基本上与所述光轴垂直,并且适于密封所述光路由机构。

10. 根据权利要求1所述的波长路由器,其中所述共同平面基本上平行于所述共同面。

光路由机构及对光进行路由的方法

技术领域

[0001] 本发明一般地涉及光纤通信,更具体而言是涉及用于将光信号的不同光谱带路由到不同输出端口的方法和系统。

背景技术

[0002] 互联网和数据通信正在引起对全球带宽的爆炸性需求。光纤电信系统当前正采用一种被称为密集波分复用 (DWDM) 的较新技术,以便扩大新的和现有的光纤系统的容量,以助于满足这种需求。在 DWDM 中,光的多个波长通过单根光纤同时传输信息。每个波长都用作传送数据流的单个通道。光纤的传送能力以使用的 DWDM 通道数目成倍增加。现今,从许多制造商那里可以获得采用达 80 通道的 DWDM 系统,将来有希望更多。

[0003] 在所有的电信网络中,都需要把单个通道(或电路)连接到单个目的地点,例如终端用户,或连接到另一个网络。执行这些功能的系统被称为交叉连接器(cross-connects)。另外,需要在某一中间点插入(add)或分接(drop)一些特殊的通道。执行这些功能的系统被称为分插复用器(ADM)。目前,所有这些连网功能都由电子设备—通常由电子同步光纤网络/同步数字系列(SONET/SDH)系统来执行。然而,SONET/SDH 系统被设计成只处理一个光信道。多波长系统将需要多个并行操作的 SONET/SDH 系统,以便处理多个光信道。这使得扩大使用 SONET/SDH 技术的 DWDM 网络的规模将变得困难,而且昂贵。

[0004] 替换的方案是全光网络。被设计成在波长级操作的光网络一般被称为“波长路由网络”或“光传输网络”(OTN)。在波长路由网络中,DWDM 光纤中的单独波长必须是可管理的。需要在波长级操作的新型光网络元件去执行交叉连接、分插复用(ADM)和其它网络交换功能。两个主要的功能是光分插复用(OADM)和波长选择交叉连接(WSS)。

[0005] 现今,为了在光学上执行波长路由功能,光流必须首先被解多路复用(de-multiplex)或过滤为其多个单波长,每个单波长在单个光纤上。然后,必须利用一个被称为光交叉连接器(OXC)的大型光开关阵列,把每个单波长引向其目标光纤。最后,所有的波长在继续通过目的光纤之前必须被重新多路复用。这种复合过程是复杂和极昂贵的,并且降低系统可靠性,以及使系统管理变得复杂。OXC 尤其是一个技术难题。典型的 40-80 通道的 DWDM 系统将需要数千个开关,以便完全交叉连接所有的波长。对于普及推广,提供可接受的光学特性的光机械开关太大、昂贵,且不可靠。基于新材料的新的集成固态技术正在被研究,但是距离商业应用仍很遥远。

[0006] 因此,工业界正积极地寻找一种全光波长路由解决办法,该全光波长路由解决办法使高波长数(high-wavelength-count)系统能够被成本低廉地和可靠地执行。

发明内容

[0007] 因此,本发明的实施例提供一种光路由机构和波长路由器,以及一种使用这些装置的方法,使制造进行各种简化,同时提供某些期望的光学配置。根据本发明实施例的波长路由器被配置成从输入光纤接收具有多个光谱带的光,并把光谱带的子集引到多个输出光

纤中的相应光纤。自由空间光学系列 (train) 提供用于在输入光纤和输出光纤之间对光谱带进行路由的光路。具有多个可动态配置路由元件的光路由机构根据单个路由元件的状态确定如何引导每个光谱带。根据一些实施例,一个共同面用于使光路由机构整体地配合输入和输出光纤的末端部分。这种结构可以允许一些光学元件的有效平面化,由此允许经济地制造平面物体,以达到精确的公差极限,尤其是当与代替使用一般化的三维物体的结构相比时。减少的组装时间、加工的相似性以及更简洁 (tighter) 的组装可重复性,使成本得到节省并提高了可靠性。

[0008] 在一些特定实施例中,多个光纤折叠元件附加地被布置在共同面上。每个折叠元件被定向,以便在一个相应的光纤与平行于自由空间光学系列光轴的路径之间引导光。这样的实施例适于以下情况:可动态配置的路由元件包括可倾斜的微镜,并且光路由机构还具有多个固定反射镜,每一个都被布置成根据路由元件的状态遇到特殊的光谱带。

[0009] 在其它实施例中,输入和输出光纤的末端被布置在与自由空间光学系列的光轴垂直的共同平面中。该共同平面可以平行于共同表面。在一个这样的实施例中,一个共同的光纤折叠元件被布置在共同表面上,并且被定向,以便在每个光纤与平行于自由空间光学系列光轴的路径之间引导光。这样的实施例可以适于以下情况:可动态配置的路由元件包括在共同面上形成的可倾斜的微镜,并且光路由机构具有一个第一固定反射镜和多个第二固定反射镜,其中第一固定反射镜被布置成遇到每个光谱带,多个第二固定反射镜可以根据路由元件的状态遇到特殊的光谱带。这样一个系统可以被配置成通过自由空间光学系列的光传播产生的锥形衍射效应被减到最小。在一个这样的实施例中,固定反射镜被布置成在基本上沿圆锥表面包络排列的点处遇到给定的光谱带。在某些特定的实施例中,圆锥表面包络包括一个抛物面包络,例如在远心 (telecentric) 应用中,在其它特定的实施例中,圆锥表面包络包括一个椭圆面包络,例如在使用有限远出射光瞳的应用中。

附图说明

[0010] 通过参照说明书的其余部分以及附图,可以进一步理解本发明的特性和优点,其中贯穿几个附图所使用的相似附图标记表示相似的部件。在某些情况下,下标与附图标记有关,并且被置于括号中,以表示多个相似部件之一。当参照一个没有规定下标的附图标记时,其意图是指代所有这样的多个相似部件。

[0011] 图 1A 和图 1B 是说明四行程 (four-pass) 波长路由器的实施例的俯视图和侧视图;

[0012] 图 2A 和图 2B 所示的示意图说明了使用两个固定反射镜的光路由机构的操作;

[0013] 图 3A 和图 3B 所示的示意图说明了使用两个固定反射镜且具有折叠镜的光路由机构的操作;

[0014] 图 4A-4C 所示的示意图说明了圆锥截面包络在配置根据一个实施例的光路由机构的元件中的应用;

[0015] 图 5 所示的示意图说明了使用三个固定反射镜的光路由机构的实施例;以及

[0016] 图 6A-6C 所示的图解说明了在配置根据本发明的一个实施例的光路由机构中使用的几何因素。

具体实施方式

[0017] 1. 引言

[0018] 以下的说明阐述了根据本发明的光路由结构的实施例,以及包括该光路由结构的全光波长路由器的实施例。在共同转让的美国专利第 6,501,877 号中提供了波长路由器的示范性实施例,在此将该专利全部引入,包括其附录,以作为参考。在此描述的光路由机构也可用于任何合适的另外的波长路由器配置中。

[0019] 虽然在以下说明中提到“输入”和“输出”光纤,但是这种术语并不是想要限制光传播的方向。更一般地,在不超出本发明的范围的情况下,输入和输出光纤的功能可以被颠倒。例如,配置有一个“输入”光纤和两个“输出”光纤的波长路由器实施例可以用于在单个输入光纤处接收光,并把光引到两个输出光纤。或者,相同的波长路由器实施例可以用于在两个输出光纤处接收光,并把光引到单个输入光纤。

[0020] 可以利用自由空间光学系列和光路由机构在光学上执行波长路由功能。自由空间光学系列可以包括空气间隔的元件或者可以是一般的单片(monolithic)结构。图 1A 和图 1B 中显示了被配置为四行程路由器 100 的波长路由器的一个例子,图 1A 和图 1B 分别是俯视图和侧视图。其一般功能性是在与光路由机构 110 集成的输入处接受具有 N 个光谱带的光,并把光谱带的子集引到与光路由机构 110 集成的多个输出的期望输出。以下详细讨论不同实施例中的光路由机构的结构。在输入处接收的光被引到光学系列,形成了包括不同光谱带的发散光束 118。光束 118 遇到使该光准直(collimate)的透镜 120,并把光引向反射衍射光栅 125。光栅 125 使光分散,从而不同波长的准直光束以不同的角度被引回到透镜 120。

[0021] 清楚地显示了两束这样的光束 126 和 126',后者以虚线表示。由于这些准直光束以不同的角度遇到透镜 120,因此它们被聚焦到光路由机构 110 中的不同点。聚焦的光束遇到多个可动态配置的路由元件中的相应路由元件,可动态配置路由元件形成了回射组件的一部分,以便把单个光束作为发散光束引回到对其进行准直的透镜 120,然后再次被引到光栅 125。在第二次遇到光栅 125 时,不同光束之间的角间距被消除了,并且光束被引回到对其进行聚焦的透镜 120。可动态配置的元件可以被配置成沿反向路径发送其截取的光束,该反向路径使截取的光束移位,以便把截取的光束引向不同的输出。

[0022] 2. 光路由机构

[0023] 图 2A 中显示了光路由机构的一个实施例,以附图标记 110' 表示。该图用于对光路由机构操作的某些几何方面提供示意性图解。在该实施例中,利用包括两个固定反射镜 214 和 216 以及一组可动态配置的路由元件 220 的回射组件,实现分离光束的回射。一般,可动态配置的路由元件 220 至少和分离光束的数目一样多,从而每个分离光束可以被独立地路由。取决于每个路由元件 220 的状态,单个分离光束或者被引到第一固定反射镜 214(“A”),或者被引到第二固定反射镜 216(“B”),由此实现位移,该位移允许分离光束被引向波长路由器中的不同输出。在图 2A 中清楚地显示了输入光纤 208 和多个输出光纤 212,其中利用箭头指示了光束从输入光纤 208 传播到光学系列,以及从光学系列传播到输出光纤 212。

[0024] 在一些实施例中,可动态配置的路由元件 220 包括利用微机电系统(“MEMS”)技术制造的可倾斜的微镜。例如,这种可倾斜微镜可以被制造成在以下共同未决的共同

转让专利申请中说明的 MEMS 装置,每个申请在此全部引入作为参考:Bevan Staple 等人于 2001 年 7 月 3 日提交的美国专利申请第 09/898,988 号,题为“利用控制杆克服静摩擦的系统和方法 (SYSTEMS AND METHODS FOR OVERCOMING STICTION USING A LEVER)” ;Victor Buzzetta 等人于 2001 年 7 月 3 日提交的美国专利申请第 09/899,000 号,题为“基于逐步受控倾斜镜的自由空间光波长路由器 (FREE-SPACE OPTICAL WAVELENGTH ROUTER BASED ON STEPWISE CONTROLLED TILTING MIRRORS)” ;Victor Buzzetta 于 2001 年 7 月 3 日提交的美国专利申请第 09/899,001 号,题为“基于逐步受控倾斜镜的二维自由空间光波长路由器 (TWO-DIMENSIONAL FREE-SPACE OPTICAL WAVELENGTH ROUTER BASED ON STEPWISE CONTROLLED TILTING MIRRORS)” ;Bevan Staple 和 Richard Roth 于 2001 年 7 月 3 日提交的美国专利申请第 09/899,002 号,题为“基于微机电系统的、非接触的自由空间光开关 (MEMS-BASED, NONCONTACTING FREE-SPACE OPTICAL SWITCH)” ;Lilac Muller 于 2001 年 7 月 3 日提交的美国专利申请第 09/899,004 号,题为“带有不接触的光阑的双稳态微镜 (BISTABLE MICROMIRROR WITH CONTACTLESS STOPS)” ;以及 David Paul Anderson 于 2001 年 7 月 3 日提交的美国专利申请第 09/899,014 号,题为“用于提供多光阑微镜的方法和设备 (METHODS AND APPARATUS FOR PROVIDING A MULTI-STOP MICROMIRROR)” 。

[0025] MEMS 可倾斜微镜形成于 MEMS 芯片 204 上,该 MEMS 芯片 204 也可作为在其上面形成固定反射镜的基底。在共同转让的美国专利第 6,439,728 号中的图 4A、4B 和图 5 中,显示了把两个固定反射镜与一组可倾斜微镜结合使用的回射组件的特定例子,该专利由 Frederick Kent Copeland (728 专利) 于 2001 年 8 月 28 日提交,题为“用于双位回射镜中 MEMS 装置垂直集成的多镜堆叠 (MULTIMIRROR STACK FOR VERTICAL INTEGRATION OF MEMS DEVICES IN TWO-POSITION RETROREFLECTORS)” ,在此引入其全部公开作为参考。

[0026] 图 2A 还注释了 (x, y, z) 笛卡尔坐标系,用于定义在以下讨论中使用的方向。z 轴对应于光学系列的光轴。xy 平面与该光轴正交,y 轴被定义为对应于可动态配置的路由元件 220 沿着它被隔开的对称轴。x 方向受右手笛卡尔系要求的约束。从而,例如,图 1A 的俯视图对应平行于 yz 平面的视图,图 1B 的侧视图对应平行于 xz 平面的视图。xy 平面中的端视图将对应于沿光学系列的光轴的视图。

[0027] 在考虑波长路由器的操作中,发明者将面临许多设计因素,其中希望某些参数或者去减小光学像差,或者方便制造。例如,在图 2A 中,显然,输入光纤 208 的末端的 z 值与输出光纤 212 的末端的 z 值不同,以适应系统中的光路长度差。该配置是以下共同未决的共同转让专利申请中的、将被更详细讨论的一组配置的一个例子:Robert Anderson 和 Samuel P. Weaver 于 2000 年 12 月 20 日提交的美国专利申请第 09/747,064 号,题为“带有交错输入-输出光纤的波长路由器 (WAVELENGTH ROUTER WITH STAGGERED INPUT-OUTPUT FIBERS)” ,在此引入其全部公开作为参考。另外,由固定反射镜 216 的位置产生的布置的几何结构使光纤的末端在 x 方向偏移。这种偏移导致了来自锥形衍射的像差,该锥形衍射是由于光在通过光学系列传播的期间遇到衍射光栅 125 被强加的。尤其是,因为 x 方向上的分散,由衍射光栅 125 对分离光束的重分解 (recollapse) 也造成了 y 方向的相应移位。为了减小这种效应,可以通过将输入和输出光纤与安置用来分开对准差的光纤座 (fiberblocks) 一起放置,从而实现图 2A 所示的布置。

[0028] 然而,期望有一个用于放置所有输入和输出光纤的单光纤座。使用共同的光纤

座制造的效率高,这是因为可以在共同的位置同时对光纤执行抛光和喷涂。根据齐焦化(parfocalization)要求可以理解使用单光纤座的进一步障碍。图 2B 中说明了这一点,图 2B 显示了在平行于 xz 平面的光路由机构 110' 的横截面中的特定光束的路径。选择坐标系,以使从输入光纤 208 发出的光束的焦点位置 242 位于 $x = z = 0$ 。如图中所注释的, MEMS 芯片表面 204 相对 x 轴和 z 轴倾斜,倾斜角 θ 是关于 z 轴定义的。

[0029] 如图解,当分离光束 250 之一被回射时,它遇到被图示为可倾斜微镜的相应的可动态配置路由元件 220', 并且被引到固定反射镜 214 或 216 之一。回射光束 252 相对 xy 平面被齐焦化,在这个特定意义上,回射光束 252 共享一个位于平行于 xy 平面的共同平面上的虚中间焦点位置,在图 2B 中显示该虚中间焦点位置在 $-z_0$ 处。虽然该说明显示了对于一个特殊的可动态配置路由元件 220' 的可能回射,但是类似的可能回射适用于沿垂直于页面的 y 轴位移的每个可动态配置路由元件。可动态配置路由元件 220' 组的配置确定了哪些光谱带从固定反射镜“ A ” 214 被反射,以及哪些光谱带从固定反射镜“ B ” 被反射。

[0030] 在利用衍射光栅 125 重分解分离光束之后,光束被引到输出光纤 212,其虚焦点位置在点 244 处(对应于从固定反射镜“ A ” 反射的那些光谱带)和点 246 处(对应于从固定反射镜“ B ” 反射的那些光谱带)。虽然这些光束相对 xy 平面被齐焦化,都被聚焦于 $+z' = 0$, 处,但是它们没有相对 MEMS 芯片表面 204 被齐焦化,它们被放置在距离该表面的距离分别为 Δ_A 和 Δ_B 处。相对 xy 平面的光束齐焦化将是所希望的,因为与仅仅相对 MEMS 芯片表面 204 的齐焦化相比,相对 xy 平面的齐焦化将方便制造具有单光纤座的光路由机构。

[0031] 图 3A 和图 3B 用于说明类似于图 2A 的光路由机构的光路由机构 110'' 的实施例,但是该光路由机构 110'' 具有附加的特征,即输入光纤 208 和输出光纤 212 位于平行于 MEMS 芯片表面 204 的共同平面中。为了适应这种附加的约束,提供折叠元件 262 和 264, 以便沿着光学系列的光轴 z 分别重新引导输入和输出光束。折叠元件 262 和 264 可以包括表面镜、棱镜或类似光学元件,用于在相应光纤与平行于光学系列光轴的路径之间操纵光束。

[0032] 图 3A 显示了这种光路由机构 110'' 的实施例的一般配置,图 3B 详细地说明了折叠元件与光纤的几何关系。虽然图 3B 显示了输出光纤 212 和相应的折叠元件 264,但是所说明的原理同样适用于输入光纤 208 和相关的折叠元件 262。在折叠元件 264 包括一个折叠镜的实施例中,通过表面法线 \hat{n} 的定向定义每个折叠元件 264 的方向,折叠元件 264 的方向不仅取决于相应光纤 212 的方向,而且取决于光轴相对 MEMS 芯片表面 204 的方向 θ 。对于光纤中心在 MEMS 芯片表面 204 之上高度 δ 处的光纤 212,确定相应的折叠元件 264 的方向,以便被引导沿着光轴 z 前进的光束的虚焦点位置在 MEMS 芯片表面 204 之上距离 Δ 处。在某些实施例中,该距离 Δ 对应于根据图 2B 讨论的距离 Δ_A 或 Δ_B ,从而把光纤配置在平行于芯片表面 204 的平面中和包括折叠元件 264 的组合有效地重现了图 2B 的光学几何结构。输入光纤 208 可以类似地位于芯片面 204 之上距离 δ_I 处,从而向光学系列传播的光束的虚焦点位置在芯片表面 204 之上距离 Δ_I 处。

[0033] 虽然图 3A 中的图解显示了与一个输入光纤和两个输出光纤整体地配合的光路由机构,但是对于本领域的技术人员,显然相同原理可应用于任意数量的输入和输出光纤。一般也通过在回射组件中包括附加的固定反射镜,来适应这种更多数量的光纤。

[0034] 对于光轴 z 相对芯片表面 204 的任意方向 θ ,每个光纤端口都配有单独的折叠元件以及相对于芯片表面 204 的光纤支撑高度。发明者已进一步认识到,在 θ 基本上等于

90° 的情况下,有可能把一个共同的折叠元件用于所有光纤,包括输入和输出光纤。而且,发明者还进一步认识到,在回射组件增加一个附加固定反射镜的情况下,如' 728 专利的图 6A 和 6B 所示的情况,可以实现附加的有利特征。出乎意料的是,发明者发现,由附加固定反射镜提供的附加自由度允许提供相对 MEMS 芯片表面的光束齐焦化并同时减小锥形畸变效应的配置。由以下的讨论,由发明者发现的配置产生的多种其它优点将变得更明显。

[0035] 3. 圆锥截面包络

[0036] 本发明的某些实施例有利地使用圆锥截面的包络来定义光学元件的布置。图 4A-4C 针对三个不同的圆锥截面图解说明了所采用的圆锥截面原理。圆锥包络描述了这样一种表面,在沿着该表面的任一点处的整个法向矢量可以被认为是平面固定反射镜的小面的指向,在固定反射镜的表面是平面的情况下,不增加功率或柱面 (power or cylinder) 到光束路径。

[0037] 因此,在图 4A 中说明抛物线圆锥截面的使用。以 302 表示准线或焦面,以 308 表示抛物面包络。抛物面包络具有一个焦点 304,该焦点 304 对应于光学布置的转接点 (switching point)。对于抛物线圆锥截面,出射光瞳顶点位于无限远,使得光学布置尤其适于远心配置。

[0038] 在图 4B 中显示了椭圆圆锥截面的使用。在这种情况下,转接点 304' 位于椭圆面包络 310 的焦点之一,出射光瞳顶点 306' 位于其他顶点。在这种情况下,光学布置是非远心的,从而准线或共光程长度的焦面 303 相对平的表面 302 是弯曲的。光学布置的非远心性使其尤其适于端口多路复用器布置。

[0039] 在图 4C 中显示了双曲线圆锥截面的使用。在这种情况下,转接点 304'' 位于双曲线面包络 312 的焦点,出射光瞳顶点 306'' 位于距转接点 304'' 无限远处。如图 3B 中所示的椭圆面包络 310 一样,准线或共光程长度的焦面相对于平的表面 302 是弯曲的。

[0040] 有多种因素可以影响用于给定应用中的圆锥截面包络的选择。主要的因素是,光学布置是使用远心布置,或者是具有有限的出射光瞳距离。影响这种选择的因素对于本领域的技术人员是公知的。例如,对于图 1A-1B 描述的波长路由器的光学布置推荐使用远心布置。这种选择反映了这个事实,即在光谱转接空间中的远心主光线允许在四行程输出像点处的光谱折回和分解的 (collapsed) 光谱。可以根据对几何结构的物理约束确定圆锥截面包络的特定几何参数。例如,在诸如由图 1A-1B 的波长路由器提供的布置中,主光线的空间间距可以基于光纤之间的间距和所选择的圆锥截面。这种光纤之间的间距可能受这些因素影响,例如每根光纤的包层厚度。主光线的角间距可以基于端口隔离和有关的要求。圆锥截面的焦距,以及甚至所使用的圆锥截面的数量,可以基于光纤的物理尺寸以及有关的焦点。

[0041] 因此,圆锥截面包络的使用允许为每个应用确定光学元件的优化布置。以下将针对可以用于有关图 1A-1B 描述的波长路由器中的布置,来说明这一点。该实施例不仅使用共同的折叠元件,而且还使用以上讨论的、并在' 728 专利的图 6A 和 6B 中显示的第三固定反射镜 ("C")。在图 5 的透视图显示了光学布置,以附图标记 110''' 表示光路由机构。显然,因为 θ 基本上等于 90°,因此 xy 平面基本上与芯片表面平面 204 平行 (或重合)。从而,来自输入光纤 208 的光被引至遇到共同折叠元件 266,在所说明的实施例中显示的该共同折叠元件包括一个共同折叠镜,该共同折叠镜把平行于 z 轴的光束重新引向光

学系列。由于 θ 基本上等于 90° ，该光束基本上与芯片表面平面 204 垂直地传播。光学系列沿 y 轴分散光束，并且沿着一个也基本上垂直于芯片表面平面 204 的路径，把分离的光束引到回射组件。由于这种正交性，如 '728 专利中讨论的，一个用于密封回射组件的窗可以被包括进来，且基本上平行于芯片表面平面 204，由此限制否则将由倾斜的密封窗引起的像差 (aberrations)。

[0042] 每个分离光束遇到固定反射镜“C”217，该固定反射镜“C”217 把光束引到相应的可动态配置路由元件 220。取决于可动态配置路由元件 220 的配置，单个分离光束然后被引到固定反射镜“A”214 或固定反射镜“B”216。三个固定反射镜 214、216 和 217 被置于该布置中，以便相应的光线在落入圆锥截面包络 269 的点处遇到这些反射镜，根据该布置的远心性，该圆锥截面包络在布置中显示为抛物线截面包络。当利用穿过光学系列的进一步传播来消除 y 方向分散时，这样一个事实被维持，即对于被引到固定反射镜“A”214 或固定反射镜“B”216 的光束存在 x 方向的位移差。因此，由那些被引到固定反射镜“A”214 的光束包含的光谱带被包括在被引到第一输出光纤 212(1) 的光束中，由那些被引到固定反射镜“B”216 的光束包含的光谱带被包括在被引到第二输出光纤 212(2) 的光束中。由于这些光束沿着光学系列的光轴 z 传播，共同的折叠元件 266 用于把这些光束重新引向输出光纤 212。因为所说明的实施例使用的输出光纤 212 位于 xy 平面内，因此，折叠元件 266 被显示为一个具有相对于芯片表面 204 的 45° 倾角的折叠镜。

[0043] 在图 5 说明的实施例中，图中所示的光纤 208 和 212 被支撑在直接在 MEMS 芯片表面 204 中形成的 V 形槽 270 中。也可以使用各种替换的支撑布置。例如，分开的 V 形座可以被配置成在期望的 x 和 z 位置处支撑光纤，并且被直接放置在 MEMS 芯片表面 204 上。在另一个实施例中，MEMS 芯片和 V 形座都可以被放置在微工作台上，并且 MEMS 芯片的厚度和 V 形座的布置被配置成获得期望的光纤 x 和 z 位置。

[0044] 虽然图 5 中的图解显示了与一个输入光纤和两个输出光纤整体地配合的光路由机构，但是对于本领域的技术人员，显然相同原理可应用于任意数量的输入和输出光纤。一些这样的实施例可以适用于把更多数量的光纤与回射组件中的更多数量固定反射镜一起使用，同时仍然只使用单个共同折叠元件 266。

[0045] 上述的光路由机构的一个特征在于，它们允许共同的配合基准点 (datum) 不仅用于输入光纤 208 和输出光纤 212，还用于回射组件。这又允许使用这种集成光路由机构的波长路由器的制造被大大简化。以下，将对根据本发明的实施例制造的光路由机构的可能的进一步优点进行讨论。尤其是，将参照图 6A-6C 对处理锥形衍射和齐焦化问题的几何机构进行讨论。

[0046] 图 6A 给出了一个用于把输入和输出光纤与光路由机构整体地布置在一起的实施例的示意图，该示意图平行于 xy 平面。相对于 (x, y, z) 坐标系的原点，以 $-x_1$ 表示输入光纤 208 的 x 位置，以 $+x_2$ 表示第一输出光纤 212(1) 的 x 位置，并以 x_3 表示第二输出光纤 212(2) 与第一输出光纤 212(1) 之间的间距。在图 6A 中通过曲线 278 显示了锥形衍射效应，该锥形衍射效应是由于在 x 方向移位的光束通过光学系列被重新分解而产生的。特别是，在被移位的光束通过光学系列向回传播之后，由回射组件的 x 方向光束位移导致了相应的 y 方向位移，如曲线 278 所定义的那样。

[0047] 例如，考虑一束从输入光纤传播通过波长路由器的光束，其中输入光纤的末端位

于 $(x, y) = (-x_1, -y_0)$ 。如果回射布置没有在 x 方向产生位移,则在向回传播通过光学系列之后,光束将返回到 $(x, y) = (-x_1, -y_0)$ 。然而,为了实现期望的路由功能,通过回射组件使分离的光束移动不同的位移量,从而在向回传播通过光学系列之后,光束被聚焦在曲线 278 上的不同点。在该图示中,多个输出光纤之间的期望间距 x_3 产生了作为结果的 y 方向的间距 Δy 。为了使锥形衍射效应减到最小,使输入光束和输出光束当中的焦点的 y 方向总散射减到最小。在一个实施例中通过以下约束条件

$$[0048] \quad x_1 \approx x_2 + \frac{1}{2}x_3$$

[0049] 实现这一点,确保输入光束的焦点的 y 位置位于中间,并且与输出光束的焦点的 y 位置近似等距离。而且,当该约束条件被满足时,存在许多应用,在这些应用中输入光束与输出光束之一之间的最大焦点偏差,即 $\Delta y/2$,小于与波长路由器组合未对准的可接受预算量。在这些应用中,多个光纤可以被配置成其末端位于共同的 y 位置处,进一步简化了集成光路由机构的制造。在一个这样的实施例中,共同的 y 位置基本上与输入光束的焦点重合。注意,在使用多于两个输出光纤 212 的实施例中,相同的约束条件也适用于以下情况:其中 x_2 是第一输出光纤的 x 位置, x_3 是第一输出光纤与最后一个输出光纤的间距,所有其它的输出光纤位于第一与最后输出光纤之间;没有必要所有的输出光纤相互之间等间距来满足约束条件。

[0050] 在图 6B 和 6C 中利用 xz 平面的横截面视图说明了输入和输出光束相对 MEMS 芯片表面 204 的齐焦化。图 6B 和 6C 图解显示了用于特殊分离光束的回射镜布置,固定反射镜“A”214、“B”216 和“C”217 的法线分别以 \hat{n}_A 、 \hat{n}_B 和 \hat{n}_C 表示。光束 282 从光学系列入射到固定反射镜“C”217 上,并且被反射并聚焦到对应于该分离光束的可动态配置路由元件 220' 上。在图中以 MEMS 芯片表面 204 下面的阴影线表示齐焦像平面 283。对于抛物线截面包络 269,齐焦像平面 283 位于两倍的抛物线焦距处,抛物线焦点位于 MEMS 转接点处。从固定反射镜“B”216 反射的光束 286 以附图标记 286 表示,从固定反射镜“A”214 反射的对应光束以附图标记 287 表示。如前所注释的,入射光束 282 和反射光束 286、287 基本上垂直于 MEMS 芯片表面 204 传播,从而密封窗 280 可以被包括进来,并且与所示的 MEMS 芯片表面 204 基本上平行。

[0051] 通过要求与固定反射镜“A”、“B”和“C”相关的光束的每一束的虚焦点在距离 MEMS 芯片表面 204 的等距离处共面,可以强加齐焦化条件。从而,可以根据图 6B 给出的几何图确定输入角。在该图中,角 θ_{die} 对应于输入光束路径主光线相对 MEMS 芯片面法线的方向。角 θ_{in} 对应于输入光线相对 MEMS 芯片表面 204 的角度。可以根据装置的角度转换状态以及封装因素,来选择 θ_{in} 的值。角 θ_{slopeC} 定义了圆锥截面的倾斜角,代表固定反射镜“C”217 的指向,并且是参考 MEMS 芯片表面 204 定义的。角 θ_{inc} 和 θ_{ref} 分别对应于固定反射镜“C”217 上的入射角和反射角,并且满足约束条件 $\theta_{inc} = \theta_{ref}$ 。根据三角形中的角度互补性,有

$$[0052] \quad \theta_{die} + \theta_{in} = \theta_{inc} + \theta_{ref}$$

[0053] 固定反射镜“C”的倾斜把这些三角形的顶角平分,从而

$$[0054] \quad \theta_{slopeC} = 90^\circ - [180^\circ - (\theta_{die} + \theta_{in})]/2。$$

[0055] 从而,例如,如果输入角为 $\theta_{in} = 45^\circ$,则固定反射镜“C”217 的倾斜角为 θ_{slopeC}

= 67.5°。类似,如果输入角为 $\theta_{in} = 25^\circ$,则固定反射镜“C”217 的倾斜角为 $\theta_{slopeC} = 57.5^\circ$ 。

[0056] 圆锥截面包络 269 可以用于确定输入光路的 x 坐标,以及由此确定固定反射镜“C”217 的位置。一般的圆锥截面方程式为

$$[0057] \quad z_k(x,r) \equiv \frac{x_c^2/r}{1 + \sqrt{1 - (k+1)\frac{x_c^2}{r^2}}},$$

[0058] 其中 k 定义了圆锥截面的类型, r 为圆锥主截面 (parent section) 的曲率半径。对于抛物线, $k = -1$, 从而方程式被简化为

$$[0059] \quad z \equiv \frac{x_c^2}{2r}.$$

[0060] 以关于点 x_c 的导数表示抛物线的斜率

$$[0061] \quad \frac{dz}{dx} = x_c/r.$$

[0062] 从而,对于给定的抛物线包络函数的半径,或等效地对于给定的抛物线焦距,输入光路的 x 坐标为

$$[0063] \quad x_c = r \tan \theta_{slopeC}.$$

[0064] 对固定反射镜“A”214 和“B”216 进行类似的分析,以便利用图 6C 所示的几何图确定输出光纤 212 的位置。在图 6C 中,角 θ_{die} 再次对应于输入光束路径主光线相对 MEMS 芯片表面法线的方向。角 $\theta_{unswitched}$ 对应于输入光线在从路由元件 220 反射之后相对于 MEMS 芯片表面 204 的角度。对于平面镜, $\theta_{unswitched} = \theta_{in}$ 。可以根据角度转换状态和封装因素,例如在 MEMS 芯片平面 204 上可以有多少种状态,来选择该值。从路由元件 220 反射之后的光线的角度分别以 θ_A 和 θ_B 表示, θ_A 和 θ_B 分别对应于遇到固定反射镜“A”214 和“B”216 的光线,并且 θ_A 和 θ_B 是相对 $\theta_{unswitched}$ 定义的。在一个实施例中,可动态配置路由元件具有 2 倍 (2×) 的机械转换角放大镜,从而对于对称的转换设计, $\theta_A = -\theta_B \equiv 2\alpha$ 。因此,分别遇到固定反射镜“A”214 和“B”216 的光线的角度为

$$[0065] \quad \theta_{outA} = \theta_{unswitched} - \theta_A$$

$$[0066] \quad \theta_{outB} = \theta_{unswitched} + \theta_B.$$

[0067] 由用于确定 θ_{slopeC} 的相似几何图,以下的结果是显然的:

$$[0068] \quad \theta_{slopeA} = 90^\circ - [180^\circ - (\theta_{die} + \theta_{outA})]/2$$

$$[0069] \quad \theta_{slopeB} = 90^\circ - [180^\circ - (\theta_{die} + \theta_{outB})]/2.$$

[0070] 从而,例如,如果 $\theta_{in} = 45^\circ$, $\theta_{die} = 90^\circ$, 以及 $\alpha = 5.5^\circ$, 则 $\theta_{outA} = 34^\circ$, $\theta_{outB} = 56^\circ$, $\theta_{slopeA} = 62^\circ$, 以及 $\theta_{slopeB} = 73^\circ$ 。

[0071] 以上提供的一般圆锥截面方程式可以以与用于确定输入端口 x 位置的相同形式,用于确定输出端口的 x 位置。从而,应用相同的技术,有

$$[0072] \quad x_A = r \tan \theta_{slopeA}$$

$$[0073] \quad x_B = r \tan \theta_{slopeB}.$$

[0074] 已经根据其中圆锥截面包络包括一个抛物线截面包络的例子,提供了以上的计算位置的特定图解说明。这种包络适于例如远心应用。对于本领域的技术人员,显然可以利

用其它圆锥截面包络,例如椭圆截面包络,来类似地执行相同的计算,该椭圆截面包络适于例如具有有限远出射光瞳的应用。

[0075] 已经说明了几个实施例,本领域的技术人员将会认识到,可以不背离本发明的精神使用各种变型、替换结构以及等同结构。例如,虽然已经利用一种特殊形式的波长路由器说明了本发明,但是有可能使本发明的各方面适合于多种波长路由器设计。因此,以上的说明不应该被认为限制本发明的范围,本发明的范围在所附的权利要求中被定义。

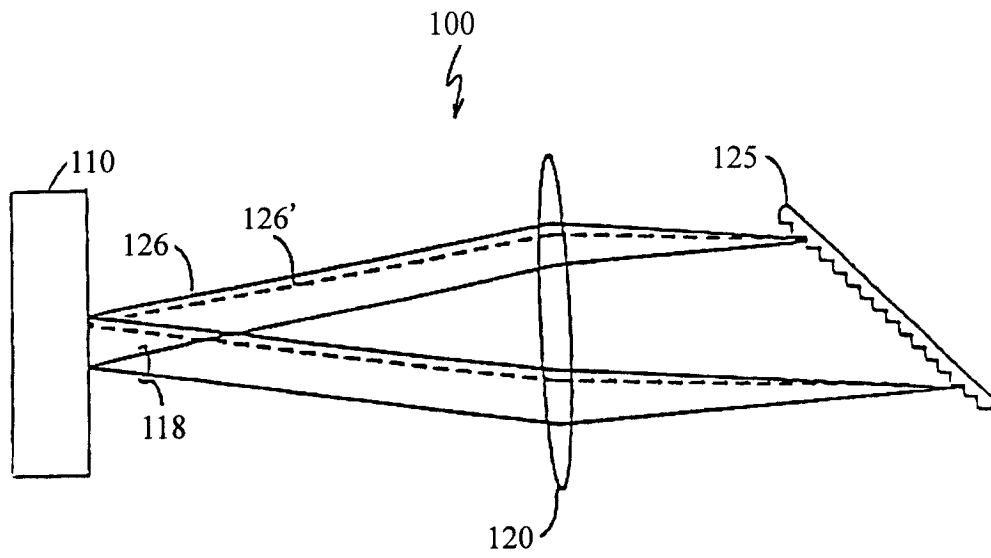


图 1A

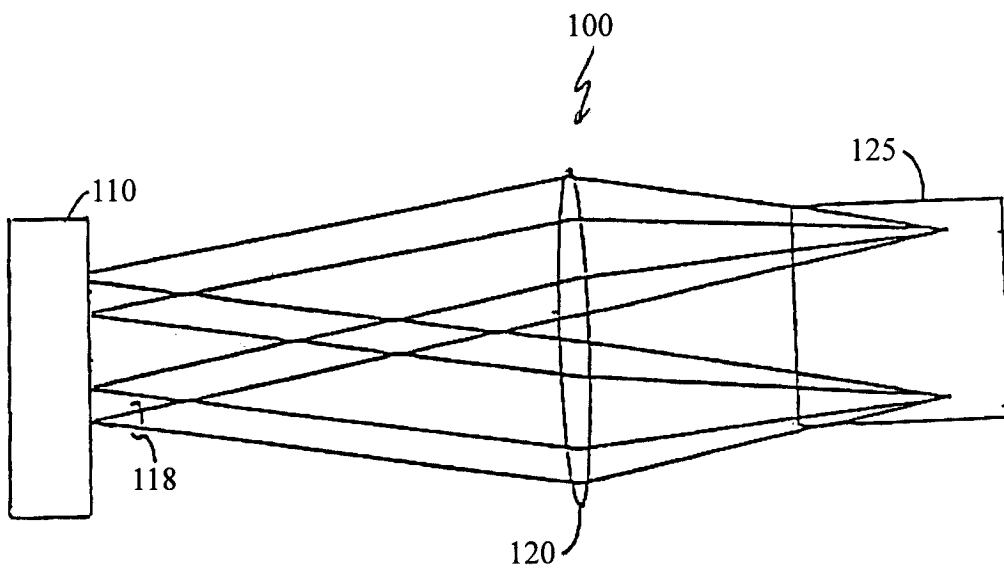


图 1B

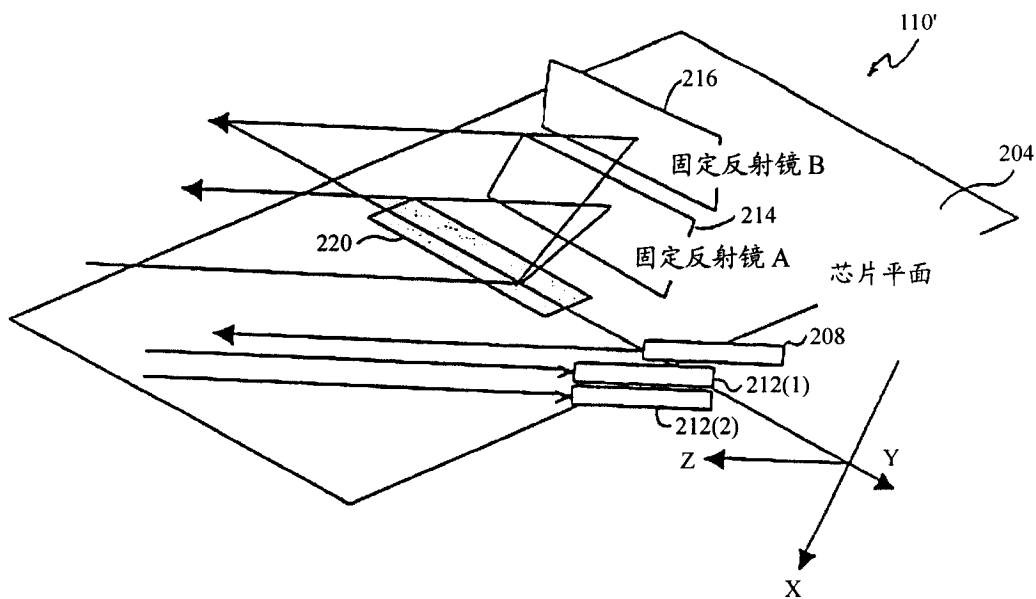


图 2A

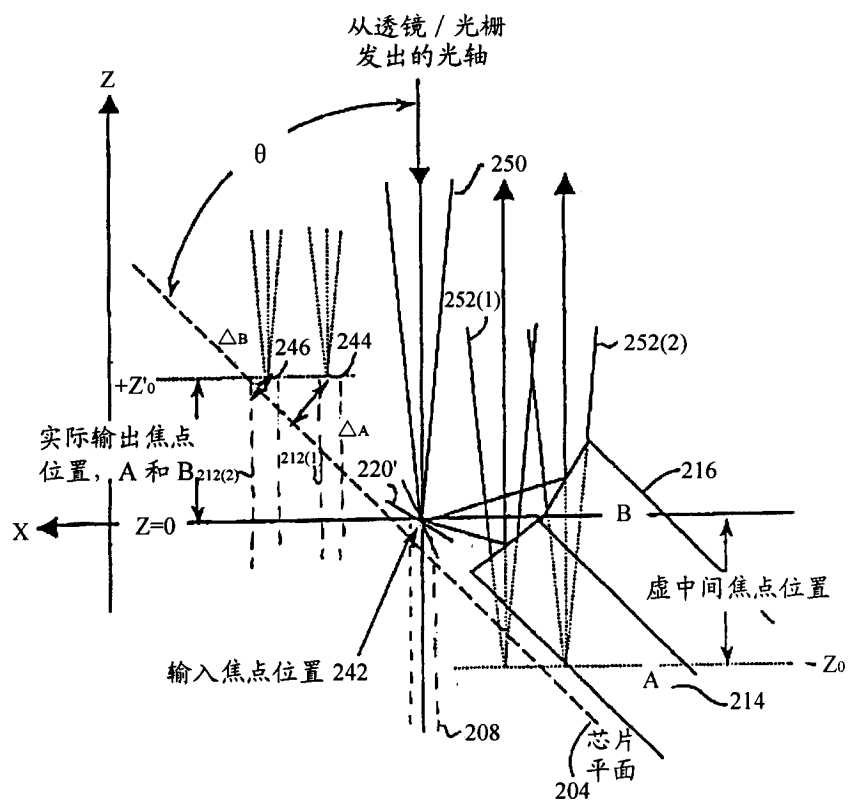


图 2B

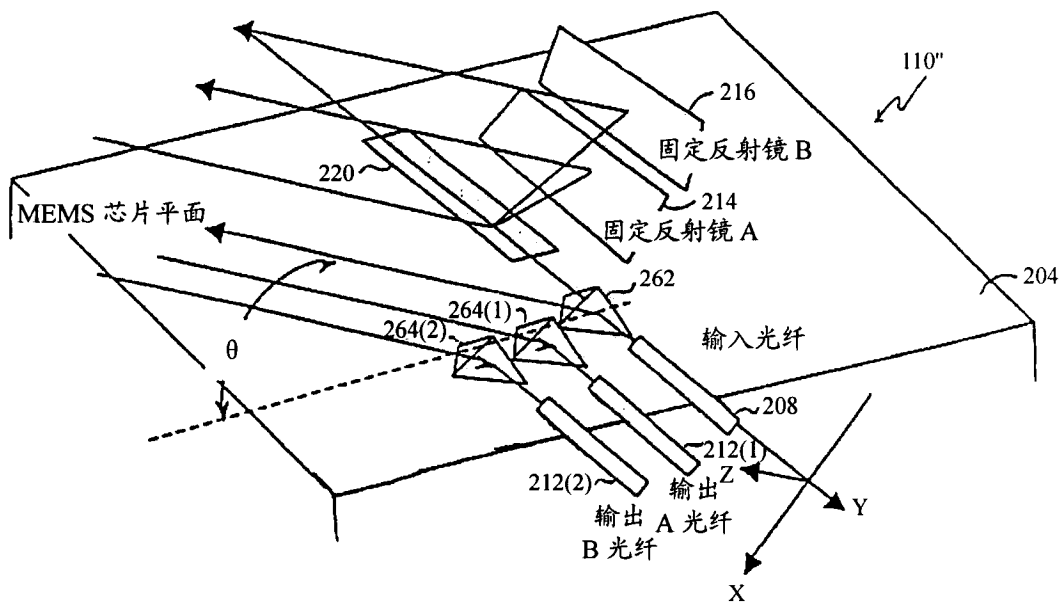


图 3A

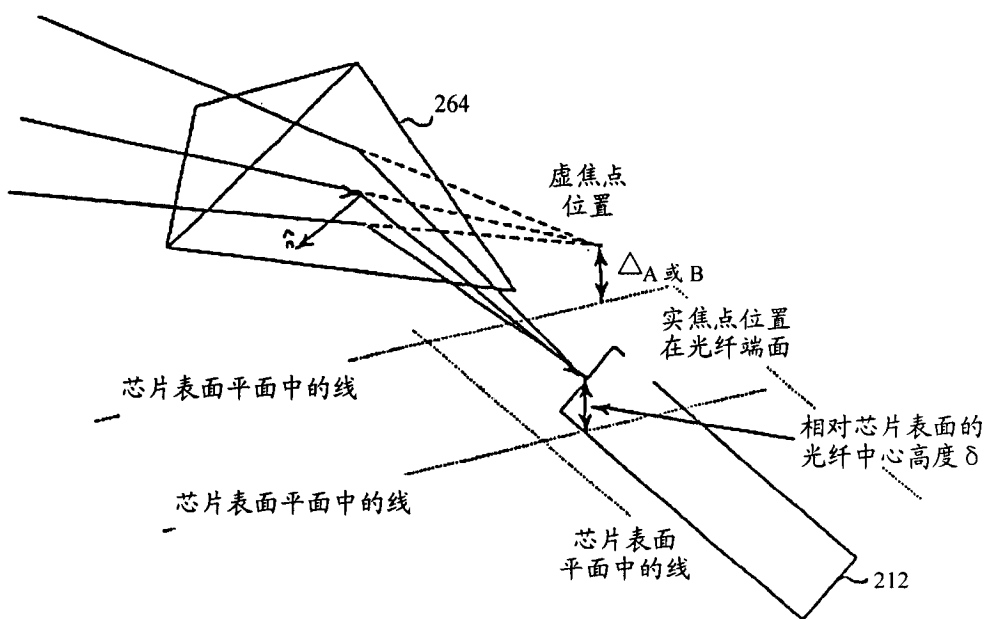


图 3B

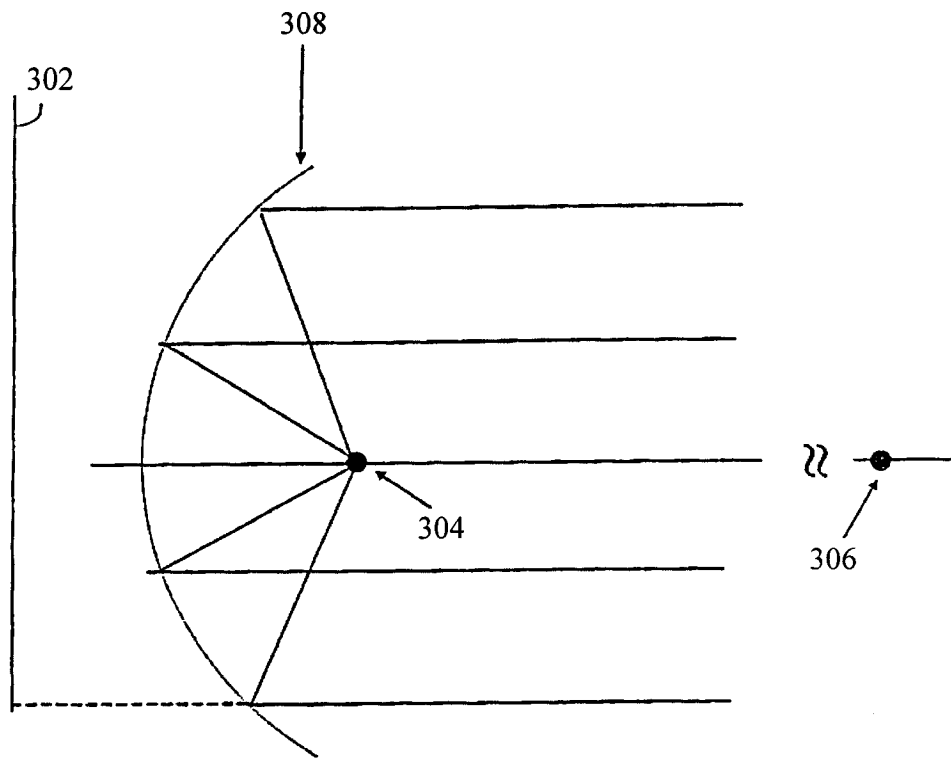


图 4A

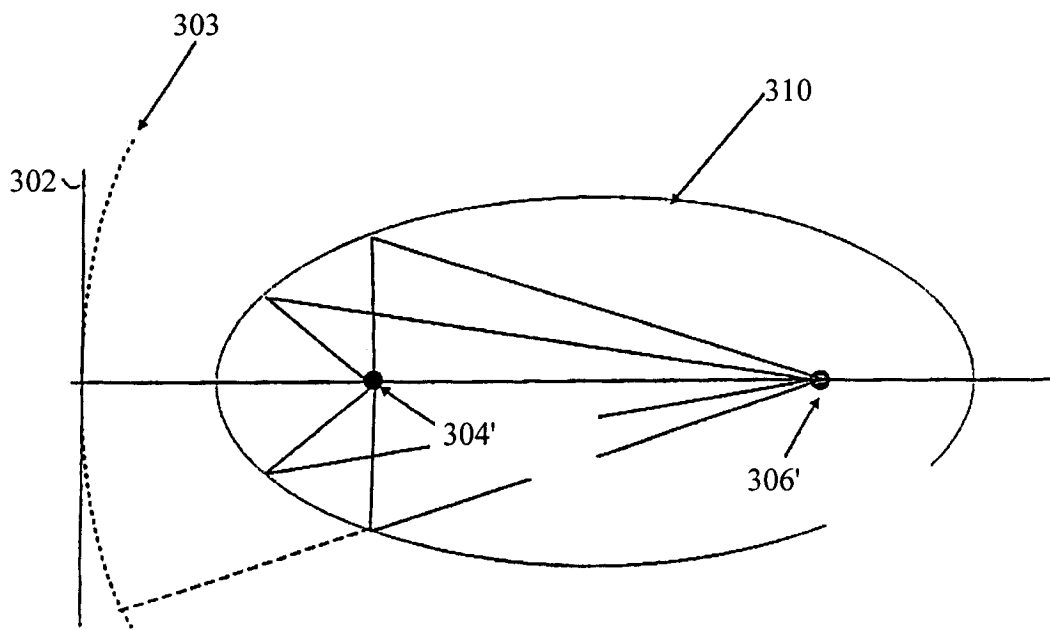


图 4B

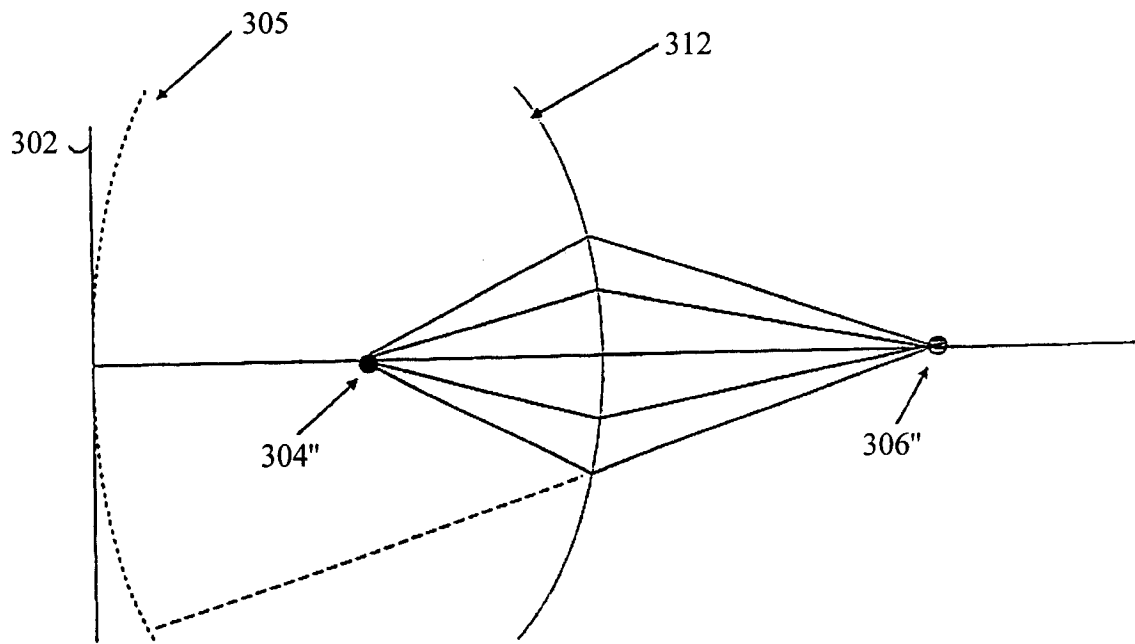


图 4C

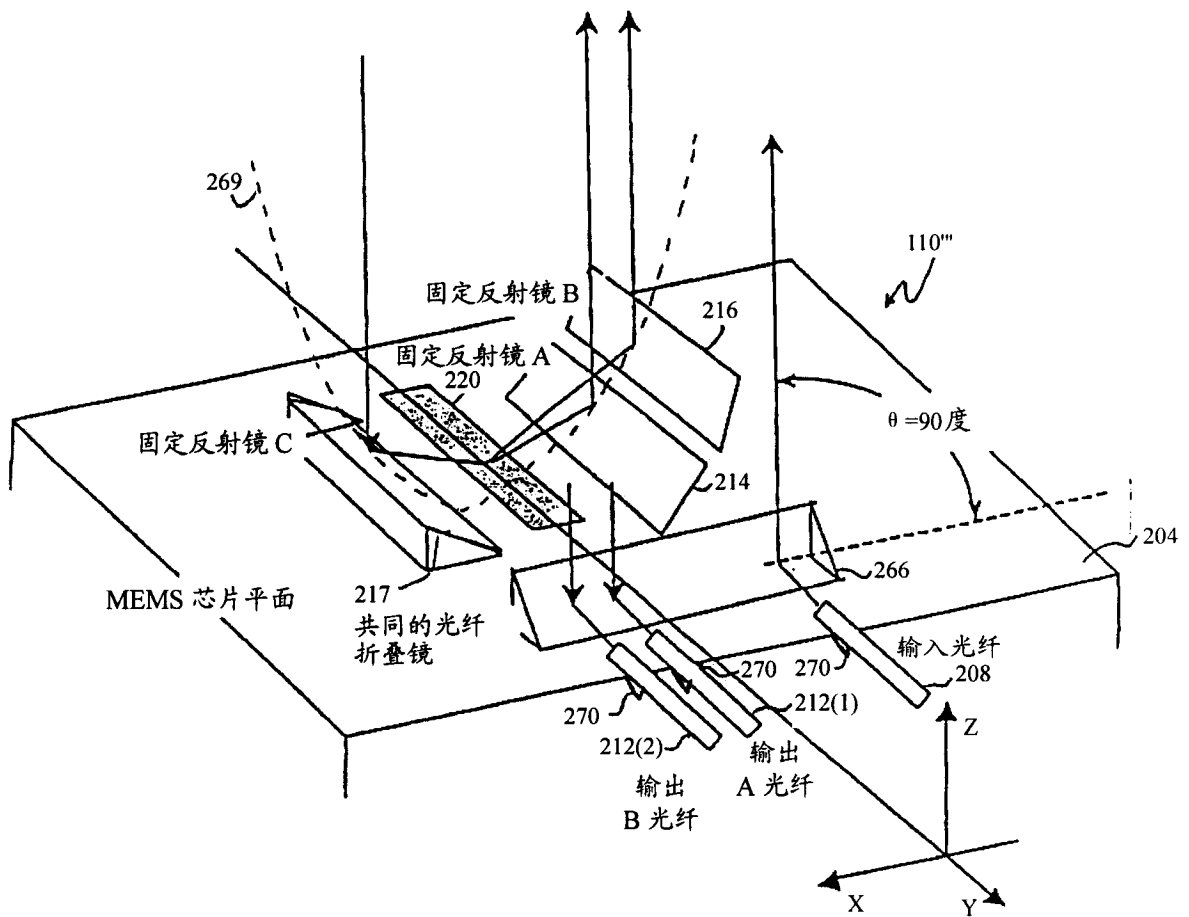


图 5

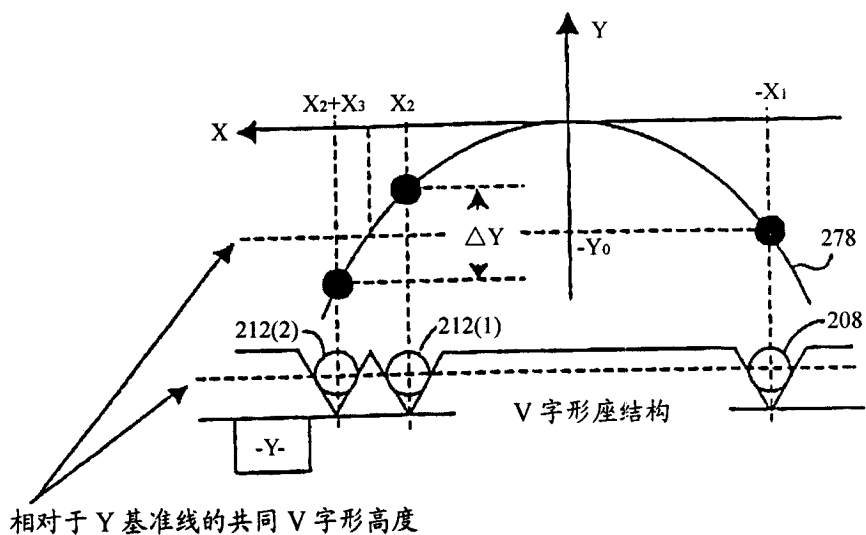


图 6A

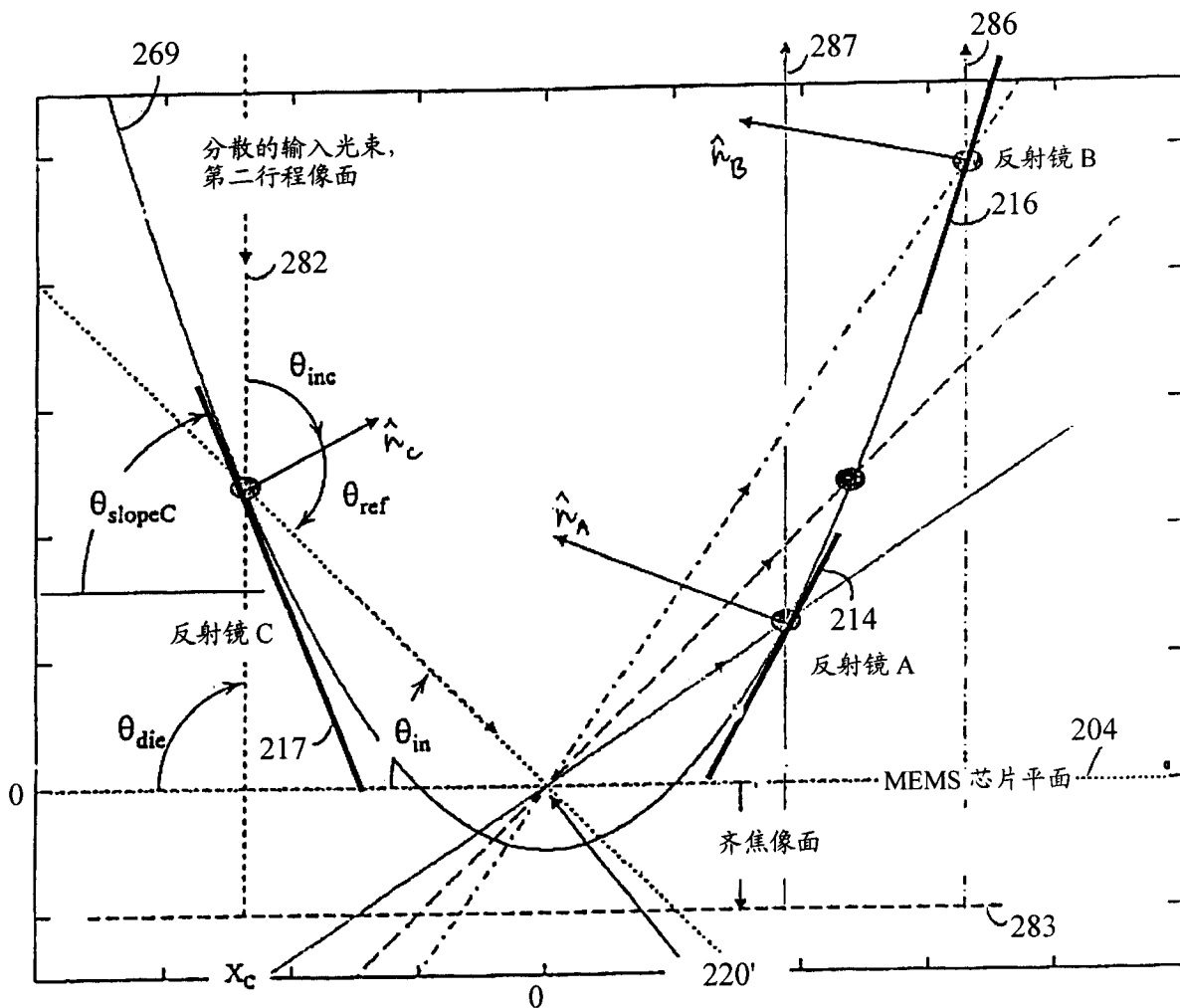


图 6B

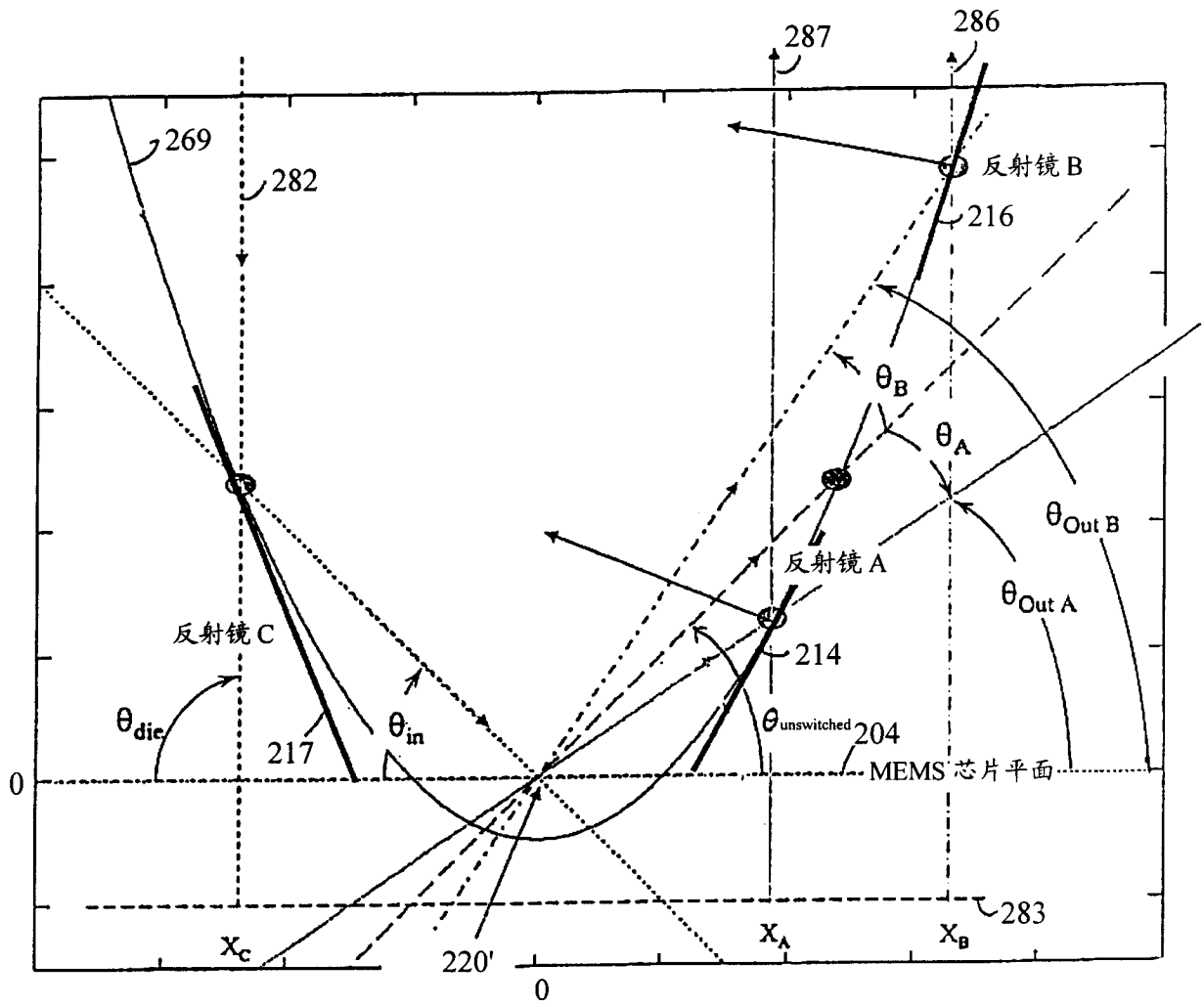


图 6C