

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G02F 1/29
G02F 2/00

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 01104580.9

[43] 公开日 2001 年 8 月 29 日

[11] 公开号 CN 1310352A

[22] 申请日 2001.2.15 [21] 申请号 01104580.9

[30] 优先权

[32] 2000.2.15 [33] US [31] 09/503,828

[71] 申请人 高级光学技术股份有限公司

地址 美国康涅狄格州

[72] 发明人 赵永盛 赵 莹

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所

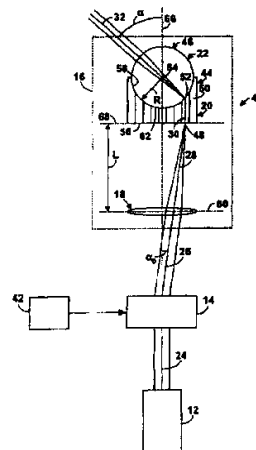
代理人 钱慰民

权利要求书 2 页 说明书 13 页 附图页数 5 页

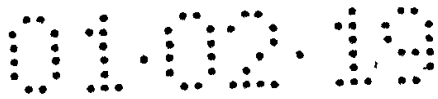
[54] 发明名称 在宽视场中动态控制光方向的设备

[57] 摘要

一种用于扩展光偏转角度的设备,它将光束动态控制在 $\pm 90^\circ$ 内。设备包括 初始动态光束偏转器和复合光束方向测绘仪,而测绘仪包括光束尺寸减缩器、光束传输转接器和投影机。初始动态光束偏转器将初始光束偏转一小角度。然后经光束尺寸减缩器在光束传输转接器上聚焦成一个光能点,最后转接器 将光点传送给投影机。投影机在其输出空间的远场以大于初始偏转角的输出偏转角发射输出光束。输出光束的能量在输入光束能量的数量级内。



ISSN 1008-4274



权 利 要 求 书

1. 一种光方向控制器件，该器件适用于动态控制光源射出的初始光束的方向并具有一光轴，其特征在于，所述器件包括：

(a) 按实际顺序，初始动态光束偏转器和光束方向测绘仪；

(b) 所述初始动态光束偏转器接收所述初始光束，并以初始偏转角将所述初始光束作为初始偏转光束发射；

(c) 所述光束方向测绘仪基于几何光学，并且具有远场输出空间，所述光束方向测绘仪在输入面接收所述初始偏转光束，并将输出光束传送到所述远场，所述输出光束的输出偏转角大于所述初始偏转角；

(d) 所述光束方向测绘仪包括一光束尺寸减缩器、一光束传输转接器和一投影机；

(e) 所述光束尺寸减缩器接收所述初始偏转光束，并将聚焦光束提供成为所述光束传输转接器上的一个光能点；

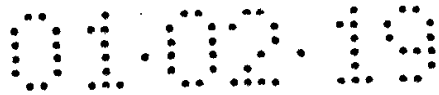
(f) 所述光束传输转接器接收所述光能点，并将所述光能点传播到发射面；
以及

(g) 所述投影机接收所述被传播的光能点，并发射所述输出光束，使所述输出光束的中央光线不与所述光轴相交。

2. 如权利要求 1 所述的动态光方向控制器件，其特征在于，所述光束传输转接器是一光纤板，并且所述投影机是一特种球面透镜，所述光纤板将所述光能点传播至半球形发射面，所述特种球面透镜在基本上与所述光纤板半球形发射面重合的半球形焦面上接收所述光能点，并且以所述输出偏转角将所述光能点作为所述输出光束发射至所述远场。

3. 如权利要求 1 所述的动态光方向控制器件，其特征在于，所述光束传输转接器是一正透镜组件，而所述投影机是具有一焦平面的几何光学现代照相机成像透镜系统，所述正透镜组件大体上位于所述成像透镜系统的焦平面上，所述正透镜组件接收所述光能点，并将所述光能点传播至所述成像透镜系统焦平面，所述照相机成像透镜系统以所述输出偏转角将所述聚焦光束作为所述输出光束发射。

4. 如权利要求 3 所述的动态光方向控制器件，其特征在于，所述成像透镜系统按实际顺序包括一复合的正透镜组件和一复合的负透镜组件，两个组件分开



一段距离，所述复合的正透镜组件在一较窄的区域内引导所述聚焦光束，并将所述聚焦光束发射成为与所述光轴相交的窄光束，所述复合的负透镜组件接收所述窄光束，引导所述窄光束远离所述光轴，并以所述输出偏转角将所述窄光束作为所述输出光束发射到所述远场。

5. 如权利要求 1 所述的动态光方向控制器件，其特征在于，所述光束传输转接器是一光纤板，而所述投影机是一传统的输出透镜组件，所述光纤板将所述光能点传送到平面型发射面，所述传统的输出透镜系统在大体上与光纤板发射面重合的平面型焦面上接收所述光能点，并以所述输出偏转角将所述光能点作为所述输出光束发射到所述远场。



说 明 书

在宽视场中动态控制光方向的设备

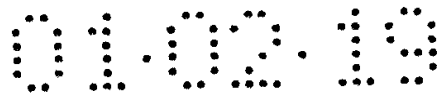
本发明总体上涉及光的方向控制，尤其涉及动态控制光的传播方向的技术。

动态控制光的传播方向是光学中的一项基本技术。直接应用包括激光雷达系统、激光投影显示器、目标跟踪系统、土地测量系统、娱乐、激光打印机。激光加工、计量学、激光扫描和光通信。

目前，有四种重要的光偏转方法：机电、声光、电光和电控光栅方法。在这四种方法中，机电方法最常用于商业应用产品。机电方法将旋转反射镜或旋转棱镜用作改变光方向的机械装置。这些装置因宏观规模的机械运动的固有特性而存在许多局限。例如，它们相对较慢。一般地说，它需要化几毫秒的时间将光束从一个方向改变到另一方向。另外，这类系统容易受机械振动的干扰。

其余三种方法不包含宏观规模的机械运动部件。但是最大偏转角范围通常对其性能构成一重要的限制因素。例如，现有技术中完全电子控制方法能够提供的最大偏转角一般小于 $\pm 3^\circ$ 。此较小的偏转角实质上将电子控制方法排除在几乎所有重要的实践应用之外。机电控制的旋转反射镜装置可以适当地提供较大的偏转角。两维的机电控制旋转反射镜的最大偏转角通常比 $\pm 30^\circ$ 小得多，这是受机械零件几何的限制。并且，在诸如激光雷达系统等许多重要的光扫描应用中，通常需要很大的扫描角范围。因此，即使就连机电系统的最大偏转角范围都仍然是不够的。

在现有技术中，授予 Huignard 的美国专利 4,836,629 揭示了一种在宽视场中改变光束方向的全息多路复用器 (holographic multiplexer) 系统。关键部件是全息多路复用器，其工作方式基于光的波动特性。具体地说，在 Huignard 系统中，将一束光分成多束光，它们以不同的传播方向通过相干电磁波的干涉。然后，Huignard 用一光闸选择从系统中输出哪束光。Huignard 系统的一个缺点是，输出光能只是输入光能的一小部分。例如，如果全息多路复用器输出 $N \times N = N^2$ 的光束矩阵，那么每条光束的最大能量水平都只有 $1/N^2$ ，并且由于 N^2 一般为数百或数千，所以与输入能量相比，输出能量确实非常小。



必须注意，对于实际应用来说，全息元件和过程通常太复杂。例如，Huignard 系统用一附加激光系统、一两维调相器和附加的非线性光学材料将外界的激光能量抽运到输出光束中，以补偿全息多路复用过程中损失的光能。定量地说，附加激光器的功率输出必须是比入射激光源之功率输出高许多倍，以补偿抽运系统中的损耗。另外，为了使多路复用器工作，必须首先用一个相当精密的两维检测系统记录全息图，然后用一相当复杂的过程重建原始波前，从而提供多个分光束。所有这些使得 Huignard 系统对于许多实际应用来说太复杂、太精密。

根据经典的几何光学，使初始偏转光束的偏转角增加一小量（一般为 $\pm 5^\circ$ ）的标准方法是使用扩束器。如图 2 所示，扩束器是具有两个正透镜的透镜系统，其中两个正透镜共享同一焦平面 112。透镜 102 的焦距 f_1 比第二透镜 104 的焦距大得多。当准直良好的光束从第二透镜 104 传播到第一透镜 102 时，如在标号 106 处，光束的大小将增大 f_1/f_2 因子。当沿反方向使用扩束器时，即如在标号 108 处从第一透镜 102 传播到第二透镜 104，光束大小将减小，并且输入光束相对光轴 110 的偏转角会增大 f_1/f_2 因子。然而，当 f_1/f_2 较大时，最重要的限制条件是输出光束的最大偏转角。输出光束总是从较小透镜 104 的输出面 114 转向光轴 110，然后在离开小透镜 104 的距离为 δ 的地方越过光轴 110。比值 r/δ 直接决定了最大偏转角，其中 r 是小透镜 104 的半径。

望远镜接目镜甚至具有更具体规定的目的。因为使用者用眼睛直接观察系统，所以将光束输出设计在离开小透镜表面大约 5—10 毫米，并且光束宽度大约为 2 毫米，以适合人眼的瞳孔大小。

由此可见，扩束器或标准的望远镜接目镜是一种能够在近场大量提供输出光束的装置。由于输出光束总是转向光轴并且 δ 的值不能非常小，所以最大偏转角范围受到很大限制。另外，由于输出光束来自透镜边缘，所以光束畸变和劣化非常大。当使用复合透镜系统时，将这些透镜系统设计成工作在透镜系统近场，而不是远场。当光束通过光轴并进入远场后，光束的劣化通常变得不能接受。

本发明的一个目的是，提供一种用于控制光束方向的设备。

另一个目的是提供一种在宽角度范围内控制光束方向的设备。

本发明提供了一种用于扩展光偏转角的设备，可以动态控制光束，使其转向较大角度空间范围内的任何一方向，一般上下左右的偏转范围皆为 $\pm 90^\circ$ 。本发明的设备可以应用于没有机械运动部件的全电子控制系统。正由于此，



不再有电子方法对光方向的限制，可以在宽角度范围内对光束进行完全电子控制，没有任何运动部件，适用于宽光谱的场合。另外，本发明的设备也可以应用于包括旋转反射镜或其它运动部件的系统。

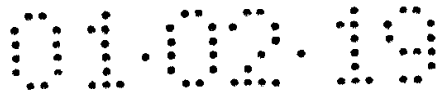
本发明使用简单的经典几何光学部件，提供了一种能够在较大角度范围内动态控制光束的系统。所述几何光学部件都是无源部件，不需要将附加光能抽运到系统内。输出光束能量一般在输入光束能量的数量级内。系统结构简单，并且系统成本明显低于全息系统的成本。

本发明是一种光方向控制器件，适用于动态控制光源发出的初始光束的方向。该器件按实际顺序包括初始动态光束偏转器和光束方向测绘仪。初始动态光束偏转器接收初始光束，并以初始偏转角 θ_0 将初始光束作为初始偏转光束发射。光束方向测绘仪基于几何光学，并且具有远场输出空间。光束方向测绘仪在输入面接收初始偏转光束，并将输出光束传送到远场，输出光束的输出偏转角 θ 大于初始偏转角。光束方向测绘仪包括一光束尺寸减缩器、一光束传输转接器和一投影机。光束尺寸减缩器接收初始偏转光束，并将聚焦光束提供成为光束传输转接器上的一个光能点。光束传输转接器接收光能点，并将光能点传播到发射面。投影机接收被传播的光能点，并发射输出光束，使输出光束的中央光线不与光轴相交。

光源发出的光与初始动态光束偏转器相容。初始光束偏转器可以是目前可以获得的、用于提供可控小角度偏转的任何器件，例如机电控制偏转器、声光偏转器、电光偏转器和电控光栅器件，并且可以是一维或二维偏转器。

在第一实施例中，光束传输转接器是一光纤板，并且投影机是一特种球面透镜。光束尺寸减缩器将初始偏转光束缩小到实质上一个光能点，其尺寸大体上为光纤板中单根光纤的直径。光能点仅在单根光纤或相邻的光纤组内传播到发射面。被传播的光能点在特种球面透镜的半球形焦面上遇到一焦点。特种球面透镜将光能点发射成为准直良好的光束，指向无穷远，方向沿连接焦点和特种球面透镜之中点的直线。由于出射光束方向与光能点在特种球面透镜之三维焦面上的位置之间存在一一对应关系，所以出射光束方向与初始偏转光束方向之间存在一一对应关系。

第二实施例将一正透镜用作传输转接器，并将反向的几何光学照相机成像透镜系统用作投影机。在传统的成像透镜系统中，光束从输入空间的远场开始传播，并聚焦在焦平面上。在本发明中，光的传播是反方向的，将输入空间转换成输出空间。



成像透镜系统最好具有第一和第二分组件，它们分别起正透镜组件和负透镜组件的作用。第一分组件使光束穿越光轴，而第二分组件增大光束偏转。输出光束在远场的最终偏转角可以达到 $\pm 90^\circ$ 。

透镜像差对窄光束的影响比宽光束小得多，并且入射光束总是窄的，因为光束减缩器焦距大大地大于从第一分组件焦平面到第一分组件表面的距离。另外，正负透镜组件的像差可以设计成相互大大抵消。

第三实施例用传统的透镜组件代替第一实施例的特种球面透镜。尽管第三实施例没有提供同样大的角度偏转，但更容易制造。

按照以下附图以及对本发明的详细描述，将清楚本发明的其它目的。

为了全面理解本发明的特点和目的，请参照附图。附图有：

图 1 是一示意图，示出了本发明的一个一般的实施例；

图 2 是一示意图，示出了现有技术的扩束器；

图 3 是一示意图，示出了本发明的第一实施例；

图 4 是一透视图，示出了图 1 实施例的一部分，显示两维偏转；

图 5 是一示意图，示出了本发明的第二实施例；以及

图 6 是一示意图示出了本发明的第三实施例。

图 1 用方框形式示出了本发明基本的光束方向控制系统 10，该系统包括初始动态光束偏转器 14 和基于经典几何光学的复合光束方向测绘仪 16，以便为输出光束提供增大的偏转角。在本说明书的剩余部分中，基于经典几何光学的复合光束方向测绘仪 16 简称为“光束方向测绘仪”。

本发明 10 试图与光源 12 和传统的光学系统一起使用，以便如下所述适当地改变发光装置的输出，从而满足初始动态光束偏转器 14 的具体要求，达到最佳性能。这里光源 12 包括一发光装置，例如可以将激光器或灯作为光源。光源 12 所用的技术是标准的、建立良好的。

来自光源 12 的光束 24 经过初始动态光束偏转器 14，初始偏转角为 θ_0 ，这是在光束方向和系统光轴 66 之间测得的。初始动态光束偏转器 14 受外部装置 42 控制。根据所用初始光束偏转器的类型，初始偏转角 θ_0 可以涉及例如从 $\pm 0.001^\circ$ 至 $\pm 45^\circ$ 的范围。然后，经初始偏转的光束经过光束方向测绘仪 16，测绘仪 16 将初始的较小偏转角 θ_0 增大至输出偏转角 θ 。在一些实施例中，输出偏转角 θ 几乎可以与 $\pm 90^\circ$ 一样大。

初始动态光束偏转器 14 可以是目前可以获得的、能够提供小角度偏转的



任何器件，并且初始动态光束偏转器 14 的种类决定了初始光束 24 的所需参数。如上所述，目前有四种动态光束偏转器：机电控制偏转器、声光偏转器、电光偏转器和电控光栅器件。初始动态光束偏转器 14 可以是一维或二维偏转器。

机电控制偏转器使用旋转反射镜或棱镜。它要求初始光束的尺寸小得足以与反射镜的尺寸相适应。它还要求初始光束具有明确的方向，并且最好是准直的。光的波长可以是反射镜或棱镜之光波长范围内的任何波长。机电控制旋转反射镜和棱镜可以提供中等大的角覆盖区。例如，一种典型的两维电扫描仪具有 $\pm 30^\circ$ 的最大移动范围。机电偏转器的主要问题是其工作速度。

声光偏转器包括透明偏转介质、超声波换能器和用于控制超声波的射频 (RF) 信号源。在偏转介质中，强声波产生类似于移动光栅的密度图案。在激光束（较好的光源）经过密度光栅后，由衍射产生的偏转角为 $\sin \alpha_0 \cong \alpha_0 = \lambda / (2\Lambda)$ ，其中 λ 是光波长，而 Λ 是声波波长。由于声波波长总比光波波长大得多，所以偏转角总是相当小。在声光器件中，通过调谐 RF 信号频率来改变声波波长 Λ ，并可将激光束偏转到不同的方向。由于没有运动部件，所以响应很快，通常在 10 微秒左右。

声光偏转器需要单色的且准直良好的初始光束。所以唯一实用的光源是激光。波长范围可以从紫外线 (UV) 到红外线 (IR)。光束大小也影响诸如角分辨率和响应时间等性能参数。声光偏转器的光束大小可以从例如 $1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ 变化到 $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ 。在许多情况下，激光源直接射出的光束的尺寸比声光偏转器所要求的更窄。在这些情况下，通常用一标准透镜系统适当增大光束尺寸。声光偏转器的最大偏转角通常小于 $\pm 2^\circ$ 。

在电光偏转器中，高强度的电场影响透光介质的折射率。当光束从一种介质传播到另一介质时，随着电场强度的变化，光束方向从一个方向偏向另一方向。电光偏转器的响应时间可以在纳秒范围内。但是，由于电光系数较小，所以即使施加在不足 1 毫米厚的介质板上的电场处于数千伏至数万伏之间，偏转角仍然很小。电光偏转器的可行偏转角比 $\pm 2^\circ$ 小得多。与声光偏转器不同的是，电光偏转器不要求光束是单色的。但是，与声光偏转器一样，光束尺寸会影响输出光束的角散度。光束尺寸越大，输出光束的角散度越小。

目前可获得两种电控光栅器件：微型机电 (MEM) 光栅阀 (LGV) 和液晶光栅。衍射光束的方向和强度可以由施加在光栅栅线上的电信号来控制。衍



射方向只能不连续地变化。这些器件要求单色的且准直良好的初始光束。最大偏转角由能够在线栅之间制作的最小线栅距确定。例如，目前的最小线栅距 d 大约为 5 微米。因此，根据衍射定律， $\sin\alpha=\lambda/d$ ，对于 $\lambda=0.5$ 微米，最大偏转角的不连续改变大约为 5° 。

光束方向测绘仪 16 提供初始偏转角 θ_0 的固定输出测绘图案，即输出偏转角 θ 是初始偏转角 θ_0 的固定函数或者 $\theta=M(\theta_0)$ ，这里函数 M 是特殊的光束方向测绘仪的固定函数。光束方向测绘仪 16 在一侧具有接收面 72，在另一侧有一输出空间 34。输入面 72 上某点处的输入光束传到输出面 82，输出面 82 在输出空间 34 的远场 38 中射出输出光束 32。

对于几何光学透镜系统，近场 36 和远场 38 之间的差别是明显的。一个著名的例子是众所周知的显微镜和望远镜之间的差别。近场器件定义为近场 36 中器件性能比远场 38 中器件性能更好的器件。远场器件在远场 38 中的性能更好。例如，许多望远镜接目镜在离开输出表面 5—10 毫米处具有最佳性能，这便使它们成为近场器件。这种器件在本发明中的工作情况不会特别好。

近场 36 和远场 38 之间的边界依赖于光束方向测绘仪 16 本身的尺寸。如果光束方向测绘仪 16 的尺寸大约为 q (q 定义为透镜组件的平均直径)，那么近场 36 定义为光束方向测绘仪 16 附近向外到达大约 $10q$ 距离的区域。远场 38 是近场 36 以外的空间。

光束方向测绘仪 16 包括三个部件：光束尺寸减缩器 18、光束传输转接器 20 和投影机 22。光束尺寸减缩器 18 是传统的正透镜系统，该系统将入射光束基本上缩小到一点，且不明显影响光束的偏转角。它缩小初始偏转光束 26 的尺寸，以使输出光束 32 获得最佳的方向分辨率。光束尺寸减缩器 18 在一侧具有一接收面 54，在另一侧具有一焦平面 68。单方向入射光束 26 在焦平面 68 缩小成单个点 48。

光束传输转接器 20 是一个几何光学器件，它在一侧接收会聚光束，在另一侧从基本上单个点射出一发散光束。存在几种形式，以下参照几个实施例进行描述。

投影机 22 提供光束方向测绘仪的最终输出。投影机 22 是一个几何光学透镜组件，它具有以下两个特点：(a) 输出光束 32 的中央光线不与中央光轴 66 相交；(b) 输出光束 32 在输出空间 34 的远场 38 处提供最佳光束质量。当输出光束 32 是一窄光束时，中央光线的意义是明显的。当输出光束 32 具



有一有限宽度时，中央光线可以定义为光束的重心线 (gravity center line)。当光束传过空气时，一般在重心线与其它平均法计算得到的中央光线之间没有重大的差别。注意，投影机 22 只要求中央光线与光轴 66 没有交点。当光束具有有限宽度时，可以存在离开中央光线的侧光线，它们与光轴 66 相交。这些侧光线不表示系统的任何特征，因为光束的宽度可以变化。另一方面，光束的中央光线代表了整个光束的一般光路。

投影机 22 的这两个特征提供了一种实质上与现有技术望远镜系统不同的几何透镜系统。如图 2 所示，由于望远镜与人眼接触，所以输出光束的中央光线在离开输出表面一小距离 δ 处总存在一交点。另一方面，对于光束方向测绘仪，不存在这样的交点。如果光束的中央光线与光轴相交，那么在投影机 22 内相交。注意，本发明中定义的投影机 22 与其它地方使用的投影透镜系统不同。

光束传输转换器 20 和投影机 22 的详细情况根据以下讨论的实施例而不同。

第一实施例

在本发明光束方向控制系统的第一实施例 40 中，如图 3 和图 4 所示，光束传输转换器 20 是光纤板 44，而投影机 22 是特种球面透镜 46。初始偏转光束 26 经过光束尺寸减缩器 18，在光纤板 44 的接收面 56 上将光束缩到光能点 48。

由于初始偏转光束 26 的大小与光能点 48 大小之间差别较大，所以光束尺寸减缩器 18 实质上是一个聚焦器件。光束尺寸减缩器 18 的焦平面 68 应该在光纤板 44 的接收面 56 上，或者其附近。光能点 48 越小，输出光束 32 之方向的角分辨率越高。但是，光能点 48 太小会使光能点 48 处的能量密度太大。通过折衷这些要求，根据具体应用选择光能点 48 的大小和光纤 50 的直径。最好，光点 48 的大小在尺寸上与光纤板 44 中单根光纤 50 的直径相比拟。

光纤板 44 是一个熔融的光纤聚集体，一般包含数百万根光纤 50。每根光纤都遵守光折射和反射定律，也就是说遵守几何光学。当会聚光束在大致一点上照射光纤板时，光能进入单根光张或多根相邻的光纤，并严格地在这些光纤内传播，不散布开。在光纤板的另一侧，以光锥形式发射光能。对于每个光纤板，锥角是明角的，并且独立于入射光束。锥角由标称孔径 (NA) 来确定。NA 是光纤材料的一个参数，它独立于入射光束。

$$NA = n_0 \times \sin U \quad (1)$$

其中，如果光射入空气，则 $n_0 = 1.0$ ，并且 U 是半锥角。NA 的范围一般为 0.2-1.0。

例如，当 $NA=0.3$ 时，在用于传输光束的每单根光纤的光轴周围 $\pm 17.45^\circ$ 内，射出输出光束。NA 是所有光纤器件的一个参数。本发明将此部件用作光束传输转接器 20，用于在光束尺寸减缩器 18 和投影机 22 之间提供优选状态。由于此优化作用，系统性能得到明显增强。

对于大多数传统应用，光纤板垂直于光纤轴切割。但是，出射面并不必须是平型表面。还应注意，光纤板的接收面面积和发射面面积可以不同。当两者大小不等时，有时将光纤板称为光纤锥体。光纤的类型和结构将影响系统的输出偏转角。

由于大量光纤熔融在一起，实质上不分离，所以光纤板可以将整个像从其输入端传输到其输出端。这与个别光纤组件的光纤束完全不同，光纤束一般具有护套或其它保护部分，它们会使光纤分离得较远。

光纤板 44 可以使光能点 48 只在单根光纤内或者在光纤组附近传播，致使当光能点 48 从光纤板 44 的接收面 56 传播至其发射面 58 之后，点的大小几乎保持不变。

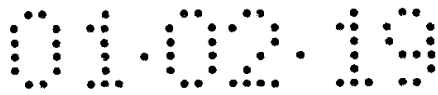
标号 L 表示光束尺寸减缩器 18 之平面 60 与光纤板 44 之接收面 56 之间的距离。选择距离 L，使得初始偏转光束 26 在到达光纤板 44 之接收面 56 时离开光轴 66 的最大距离略小于特种球面透镜 46 的半径。如图 3 和图 4 所示，如果系统用于两维光束偏转，偏离 x 轴的初始偏转角为 α_0 ，偏离 y 轴的初始偏转角为 β_0 ，并且光束尺寸减缩器 18 是一薄透镜，其焦距 f 等于距离 L，那么沿 x 和 y 的偏移位置可以写成：

$$x=L \times \tan \alpha_0 \quad (2a)$$

$$y=L \times \tan \beta_0 \quad (2b)$$

特种球面透镜 46 设计成具有半球形焦面 62，该表面 62 大致上与光纤板 44 的发射面 58 吻合。结果，用与特种球面透镜 46 之焦面 62 互补的半球面制作发射面 58。这可以用标准的玻璃研磨技术来实现。

可以用许多方法制造具有半球形焦面的特种球面透镜 46。最简单的方法是使用折射率 n 等于或接近 2.0 的玻璃材料。根据标准的几何光学，可以从数学上证明，当近轴准直光束照射一个直径比光束尺寸大得多且折射率等于或接近 2.0 的球面时，光束在球面的背面聚焦成一点。另一种方法是，使用一个球芯和许多具有不同折射率的同心壳结构，这也可以提供这样一种特种球面透镜。特种球面透镜 46 之半径的范围可以是 5—100 毫米。



在传播通过光纤板 44 之后，光能点 48 在焦面 62 的焦点 52 上遇到特种球面透镜 46，并且经特种球面透镜 46 折射，发射出很好整形的光束 32。例如，当特种球面透镜 46 的焦面 62 与发射面 58 吻合时，输出光束 32 是一准直良好的光束，沿连接焦点 52 和特种球面透镜 46 之中点 64 的直线方向射向无穷远。注意，与光轴 66 相交发生在光束方向测绘仪 16 的内部。输出光束准直良好的原因是，光能位于特种球面透镜 46 的焦点 52 上。由于输出光束 32 的方向 θ 与光能点 48 在特种球面透镜 46 之三维焦面 62 上的位置成一一对应关系，所以输出光束 32 的方向 θ 与初始偏转光束 26 的方向成一一对应关系。

如输出光束 32 相对 x 轴的偏转角为 α ，相对 y 轴的偏转角为 β ，那么对于本简化情况， (α, β) 与初始偏转角 (α_0, β_0) 之间的关系可以计算为：

$$\sin\alpha = x/R \quad (3a)$$

$$\sin\beta = y/R \quad (3b)$$

其中 R 是特种球面透镜 46 的半径。由等式 (2a) 和 (2b) 以及等式 (3a) 和 (3b)，输出光束 32 的输出偏转角为

$$\sin\alpha = (L/R) \times \tan\alpha_0 \quad (4a)$$

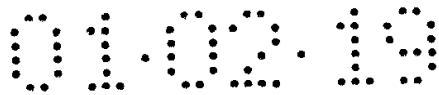
$$\sin\beta = (L/R) \times \tan\beta_0 \quad (4b)$$

只要距离 L 比半径 R 大得多，那么输出光束 32 的偏转角 α 将总是初始偏转角 α_0 的很大倍数。对于 β 和 β_0 也一样。

当初始偏转角 $\alpha_0=0$ ， $\beta_0=0$ 时，光束中心位于光纤板接收面 56 的中心，即点 $x=0$ ， $y=0$ 。随着初始偏转角 α_0 向其最大值方向增加，坐标 x 从 $x=0$ 移至 $x=R$ ，而输出光束方向从 $\alpha=0$ 变化到 $\alpha=90^\circ$ 。如果已知初始光束偏转器 14 的最大初始偏转角 α_{max} ，那么总是可以通过适当选择特种球面透镜 46 的半径 R 以及焦距 L ，将输出偏转角 α 设计为接近于 $\pm 90^\circ$ 。对于 β 也是这样。注意，由于特种球面透镜 46 受实际物理限制，所以不可能获得 $\pm 90^\circ$ 的偏转角，但可以接近 $\pm 90^\circ$ 。

在一数值举例中，如果初始偏转角 $\alpha_0 = \pm 2^\circ$ 并且距离 $L \cong 28.64$ cm，那么 $x=y=1$ cm。相应地，光束尺寸减缩器 42 的焦距应该大约为 28.64 cm，以便可以在光纤板接收面 56 上将初始偏转光束 26 缩小成一个点。如果特种球面透镜 46 的半径 R 为 $R \cong 1$ cm，可以将较小的初始偏转角 $\alpha_0 = \pm 2^\circ$ 增大到接近 $\alpha \cong \pm 90^\circ$ ，几乎覆盖外界整个半空间 (2π 立体弧度角)。

当必要的距离 L 太大以致于不能适合本发明光束方向控制系统所能获得的空间时，可以用标准光学技术将距离 L 适应到可获得的空间。例如，这类



方法包括插入一对平行反射镜，以便在反射镜包容的空腔内来回反射光束。在该情况下，保持了总的光路长度 L ，但实质上缩短了透镜和光纤板之间的线性距离。另一种方法是用一透镜系统代替单个透镜，以获得较大的偏移距离 x ，从而缩短必要的距离 L 。例如，Bravais 透镜系统就是这样一种标准透镜系统。

特种球面透镜 46 或光纤板 44 的空间分辨率会影响输出光束 32 的方向分辨率，无论哪个更粗糙。光纤板 44 的分辨率由光纤 50 的直径决定，光纤直径的范围通常在 5 微米至 1000 微米以上。特种球面透镜 46 的分辨率由其焦点 52 的大小决定，并且依赖于特种球面透镜 46 的设计精度，焦点 52 的尺寸范围大约从 5 微米至 1000 微米。

第二实施例

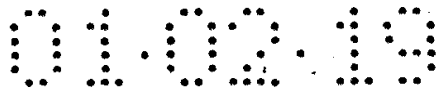
图 5 示出了第二实施例 80。光束传输转接器 20 是正透镜组件 96，而投影机 22 是反方向使用的照相机成像透镜系统 84。照相机成像透镜系统定义为这样一种透镜系统，它在靠近透镜系统的一侧具有一个位于透镜系统之外的一平面型焦面，而在另一侧具有一输入空间，因此在输入空间的远场，从离开透镜系统一段距离的点光源产生的光束将聚焦在焦平面的某一点上。

正透镜组件 96 增强了系统性能。正透镜组件 96 具有大于零的等效焦距。当正透镜组件的中央平面与光束减缩器 18 的焦平面 68 重合时，从焦平面 68 发出的光束的方向将被改变。根据标准的几何光学公式，发射光束中央光线的方向将相对入射光束中央光线的方向偏转 V 角度。

$$V = y/f \quad (5)$$

其中 f 是正透镜 96 的焦距，而 y 是中央光线与正透镜 96 之中央平面相交点的坐标。也就是说，透镜将入射光束的中央光线顺时针旋转 V 角度。中央光线与正透镜 96 之中央平面相交得越远，偏转角越大。上述简单的关系适用于近轴近似下的薄的正透镜。对于厚透镜或透镜组件以及高级近似结果，可以进行更精确的计算，但基本特征是相同的。在标准几何光学中可以找到类似的用正透镜或组件来旋转入射光束的技术。这类透镜称为“场透镜”。由于光束旋转，所以下一个光学部件（本例中，是照相机成像透镜系统 84）可以接收到更多的光能。根据几何光学，增加了系统的场孔径（field aperture）。尽管类似，但在光束方向测绘仪 16 中使用正透镜 96 实质上与现有技术不同。

注意，照相机成像透镜系统 84 必须满足上述投影机 22 的两个特征。几



乎所有现代的照相机成像透镜系统都能做到这点。一些非常原始的（例如，一百年前）、可以用作照相机透镜的成像透镜不能满足投影机的这些要求。例如，单个正透镜或者简单的双透镜就不满足要求。尽管这些透镜具有成像能力，但它们实质上是排除在照相机透镜之外的。

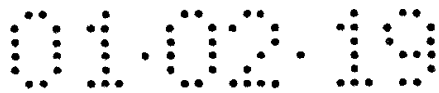
根据现代照相机的规定，可以将照相机透镜分成标准透镜、广角透镜和鱼眼透镜。标准照相机透镜的视角至少为 $\pm 20^\circ$ ，这意味着最原始的成像透镜因其视场的局限而不能包括在根据现代照相机透镜规定的照相机成像透镜内。

重要的是，尽管本发明使用的照相机成像透镜系统具有与现有技术中的传统照相机成像透镜系统非常类似的透镜结构，但本发明使用照相机成像透镜系统是反方向的。因此，工作原理与现有技术中的不同。在传统成像透镜系统中，输入光束来自于透镜系统输入空间的远场，光束传播是从远场至透镜系统，光在焦平面上聚焦成一个像并被位于焦平面上的照相底片或者光电探测器所接收。在本发明中，使用具有类似透镜结构的照相机成像透镜系统。但是，光沿反方向传播，输入空间转换成输出空间。

如图 5 所示，光束减缩器 18 将具有初始偏转角 θ_0 的准直良好的光束 26 聚焦到照相机成像透镜系统 84 的焦平面 86 上。照相机成像透镜系统 84 将具有较大偏转角 θ 和所需光束性能参数的光束 32 输出到远场 38。在近场 36，光束 32 的质量不重要。

以下说明照相机成像透镜系统 84 的工作原理，以及为什么反方向使用传统的照相机成像透镜系统可以提供较大的输出偏转角。照相机成像透镜系统 84 中最重要原理基于经典几何光学中众所周知的共轭原理。根据共轭原理，焦平面上的点和成像透镜系统输出空间中的点构成一对共轭点。另外，焦平面上的每一点都与输出空间远场中的输出光束方向成一一对应关系。

在本发明中，焦平面 86 是输入面，远场 38 是输出空间。当沿反方向使用成像透镜系统时，光从焦点射出，被成像透镜系统接收，然后沿与成像过程相同的路径反方向传送到光源点。当把广角照相机成像透镜系统反方向用作成像透镜组件 84 时，远场 38 中的输出光束 32 将具有较大的输出偏转角 θ 。本发明尝试了照相机透镜系统 84 的几种可能的实施例，包括照相成像透镜系统和数字成像透镜系统。照相成像透镜系统是模拟成像系统，它在焦平面上设计放置照相底片。数字成像透镜系统在其焦平面上设计放置一数字光电探测器。



注意，在许多情况下，同时拥有以下两个特征的特殊结构的照相机成像透镜系统 84 在本发明实施例 80 中特别有用。

1. 照相机成像透镜系统 84 可以分成两个分组件。第一分组件 88 起正透镜组件的作用。正透镜组件具有聚焦能力，并且经过正透镜组件的窄光束向中央光轴偏转。因此，第一分组件 88 将窄光束 92 导向系统 80 的光轴 66，并在标号 94 处与光轴 66 相交。第一分组件 88 提供了第一级光束偏转。第二分组件 90 起负透镜的作用，并进一步提供了第二级光束偏转。第二分组件 90 离开第一分组件 88 一适当的距离。在窄光束 92 离开第一分组件 88 并与光轴 66 相交后，窄光束 92 进入第二分组件 90。第二分组件 90 以增大的角度引导窄光束 92 远离光轴 66。第二分组件 90 为光束偏转提供一个增大的阶段。由于输出光束 32 发散而远离光轴 66，并且第二分组件 90 大于第一分组件 88，所以输出光束 32 在远场 38 中的最终偏转角可以很大，达到 $\pm 90^\circ$ 。

2. 在第三实施例 80 的几何条件下，入射第一透镜组件 88 的光束 28 总是一窄光束。这是因为光束减缩器 18 的焦距一般比焦平面 86 至第一分组件 88 之平面的距离大得多。当入射光束 28 较窄时，它将在通过透镜系统 84 的整个光路期间保持在一较窄的区域内。众所周知，透镜像差对窄光束的影响比对宽光束的影响小得多，这将导致在远场 38 中提供质量很好的输出光束。

另外，根据几何光学的基本原理，可以将正透镜组件的像差和负透镜组件的像差设计成相互大大抵消。这可以通过选择适当的几何和材料参数来实现。结果是光束方向测绘仪 16 可以同时提供具有大偏转角和高质量的光束。

一例这样的透镜系统是具有反焦结构的照相透镜组件。依照标准定义，反焦照相机透镜组件具有一负的透镜分组件，后跟一正的透镜分组件，两者分开一段距离，致使透镜组件的后焦距大于透镜组件的有效焦距。反焦照相机透镜组件是许多广角照相机成像透镜的基础。如上所述，本发明是沿反方向使用反焦照相机透镜组件的，也就是说，光束首先进入正的透镜组件。

另一例同时满足这些条件的系统是将作为第一分组件 88 的 Erfle 透镜组件与作为第二分组件 90 的负透镜组件组合在一起，形成一反焦透镜系统，如图 5 所示。反焦结构包括一负的透镜组件和一正的透镜组件。Erfle 透镜组件包括 6 个正的和负的透镜元件，它具有总体上正的聚焦能力。Erfle 透镜组件能够接收一窄的输入光束，并沿整个光路保持较窄。Erfle 透镜组件提供相对较大的第一级偏转。作为第二分组件 90 的具有较大尺寸的负透镜将使偏转光

束偏转增大，并提供一负透镜，用于抵消 Erfle 透镜组件的像差。

在经典望远镜系统中，已将 Erfle 透镜组件以及众多类似的透镜组件用作镜头。当反方向使用时，反焦结构是广角照相机透镜中的一项重要技术。但是，现有技术中不存在将望远镜接目镜与一负透镜结合以便为动态控制光束偏转提供两级偏转的反焦结构。

第三实施例

图 6 所示的第三实施例 70 与第一实施例 10 相同，除了用现代照相机成像透镜系统 76 代替第一实施例 10 的特种球面透镜 46。由于现代照相机成像透镜系统 76 具有平面型焦面，所以光纤板 74 必须具有平面型表面 78，以便与传统的透镜系统 76 耦合。因此，等式 (2a) 和 (2b) 变成

$$\tan\alpha = x/F \quad (6a)$$

$$\tan\beta = y/F \quad (6b)$$

其中 F 是输出透镜系统 76 的焦距。现代照相机成像透镜系统与第二实施例 80 中描述的相同。

注意，一般在几何光学透镜系统中有许多可选择的器件。适当使用任何数量的可选择器件可以增强系统性能，但不改变系统的基本工作原理。这类器件的例子包括用于改变系统光轴方向的平面反射镜、用于控制总能量流并减小背景的光阑、用于扩大系统尺寸的转象透镜，以及起光阑作用的场透镜。

因此，已知的显示和说明满足上述目的的、用于对宽视场光方向进行动态控制的设备。

由于不脱离本发明范围可以对本发明的内容作某些变化，所以上述说明中所述的以及附图中显示的所有内容都被解释为说明性的，不是限制性的。

说明书附图

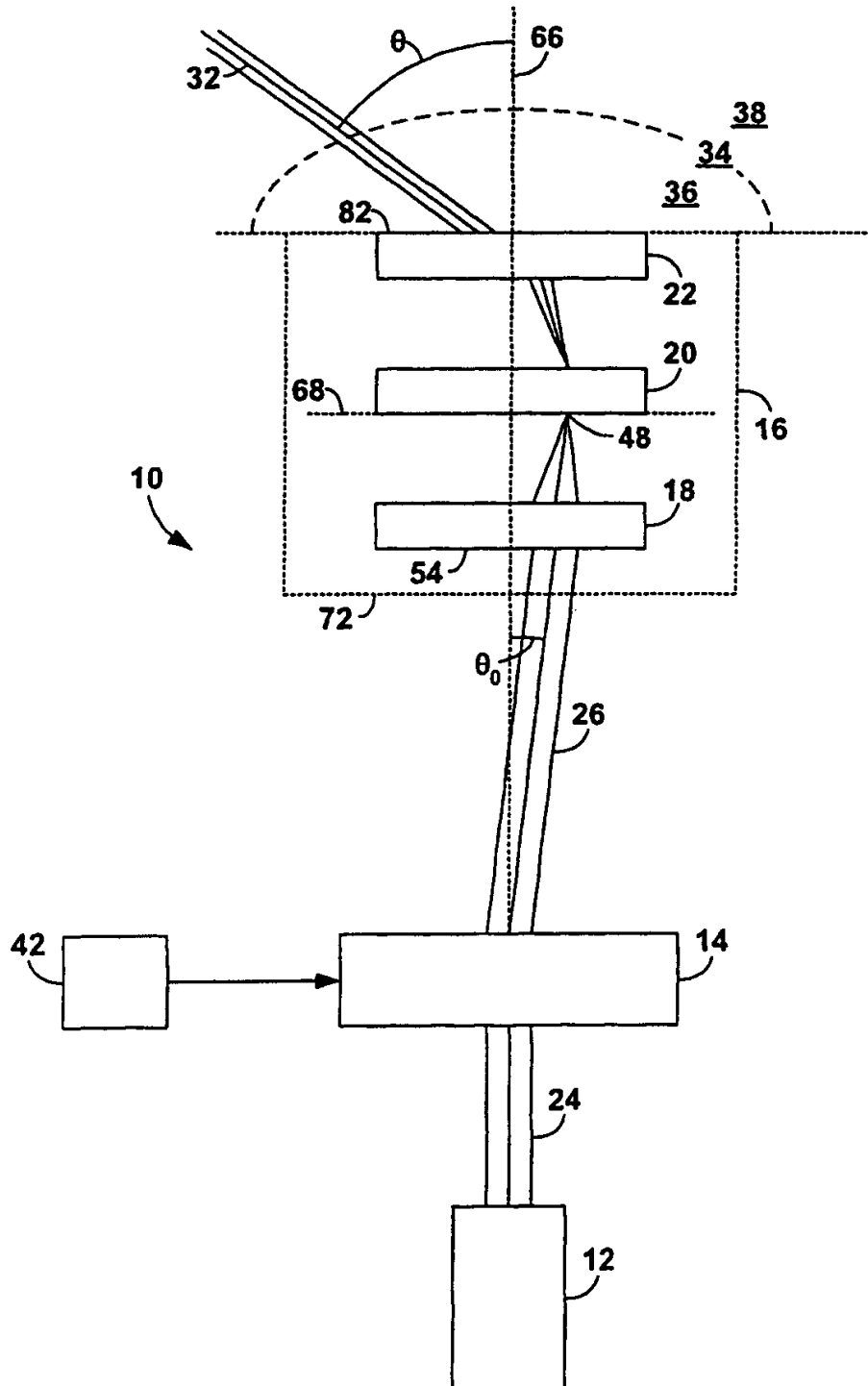


图 1

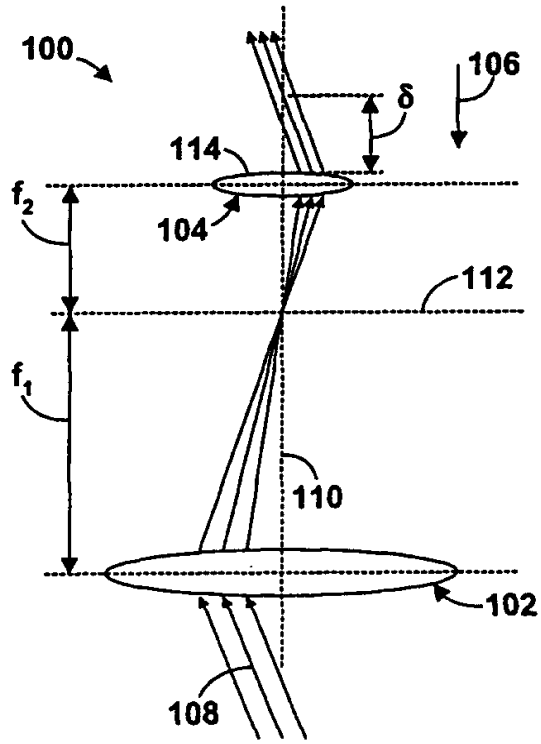


图 2

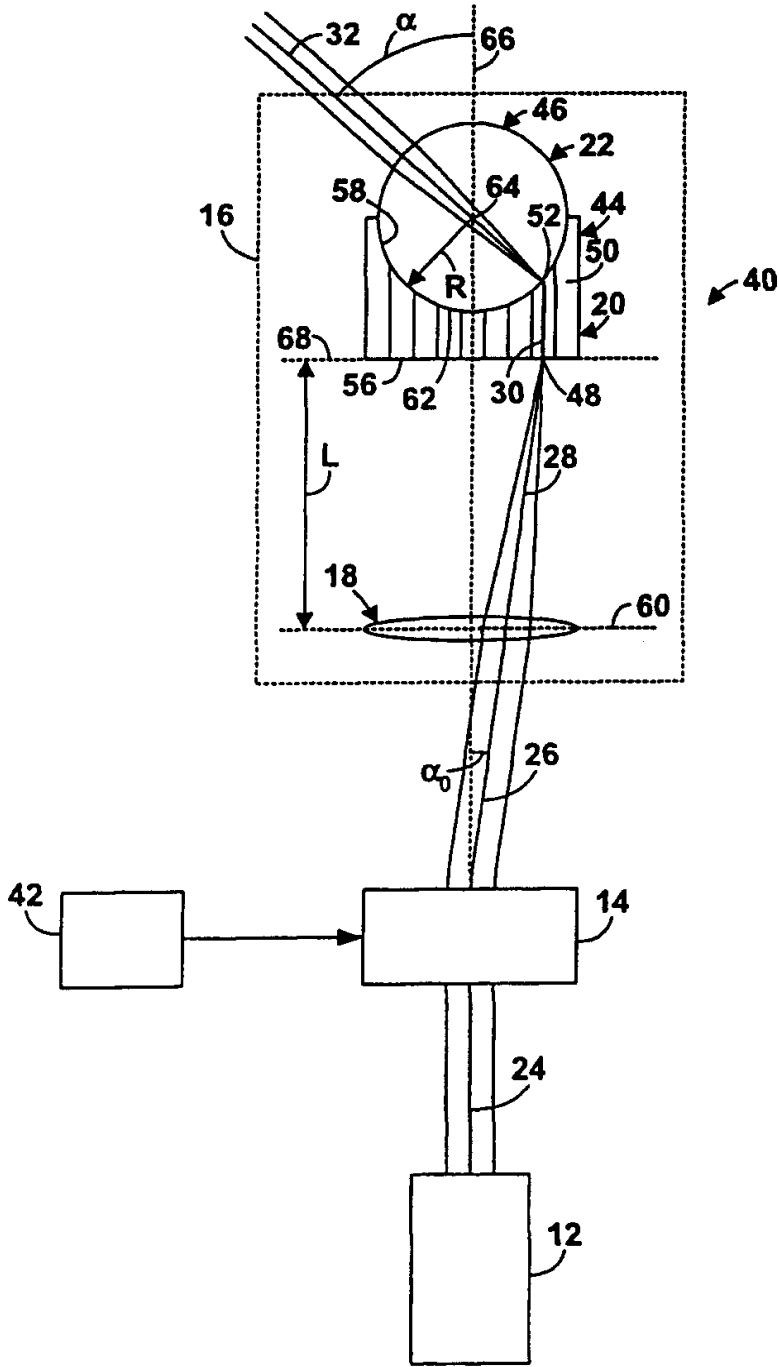


图 3

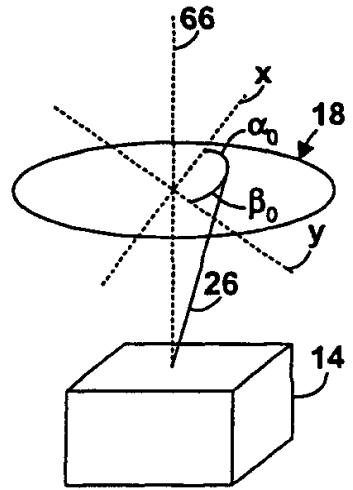


图 4

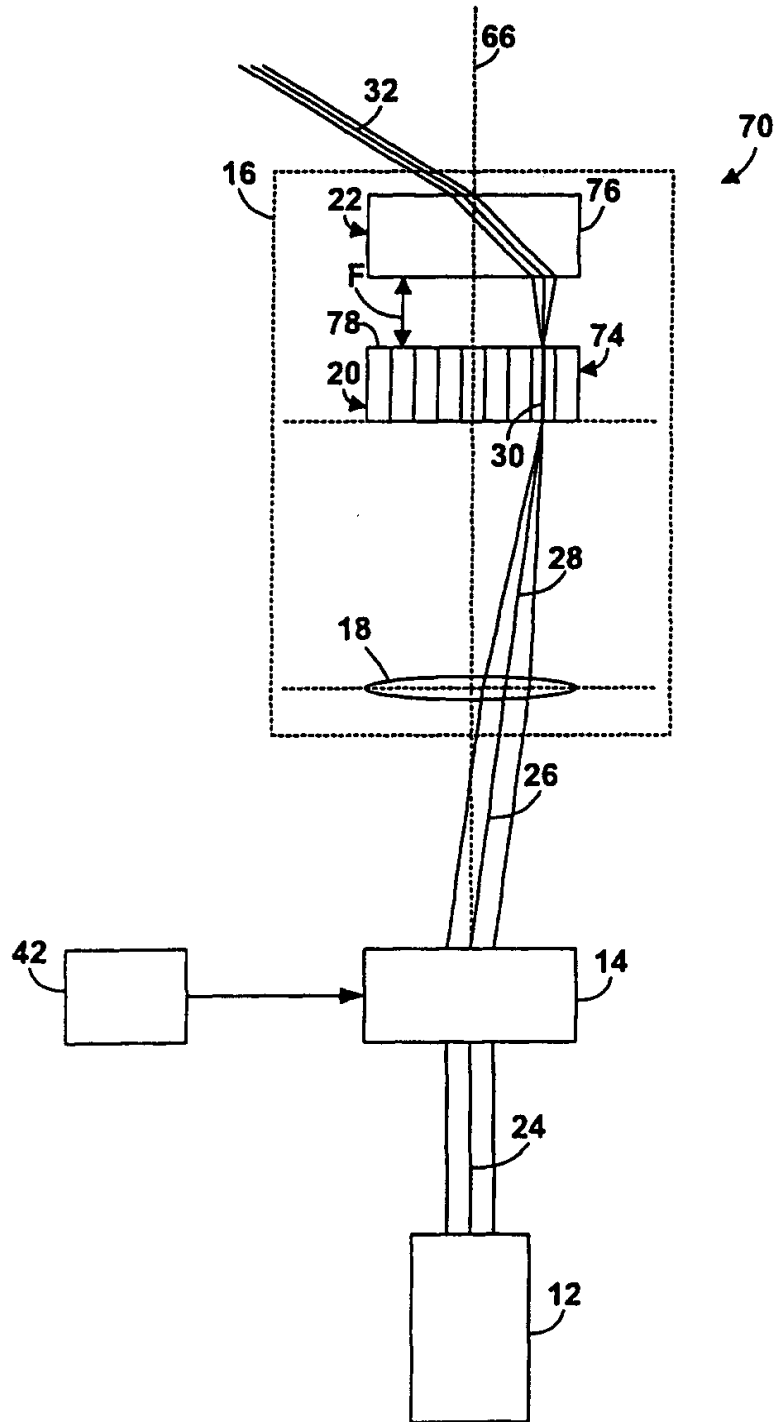


图 6