[19]中华人民共和国专利局

[11] 公开号 CN 1128063A

[12] 发明专利申请公开说明书

[21]申请号 94192947.7

[51]Int.Cl[6]

[43]公开日 1996 年 7 月 31 日

F21V 7/08

[22]申请日 94.7.7

[30]优先权

[32]93.7.30 [33]US[31]08/099,953

[86]国际申请 PCT/US94/07630 94.7.7

[87]国际公布 WO95/04240 英 95.2.9

[85]进入国家阶段日期 96.1.30

[71]申请人 考金特光学技术公司

地址 美国加利福尼亚州

[72]发明人 卡尔海因茨·施特罗布尔

格伦·S·贝克

道格拉斯·M·布伦纳

罗伯特·L·皮乔尼

[74]专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

代理人 蹇 炜

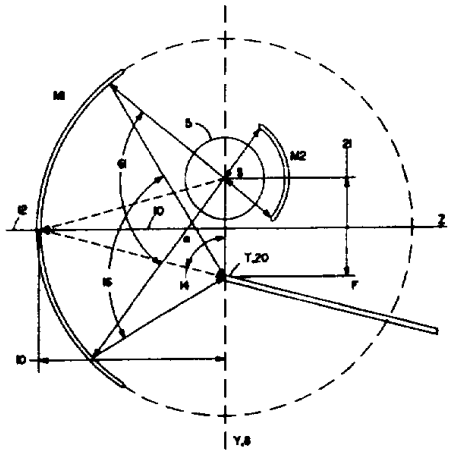
F21V 7/09

权利要求书 7 页 说明书 20 页 附图页数 11 页

[54]发明名称 利用椭球面反射镜的光学会聚和收集系统

[57]摘要

一种用来收集和会聚电磁辐射的离轴光学系统利用了一个设计得使放大率和光学像差的效率最小化的椭球面反射镜。一个具有位在长轴（8）上的第一和第二焦点（F1、F2）的椭球面反射镜（M1，P）被一个光源（S）所照明，并被目标（T）的接纳锥（16）所包含。在一个实施例中，布置了单个椭球面反射镜，使其长轴与其几何光学轴（12）不重合，并与目标的光轴（14）有一个大于零度的夹角，以明显地减小所形成的聚焦像的距离，并获得接近于 1 的平均放大率，从而在目标上保持光源的亮度。借助于一个轮胎形曲面的或球面的原路返回反射镜（M2）的配合，增加了目标所在处的辐射通量。



权 利 要 求 书

1 、一种用来会聚和收集电磁辐射的系统，该系统包括一个源，从该源发出的辐射被一个反射镜收集并重新引导到一个目标上，以在目标上提供所收集的辐射的最大通量密度，其中，

该反射镜有一个椭球面表面部分，该椭球面表面部分相对于目标和辐射源都具有凹的曲率，该反射镜还有一个有效椭球面反射部分，该部分定义为椭球面部分中被源所辐照并且被目标的接纳锥所包含的那个部分，该有效椭球面反射部分有一个含有第一和第二焦点的长轴，这两个焦点被椭球面表面部分的椭球面曲率所确定，有效椭球面反射部分还有一个不与长轴重合的光轴；

辐射源放置在有效椭球面反射部分的第一焦点的邻近，以在有效椭球面反射部分的第二焦点处产生一个基本上被聚焦的源的像；以及

目标放置在第二焦点的邻近，以接收被有效椭球面反射部分所收集然后重新导向的辐射，该目标有一根放置得与有效椭球面反射部分的主轴有一个大于零度的夹角的光轴。

2 、根据权利要求1 的系统，其中有效椭球面反射部分包括一个基本为圆形的第一横截面和一个基本上为椭圆形的并垂直于第一横截面的第二横截面。

3 、根据权利要求2 的系统，其中辐射源包括一个带有管壳的灯，并且有效椭球面反射部分的第一和第二横截面形状被修正得能够补偿灯管壳在聚焦像中所引起的光学像差。

4 、根据权利要求1 的系统，其中辐射源包括一个

带有管壳的灯，并且在有效椭球面反射部分和目标之间放置了一个校正光学元件，以补偿灯管壳在聚焦像中所引起的光学像差。

5、根据权利要求1的系统，其中有效椭球面反射部分形成了反射镜的全部椭球面表面部分。

6、根据权利要求1的系统，其中该系统产生一个放大率近似为1的聚焦像。

7、根据权利要求1的系统，其中电磁辐射源是从一个由交流电弧灯、直流电弧灯、气体放电灯、灯丝灯、半导体、发光二析管、光纤和波导等所组成的光源组中选出的一个光源。

8、根据权利要求1的系统，其中由源发出的辐射是从一个由脉冲辐射、连续波辐射、相干辐射、非相干辐射、单色辐射、宽带辐射、和窄带辐射等所组成的辐射组中所选出的一种辐射。

9、根据权利要求1的系统，其中目标是从一个由至少一根其近端被切割成与该近端的光纤纵轴成直角的光纤和至少一根其近端被切割成与该近端的光纤纵轴成非直角的光纤所组成的目标组中选出的一个目标。

10、根据权利要求1的系统，其中该系统还包括一个后反射镜，它放置在光源后方并基本上面对反射镜的有效椭球面反射部分的位置上，用来反射从源发出的辐射，使之返回并经过源而射向有效椭球面反射部分，该后反射镜有一个相对于源是凹的表面，其形状是从一个由基本上为轮胎面形状、基本上为球面形状和非球面轮胎面形状等所组成的形状组中选出的一种形状。

11、根据权利要求10的系统，其中后反射镜和有效椭球面反射部分的表面经过光学处理，以控制辐射

通量。

12、根据权利要求10的系统，其中该系统还包括一个外壳，该外壳侧面的内表面形成至少一个基本上为海螺形腔，该海螺形腔部分地由组成反射镜椭球面表面部分的第一椭球面内表面和组成后反射镜的第二弧形内表面所确定。

13、根据权利要求12的系统，其中的外壳还包括固定在外壳侧面上的一个顶面和一个底面，以形成一个能够充以加压气体的密封容室。

14、根据权利要求12的系统，其中位在第一椭球面内表面上的有效椭球面反射部分和位在第二弧形内表面上的后反射镜的相对位置安排使得椭球面内表面的第一焦点近似地重合于第二弧形内表面的原点。

15、根据权利要求14的系统，其中第一椭球面内表面的有效椭球面反射部分和外壳第二弧形内表面的后反射镜在一个边上联结在一起，以形成一个位在外壳的内表面上的连续反射镜。

16、根据权利要求12的系统，其中的外壳还包括一个位在外壳的辐射收集端处的窗口，用来让辐射从外壳内部通过，射到由至少一条有一个近端的光纤所组成的目标上，该有近端的光纤是从一个由位在外壳内部的有一个近端的第一光纤、位在外壳外部的有一个近端的第二光纤、和直接与外壳相邻的有一个近端的第三光纤所组成的有近端的光纤组中选出的一种有近端的光纤。

17、根据权利要求16的系统，其中的窗口、后反射镜的表面、和有效椭球面反射部分至少经过一种光学处理，以控制辐射通量。

18、根据权利要求16的系统，其中的窗口是一

个平面表面，它在外壳的辐射收集端沿着有效椭球面反射部分的长轴放置，该平面表面是从一个由透明非成像光学元件和透明成像光学元件所组成的光学元件组中选出的一个元件所形成的。

１９、根据权利要求１６的系统，其中的窗口是一个位在平面表面内部的透明、非成像的半球面窗口，该半球面窗口的中心在有效椭球面反射部分的第二焦点处。

２０、一种用来会聚和收集电磁辐射的系统，该系统包括一个源，从该源发出的辐射被收集并重新引导到至少两个目标，即第一目标和第二目标上，以在该第一和第二目标上提供所收集辐射的最大通量密度，该系统包括：

一个第一反射镜，它含有一个第一椭球面表面部分，其曲率相对于第一目标和辐射源都是凹的；还含有一个第一有效椭球面反射部分，该部分是第一椭球面表面部分上同时被源所辐照和被第一目标的接纳锥所包含的那个部分，该第一有效椭球面反射部分有一个第一长轴，其上有由第一椭球面表面部分的椭球曲率所确定的第一和第二焦点，第一有效椭球面反射部分还有一条不与第一长轴相重合的光轴；

一个第二反射镜，它含有一个第二椭球面表面部分，其曲率相对于第二目标和辐射源都是凹的，还含有一个第二有效椭球面反射部分，该部分是第二椭球面表面上同时被源所辐照和被第二目标的接纳锥所包含的那个部分，该第二有效椭球面反射部分有一个第二长轴，其上有由第二椭球面表面部分的椭球曲率所确定的第一和第二焦点，第二有效椭球面反射部分还有一条不与第二长轴相重合的光轴；

第一和第二反射镜互相间有一个角度，使得第一有效椭球面反射部分的第一焦点近似地重合于第二有效椭球面反射部分的第一焦点；辐射源位在第一和第二有效椭球面反射部分的相重合的第一焦点附近，从而分别在第一和第二有效椭球面反射部分各自的第二焦点处产生源的基本上被聚焦的像；

第一目标被放置在第一有效椭球面反射部分的第二焦点附近，以接收被第一有效椭球面反射部分收集然后重新导向的辐射；以及，

第二目标被放置在第二有效椭球面反射部分的第二焦点附近，以接收被第二有效椭球面反射部分收集然后重新导向的辐射。

21、根据权利要求20的系统，其中第一和第二目标各自有一根分别与第一和第二有效椭球面反射部分的长轴有大于0°的夹角的光轴，从而分别在第一和第二目标处保持了光源的亮度。

22、根据权利要求20的系统，其中第一有效椭球面反射部分形成了第一反射镜的全部椭球面表面部分，第二有效椭球面反射部分形成了第二反射镜的全部椭球面表面部分。

23、根据权利要求20的系统，其中第一和第二反射镜是邻接的。

24、根据权利要求20的系统，其中第一和第二反射镜是用单块材料组成的。

25、根据权利要求20的系统，其中的第一和第二有效椭球面反射部分各自都有一个基本上为圆形的第一横截面和一个基本上为椭圆形的垂直于第一横截面的第二横截面。

２６、根据权利要求２５的系统，其中的辐射源包括一个带有管壳的灯，第一和第二有效椭球面反射部分各自的第一和第二横截面形状被修改得能够补偿由灯管壳在聚焦像中所引起的光学像差。

２７、根据权利要求２０的系统，其中的辐射源包括一个带有管壳的灯，该系统还包括位在第一有效椭球面反射部分和第一目标之间的第一校正光学元件和位在第二有效椭球面反射部分和第二目标之间的第二校正光学元件，以分别补偿第一和第二目标处的聚焦像中由灯管壳引起的光学像差。

２８、根据权利要求２０的系统，其中该系统产生一个放大率接近于1的聚焦像。

２９、根据权利要求２０的系统，其中的电磁辐射源是从一个由交流电弧灯，直流电弧灯、所体放电灯、灯丝灯、半导体、发光二极管、光纤和波导等所组成的光源组中选出的一个光源。

３０、根据权利要求２０的系统，其中由源发射的辐射是从一个脉冲辐射、连续波辐射、相干辐射、非相干辐射、单色辐射、宽带辐射和窄带辐射等所组成的辐射组中选出的一种辐射。

３１、根据权利要求２０的系统，其中第一和第二目标各自是从一个由至少一根其近端被切割成与该近端的光纤纵轴成直角的光纤和至少一根其近端被切割成与该近端的光纤纵轴成非直角的光纤所组成的目标组中选出的一个目标。

３２、根据权利要求２０的系统，其中该系统还包括一个后射镜，它放置在源的后方、面对着第一和第二有效椭球面反射部分，并与它们之间基本等距的位置处，

用来反射从源发出的辐射，使之返回经过源并射向第一和第二有效椭球面反射部分中的最少一个反射部分上，该后反射镜的表面曲率相对于源是凹的，它包括一个具有从由基本上为轮胎面形状、基本上为球面形状和非球面轮胎面形状所组成的形状组中所选出的一种形状的部分。

33、根据权利要求32的系统，其中后反射镜以及第一和第二有效椭球面反射部分经过光学处理，以控制辐射通量。

说　　明　　书

利用椭球面反射镜的光学会聚和收集系统

本发明的领域

本发明涉及收集和会聚电磁辐射的系统，特别是用来向光纤这样的小目标提供高辐亮度的系统。

本发明的背景

普通对电磁辐射的收集和会聚设计着重于最大限度地收集和重新引导从一个近似为点源的辐射源发出的辐射量。因为对于辐射是从一般的非相干源发出的情形，普通的设计（其重点是收集和重新引导最大可能的辐射量）和把辐射通量集中到尽可能小的光斑上这一目标之间存在着固有的矛盾，所以基于这些设计来产生小光斑尺寸必然导致减小辐射通量。所以小尺寸光斑像只有在相应地减小通量密度的条件下才能够获得。

存在有两种常用的以收集和聚焦辐射为目的的基本光学设计。第一种是如图1 所示的聚光透镜系统。聚光透镜有一些问题，其中包括产生色差和球差，以及装置所需的空间比较大。在以往技术的系统中也有利用椭球面反射镜的（如图2 A 所示）。在以往技术中，电磁辐射源放置在第一焦点处，而目标（例如光纤束）则放置在第二焦点上，同时光纤轴1 8 与椭球的长轴1 2 相平行。第一焦点和第二焦点是和光轴共线的，其中光轴和长轴是同一个轴。这种系统可以称之为“共轴”系统，它有一些缺点，包括高成本；高于所希望的像放大率，

从而减小了象光纤这样的小目标能收集到的通量密度；辐射的遮拦减小了总的可收集通量；以及不能充分利用反射镜的表面等。如上所述，共轴椭球面反射系统倾向于以减小通量密度为代价来最大可能地重新引导来自一个点源的通量。

美国专利NO．4，757，431（图3A）描述了一种利用“离轴”凹球面反射镜的会聚和收集系统，它增加了照射小目标并可被小目标收集的通量大小。该专利所描述的离轴凹球面反射镜存在某些缺点：（i）存在光学像差和平行于离轴位移方向的像散以及（ii）存在要求离轴距离最小化的固有的物理限制。像散的效果是减小系统的集光效率，从而减小目杆上所收集的通量。对源和目标间的离轴距离最小化（从而也就是要使像散像差最小化）的要求给其中所描述的实施例中源和目标的物理尺寸加上了限制。离轴系统集光效率的改进可以通过用一个轮胎形反射镜（图3B）代替球面反射镜来达到，这种轮胎形反射镜可以减小离轴结构所固有的像散和光学象差。然而，轮胎形的离轴系统中的固有限制阻碍了最大集光效率的获得。

下面要说明的本发明是一种“离轴”的椭球面辐射会聚和收集系统。比较图2B和图2A所示的两个系统，对于离轴系统来说存在着下述的离轴和共轴系统之间的一些重要区域：（i）目标的光轴14总是位在与椭球长轴21有一个大于零的角度的位置上，而源S和目标T是沿着该主轴21分开一个源－目标距离ST的；（ii）椭球面反射镜M1的反射部分P的光轴或几何轴12与长轴21不重合，这与图2A的共轴系统不同，后者的长轴和椭球面的几何轴或光轴是重合的。与图3

A 所示的以往技术“离轴”会聚和集光系统相比，本发明（图2 C）是一个更准确的单位放大率成像系统，它在目标上保持了源的亮度，从而在根本上改善了源和目标之间的辐射耦合。

本发明概述

本发明是一种对美国专利NO．4，757，431 所公开的系统以及用椭球面反射镜收集和会聚电磁辐射的以往技术的改进。在使光学像差和放大率最小化方面，本发明克服了其他以往技术布局的限制。在优选实施例（图4）中，这是通过用一个专门设计的椭球面反射镜来代替上述反射镜而实现的，该专门设计的椭球面反射镜具有一对对称于反射镜光轴12 的第一焦点F 1 和第二焦点F 2，并且反射镜的光轴与椭球表面的短轴10 相重合，而反射镜M1 即是该椭球表面的一部分。第一和第二焦点分别确定了电磁辐射源S 和目标T 的位置，而光纤轴14 以一个大于0 ° 的角度与长轴相交。该系统以源的1 ： 1 的成像关系在目标处保持了源的亮度。在另一个实施例中，本发明的光学系统只利用了椭球面反射镜M1 的一个有效反射部分P （见图2 C），该部分的定义是既被源照明又被目标的接纳锥所包含的那个部分（图2 B）。

虽然本发明中关于源、目标和反射镜的布局看来和美国专利NO．4，757，431 所描述的离轴布局（图3 A）是相似的，但本发明有以下特点：（i）给出了能较好地保持源亮度的成像系统；（ii）当选择一组特定的关于源、目标和椭球面反射镜的参数时，能获得近似等于1 的放大率；（iii）对“离轴”位移

不加任何限制；以及（ｉｖ）可以使小目标能够收集的通量密度最大化。与其他利用椭球面反射镜的光学系统不同，在那里光轴与长轴重合（图２Ａ），并且第一和第二焦点沿光轴放置；在本发明中，目标的光轴１４（定义为目标的接纳锥的中心轴）是相对于长轴以一个大于０°的角度放置的。这样，该系统不仅能够在单位放大率方面得到优化，而且成像距离相对于以往技术的“共轴”椭球布局来说也被最小化了。这种改进的离轴布局的性能在以下方面从本质上优于以往技术：（ｉ）它减小了光学像差（即以往技术离轴系统中的像散），从而即改善了系统的成像和集光能力，又能容易实现把准点状电磁辐射源所发射的辐射会集到小目标上；（ｉｉ）在优选实施例中它通过保持单位放大率而使导向小目标并能被该小目标接收的辐射通量最大化；（ｉｉｉ）它使美国专利ＮＯ．４，７５７，４３１所描述的“离轴”光学系统或者“共轴”光学系统在电磁辐射源和小目标之间的集光效率和耦合效率最大化；以及（ｉｖ）它允许集光效率与源－目标距离无关。

在一个实施例（图４）中，安排了其长轴与目标光轴之间有一个夹角的单个椭球面反射镜，使得既可以大为减小聚焦像的距离，又可以获得接近于１的平均放大率。目标放置在十分靠近聚焦像的位置上，该位置处可以有最大的通量密度。这和以往技术（图２Ａ）有很大的不同，利用本发明平均放大率近似等于１，并且聚焦像的距离被最小化了。借助于一个设计成轮胎形状或球面形状的原路返回反射镜Ｍ２，目标位置处的辐射通量可以被提高，一种最优化的轮胎面将在目标处产生最大的来自源的亮度，从而产生最大的通量密度。

在第二个不同的实施例中，组成本发明光学系统的各个元件安排在一个海螺形的外壳中（见图7 A 和图7 B），该外壳的内表面包括一个原路返回反射镜，一个有效椭球面反射部分和一个窗口。这个外壳可以永久性地容纳一个独立的短弧灯（未示出），或者容纳一个短弧灯辐射源（图7 B），这时该外壳被完全密封并充有加压的气体，以保持光源的亮度。或者，如图7 A 所示，可以在外壳顶部做出一个与外壳的圆形部分相同心的圆开口，以便使用可拆卸地插入式灯具。在这种外壳中，被聚集的辐射的像通过一个窗口耦合到小目标上，该窗口形成在外壳上，它或者是一个成像元件或非成像元件的平面表面，或者是一个半球面的非成像窗口，以适配于容纳并固定光纤目标。

最后，在第三实施例中（图8），本发明使用了一个复合椭球面反射镜M3，它由两个椭球面反射面M3 a 和M3 b 组成，它们有一个公共的焦点F 1，辐射源就位在该焦点处。在该情形中，分别位在两个反射面各自的另一个焦点F 2 处的两个目标T 1 和T 2 被高通量密度的辐射所照射。而且，由于本发明缓解了以往技术对源－目标距离极小化的要求，所以可以在复合椭球面反射镜布局中容易地加进一个轮胎面或球面的原路返回反射镜M4，以保持两个目标上的亮度。

附图的简单说明

图1 是以往技术的共轴聚光透镜系统的原理图。

图2 A 是以往技术的共轴椭球面反射系统的原理图。

图2 B 是判别一般椭球面反射系统是否离轴的原理测试图。

图2 C 是图2 B 原理测试的三维表示和本发明的一般表示。

图3 A 是使用球面反射镜的以往技术离轴系统的透视图。

图3 B 是使用轮胎面反射镜的以往技术离轴系统的透视图。

图4 是使用一个椭球面反射镜的本发明第一实施例光学系统的透视图。

图5 A 是图4 光学系统在y －z 平面中的原理图，它示出了一个带有管壳的源、一个光纤目标、和一个原路返回反射镜的布局。

图5 B 是图5 A 光学系统在x －z 平面中的原理图，它示出了可利用的光的最小和最大角度。

图6 A 是本发明第一实施例的一种变体的原理图，它示出一个离轴系统，其中椭球面反射镜只有一个有效反射部分得到了利用，在该情形中椭球面反射镜的光轴与椭球的长轴重合，但与目标光轴不重合。

图6 B 是图6 A 实施例的原理图，综说明在椭球面反射镜光轴与光纤目标的纵轴相重合但与目标光轴不重合的情形下，对椭球面反射镜的有效反射部分的利用情况。

图7 A 是本发明第二实施例的原理图，它示出位在海螺形外壳内的离轴光学系统的布局，该外壳上有一个透明的并相对于长轴倾斜的平面表面，使得所得到的像形成在外壳的外面。

图7 B 是本发明第二实施例的原理图，它示出位在海螺形外壳内的离轴光学系统的布局，该外壳上有一个半球面窗口，以适配于接纳光纤目标。

图8 是本发明第三实施例的原理图，它示出复合椭球面反射镜离轴光学系统的布局，用来把辐射源的辐射提供给两个不同的目标。

本发明的详细说明

在下面说明性的而不是限制性的说明中，为了便于对本发明透彻的理解，给出了例如特定尺寸，数量、光学元件等等的具体细节。然而，对于熟悉本技术领域的人们来说，可以用不同于这些具体细节的其他实施例来实现本发明。在其他方面，省去了众所周知的器件和技术的详细说明，以防止那些不必要的细节干扰对本发明的说明。

根据本发明构筑的会聚和集光系统如图4 所示，它由包括一个源S 、一个主反射镜M1 和一个目标T 的三个主要元件组成。不过，为了改进该系统的性能，最好再用上第四个任选的元件：原路返回反射镜M2 。

（1 ）源：一个电磁辐射光学点源。在本发明的内容中，点源S 是任何一种紧凑型的电磁辐射源，其角度扩展是小的，并向4 π立体角的范围内发射通量。典型地，这种源S 的一维角尺寸不大于0 . 1 r a d （弧度）。例如，典型的源S 可以是一个位在凹同镜前方约5 0 m m 处的、放电弧隙约为1 m m 的电弧灯。实际上，这种源S 是一个扩展源。在优选实施例中，这是一个紧凑型的氙弧灯，放电弧隙≤1 m m，带有石英灯管壳或含有石英窗口的陶瓷管壳5 。为了得到系统的最佳性能，可以使用任何与目标T 相比有相近尺寸或较小尺寸小的电磁辐射源S （例如，光纤，灯丝灯，气体放电灯、激光器，发光二极管，半导体等）。这里，电磁辐射源S

的尺寸最好定义为：表征源S 的亮度（通量密度除以扩展角）的强度分布的1 / e 强度之间的距离。亮度与放电弧隙的尺寸有关，它决定了耦合效率的理论极限。对于电弧灯的特殊情形，强度分布近似是轴对称的，它是电学参数、电极形状和成分、气压、放电弧隙尺寸和气体成分等的复杂函数。对于具有非球面的弯曲管壳5 的电弧灯这种特殊情形，源的实际相对位置和强度分布被起着透镜作用的管壳5 的形状所改变，所以通常需要一个补偿光学元件。实现光学补偿的方法既可以是修改椭球面反射镜M1 的设计，以补偿由管壳5 所引起的像散，也可以在反射镜M1 和目标T 之间插入一个校正光学元件（见下）。此外，可以在管壳5 上做光学镀膜。以尽量减小菲涅耳（F r e s n e l ）反射，进而使目标T 上可收集的辐射最大，或者对辐射通量进行控制和/ 或滤光。

（2 ）主反射镜：主反射镜M1 反射来自源的电磁辐射并使之聚集在目标T 上。在图2 B 和图2 C 所示的本发明中，主反射镜M1 被确定为一个相对于源S 和目标T 上凹的椭球面表面，它具有一个有效的椭球面反射部分P ，该部分P 既可以包括主反射镜M1 的全部表面，也可以只包括其中一部分表面。根据定义，主椭球面反射镜M1 将有一个第一焦点F 1 和一个第二焦点F 2 ，它们位在椭球面的长轴8 上，并被短轴1 0 均分。在本发明的优选实施例中，如图4 和图5 A 所示，反射镜M1 的光轴1 2 被选定为与椭球的短轴和它的内何轴（即平分源－目标分离距离的法线）相重合，这时目标T 的位置可使得放大率为1 （见下）。源S 和目标T 最好与椭球面的短轴1 0 等距离，并分别位在F 1 和F 2 处。

虽然反射镜M1 的光轴1 2 可以与椭球的短轴1 0 相重合，但这不是必要的，而是取决于（i ）实际上选择了椭球面反射镜M1 上的哪个有效反射部分P 来把光反射并聚集到目标T 上，（i i ）目标T 住在哪个角度上，（i i i ）在什么放大率下给定的目标T 能收集到最大的通量密度。对于光纤目标T 的情形，后者将取决于光纤相对于源S 的相对尺寸和数值孔径。

例如，在图6 A 和6 B 所示的另一个实施例中，本发明的离轴光学系统也可以安排成类似于以往技术的共轴椭球面反射镜系统，其中整个反射镜的光轴1 2 与椭球的长轴8 相重合。然而，这种布局还是定义了一个离轴的光学系统，这是因为目标的光轴1 4 并不与椭球的长轴相重合，而是与之有一个大于0 ° 的夹角α（注意，对于光纤目标而言，目标的光轴定义为接纳锥1 6 的中心轴或平均方向，它是正比于光纤数值孔径的全接纳角的角平分线）。在这情形中，椭球面反射镜M1 上既被源S 照明又被目标T 的接纳锥1 6 所包含的那个部分P 被叫做椭球面反射镜M1 的有效反射部分P 。一般地说，目标的光轴不重合于反射镜的光轴。而且，象另一个如图6 B 所示的实施例那样，即使反射镜光轴1 2 既重合于椭球的长轴8 ，又重合于光纤目标T 的纵轴1 8 ，但因为光纤目标T 的近端面2 0 的取向与光纤纵轴1 8 及反射镜光轴1 2 有一个大于0 ° 的夹角α，所以仍然定义了一个离轴光学系统。

电磁辐射源S 位在F 1 处，因此它将在F 2 处形成一个像，点F 2 确定了目标T 应该放置的点。在最优情形中，如图5 A 所示，对于给定的源－目标分离距离2 1 ，通过选择短轴1 0 的适当长度，然后通过以使得收

集和反射立体角之间的重叠程度达到最大的方式来布置目标的光轴角度，来把反射镜M1 设计成能保持单位放大率。为了在一个优化系统中获得接近于1 的放大率，随着源－目标分离距离21 的增大，角度α应该减小。

椭球面反射镜M1 的设计特性对源－目标距离和所用源S 和目标T 的类型是敏感的，因此它必须设计得匹配于具体所用的源S 和目标T 。影响椭球面设计的目标T 的参数包括：（i ）它的尺寸；（i i ）它的形状；（i i i ）源－目标分离距离21 ；以及，对于光纤目标T 来说，（i v ）它的数值孔径，（v ）它的直径；和（v i ）光纤近端面20 处的光轴相对于椭球长轴8 的取向角α。影响椭球面设计的源S 的参数包括：（i ）它的尺寸、强度分布和亮度；（i i ）发射光的有效立体角；（i i ）由源的管壳与所引起的光学像差；以及（i v ）管壳的尺寸。

对于具有非完善球面形（实际中经常是非球面形的）的管壳5 的光源S 的情形，所造成的光学像差和像散可以通过专门设计一种“椭球面”反射镜M1 来减小，这种反射镜的第一横截面是椭圆，而第二横截面基本上是一个圆。像差和像散就以这种方式被反射镜M1 的变形了的椭球面形状所抵消。还可以利用插入到反射镜M1 和目标T 之间的光学元件来提供附加的光学校正，在这种光学元件上可以有也可以没有光学或介质镀膜。还有，在对反射镜M1 进行抛光之后还可以对其内表面进行光学处理，以增加反射或对辐射通量进行控制和/ 或滤光。

（3 ）目标：目标T 是一个小物体，它需要用最大可能的电磁辐射通量密度来辐射或照明。在该优选实施例中，它是一条单根光纤，其直径约为1 m m 或更小。

光纤的性质（即其直径和数值孔径）必须匹配于由源S和主反射镜M1 所组成的系统的光学特性。可以通过在光纤的输入端面上进行附加的处理来增强或控制集光和透光的效率。可以对光纤的输出端面进行附加的处理以对从光纤出射的光进行附加控制。

或者，目标T 也可以是一组光纤，它们或者对称地、或者非对称地排列，具有相似的或者不相似的形状、尺寸、材料和数值孔径。典型的情形是，各光纤的近端面抛光成垂直于光纤纵轴的平面。不过，接近反射镜M1 的端面也可以抛光成一个有角度的平面，其目的是：（i）补偿诸如电弧灯那样的电磁辐射源S 的非对称像，以及由诸如玻璃管壳5 那样的源管壳所造成的任何像散；（i i）改变光纤相对于光学收集系统的相对数值孔径；以及，（i i i）调节光纤目标T 的近端面纵轴相对于长轴8 的角度。

（4）原路返回反射镜：原路返回反射镜M2 反射源S 向后方的辐射并使它重新聚焦通过源S，以通过在原来源S 的辐射分布上叠加一个倒转的强度分布，有效地增强源S 的亮度。在本发明的优选实施例中，原路返回反射镜M2 是一个相对于源S 是凹形的轮胎形反射镜的一部分。在另一个实施例中，原路返回反射镜M2 是球面反射镜的一部分。它的优化设计取决于相对于目标T 尺寸（在光纤目标情形下还有其数值孔径）的源形状和源尺寸，以及对源管壳5 的非球面校正（如果存在有非球面）。还有，可以对原路返回反光镜M2 的表面进行光学镀膜，以增强其反射，或者控制、过滤、和/ 或衰减辐射通量。由于非球面校正随电磁辐射源S 结构的不同而不同，所以轮胎形原路返回反射镜M2 在补偿由

源管壳5 引起的像散方面表现出最大的灵活性。

图4 示出根据本发明第一个优选实施例的源S 、目标T 、和椭球面反射镜M1 的布局。如上所述，辐射源S 是极小的，所以表示成F 1 处的一个点S 。由焦点F 1 上的源S 所发出的辐射入射到反射镜M1 上，然后在F 2 处成一个像，在F 2 点上放置了目标T ，例如光纤的集光面。在该实施例中，F 2 处的像点和位在F 1 处的源S 与反射镜光轴1 2 是等距的。不过在实际中，如上所述，只要适当调节目标T 的取向角，椭球面反射镜M1 上的任一部分都可以被选作为反射镜M1 的有效反射部分P ，用来把光聚集到目标T 上。

源S 可以用一个玻璃管壳5 封装，例如某些类型的电弧灯就有这种典型的管壳（如图5 A 和5 B 所示）。该系统的一个特别的优点就是可以考虑到玻璃管壳5 的直径来确定反射镜M1 的参数，使得可以保持源S 和目标T 之间切实可行的分离距离2 1 。一旦确定了这个源－目标分离距离2 1 之后，就可以选择短轴1 0 的长度（从而表面的曲率）和目标光轴1 4 的取向角α，以获得接近于1 的放大率。或者，可以通过选择能获得单位放大率的最短的短轴1 0 和取向角α来使得目标的接纳锥1 6 不被源管壳5 遮挡。

与图2 A 的以往技术相比，反射镜M1 的表面是一个椭球面的一部分，它具有这样的长轴8 和短轴1 0 以及两个焦点F 1 和F 2 ，使得长轴8 相对于反射镜光轴1 2 旋转了一个大于0 ° 的角度。表面的曲率的选择使得，在以接近于1 的放大率在目标处保持源的亮度的同时，F 2 和反射镜M1 之间的距离达到最小化。对于这种类型的系统，在给定了接纳锥1 6 （立体角）时要在

目标T 上收集到最大的通量密度，就要求源S 的尺寸接近于或小于目标T 的尺寸。这是亮度定律（发射角之半的正弦乘上面积等于常量）的结果，对于源和目标的尺寸相近的情形，该定律限定了最佳放大率应为1 。如果使源S 的像缩小（即放大率小于1 ），则将把辐射集中到一个较小的面积上，同时却增大了角度分布，从而将造成在目标T 的接纳锥1 6 内有较小的通量密度。如果使源S 的像放大以减小目标T 处像的角度分布，则将形成一个较大的、超过目标面积的像。对于目标T 小于或大于源S 的情形，椭球面曲率的选择应该使得能在对应于具体的目标尺寸和接纳锥1 6 这些特性参数的亮度定律的约束范围之内，达到最大的集光效率。因此，本发明较以往技术系统的优点在于，（i ）保持源S 以接近于1 的放大率和最小的像差成像在目标T 处；（i i ）目标T 处有最大的通量密度和像亮度；以及（i i i ）不损失集光效率和不放弃单位放大率地使源S 和目标T 之间的分离距离2 1 最优化。

源S 的有效数值孔径取决于源S 的类型和结构。电弧灯含有两个电极，交流工作时它们的形状对称，直流工作时它们的形状不对称。这些电极会造成阴影，减小源的照明角度，从而限制了有效数值孔径。而且，对于不对称电极情形，从源S 发出的光的角分布是不对称，这不会影响到有效数值孔径和目标T 处的最佳电磁辐射收集。

理想的情形是，在该优选实施例中，反射镜M1 的相对有效数值孔径应匹配于目标T 的相对有效孔径。反射镜M1 的角度扩展取决于目标T 的接纳锥1 6 所对应的反射光的立体角。以大地光纤目标T 的接纳锥的角度

入射的反射光很少能被耦合到光纤之中。然而，如果光纤目标T 的数值孔径足够大，则从有较大数值孔径（N．A．）的反射镜所反射的光也能被目标T 收集。对于带有由灯管引起的像差的实际系统来说，具有某个给定取向角α的光纤的有效数值孔径可以通过以相对于纵轴18 不是90°的角度来切割近端面20 而加以改变，这样可以提高集光效率5 %－10 %。

可以看出，图5 A 和5 B 所示的本发明系统的几何布局与图3 A 和3 B 所示的美国专利NO．4，757，431 所公开的几何布局看来是相似的。然而，使可收集的通量密度达到最大的参数取决于反射镜M1 表面的具体形状，而不论它是球面的、轮胎面的，还是椭球面的。与轮胎面或球面反射镜相比，使用椭球面反射镜M1 （及其确定的焦点F 1 和F 2 ）将在目标处产生最小失真的像。和以往技术的球面反射镜产生的最小弥散圆不同，也和轮胎面反射镜改进相对集光效率不同，本发明几乎没有失真，在其他情形下这种失真是由源S 和目标T 的离轴位移所引起的像差造成的。从实际的角度看，反射镜表面的选择取决于源－目标距离21 和源及目标的性质，源－目标距离21 愈大，需要的光学校正也愈大。

如美国专利NO．4，757，431 中所说明的，采用球面反射镜带来了这样的限制：离轴分离距离21 的平方除以离轴反射镜的曲率半径必须小于源S 的扩展范围。对于轮胎面情形，这个限制被放宽一些，但大的离轴源－目标距离使得集光效率不能达到最大值。在本发明的椭球面情形中，这个限制被减小到最大程度，其中可以选择第一和第二焦点F 1 、F 2 、短轴的长度、

以及取向角α来适应各种源－目标距离，而且可以给出比轮胎面或球面反射镜所能达到的都大的集光效率。

如以往技术图2 A所示，“共轴”椭球面反射镜M1中所使用的像点（即第二焦点F 2）必须离开源S（即第一焦点F 1）相当远才能给出足够的源S和目标T（F 2处）之间的距离。这种分离距离使得像的放大率大于1，从而减小了小目标所能收集的通量。该以往技术的第二个缺点是，由于电极阴影和灯的几何形状，有大量的光因被遮档而不能集中到F 2上。还有，灯－反射镜的几何布置还要求一个较大且成本较贵的反射面，这个反射面不容易修改得能够校正由灯管壳所引起的光学像差。然而，本发明的布局结构可以使像大为靠近源，比图2 A所示结构的像和源可能靠近的程度要近得多。再有，本发明的一个重要优点是像放大率的可控制范围。通过适当地选择短轴、像位置和取向角α，就有可能达到最大的集光效率（集光效率是与目标实际收集的光相比的目标处可能收集到的光）。对本发明系统的主要限制是光纤目标T可达到的集光角，即数值孔径。

在下述条件下，本发明的辐射收集系统可以在给定的目标T处使可收集的通量密度最大化：（i）目标T的数值孔径与椭球面反射镜M1的有效数值孔径相匹配；以及（i i）对于源S和目标T有相近尺寸的情形，在光源S的像即目标T处保持光源S的亮度，这要求单位的大率。对于任何给定的目标T和源S，有可能选择一个椭球面M1来达到像的最大亮度，以对目标T实现最大的耦合，由此优化集光效率。对于不匹配的系统，虽然效率和像亮度都不一定得到最优化以获得最佳效果，但是仍可能找到能够优化目标T所收集的光的条件。虽

然可以用一个反射型的或成像型的集光适配器来调整数值孔径的不匹配，但像的尺寸将按照亮度定律成比例地增大。不过，对于在目标T 处用多条光纤来收集光学通量密度的情形，对反射镜M1 、源S 、和光纤目标T 的特性参数的正确设计，再结合一个非成像型的集光适配器，也能够给出额外的设计灵活性。

光纤目标T 可以由放置在图4 和图5 A 的像点F 2 处的一条或多条光纤组成。位在T 处的一条或多条光纤的近端2 0 可以切割成圆形或椭圆形的截面（以下称作近角）。优选的近角取决于光纤纵轴1 8 的位置。对于放置在焦点F 2 处的多条光纤（其组分可以相似也可以不同），各条光纤的近角和直径可以不同。虽然多光纤目标T 的各条光纤的数值孔径必须优化，以优化光学系统的最大耦合效率，但它们也可以根据要使用的情况而改变。类似地，施加在多光纤目标T 中每条光纤端面上的光学镀膜也可以根据应用情况而不同。如果在不使用集光适配器时光纤目标T 的组合直径比像尺寸大，则使用集光适配器可以增大目标T 可收集的通量密度。在这种情形下，适配器将把具有大于目标数值孔径的辐射转换成小于或等于目标数值孔径的辐射，但是像的尺寸要相应地增大。因此，优化多光纤目标可收集的通量密度可以通过使目标T 的光学特性匹配于源S 、椭球面反射镜M1 、和集光适配器的光学特性来实现。

在给定了已对具有特定特性（如直径、形状、和光纤目标T 时的数值孔径）的目标T 优化的源S 和椭球面反射镜M1 的实际系统中，当使用其尺寸或数值孔径不同于优化对象目标T 的目标T 时，可能要求有相对于反射镜M1 和源S 的不同于F 2 的目标T 位置。“非优化”

目标T 不应放在像点F 2 处，而应该放在能获取通量密度最集中的那个部分处，这和源S 的的亮度有关。对于电弧源S 和其他类似的扩展源S ，可被非优化光纤目标T 收集的强度分布的那个部分将取决于特定目标的尺寸和数值孔径。对于比源S 小得多的目标T ，可能存在强度分布中的不止一个部分能够在目标T 处产生相同的可收集的通量密度，这使得目标T 有可能放置在一条由许多点组成的轨迹上，并且都能收集到差不多的通量密度。

在本发明的另一个实施例中，可以在源S 后方面对着主反射镜M1 放置一个凹面的“原路返回反射镜”M 2 ，如图5 A、5 B、7 A 和7 B 所示，以进一步加强光的收集。该原路返回反射镜M2 最好有一个轮胎形的反射面，这样可以提供补偿由各种源S 的非均匀管壳5 所造成的像散和像差。理想的是，原路返回反射镜M2 的曲率半径与源S 及灯管的形状相匹配。另外，原路返回反射镜M2 也可以设计成球面形并在系统中使用，虽然它在补偿光源管壳5 的不同形状和不同玻璃厚度方面不能提供那么大的灵活性。再有，轮胎形的原路返回反射镜M2 还能够补偿直流电弧灯的非对称管壳，从而与球面的原路返回反射镜M2 相比进一步提高了目标处的总辐射通量收集程度。

如图7 A 和7 B 所示，在本发明的第二个另一种实施例中，系统的各个元件被放置在一个其内腔5 2 呈海螺形的外壳3 0 中，其中，当从上方观看（如图7 A 和7 B 所示）时，源S 位在腔5 2 的圆形部分3 4 的中心3 3 处。形成内腔5 2 的外壳3 0 的侧面最好构成一个单一的反射镜，它包括一个位在源S 后方的内表面上的原路返回反射镜部分3 5 、一个位在源S 前方的椭球面

3 8 上的有效椭球面反射部分P 、以及一个位在外壳3 0 的辐射收集端3 7 的窗口3 6 。不过，外壳3 0 也可以是一种刚性的塑料、陶瓷、合金成轻金属结构，其上有适当的固紧装置以安装原路返回反射镜3 5 和有效椭球面反射部分P ，或者使这些元件形成在外壳3 0 本身的材料上。

如图7 B 所示，外壳3 0 上可以装配象电弧灯这样的永久性的源S ，其阳极4 0 和阴极4 1 位在有效椭圆面部分P 的长轴8 上，或者与长轴8 有一个夹角，但不论怎样源S 的放电弧隙总在外壳的圆形部分3 4 的中心3 3 处。在这种情形下，外壳3 0 将含有一个顶面和一个底面，并且完全密封，充以加压力的电离气体，而且能够安装使亮度最大化、使电弧所产生的角度范围最小化的电极。或者如图7 A 所示，外壳3 0 也可以做成为适合于使用可拆卸插入式灯具4 2 的形式，该灯具可以插入到一个位在外壳3 0 顶部的、与外壳3 0 的圆形部分3 4 同心的圆孔4 3 之中。不论哪种情况，外壳3 0 的辐射收集端3 7 处的窗口3 6 可以是非成像材料（如光学石英或蓝宝石）的透明平片、光学透镜、或者其他光学元件（见图7 A），或者还可以是一个缩在上述平片平面里面的非成像半球形窗口，以容纳和安装光纤目标T （见图7 B ）。当使用透明平片作为窗口3 6 时，平片所在平面必须与有效椭球面反射部分P 的长轴8 有一个角度，使得在集点F 2 处所形成的像位在外壳3 0 的外部。这样，因为可以采用各种不同的目标T ，所以本发明系统在使用时有更大的灵活性。当窗口为缩在上述平面里面的非成像半球形窗口3 6 时，这个平面最好沿着有效椭球面反射部分P 的长轴8 。

在图8 所示的第三个实施例中，使用了一个更为复杂的近似为半球面形的反射表面M3 ，它含有第一和第二椭球面反射部分M3 a 和M3 b ，两者沿着一条公共边4 5 连在一起，使来自单个源S 的光耦合到两个不同的目标T 1 和T 2 上。这种所谓的“复合椭球面反射镜”M3 是通过连接两个椭球面反射镜M3 a 和M3 b 来形成的。源S 向半个球面发射的光的一半被反射面M3 a 聚焦到第一目标T 1 上，而另一半光被反射面M3 b 聚焦到第二目标T 2 上。反射面M3 a 由两个焦点确定，一个焦点位在源S 处，另一个焦点位在第一目标T 1 处。类似地，椭球反射面M3 b 由两个焦点确定，一个焦点也位在源S 处，另一个焦点位在第二目标T 2 处。由源S 发射的光被反射镜M3 收集并会聚成分别在目标T 1 和T 2 处的两个像。

和前面所说明的相似，也可以在源S 后方面对着反射镜M3 放置一个任选的轮胎面的、球面的、或其它凹形的非球面轮胎面的原路返回反射镜M4 ，以进一步增强所收集的通量密度。如图8 所示，使用了原路返回反射镜M4 后，由源S 发射的光基本上全部被聚集在目标T 1 、T 2 上。这个实施例的一个特别的优点是，具有允许对双目标系统使用原路返回反射镜M4 的设计灵活性。另一个优点是减少了必须集成为单个元件的需要定做的反射镜数目，这既包括离轴的主反射镜M3 ，也包括任选的原路返回反射镜M4 。这种数目的减少最大程度地降低了制作成本，特别是模具的制作成本，同时由于减少了必须装配和调整的元件数目，从而最大程度地降低了装配成本。不过，根据实际系统准备如何来调试的情况，用于双目标（例如光纤输出）系统的上述复合

反射镜（椭球面的、轮胎面的、或球面的）也可以做成为两个分立的反射镜。不论该复合及射镜是由一个元件还是由两个元件组成，由一个椭球面的、轮胎面的或球面的复合反射镜和一个原路返回反射镜M4 组成的复合反射镜也可以制作在一个外壳之中，该外壳的内腔具有双海螺形状，其中每个腔都是适用于一个目标的海螺形的。

应理解到，在不偏离本公开的精神和基本特征的情形下，上述关于椭球面的本发明也可以通过其他具体的布局和其它形状的外壳来实现，并且也可以包括使用作为椭球面反射镜的特殊情况的其他类型的反射镜。而且，包括具有椭球面内表面的单个海螺形内腔的实施例也可以用其他特定的布局来实现，其中的椭球面内表面被另外形状，包括轮胎面、球面、非球面轮胎面等形状的表面所代替。所以，应该了解，本发明并不局限于前面说明的细节，而是将由所附权利要求来定义。

说 明 书 附 图

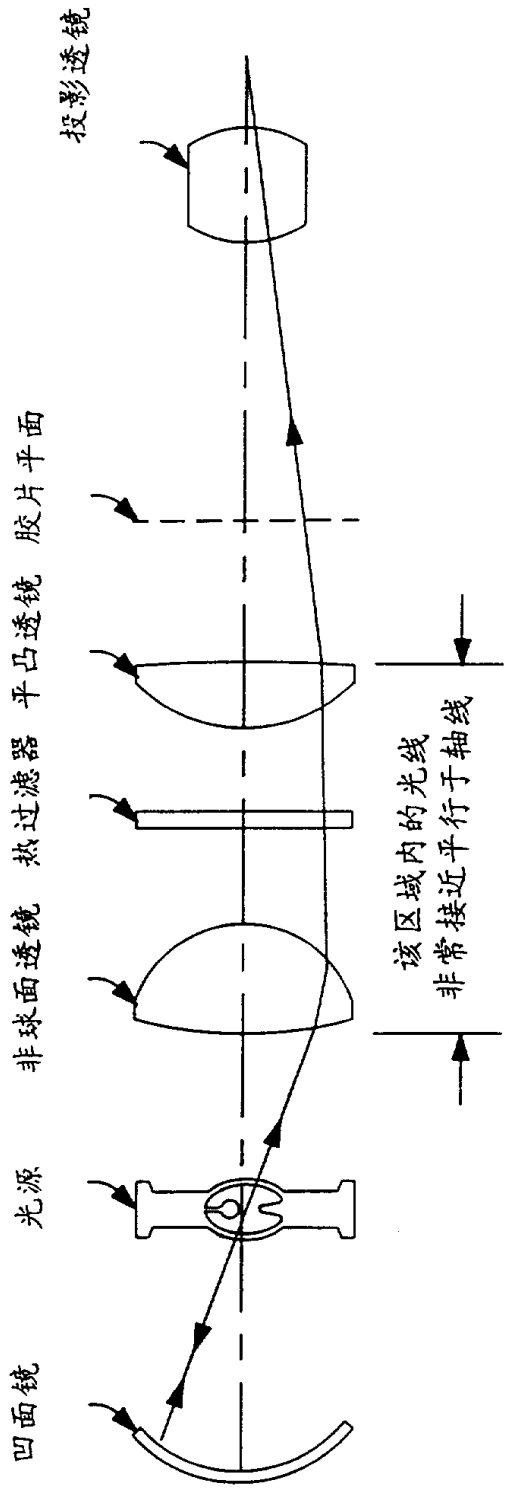


图 1

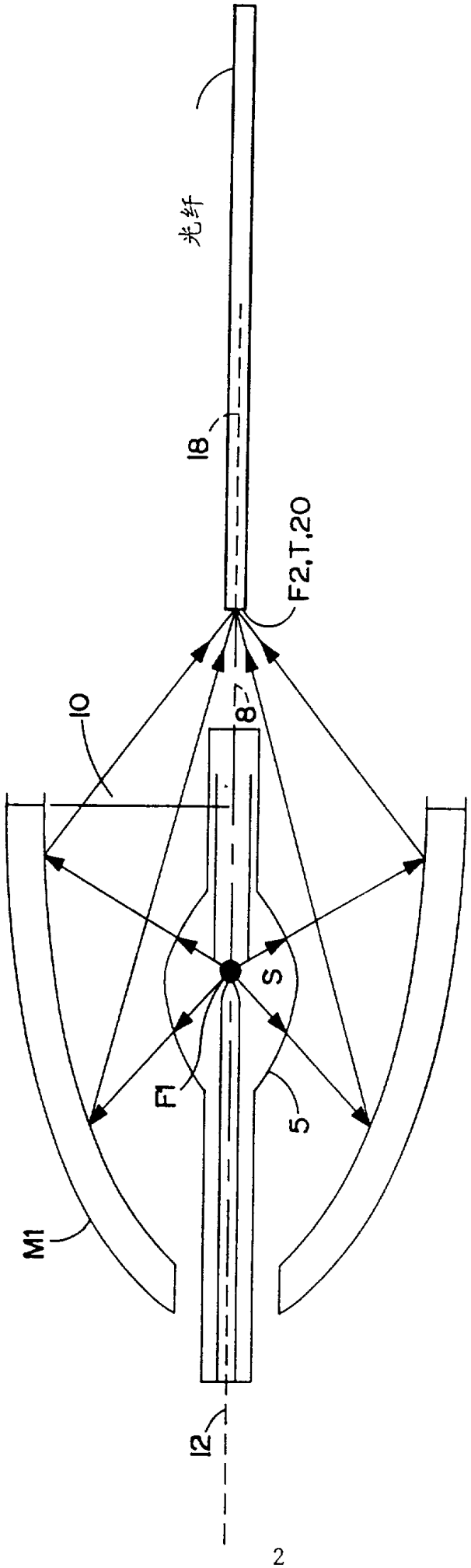


图2A

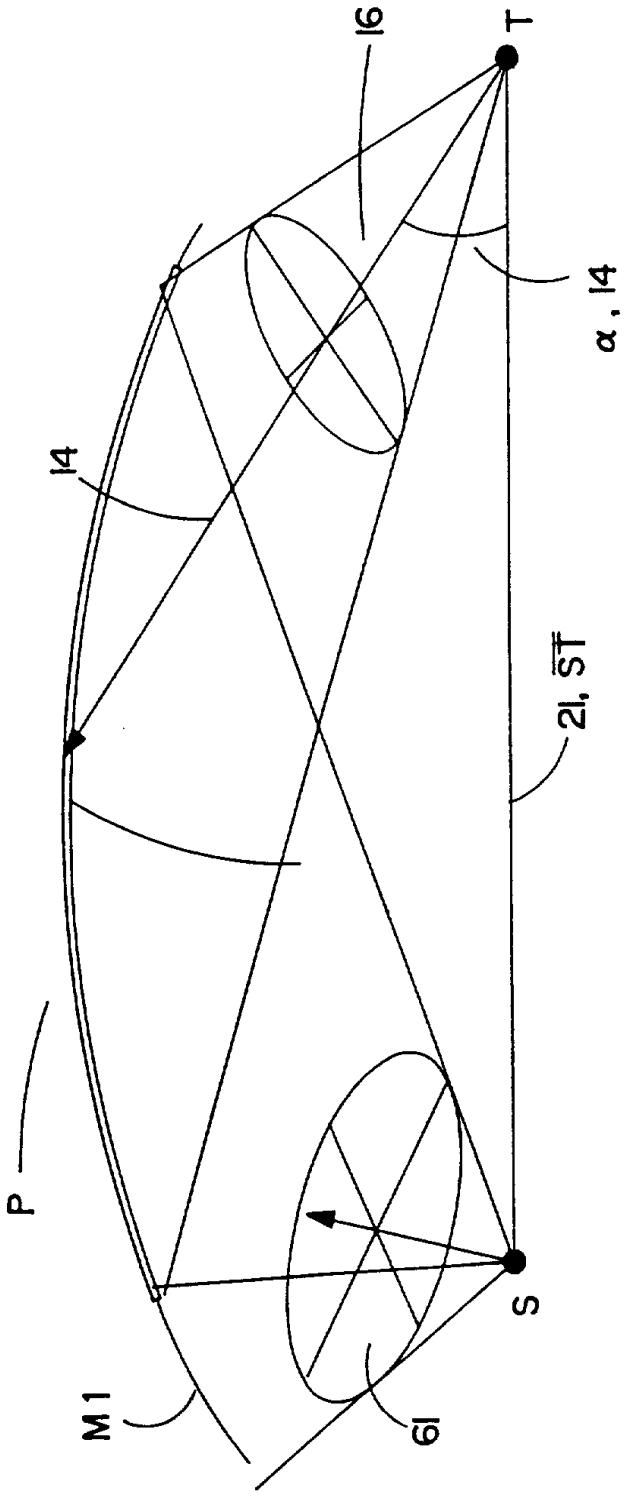


图2B

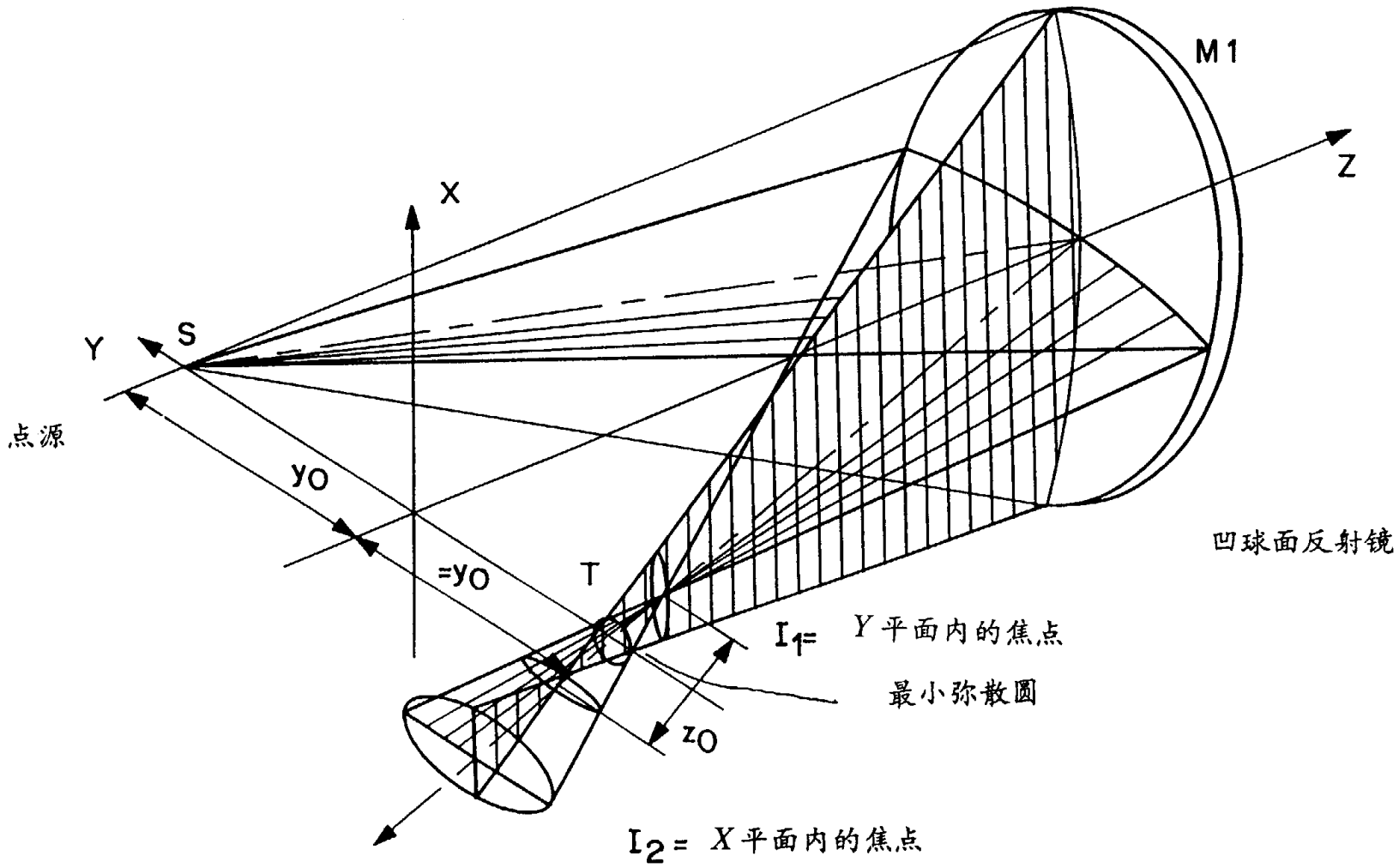


图3A

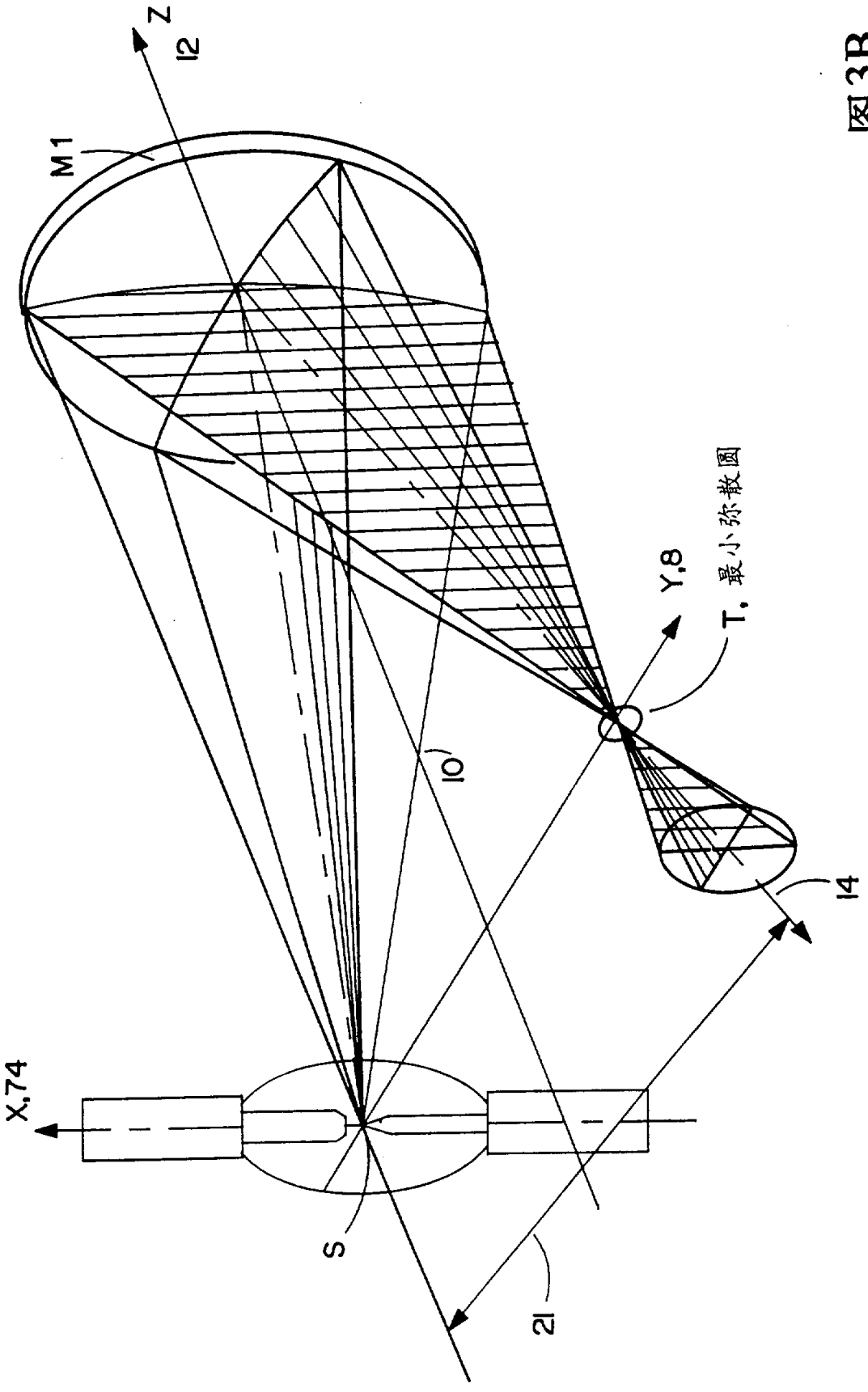


图3B

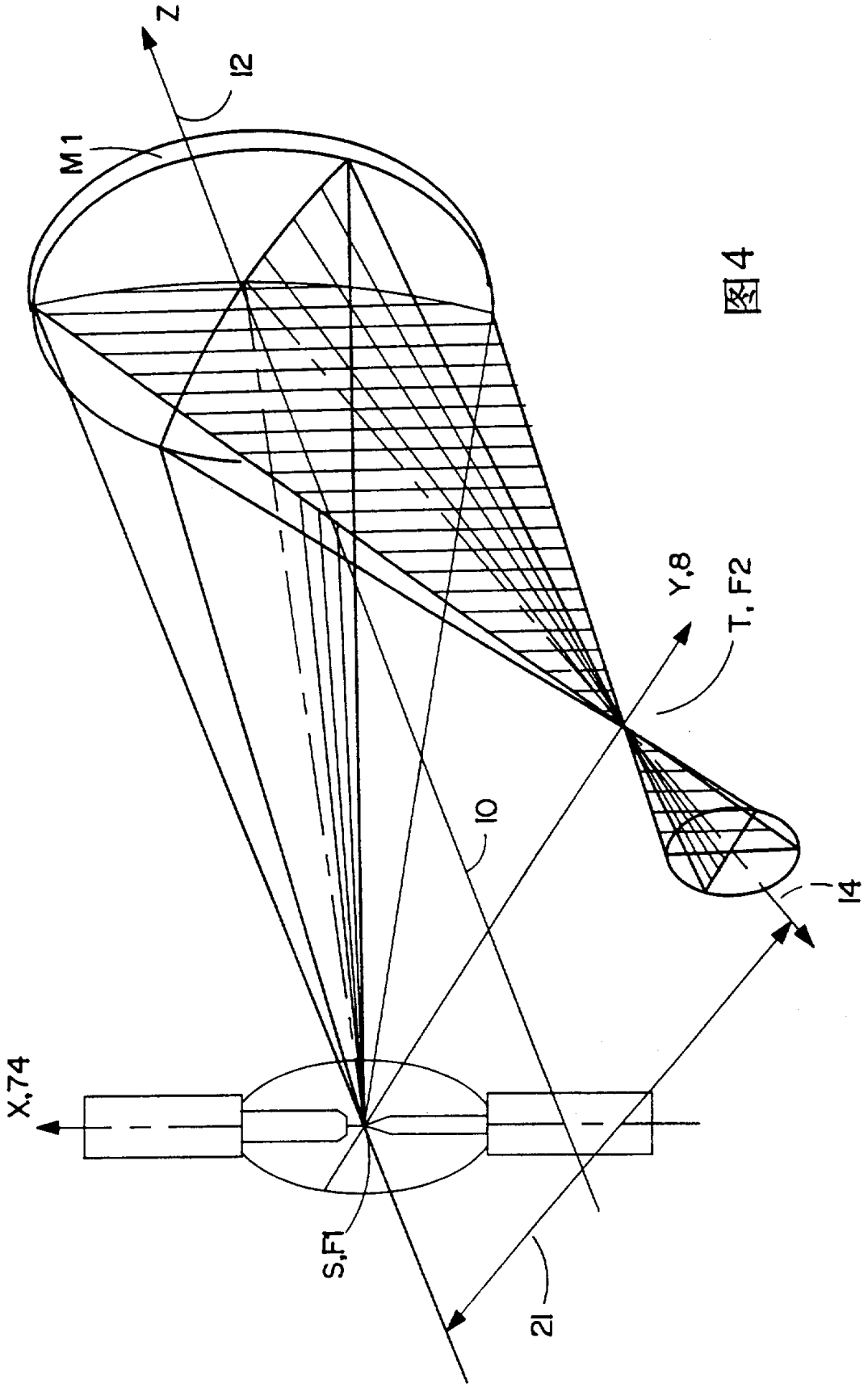


图4

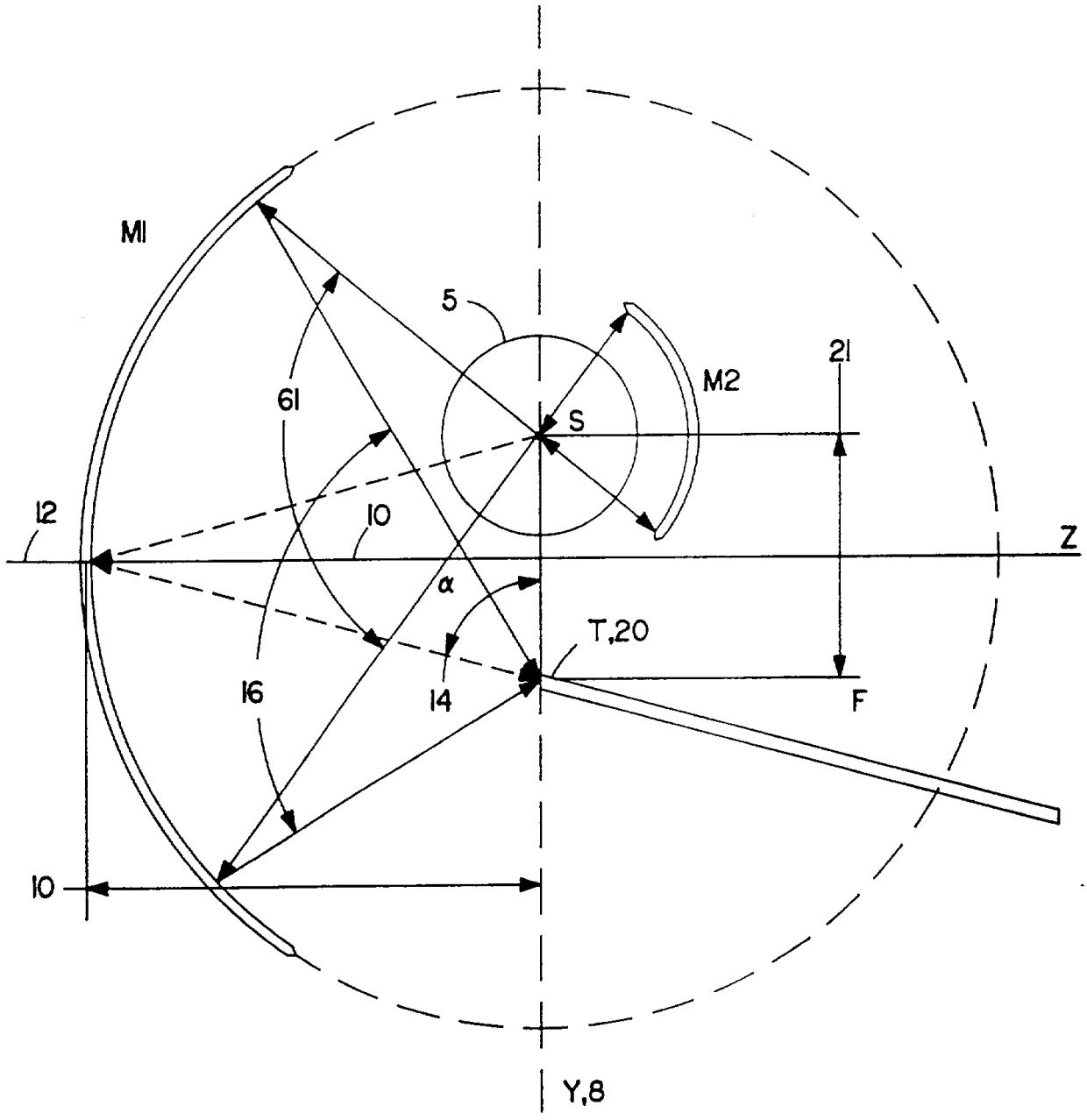


图5A

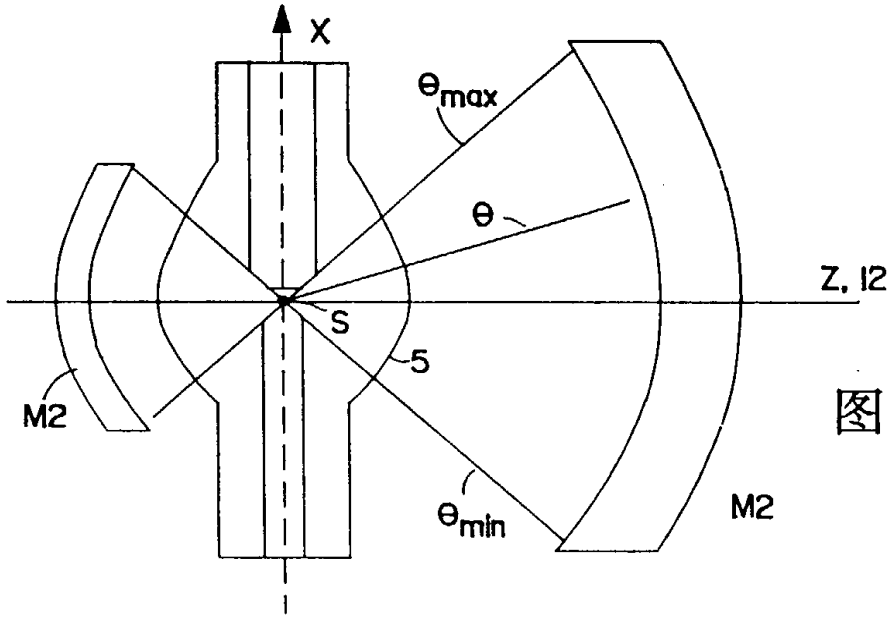


图5B

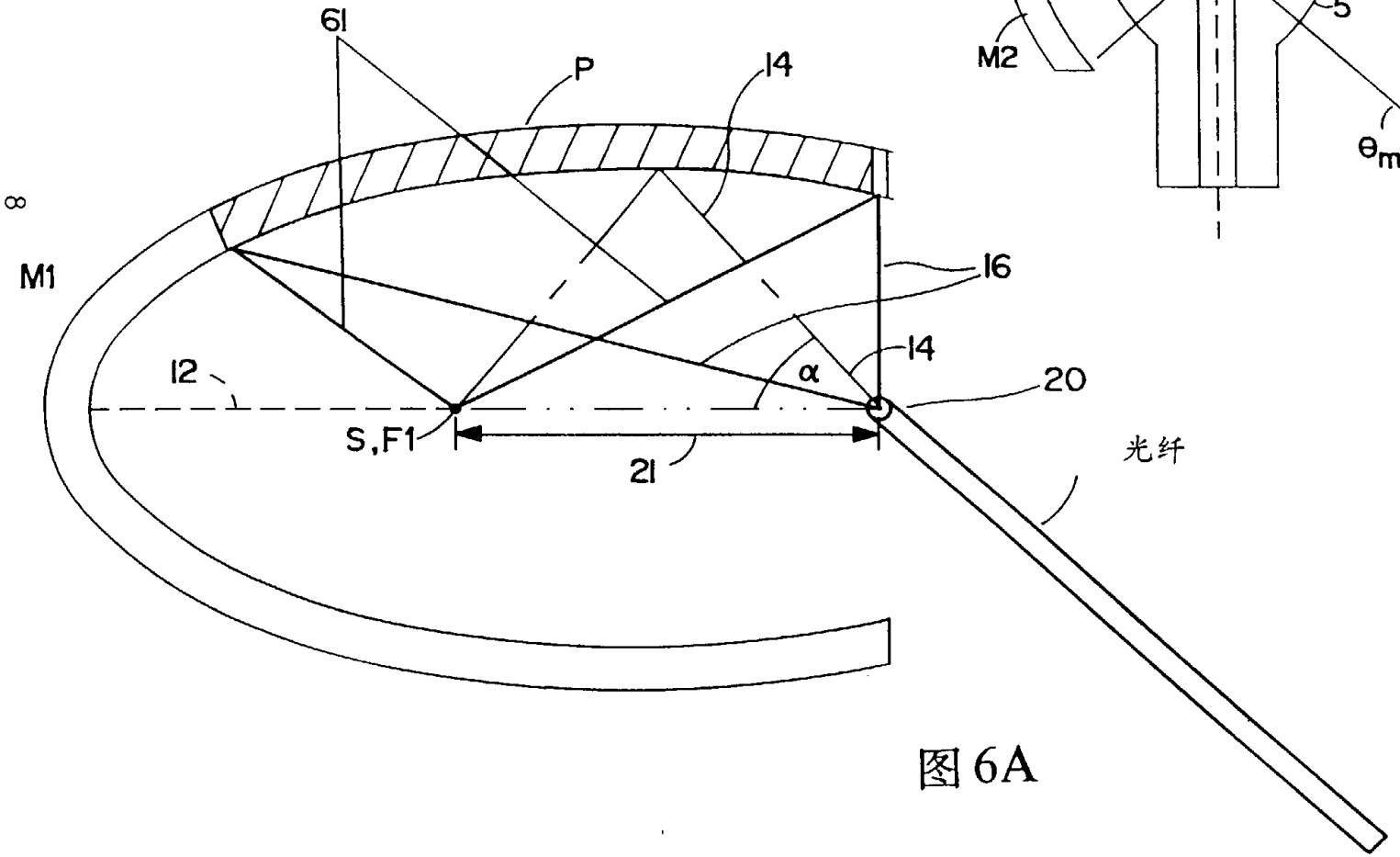


图6A

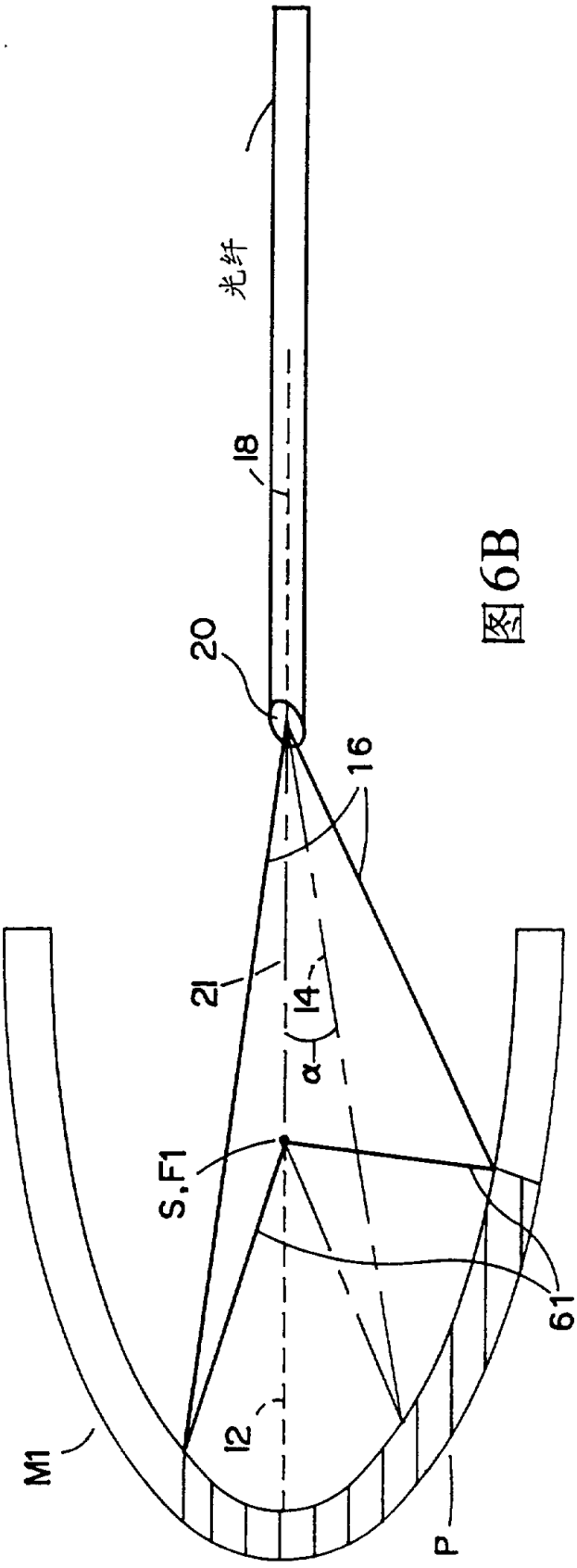


图6B

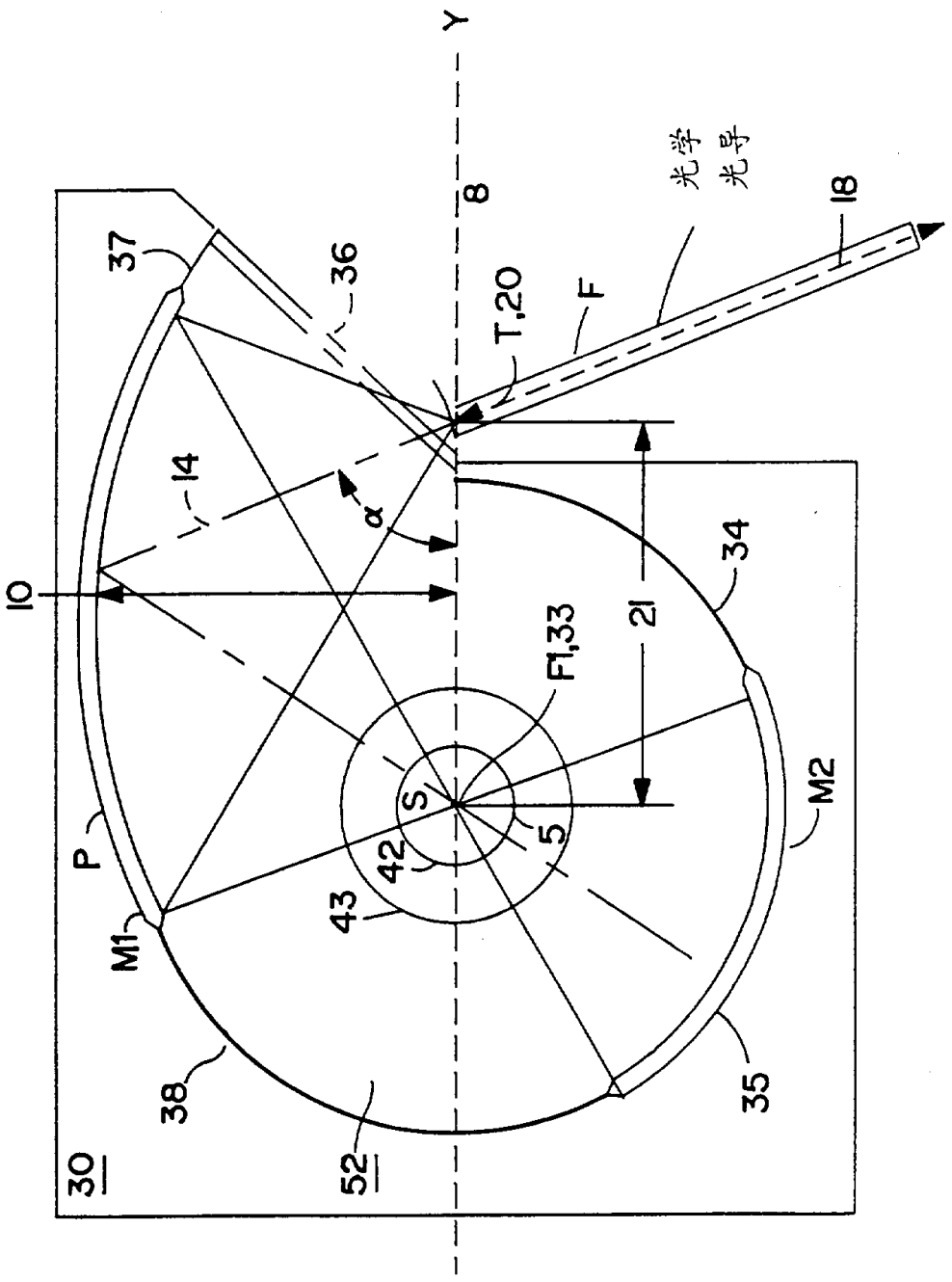


图7A

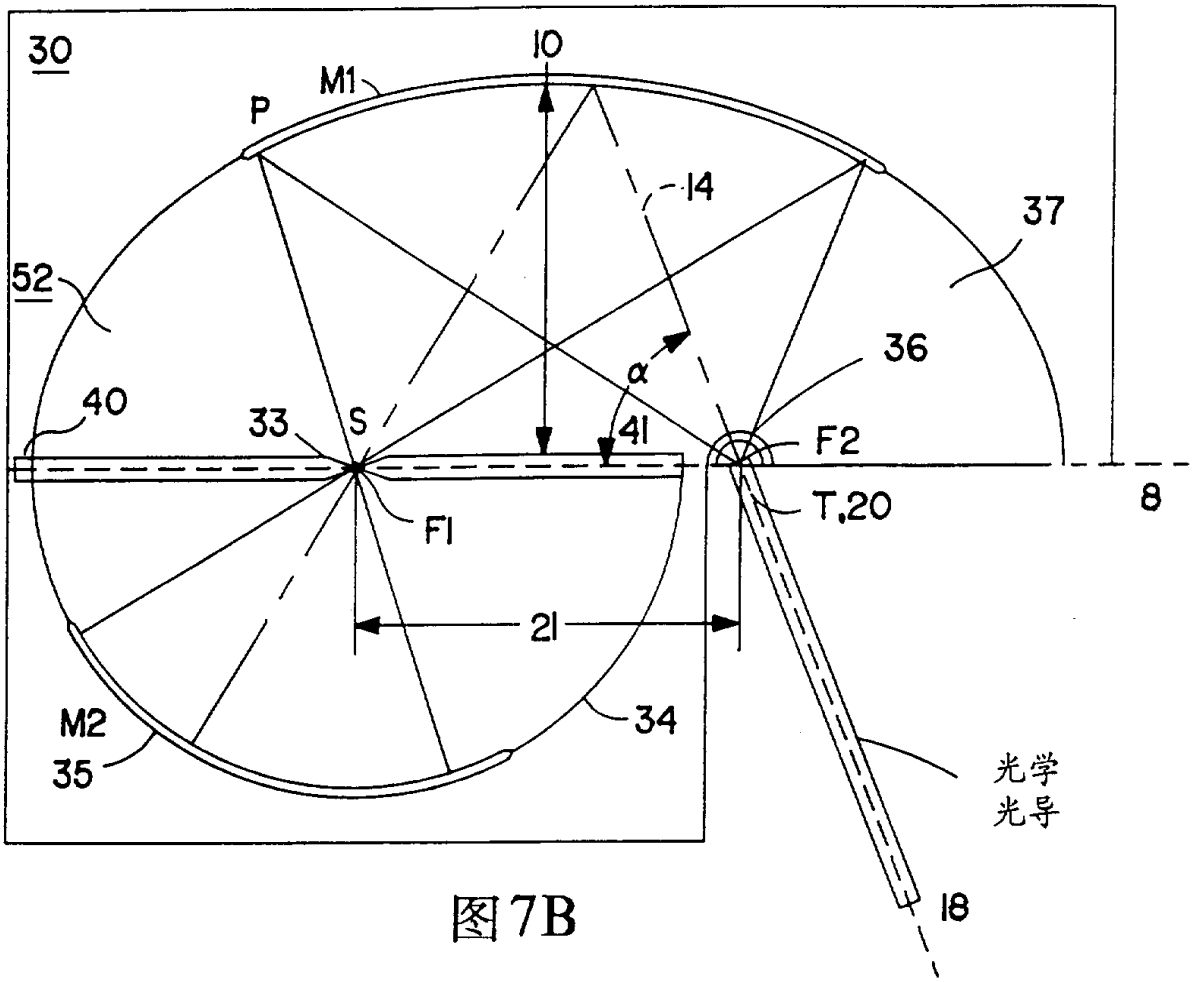

30
10
M1
P
14
37
52
36
α
40
33
S
41
F2
T,20
8
F1
21
M2
34
35
光学
光导
18

图7B

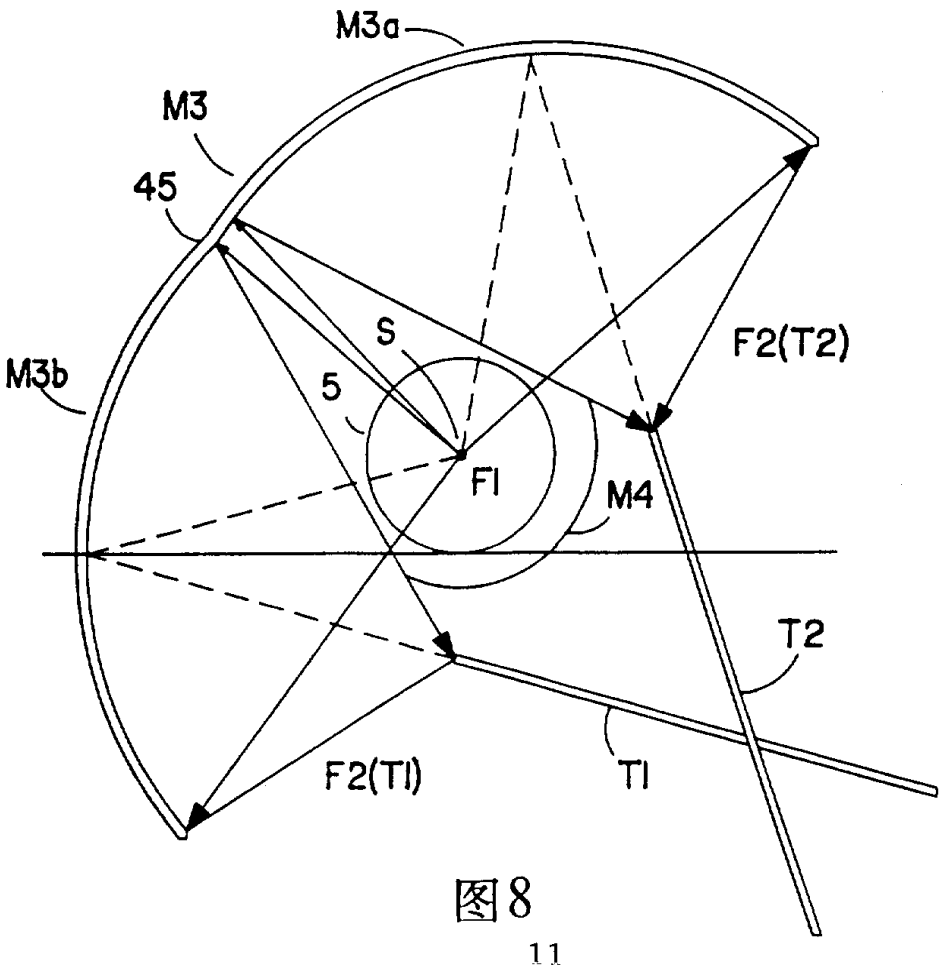

M3a
M3
45
S
F2(T2)
M3b
5
F1
M4
T2
F2(T1)
T1

图8