[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int.Cl[7]
F21V 7/09

[12]发明专利说明书

[21] ZL 专利号 93117648.4

[45]授权公告日 2000 年 1 月 12 日

[11]授权公告号 CN 1048321C

[22]申请日 1993.8.3 [24]颁证日 1999.10.16
[21]申请号 93117648.4
[30]优先权
[32]1992.8.3 [33]US[31]924,198
[73]专利权人 科珍光学技术有限公司
地址 美国加利福尼亚州
[72]发明人 G·贝克 D·布伦纳 R·费希尔
K·施特罗尔 R·L·皮切昂尼
M·托马斯
审查员 俞志龙

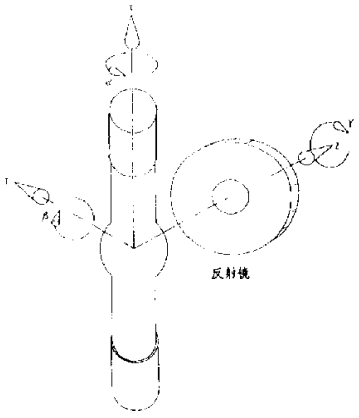
[74]专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
代理人 张志醒 叶恺东

权利要求书 7 页 说明书 15 页 附图页数 9 页

[54]发明名称 采用凹复曲面反射镜的会聚和收集用光学系统

[57]摘要

一个电磁辐射源如弧光灯,被安置在离开凹复曲面反射面的光轴的一点。此凹 面主反射镜将来自该辐射源的辐射聚焦在离开该光轴的离轴象点上。复曲面反射面的使用,相对于球面反射面来说,实质上通过减小离轴几何结构引起的象 差,能够提高收集到小目标如光纤上的效率。相对第一块反射镜安置辅助的凹 面反射镜,能够进一步提高小目标收集的总光通量。



ISSN1008-4274

权 利 要 求 书

1.一种用于聚光、会聚和收集电磁辐射以在小面积上提供具有尽可能大的辐射通量的高强度照明源的系统，其特征在于，所述系统包括:

一块电磁辐射主反射镜，具有一条光轴和一个具有曲率中心的本质上为复曲面的反射面;

一个电磁辐射源，位于靠近上述反射镜的曲率中心，然而以第一距离横向偏离上述反射镜的光轴，以便在以第二距离横向偏离上述光轴的点上产生出经由上述反射镜反射的本质上为上述光源聚焦而成的象；上述本质上为聚焦而成的象点，相对于上述反射镜的光轴而言是处于与该辐射源相对的位置上；以及

一个目标，是被电磁辐射照射的物体，位于由上述反射镜本质上为聚焦而成的象点附近，以收集上述电磁辐射。

2.根据权利要求 1 的系统，其特征在于，所述复曲面反射面的曲率半径的长度在 40 毫米与 55 毫米之间。

3.根据权利要求 1 的系统，其特征在于，所述复曲面反射面的曲率半径的长度为 50.0 毫米和 51.9 毫米。

4.根据权利要求 1 的系统，其特征在于，其中所述的复曲面的反射面，在包含上述光轴、上述辐射源和上述目标的第一平面内所具有的曲率半径，大于包含上述光轴且垂直于上述第一平面的第二平面内的曲率半径。

5.根据权利要求 1 的系统，其特征在于，其中所述的目标，位于与上述本质上为聚焦而成的象点大致相重合的会聚有最大通量密度的点上。

6.根据权利要求 1 的系统，其特征在于，其中所述的目标，

位于会聚有最大通量密度的点上，但却偏离本质上为聚焦而成的象点。

7.根据权利要求 1 的系统，其特征在于，进一步包括安置在所述反射镜和目标之间的光学元件，该光学元件的构成选自一组光学元件，其中包括：矫正用光学元件，用以改善上述图象在上述目标上的聚焦；经过光学制备处理过的矫正光学元件，以控制辐射源的光谱强度分布；衰减光学元件，以使入射在上述目标上的上述电磁辐射衰减；以及滤光元件，以对入射在上述目标上的上述电磁辐射进行滤光。

8.根据权利要求 1 的系统，其特征在于，进一步包括安置在所述反射镜和目标之间的机械元件，以使入射在上述目标上的上述电磁辐射衰减。

9.根据权利要求 1 的系统，其特征在于，其中所述的第二距离，实际上等于上述的第一距离。

10.根据权利要求 1 的系统，其特征在于，其中所述的第二距离与上述第一距离不同，以使该系统的有效光轴平分上述辐射源，而且上述目标偏离上述反射镜的光轴。

11.根据权利要求 1 的系统，其特征在于，进一步包括辅助性的凹面辅助反射镜，相对于上述主反射镜通常安装在辐射源之后，从而对发自上述辐射源的电磁辐射反射回去并通过该辐射源，以使该辐射源的象基本上能够与上述辐射源重合在一起。

12.根据权利要求 11 的系统，其特征在于，其中所述辐射源和上述辅助性的凹面辅助反射镜作为一个单一的单元组合在一起而成为一整体。

13.根据权利要求 11 的系统，其特征在于，其中所述的辅助性凹面辅助反射镜所包括的反射镜，选自由近似球面的反射镜和

实质上为复曲面反射镜构成的一组反射镜。

14.根据权利要求 11 的系统，其特征在于，其中主反射镜和辅助反射镜中至少有一个反射面通过光学制备进行过处理，以控制该辐射源的光谱强度分布。

15.根据权利要求 1 的系统，其特征在于，其中电磁辐射源为光源，且所述目标为一个光纤目标。

16.根据权利要求 15 的系统，其特征在于，所述复曲面反射面的曲率半径的长度在 40 毫米与 55 毫米之间。

17.根据权利要求 15 的系统，其特征在于，所述复曲面反射面的曲率半径的长度为 50.0 毫米和 51.9 毫米。

18.根据权利要求 15 的系统，其特征在于，其中所述的第二距离实际上与上述第一距离相等。

19.根据权利要求 15 的系统，其特征在于，其中所述的第二距离不同于上述第一距离，以使该系统有效光轴平分上述光源，而且上述目标偏离上述反射镜的光轴。

20.根据权利要求 15 的系统，其特征在于，其中所述的复曲面反射面，在包含上述反射镜的光轴、上述光源和上述象点的第一平面内所具有的曲率半径，大于包含上述反射镜的光轴且垂直于上述第一平面的第二平面内的上述曲率半径。

21.根据权利要求 15 的系统，其特征在于，其中所述的复曲面反射面，在包含上述反射镜的光轴和上述光源的第一平面内所具有的曲率半径，大于包含上述反射镜的光轴且垂直于上述第一平面的第二平面内的曲率半径，此处所述目标的位置处于上述第一平面之上或之下。

22.根据权利要求 15 的系统，其特征在于，其中所述的目标位于基本上与该象点重合的会聚有最大通量密度的点上。

23.根据权利要求 15 的系统，其特征在于，其中的目标位于偏离上述象点的具有最大会聚通量密度的点上。

24.根据权利要求 15 的系统，其特征在于，进一步包括安置在所述反射镜和目标之间的光学元件，该光学元件的构成选自一组光学元件，其中包括：矫正光学元件，用以改善上述图象在上述目标上的聚焦；经过光学制备处理过的矫正光学元件，以控制辐射源的光谱强度分布；衰减光学元件，以使入射在上述目标上的上述电磁辐射衰减；以及滤光元件，以对入射在上述目标上的上述电磁辐射进行滤光。

25.根据权利要求 15 的系统，其特征在于，其中所述光纤目标的集光端面，按照一定角度大致垂直该光纤目标纵轴进行抛光。

26.根据权利要求 15 的系统，其特征在于，其中所述光纤目标的集光端面，按照一定角度实际上相对于垂直其纵轴的平面倾斜进行抛光。

27.根据权利要求 15 的系统，其特征在于，其中至少上述光纤目标端面之一通过光学制备进行过处理。

28.根据权利要求 15 的系统，其特征在于，其中所述主反射镜具有数值孔径，要同上述光纤目标的至少一种特性进行光学匹配。

29.根据权利要求 15 的系统，其特征在于，其中所述的光源、主反射镜和光纤目标是光学匹配的。

30.根据权利要求 15 的系统，其特征在于，其中的光源选自如下一组光源，其中包括交流电弧灯、直流电弧灯、气体放电灯、白炽灯、半导体、能够发出电磁辐射的光纤、以及能够发出电磁辐射的波导。

31.根据权利要求 15 的系统，其特征在于，其中由所述光源

发出的光包括选自如下一组光：连续波长的光、脉冲光、相干光、非相干光、单色光、宽带光和窄带光。

32.根据权利要求 15 的系统，其特征在于，其中所述的光纤目标是安装在上述外壳外部的。

33.根据权利要求 15 的系统，其特征在于，进一步包括安置在所述反射镜和目标之间的机械元件，以对入射在上述目标上的电磁辐射衰减。

34.根据权利要求 15 的系统，其特征在于，进一步包括辅助性的凹面辅助反射镜，相对于上述主反射镜通常安装在光源之后，从而对来自上述光源的光反射回去并通过该光源，以使该光源的象基本上能够形成与上述光源重合。

35.根据权利要求 34 的系统，其特征在于，其中的光源和上述辅助性凹面辅助反射镜，基本上被加工和安装在一个外壳内。

36.根据权利要求 34 的系统，其特征在于，其中的辅助性凹面辅助反射镜所包括的反射镜，选自由近似为球面反射镜和本质上为复曲面反射镜构成的一组反射镜。

37.根据权利要求 34 的系统，其特征在于，其中主反射镜的辅助反射镜中至少有一个反射面通过光学制备进行过处理，以控制该光源的光谱强度分布。

38.根据权利要求 34 的系统，其特征在于，其中所述的主反射镜和辅助反射镜被加工成一个单元，包括其反射表面同上述光源和光纤目标的光学匹配。

39.根据权利要求 34 的系统，其特征在于，其中所述的光源、主反射镜和辅助反射镜实质上被作为一个单元加工及安装在一个外壳中，且同上述光纤耦合。

40.根据权利要求 39 的系统，其特征在于，其中所述的光纤目标是安装在上述外壳外部的。

41.根据权利要求 39 的系统，其特征在于，其中所述的光纤目标是安装在上述外壳内部的。

42.根据权利要求 39 的系统，其特征在于，其中所述的主反射镜和辅助反射镜，包括同上述光源和光纤目标光学匹配的单块反射镜。

43.根据权利要求 15 的系统，其特征在于，其中所述光纤目标，由捆在一起的多根光纤组成。

44.根据权利要求 43 的系统，其特征在于，其中所述的多根光纤具有实际上相同的光学特性。

45.根据权利要求 43 的系统，其特征在于，其中所述的多根光纤选自一组光纤，其中包括实际上具有不同直径的光纤、实际上具有不同数值孔径的光纤、实际上具有不同形状的光纤、以及实质上具有不同材料成分的光纤。

46.根据权利要求 43 的系统，其特征在于，其中被捆在一起作为上述目标的至少上述光纤之一的集光端面，按照一定角度基本上垂直该光纤的纵轴进行抛光。

47.根据权利要求 43 的系统，其特征在于，其中被捆在一起作为上述目标的至少上述光纤之一的集光端面，按照一定角度基本上相对于垂直该光纤纵轴的平面倾斜进行抛光。

48.根据权利要求 43 的系统，其特征在于，其中被捆在一起作为上述目标的至少上述光纤之一的至少一个端面，通过光学制备进行过处理。

49.根据权利要求 15 的系统，其特征在于，其中所述的光源和主反射镜被作为一个单元加工及安装在一个外壳中，且同上述

光纤目标进行耦合。

50.根据权利要求 49 的系统，其特征在于，其中所述的光纤目标是安装在上述外壳内部的。

51.根据权利要求 1 的系统，其特征在于，该系统还包括:

第二块电磁辐射主反射镜，具有与所述第一块主反射镜光轴交叉的光轴以及具有一曲率中心的本质上为复曲面的反射面；且其中

所述电磁辐射源为一个光源，位于所述第一和第二块主反射镜光轴交点附近但以第一距离偏离所述交点，以便将所述光源的光聚焦和会聚在分别以第二距离偏离所述两光轴的第一和第二象点上；而且所述第一象点相对于第一块主反射镜的光轴与所述光源相对，所述第二象点相对于第二块主反射镜的光轴与所述光源相对；以及

所述目标包括:

第一个光纤,其所具有的集光端位于所述第一象点附近;和

第二个光纤，其所具有的集光端位于所述第二象点附近。

52.根据权利要求 51 的系统，其特征在于，其中的第一块和第二块主反射镜被加工成单块反射镜。

53.根据权利要求 51 的系统，其特征在于，进一步包括第一和第二块辅助性凹面的辅助反射镜，分别相对于第一及第二块主反射镜通常安装在光源后面，使来自光源的光往回反射通过该光源，并使所形成的光源的第一及第二个象基本上能同该光源重合。

54.根据权利要求 53 的系统，其特征在于，其中的光源、第一及第二主反射镜以及第一及第二辅助反射镜，实质上被作为一个单元加工及安装在一个外壳中，且同上述第一及第二个光纤目标相匹配。

说　　明　　书

采用凹复曲面反射镜的
会聚和收集用光学系统

本发明涉及用于收集和会聚电磁辐射的系统，尤其涉及为小目标如光纤提供高辐射的系统。

用于收集和会聚光电磁辐射的传统性设计方案，强调要从近似为点光源的辐射源收集到最大量的光并使其改变方向。当辐射是由传统的非相干光源产生时，由于传统性设计方案（即收集到最大量的光并使其改变方向）与将辐射通量会聚为尽可能最小光斑尺寸的目标间固有的矛盾，故基于这些设计方案下为了产生小的光斑尺寸，将导致辐射通量的减小。因而小光斑尺寸的象只能靠相应地减小通量密度来获得。

存在着两种通用的收集和会聚辐射用的基本光学设计方案。首先一个就是如图1所示的聚光镜的透镜系统。此聚光透镜存在若干问题，其中包括色差和球差的产生、比较高的成本、固有的难以对准和占有大量空间。图2中表示的椭球面反射镜也是已有技术中使用的系统。它们的问题也包括成本高和不可避免地图象被放大（即通量密度下降）。这两种系统都倾向于强调以损失通量密度为代价来改变发自点光源最大量光通量的方向，如上面讨论的那样。

美国专利No。4，757，431描述了一种采用离轴凹球面反射镜的改进了的会聚和收集用光学系统，其实施例（图3）在此被结合作为参考，它能够提高照射在小目标上的最大光通量和能够增强

收集在小目标上的通量密度。在该专利中描述的这种离轴的凹球面反射镜，具有一些缺点，即平行于离轴位移方向的象散以及希望减小该距离时实际存在的局限性。象散的作用是使该系统的会聚效率降低，从而使目标上收集到的通量减少。要求减小光源和目标之间的离轴距离（即减小象散畸变），需对所述实施例中的光源及目标实际尺寸施加限制。使用易变形的凹球面反射镜方面的教导，并不能导致要使用具有两个互相垂直的不同曲率半径的复曲面反射镜。

本发明对美国专利No。4，757，431中描述的系统提出三方面的改进：（i）它能够提高点状电磁辐射源发出的辐射会聚及收集到小目标上的能力；（ii）它能增加可被收集在小目标上的通量，以及（iii）它能对该专利中描述的任何“离轴光学系统”在电磁辐射源和小目标之间的收集和耦合效率进行改进，特别是将其最佳实施例简化为实用系统。

为了达到这些以及其它一些目的，本发明采用沿两条互相垂直的轴具有不同曲率半径的凹反射面（即复曲面反射镜）作为主光学元件以及电磁辐射源和目标（即光纤）。光源和目标位于该系统光轴相反两侧类似距离处，该光轴被定义为此凹复曲面反射镜（“离轴反射镜”）的光轴。为了在目标上面会聚出最高的通量密度，最好将复曲面结构或者球面结构的辅助反射镜置于该光源之后，以便将发自光源的辐射反射及通过光源再聚焦在复曲面反射镜上。辅助反射镜与离轴的复曲面反射镜一起构成一系统，使会聚辐射在目标上以达到最高的通量密度。此系统对在目标上可收集到的辐射主要在两个方面进行改进：（i）复曲面结构的反射镜，实质上既对由离轴几何结构又对由典型电磁辐射源（例如弧光灯）的玻璃泡产生的象散进行矫正，以

及（ii)辅助反射镜能够增加辐射源的有效亮度。该系统的最大光学效率是靠反射镜和目标的光学匹配获得的，而目标上面尤其是由光纤作为目标能够收集到的最高通量密度，既靠提高系统效率又靠光源、反射镜和目标的光学匹配来达到。尽管已有技术教导可以采用“同轴”的椭球面反射镜或者“离轴”的易变形凹球面反射镜，然而实际上使用这类非球面反射镜是非常昂贵的。本系统的显著优点在于使用非常廉价的非球面反射镜（复曲面）将光会聚在目标上面，其中反射镜的表面质量对于被收集在目标上的通量密度而言是不敏感的。

图 1 为已有技术中聚光镜的透镜系统原理图；

图 2 为已有技术中椭球面透镜系统的原理图；

图 3a 和图 3b 为美国专利 No.4,757,431 中所述发明的球面反射镜的剖视图；

图 4 a 为本发明在 X — Z 平面内的原理图；

图 4 b 为本发明在 Y — Z 平面内的原理图；

图 5 为本发明实施例的座标系统；

图 6 a 为表示凹球面反射镜为将辐射最大限度地集中并会聚在目标上所处最佳成象位置下的光线图；

图 6 b 为表示凹复曲面反射镜为将辐射最大限度地集中并会聚在目标上所处最佳成象位置下的光线图。应当指出，拥有两种曲率半径的结果，是从理论的意义上将压扁在 I_1 及 I_2 附近的光学象差补偿为最小弥散圆。就实际意义来说，I_1 及 I_2 处在最小弥散圆之上（参见图 6 a），而且最小弥散圆上的成象尺寸比光源要大，取决于

复曲面设计的最佳优化程度；

图 7 a 为图 3 a 的光学结构发展成包括两块离轴的复曲面反射镜及两块辅助的辅助反射镜的原理图；

图 7b 将图 7a 中的两块辅助的辅助反射镜简化为单块的接近半球的反射镜，其在正交的两个平面内的曲率半径不相等（复曲面时）或者相等（球面时），要取决于光源；

图 8 为光学结构的原理图，其中的反射镜和光源组合在一起，基本上装配成一个独立的单元；

图 8a 为包括图 8 中辅助反射镜 M2 和光纤 F1 区域的局部放大图；

图 9 为本发明的推广，包括由四块离轴的复曲面反射镜将四个目标耦合在电磁辐射源上面。

在以下的描述中，仅仅为了解释但并不受此局限而提出详细说明，如光学元件的具体数目和规格等等，以对本发明提供充分理解。然而对于本领域的技术人员非常明显，本发明可以按照与这些详细说明不一致的其它实施例来实施。换一种情况，对于公知装置和技术的详细描述可以省略，以致于不会根据无关的细节而使本发明的描述模糊不清。

根据本发明构成的聚光、收集和会聚用的光电系统，包括三个主要元件（图 4 ）。作为第四个元件的逆反射镜是可选用的，只不过用来改进性能。

（ 1 ）光源。一种电磁辐射的点光源。在本发明范围内，点光源就是随意一种其角度很小且将通量发射到 4π 立体弧度的小型的电磁辐射源。一般说来，这种光源的线性角度尺寸不大于 0。 1 弧度。例如典型的光源可以是一种电弧灯，其电弧间隙约 1 毫米，位于凹面反射镜前方约 5 0 毫米距离处。实际上这种光源是一种分布光源。在

最佳实施例中，这是一种小型的氙弧光灯，电弧隙≤1毫米，并且带有石英玻璃泡或者带石英窗的陶瓷外壳。然而与目标（例如光纤）尺寸类似或比其小的任何电磁辐射源（例如白炽灯、气体放电灯、激光器、发光二极管、半导体等）都可以应用。电磁辐射源的尺寸在此最好由表征光源亮度（在单位角度上的通量密度）的强度等高线图中强度的1／e来确定。亮度与电弧间隙的尺寸有关，并且决定了耦合效率的理论极限。对于弧光灯的特定情况来说，等高线圈趋近于轴对称，并且是电参量、电极结构和组成、气体压力、电弧间隙大小以及气体成分的复杂函数。对于非球面灯泡的弧光灯特定情况来说，光源的有效相对位置及强度分布，都可以使经反射镜面的成象产生象差。这是由基本上起透镜作用的灯泡形状引起的，并且需要补偿象差用的光学元件。光学补偿要么通过改变反射镜的结构以补偿灯泡引起的象散，要么通过在离轴反射镜（参见下文）和目标之间插入矫正光学元件来实现。此外，可以对灯泡加光学膜以减少菲涅耳反射，从而增加可收集在目标上面的辐射，或者控制和／或滤过辐射通量。

（2）反射镜。反射镜能将来自光源的辐射（离轴）反射和聚焦在目标之上。其光轴决定了该系统的Z轴，光源和目标相对该轴离轴。在本发明的范围内，反射镜乃是相对于光源的凹复曲面反射镜的一部分，其精确设计和位置取决于光源和目标的特性。在本发明的最佳实施例中，它的精确设计取决于光源和目标的特性。这些特性如下：对于目标来说，（i）大小，（ii）形状，（iii）离轴位置（参见下文）以及（iv）作为纤维光学目标还有数值孔径、直径及近端相对离轴反射镜的角度（被定义为光纤的横轴和纵轴间的角度）；对于光源来说，（i）尺寸和亮度，（ii）有效数值孔径，以及（iii）由光源

的灯泡或者外壳（假如存在）引起的象散。光学膜层可以施加在反射镜的表面上，以增加反射或者控制和／或过滤辐射通量。附加象散的矫正，可以通过将带或者不带光学或介电膜层的透镜或倾斜平板插在反射镜和目标之间来完成。

（3）目标。所谓目标，是一个很小的需要用尽可能高通量密度的电磁辐射照射或照明的物体。在最佳实施例中，它是直径在1毫米左右或者更小的单根光纤。光纤的性能、直径和数值孔径，必须同光源和反射镜构成的系统的光学特性相匹配。收集和传输效率，可以通过对光纤输入端附加光学处理加以提高或控制。或者换一种方式，该目标可以是单根光纤或者具有相同或不同形状、规格、材料及数值孔径的对称或非对称排列的光纤的集聚。这些光纤的端部通常都是垂直其纵轴进行平面抛光的，然而靠近该反射镜的端部也可按一定角度进行抛光，（i）为的是对电磁辐射源（如弧光灯）的非对称性象及由离轴几何结构和灯泡引入的象散进行补偿（ii）为了改变光纤对于光学集光系统的相对数值孔径（iii）为了调整光纤目标近端的纵轴相对该系统光轴的相对角度。

(4)辅助反射镜。该反射镜能够将来自光源的辐射往回反射及通过光源再聚焦，通过将逆向的辐射强度分布叠加在起始光源上而有效地提高其亮度。在本发明的最佳实施例中，辅助反射镜就是相对于光源的凹复曲面反射镜的一部分。在另一个实施例中，辅助反射镜乃是球面反射镜的一部分。它的精确设计取决于光源的形状和尺寸相对于目标的尺寸（以及在光纤目标情况下的数值孔径），如果存在的话，还取决于为光源的灯泡所需要的非球面矫正。此外，光学膜层可加在辅助反射镜表面上，以提高反射率或者控制、滤过和／或衰减辐射通量。

图4a及4b表示理想化了的根据本发明的会聚和收集系统。在该系统的光轴O的相反两侧有光源SO和目标T，两者都位于距离由复曲面反射镜M_1（离轴反射镜）的光轴和曲率中心确定的光轴为YO距离处。（复曲面反射镜的光轴，被定义为曲率半径的垂直相交面的法线。）而且辅助反射镜M_2也位于光源SO的后面，光源所处距离约等于其曲率半径。尽管最佳实施例中包括了这种用以使辐射通量密度最高会聚的辅助反射镜，然而对于聚光、会聚和收集辐射在目标上而言这并不是重要的。

如图4所示，离轴位移YO对于光源SO和目标T是相等的。按照简化方式实施本发明时，光源的离轴位移可以不同于目标的位移。对于后者来说，该系统的有效光轴将位于目标和光源之间，而且可以不同于该反射镜的光轴。在这种情况下有效的系统光轴的精确位置，将取决于目标的数值孔径以及反射镜的有效数值孔径。当离轴反射镜的光轴并不是该系统光轴的确切描述时，该系统的有效光轴，是由光源的数值孔径对于反射镜的有效数值以及目标的数值孔径的恰当匹配来确定的。假如反射镜的局部实际上被用来将光聚集和会聚在该目标小于图4中全口径A_1的接收角内，那么该反射镜的有效数值孔径将不同于理论上的数值孔径。对于目标的数值孔径小于离轴反射镜数值孔径的系统来说，该反射镜的有效数值孔径将小于理论上的数值孔径。

值得注意地是，图4a及4b中表示的光学系统的几何结构，与作为对比表示在图3a及3b中的美国专利No。4，757，431中公开的几何结构十分相似。如该专利中阐述的那样，使用球面反射镜是将离轴距离的平方（YO^2）除以离轴反射镜曲率半径（r）限

制在小于光源（So）的大小。如下面将要讨论的那样，这种限制很容易通过本发明来增强。

尽管前面引述的专利曾经教领（i）光源相对于凹球面反射镜，应当沿Z轴安置在等于该反射镜曲率半径和离轴距离YO的距离上，以使（Yo^2）/r＜So；（ii）作为目标的最佳位置于是也就是被定义为最小弥散圆的象点，然而通过进一步分析显示，将目标定位在该位置并不需要象美国专利No。4，757，431中规定的那样优化。它的精确位置取决于光源、反射镜和/或置于目标和光源之间的传送光学元件的特性。它还取决于目标、尤其对于光纤还取决于它的形状、规格、数值孔径（NA），以及相对于离轴反射镜近端光轴的截面角。因此，本发明是一种能够增强和提高目标上会聚和收集到的辐射通量的光学系统。它还能增加和提高目标的照明度。在多膜光纤作为目标的情况下，该光纤可以作为能使被传输辐射通量形成不规则分布和扰乱其频率的有效元件，从而使光学象差和光学存储被排除。图5进一步表示本发明一个实施例的座标系。

由于本发明的光学系统可以由许多不同的光源、目标和光学元件来构成，故对于给定的目标来说，可以收集到最大通量的位置被定义为对于该系统的一组特定元件为最大通量密度的位置，而且可以或者不能与具有最大总通量密度、总通量或象点（最小弥散圆）的位置相重合。对位于象点的目标来说，本发明能够提供一种能比已有技术可以达到的辐射通量密度提高的光学成象系统。尽管如此，本系统可以不必优化以提供最大的理论收集效率。作为放置目标的优化位置，在本发明中将取决于目标的特性，并可以分类如下：

情况之1：对于具有类似或者大于光源尺寸的位于象点（最小弥

散圆）的目标来说，该系统具有约为 1 倍的放大率。在这种情况下，假如光纤目标具有的数值孔径等于或者大于离轴反射镜的数值孔径，该系统一定是典型的优化了的。

情况之 2：对于比光源小的目标或者对于具有比情况之 1 中离轴反射镜的数值孔径要小的光纤目标来说，存在着专门用于给定光源及目标的复曲面，使在可以不同于情况 1 的目标下优化可以收集到的通量密度。所以，对由情况2 描述的目标来说，对给定光源存在着相应的优化复曲面。具有不匹配的光源及目标的带有专门优化了的离轴复曲面反射镜的这些系统，将以放大倍率约等于 1（如情况之 1）成象，且目标位于象点上。

情况之 3：对于包括为具有确定特性（例如直径、形状或作为情况 1、2 中讨论的光纤目标的数值孔径）的目标进行优化的给定光源和复曲面反射镜的实际系统来说，使用诸如其目标具有的尺寸或数值孔径不同于优化目标的优化系统，可能需要让目标和反射镜相对于光源作不同的定位。在情况 3 中，该系统偏离放大率为 1 在于，复曲面反射镜通常必须沿 z 轴平移并相对于光源定位在一定距离上，以使能将最大通量密度会聚在目标接收角之内的那部分反射镜表面的定位优化。相对于情况 1 和 2 来说，目标的位置事实上可以不同，而且反射镜的有效数值孔径与目标的数值孔径相匹配。该系统的有效光轴也可以不同于图 4 中的理想化几何形状。

在情况 3 表征的系统中，对于给定目标可能存在着具有相似的可以收集的通量密度的一些点的轨迹，与光源的特性有关。对于弧光光源和其它类似的分布光源来说，光纤目标可以收集到的强度等高线部分，将随目标的大小以及目标和离轴反射镜的数值孔径而改变。因此，实

际上成象或者收集在目标上面的光源部分是变化的。对于小目标来说，目标上面可能存在着能够产生一个同样的可收集通量密度的强度等高线部分，使得该目标放在可获得类似的可收集通量密度的一些点的轨迹上面成为可能。因此对情况3来说，该系统设更确切地认为是将来自光源的辐射收集在目标之上而不是通量密集在目标上成象。在这种对于给定目标存在着一些具有类似通量密度点的轨迹的情况下，目标的尺寸总比光源小，而且光源所具有的强度等高线将在其标称尺寸范围内变化。

在本发明以及美国专利No。4，757，431中，光源的辐射通量在焦点、象点或者目标位置上的下降，主要是由在Y方向上的离轴几何位置产生的象散引起的。其次，对于含有玻璃泡的光源如弧光灯来说，象散是由玻璃泡本身的非球面形状引起的。在美国专利No。4，757，431中，球面反射镜的缺陷在于，投影到Y－Z平面上的光线确实比投影在X－Z平面上的光线的收敛更靠近反射镜。本发明对该专利的改进在于代之以复曲面表面，其所具有的长曲率半径沿Y－轴，短曲率半径沿X－轴。这种曲率半径方面的差异将引起光线在Y－Z平面内的收敛改变位置，以与X－Z平面内的光线收敛处相重合。这种取代将通过减小总系统的象散而减小焦点的尺寸，从而既提高光学系统的会聚能力，又增加目标上可收集的辐射通量。在目标安置在最小弥散圆上的特定情况下，复曲面反射镜实质上能减小图象的尺寸。例如对比具有同样数值孔径和有效半径的球面反射镜和复曲面反射镜，由1毫米直径的光纤从标称1毫米电弧隙的氙弧灯收集到的可以达到的最大通量表明，复曲面反射镜可将能够收集到的最大通量增大40%。

复曲面反射镜对球面反射镜的另一个优点，在于当采用非理想点光源（例如带有非球面玻璃泡的分布光源）时其在减小和补偿离轴几何位置象差方面的适应性。通过绕Z－轴旋转该复曲面反射镜，就能对这些象差中的任一种进行补偿，从而能对光学系统中的光学元件制造公差的实际变化进行调整。这种旋转还能对沿X－Z和Y－Z平面的曲率半径所确定的有效焦距进行调整，以便最大程度地将辐射通量密度会聚在一起。因此，复曲面反射镜的旋转，通过调整曲率半径以补偿该系统中的特定象差，使能够优化目标上面的通量密度。

本发明对前面提到的专利的实际改进是，能对可变尺寸的目标优化其上的通量密度。尽管如美国专利No．4，757，431中规定的那样，近似于光源尺寸的较大目标，对于最大通量被定位在最小弥散圆上或其附近，但小的目标就不然。例如，在复曲面反射镜（r_{1x}＝50毫米；r_{1y}＝51．9毫米）被用来将最大能量会聚在光纤目标上的特定情况下，安置光纤的位置主要取决于光纤的直径和数值孔径。当光纤直径尺寸（1毫米）与光源近似且其数值孔径与反射镜相匹配时，光纤位于美国专利No．4，757，431的教导所规定的最小弥散圆附近，但是当数值孔径实质上更小时其对于可收集最大通量密度的位置却可以变化0．5毫米。对于具有直径与光源大小相近但在数值孔径方面相差约2倍的两根光纤来说，每根光纤对于通量密度达到最大的位置相互相差达1．5毫米，这是由于最大亮度的象点取决于通量密度的角分布，而通量密度必须对目标的数值孔径既按反射镜的数值孔径又按光源亮度进行优化的结果。虽然相对于光纤或光源尺寸在位置方面＜50μm的很小差异不会测出通过目标传送的可收集通量的细微变化，然而较大的错位显然将影响测量。

对于给定目标来说，为了找到可收集到最大通量密度的位置，要求对离轴复曲面反射镜进行调整。因此，对于未匹配光学系统的目标和反射镜来说，目标的定位对于给定的光源而言，是不同于已匹配光学系统的定位的。

美国专利No.4，757，431教导说，收集和聚光系统中数值孔径是独立的。本离轴收集系统则要求光纤目标的数值孔径和离轴反射镜的数值孔径匹配或者优化选择，以达到最大的可收集通量密度。对于未匹配的系统来说，反射镜必须具有比目标数值孔径大的数值孔径，以便达到由光纤目标可收集到最大的通量。对于能发出辐射的光源来说，数值孔径大的目标和反射镜，能够保证最高的光学和集光效率，导致目标上通量密度的最大会聚。优化的系统，包括光源的特性要与离轴反射镜和目标的特性相匹配。对于弧光灯或气体放电灯作为光源来说，这包括亮度匹配，即在光源角度大小范围内的强度等高线要与系统的光学特性相匹配。对给定的任何一组用以描述离轴反射镜和目标的特征来说，存在一种最佳的电弧尺寸和有效数值孔径，将产生出最高亮度的光源并能同目标有最好的耦合。

在图4表示的本发明理想化的实施例中，光源（SO）和目标（T）位于复曲面反射镜M_1的光轴（还被定义为系统的光轴）相反两侧的等距离焦点上。Y－Z平面被认为包含光源、目标和光轴。在弧光灯作光源的特定情况下，X－轴被认为平行于弧隙的电极决定的光源的纵轴（图5）。包含光轴的Y－Z平面，可以或者不必与包含电弧和光纤目标的平面重合。有时候可能希望要不是$\beta\pi_o$，就是$g\pi_o$，或者是两者，其准确值则取决于电弧、反射镜、光学传送元件和光纤的特性。实际上，通过让光轴$\beta * 5°$和／或$g * 5°$倾

斜以达到弧光灯光源和光纤特性的光学匹配，或者让目标定位在Y－Z平面以上或以下，便可将可以收集的通量或光学系统的效率提高5～10%。

本发明更接近理想地简化实施，要求光源如电弧灯的构成能将离轴反射镜和辅助反射镜收容在包含光源的同一外壳中。光纤目标要么可以装在外壳的内部要么外部。当其装在内部时，光纤被作为全封闭的光源、离轴反射镜和辅助反射镜组件的一部分固定安装。当其装在外部时，不是靠近光纤目标最佳位置处设置一个窗（图8），就是采用光纤耦合机构将光源的聚焦象耦合到光纤目标之上。这种装置的性能，将取决于离轴反射镜是复曲面还是球面以及离轴位移达到的程度。对于离轴位移最小的情况而言，球面和复曲面反射镜的性能将相似。这种结构能够消除与短弧隙灯相关联的非球面玻璃泡中固有的象差，因而同轴的球面辅助反射镜和复曲面设计都可使用。不带非球面玻璃泡结构的弧光灯，如一些带有陶瓷外壳和窗结构的弧光灯，能够避免由玻璃泡产生的象差，并且模拟出不必将光源和光学系统封装在单一外壳中的接近理想条件。

美国专利No。4，757，431教导说，使用球面反射镜要有$Yo^2/r<So$的限制。然而这种限制由于需要让目标实际上位于邻近玻璃泡的最小离轴距离上而限制了该系统的物理设计。与此形成对比的是，复曲面反射镜的半径（r_{1x}和r_{1y}）可以选择，以使这种对Yo^2/r值的限值大大松驰。这样光源／玻泡和目标之间就允许有一附加空间。该附加空间能够消除玻泡对聚焦的潜在干扰，并允许安装光学元件（例如滤光片、倾斜矫正平板、透镜等）或者机械元件（例如快门、可变光阑等）以便衰减、控制和／或滤过入射在目

标上的辐射通量密度，在前面引用的专利的最佳实施例中，为了用 $r=50$ 毫米且 $SO=1$ 毫米的球面反射镜达到可收集的最大通量，YO 被限制在不大于 7 毫米。由于最大玻泡直径按照 $YO^2/r<SO$ 且离轴距为最小的限制应为 $4\ YO$，故美国专利 No。4，757，431 要求的灯泡最大直径为 28 毫米。实际上这就要将光纤装在靠近灯泡。本申请代之以 $r_1x=50$ 毫米且 $r_1y=51.9$ 毫米的复曲面反射镜，对于 1 毫米光纤的优化位置是 $YO=10$ 毫米，且在光纤目标上面收集到的总能量，要比美国专利 No。4，757，431 教导过的 50 毫米直径的可比球面反射镜能达到的高出 40%。因而对于在此描述的本发明来说，$YO^2/r>SO$，而且这种特点就能使光纤目标装在离开玻泡位置。这种改进还为使用大直径的灯提供方便。由于弧光灯的直径与其工作瓦数成正比，所以大的灯泡允许弧光灯工作在更高的瓦数下，从而增大可收集的通量。例如在此提到的带有 40 毫米直径灯泡的高瓦数灯就可以使用。

由于大多数电弧都不是对称的，且其 X 和 Y 尺寸并不相同，故通过按一定角度抛光圆柱形光纤使其横截面近似于椭圆，可以实现在收集辐射方面有 10% 数量级的改进。通过改变光纤近端处法线与光轴间的角度，可使光纤目标的纵轴绕枢轴转动或旋转，以使可收集到的通量密度和目标上的辐射或照明为最大。

此处描述的基本光学结构可被扩展到包括第二块凹反射镜 M_2 (即辅助反射镜)。这种辅助反射镜位于光源的后面，以将发自光源的通量向后反射并经过光源再聚焦在复曲面反射镜上。此凹反射镜可以是球面或者复曲面。使用这种凹面辅助反射镜在可收集通量方面的改进，取决于光源、灯泡、离轴复曲面反射镜和目标的特性，且可以从 10%

变化到75%。辅助反射镜应当与光源、玻泡(如果存在)以及复曲面反射镜和目标的光学性能相匹配，以便产生出能使可收集的辐射通量和系统效率为最高的光学系统。复曲面设计对于带玻泡（外壳）的光源是优越的，因它能便于减小非球面玻泡引起的象散。矫正这种象散，能够对于球面的逆反射镜收集的总辐射通量方面产生20%的改进。如图8中所表示的装备在一个容器里的系统，能采用球面或复曲面的逆反射镜进行优化，这取决于所选用的目标。

在此描述的光学结构，可以扩展为包括多个离轴的反射镜（如在上述美国专利No.4，757，431中讨论过的）、多个辅助反射镜和多个目标。图4中的光学系统，不带辅助反射镜M_2时，可以提供一个总的由四块离轴反射镜和四个目标构成的系统。包括第二块反射镜M_2时，将该系统可简化为图7表示的两块离轴反射镜和两个目标。图8表示将图7中的反射镜M_2简化为单块的接近半球的辅助反射镜。在四块离轴反射镜的情况下，每块反射镜将收集90°立体角范围内来自光源的电磁辐射。在两块离轴反射镜的情况下，每块反射镜将收集90°立体角范围内来自光源及一对反射镜M_2或者图8的单块辅助反射镜的光，并将其分别在90°或180°立体角范围内向后聚焦并经过光源。图8表示图4中光学结构的简化，其中的两块反射镜和光源组合在一起，基本上装配成了一个装备在一个容器里的单元。实际上通过窗或者光纤选配以某种手段将目标耦合到会聚的通量密度上的任何离轴反射镜和辅助反射镜的组合，都能作为一个装备在一个容器内的单元制做。尽管对于要求多于四个目标的应用可将离轴反射镜个数增加到超过4，然而实际上这样的光学系统并不能使目标上可收集的通量密度增大。

说　明　书　附　图

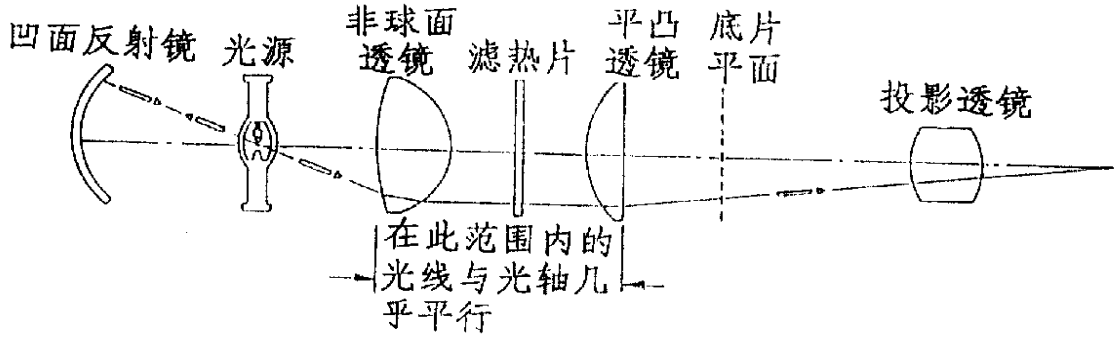


图　1

现有技术

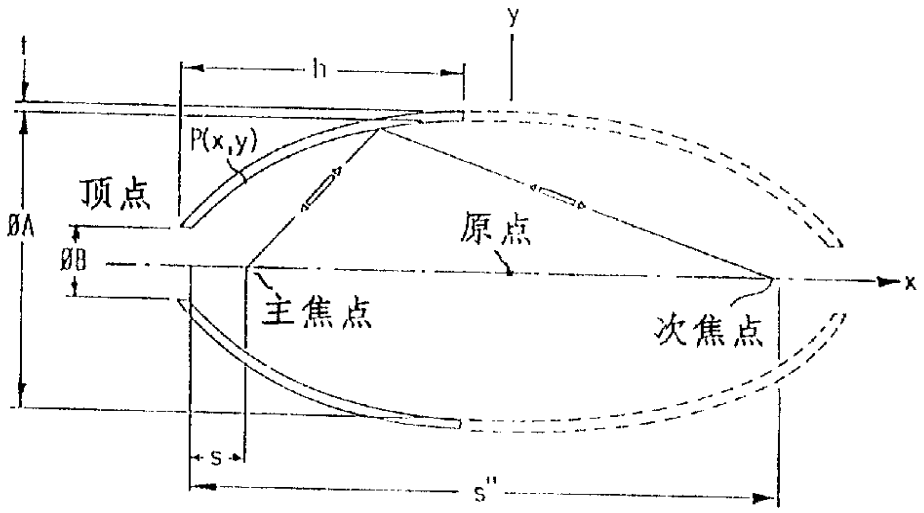


图　2

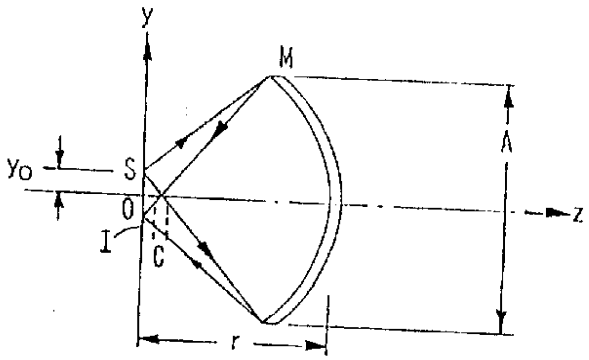


图 3a

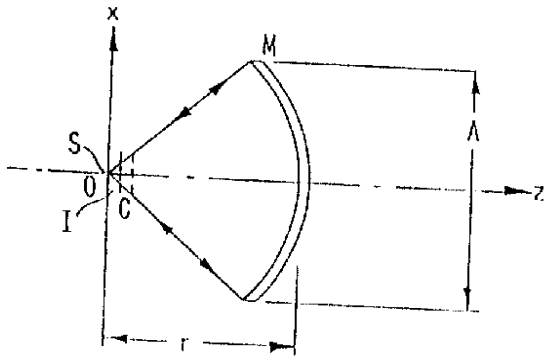


图 3b

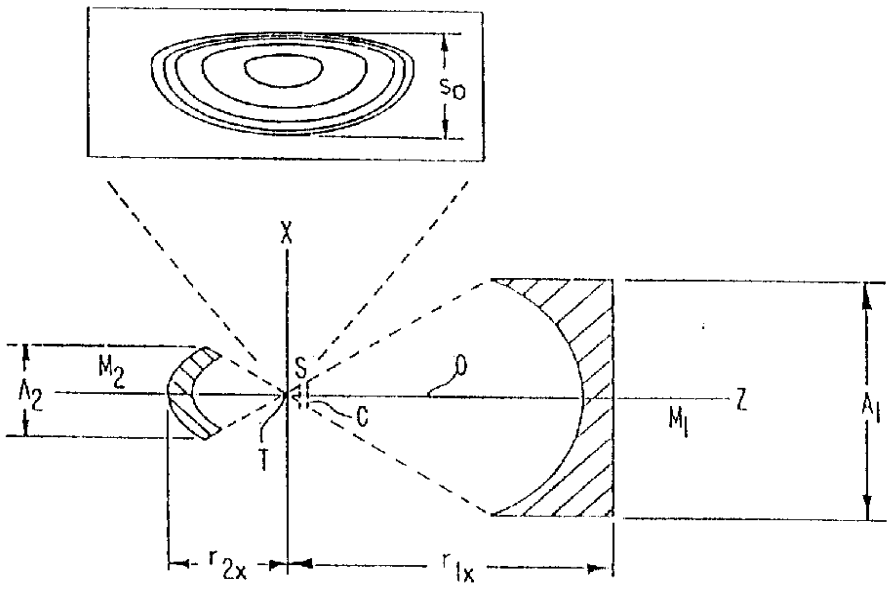


图 4a

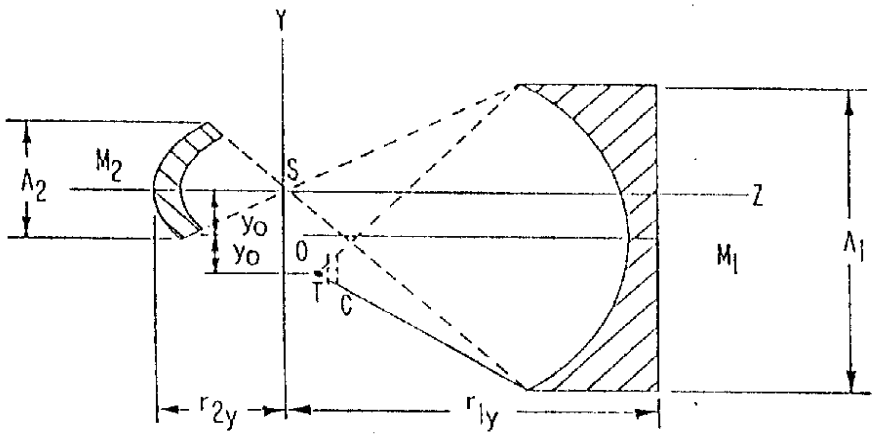


图 4b

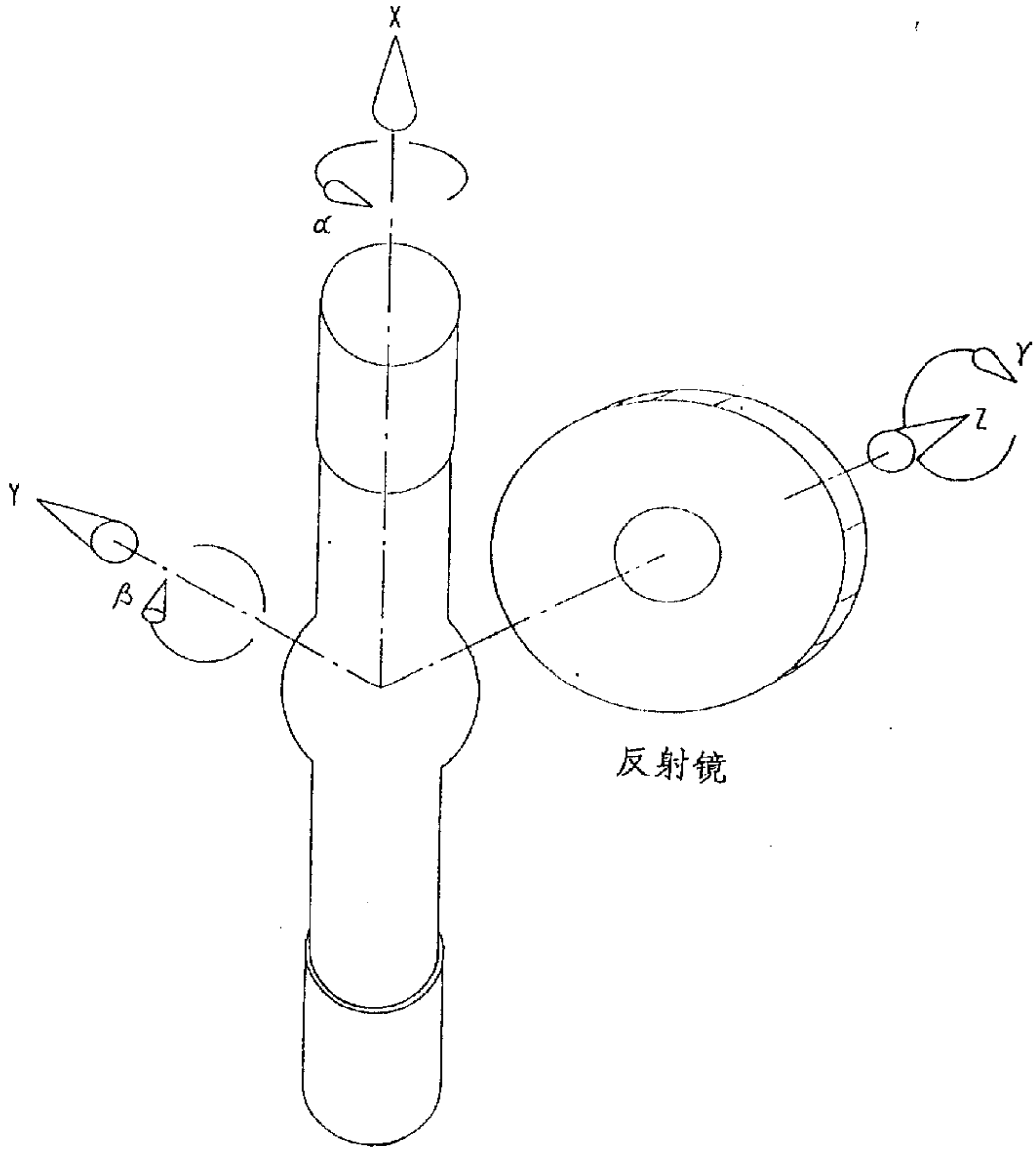


图 5

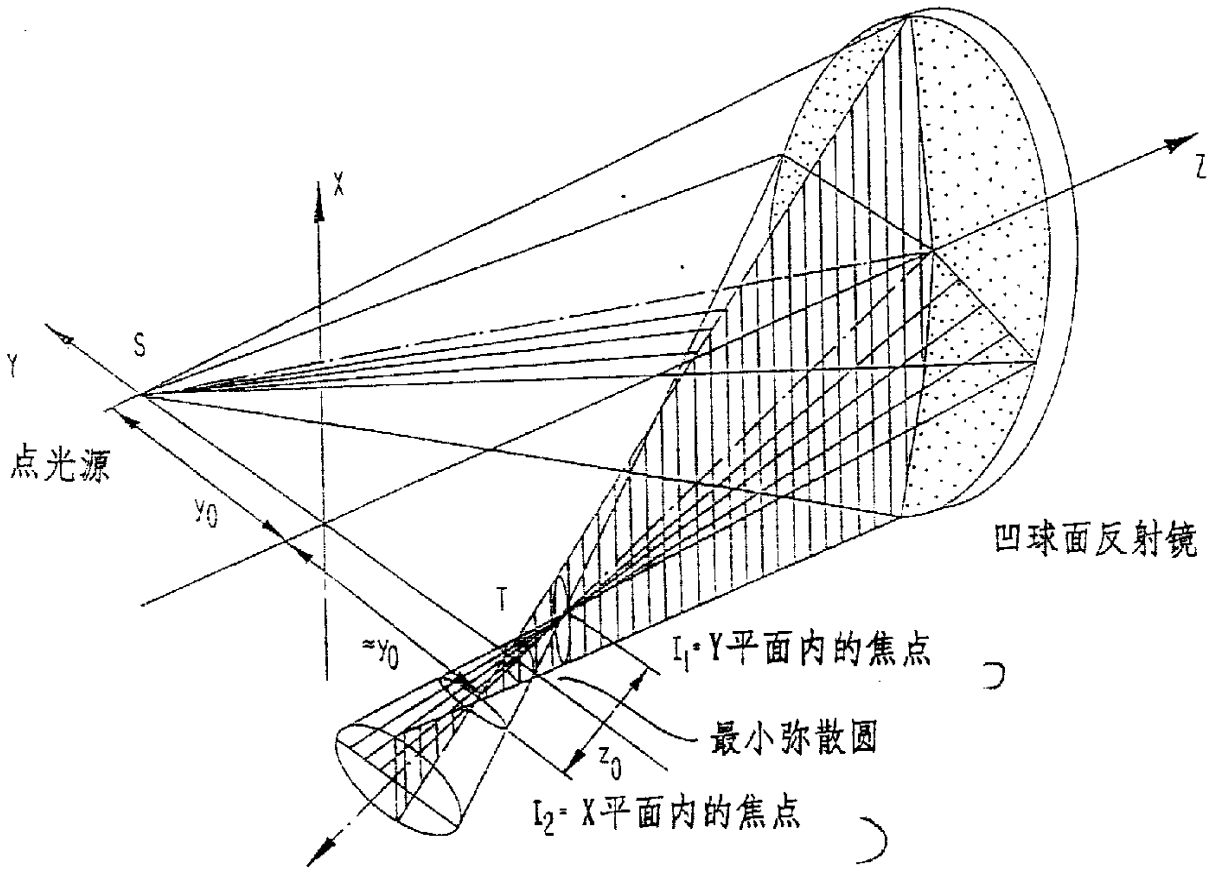


图 6D

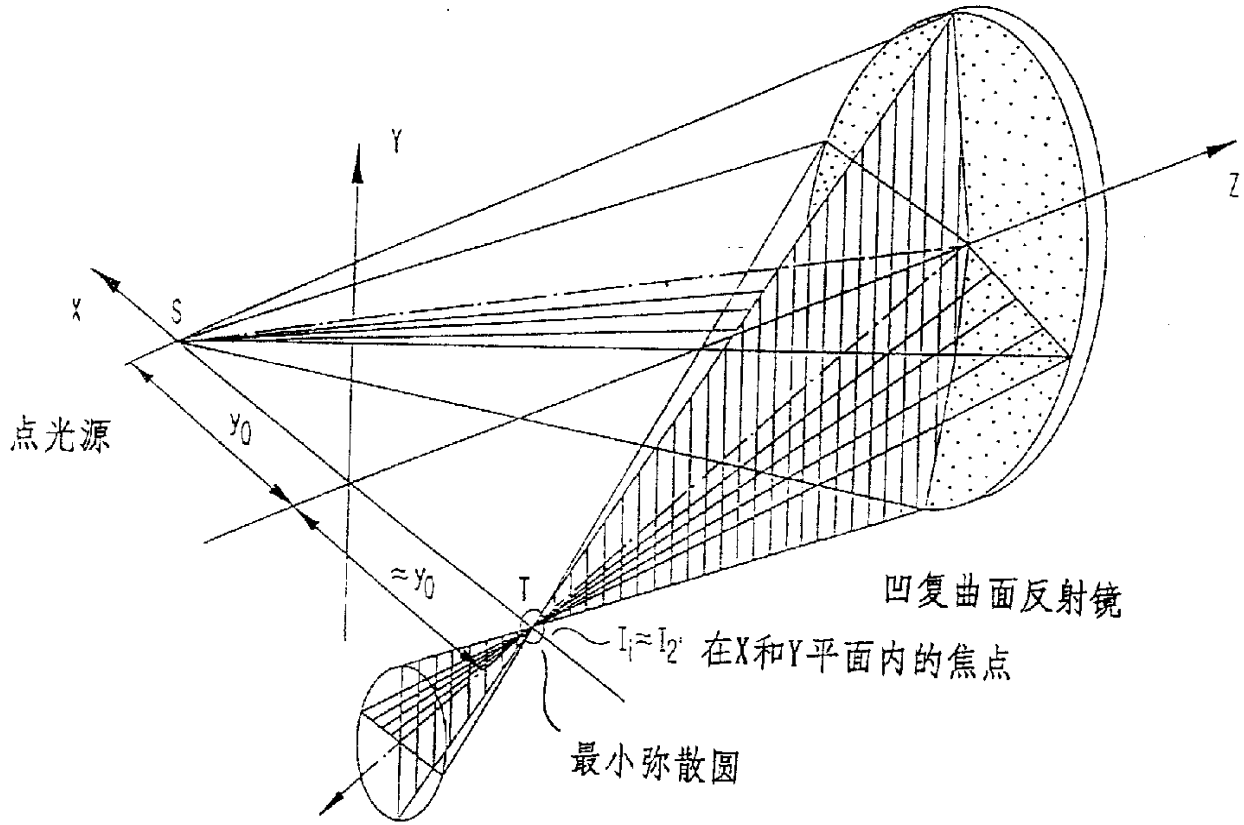

Y
Z
X
S
点光源
y_0
$\approx y_0$
T
凹复曲面反射镜
$I_1 \approx I_2$ 在X和Y平面内的焦点
最小弥散圆

图 6b

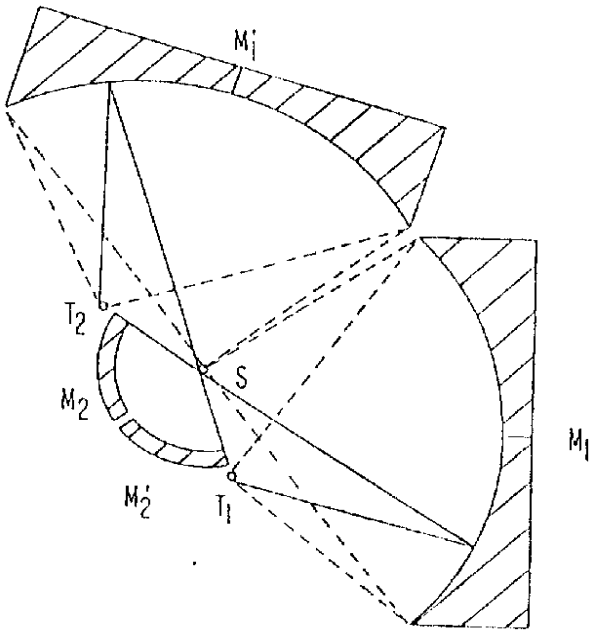


图 7a

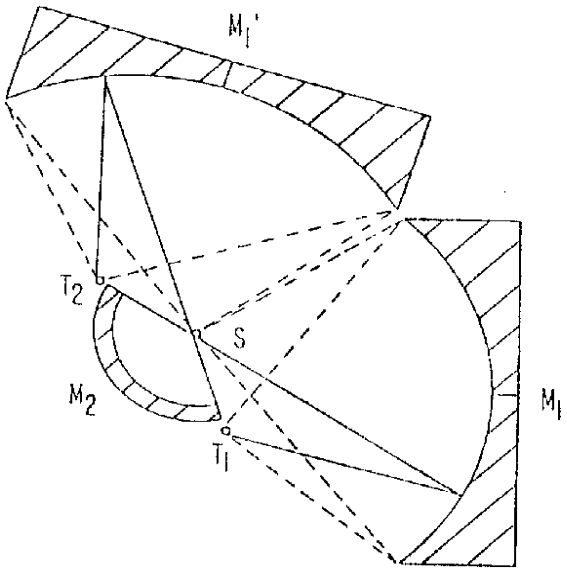


图 7 b

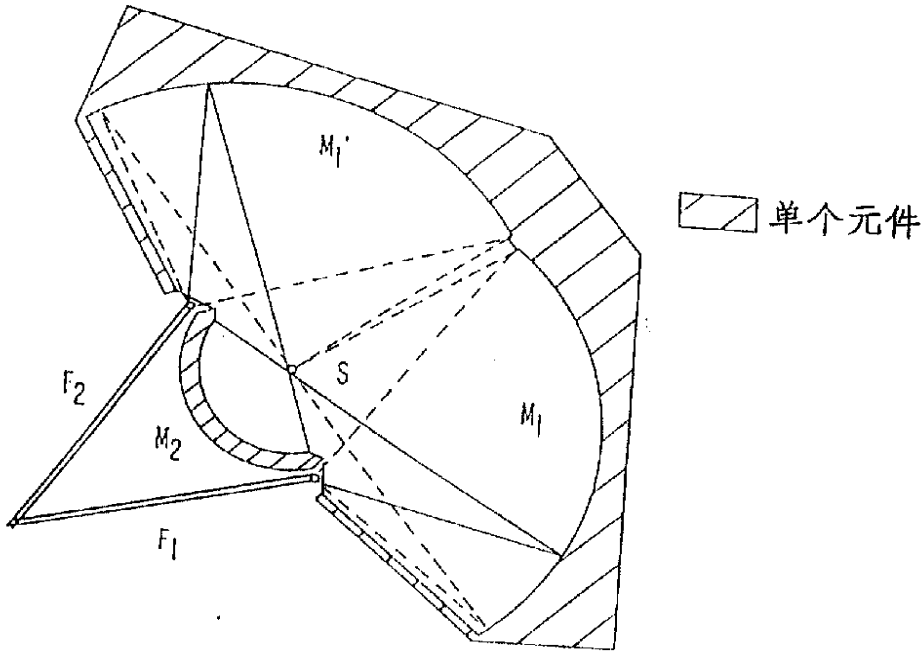


图 8

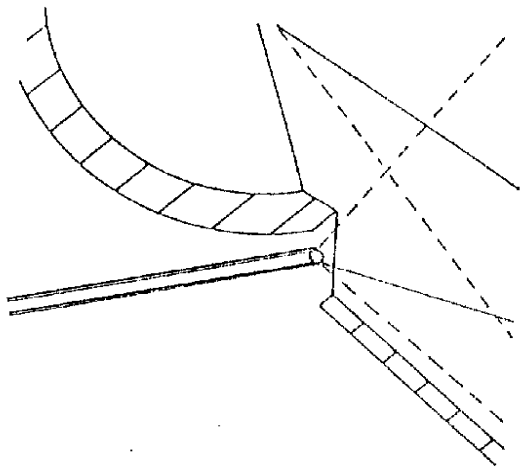


图 8 a

图 9

