

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G01M 11/00 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200510119028.8

[43] 公开日 2007 年 1 月 17 日

[11] 公开号 CN 1896706A

[22] 申请日 2005.11.29

[21] 申请号 200510119028.8

[71] 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130031 吉林省长春市东南湖大路 16 号

[72] 发明人 任建伟 张立国 万志 李宪圣
朱启海 赵贵军

[74] 专利代理机构 长春科宇专利代理有限责任公司
代理人 梁爱荣

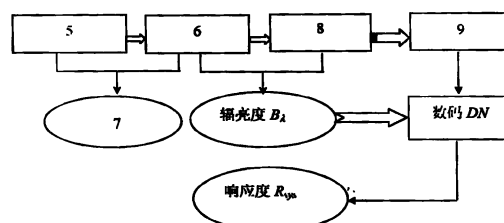
权利要求书 3 页 说明书 10 页 附图 3 页

[54] 发明名称

大口径光电系统野外现场辐射定标的方法及装置

[57] 摘要

本发明涉及对野外实验现场使用的大口径光电辐射测量系统进行辐射定标的方法和装置。要解决大口径光电系统野外现场的定标问题，方法是辐射定标照明源出口小于被定标光电系统的入瞳、发散角大于被定标光电系统的视场角；标准辐射源对参考辐射计定标得到响应度；参考辐射计对辐射定标照明源定标得到出射辐亮度；辐射定标照明源照明被定标光电系统，其像面上形成大于探测器面积的光斑，得到图像数码输出和辐照度响应度。装置包括探测器、斩光器、两个通光孔、两个主镜、两个次镜、两个镜筒、光栏、腔型辐射源、连接器；用小辐射定标照明源达到大面积辐射源辐射定标的效果；具有重量轻、功耗低、操作简单、像面均匀、辐射能量范围大的优点。



1、大口径光电系统野外现场辐射定标的方法，其特征在于辐射定标的步骤如下：

a.将均匀的小面积辐射源放置在平行光管的焦面上，制成一体化的辐射定标照明源，辐射定标照明源出口面积小于被定标光电系统的入瞳面积；

b.根据被定标光电系统的观测视场角可以给出辐射定标照明源的发散角，使辐射定标照明源的发散角大于被定标光电系统的观测视场角；

c.利用已知辐射量的标准辐射源（可溯源到国家计量标准）对参考辐射计进行定标，得到参考辐射计的响应度；

d.由参考辐射计对辐射定标照明源进行定标，得到辐射定标照明源的出射辐射亮度 B_λ ，即完成辐射定标照明源的计量传递；

e.用辐射定标照明源照明被定标光电系统，使被定标光电系统成像后在其像面上形成均匀且大于被定标光电系统探测器面积的光斑，在其像面上实现扩展的辐射源照明，可以得到被定标光电系统图像的数码输出 DN ，进而得到被定标光电系统的辐照度响应度 R_{SYS} ，则完成大口径光电系统野外现场辐射定标。

2、根据权利要求1所述的大口径光电系统野外现场辐射定标的方法，其特征在于：

所述的辐照度响应度为：
$$R_{SYS} = \frac{DN - DN_B}{B_\lambda} \cdot \frac{f^2}{A_D} \cdot \frac{A_O}{A_S} (1 - M^2)$$

式中,

f — 被定标光电系统的焦距;

A_D — 被定标的光电系统中探测器单个像元的面积;

DN_B — 测得被定标光电系统的暗场数码输出;

A_O — 被定标光电系统的光学接收面积;

M — 被定标光电系统遮拦比;

A_s — 辐射定标照明源有效出射面积。

3、大口径光电系统野外现场辐射定标装置,其特征在于:包括参考辐射计(6)和辐射定标照明源(8),参考辐射计(6)包括:探测器(10)、斩光器(11)、通光孔(12)、主镜(13)、次镜(14)、镜筒(15);辐射定标照明源(8)包括:第一镜筒(16)、第一次镜(17)、第一主镜(18)、第一通光孔(19)、光栏(20)、腔型辐射源(21)、连接器(22);

在参考辐射计(6)中,次镜(14)的光轴与主镜(13)光轴夹角为 45° ,主镜(13)和次镜(14)的反射面相对放置并固定到镜筒(15)里,探测器(10)和斩光器(11)位于镜筒(15)外面,主镜(13)固定到镜筒(15)的底部,在镜筒(15)上有与次镜(14)光轴同轴的通光孔(12),次镜(14)的反射面对准通光孔(12)和镜筒(15)的内壁,斩光器(11)位于探测器(10)和通光孔(12)之间,并斩光器(11)靠近探测器(10)一侧放置,探测器(10)安装在主镜(13)的焦点处;

在辐射定标照明源(8)中,第一镜筒(16)内有第一次镜(17)和第一主镜(18),在第一镜筒(16)外有光栏(20)、腔型辐射源(21)和连接器(22),在第一镜筒(16)上有与第一次镜(17)光轴同轴的第一通光孔(19),第一主镜(18)位于第一镜筒(16)的底部和第一次镜(17)之间,且第一主镜(18)与第一次镜(17)安装固定到第一镜筒(16)上,第一主镜(18)与第一次镜(17)的反射面相对放置,第一次镜(17)的反射面对准第一通光孔(19)和第一镜筒(16)的内壁,光栏(20)位于腔型辐射源(21)和第一通光孔(19)之间,且光栏(20)放置在第一主镜(18)的焦点位置上,腔型辐射源(21)靠近光栏(20)一侧放置,第一次镜(17)的光轴与第一主镜(18)光轴夹角为 45° ;当用参考辐射计(6)对辐射定标照明源(8)定标时,将镜筒(15)和第一镜筒(16)通过连接器(22)固定连接。

大口径光电系统野外现场辐射定标的方法及装置

技术领域

本发明属于光电辐射测量技术领域，涉及对野外实验现场使用的大口径光电辐射测量系统进行辐射定标的方法和装置。

技术背景

光电辐射测量系统（以下简称光电系统）的任务是测量目标发出的辐射量，而该测量系统实际的输出是电信号，该信号与目标发出的辐射量相关。辐射定标的目的就是确定入射辐射量与输出电信号之间的关系。辐射定标的主要原理是将已知辐射量值的辐射源（可溯源到国家计量标准）放置在待定标的光电系统的光学入瞳之前，根据光电系统入射辐射量值和其输出的电信号量值，建立从辐射输入到光电系统最终信号输出之间的定量关系。辐射定标的基本要求是，其一，定标辐射源出射的光斑能均匀照明被定标光电系统的探测器；其二，定标辐射源的出射辐射量范围要大于被定标光电系统的动态范围。常规光电系统辐射定标的基本方法(内部使用的红外与光电系统手册)包括：近距离扩展辐射源照明法（辐射源面积大于光电系统光学入瞳面积，见图1），远距离点辐射源照明法(图2)和近距离点辐射源照明法（图3）。在这三个图中，1是已知辐射量的辐射源，2是被定标光电系统的入瞳，3是被定标光电系统的视场光栏，4是光电系统像面（光电系统探测器置于此）。这些辐射定标方法的特点分别如下：

近距离扩展辐射源照明法（图 1）：将面积大于光电系统入瞳面积的辐射源 1 放置在被定标大口径光电系统入瞳 2 前，两者距离要保证定标源的辐射充满被定标光电系统的视场和孔径。用这种方法直接照明被定标光电系统，能够在光电系统探测器上形成一个均匀且大于像面 4 尺寸（探测器尺寸）的光斑，可以同时定标出光电系统探测器任一个像元的辐亮度响应度。该方法是一种比较理想的实验室辐射定标方法。目前定标所用的大面积辐射源有积分球光源（可见到近红外波段）和大面积黑体辐射源（中波到长波红外波段）等。但应用该方法在野外现场对大口径光电系统定标受到诸多限制：其一，辐射定标装置的重量、体积和功耗都很大，即不利于运输、安装也不利于操作和维护；其二，大面积标准辐射源制造技术复杂，工艺难度大，性能指标（如表面辐射度的稳定性、均匀性、余弦辐射特性等）在野外现场使用条件下难以保证；此外由于造价太高，不被用户接受。

远距离点辐射源照明法（图 2）：点辐射源 1 远离大口径光电系统入瞳 2 对其直接照明，两者间的距离要大于被定标光电系统光学焦距的 10 倍以上，并保证在像面 4 上形成一个点光源图像，可以定标出光电系统的入射辐射通量（或照度）与输出电信号之间的响应关系。该定标方法用小尺寸辐射源直接照明被定标大口径光电系统，虽然可以减小定标装置的体积、重量，但是由于成像关系，在某一时刻该定标方法只能对光电系统成像探测器的部分像元（10 个像元左右）进行定标，这对于像面上动辄 10 万像元以上的光电系统成像探测器来讲，完成全部像元的定标操作繁杂，且工作量太大，因此该方法对于

定标大口径光电系统来讲不适用；其次用该方法直接照明被定标光电系统，在像面上形成的光斑不也均匀，无法满足定标精度。

近距离点辐射源照明法（图3）：将点光源1放置在被定标光电系统入瞳2附近对其直接照明，该照明法（琼斯法）可以在被定标系统的像面4上获得一个扩展的均匀照明光斑。其主要问题是入射到像面4上的辐射能量衰减十分严重，辐亮度衰减的幅度为 A_p/A_s （ A_p 为光电系统的入瞳有效面积， A_s 为小光源的有效发光面积）倍。因此该方法适合于对测量暗弱目标或动态范围小的光电系统进行辐射定标，而对于 $A_p/A_s \geq 6000$ 以上的光电系统来说，由于入射到像面上的辐射能量衰减十分严重，不能满足其大动态范围的辐射定标要求。在我们的具体实施例中，辐射定标要求必须采用红外腔型辐射源，由于现场功耗以及目前技术、工艺限制，该辐射源只能做到稳定的工作温度最高为1500K，开口的出瞳直径8mm，而定标光电系统的入瞳直径达到670mm，使入射到像面上的能量衰减了7000倍以上，十分微弱，因此采用这种定标方法，所带来的问题是一方面引入了较大的定标误差，另一方面只能在很小的动态范围内进行定标，不能满足定标要求，因此该方法也不适用。

发明内容

背景技术中，对于大面积标准辐射源照明法，由于大面积标准辐射源的研制技术复杂、工艺难度大、性能指标难以保证，且成本高、重量、体积和功耗大，运输、安装、操作和维护都不方便；远距离点辐射源照明法完成全部像元的定标操作繁杂、工作量大、光斑的像面

不均匀,则无法满足定标精度;近距离点辐射源照明法,辐亮度低不能满足被定标光电系统动态范围的要求,如增加辐亮度需要的功耗大,在现场不适用;上述三个方法都不适用于大口径光电系统的野外现场标定,为了解决上述问题,本发明的目的是将要提供利用小面积辐射源实现扩展照明对大口径光电系统进行野外现场辐射定标的方法及装置。

本发明对大口径光电系统进行辐射定标的方法如下: a.将均匀的小面积辐射源放置在平行光管的焦面上,制成一体化的辐射定标照明源,辐射定标照明源出口面积小于被定标光电系统的入瞳面积; b.根据被定标光电系统的观测视场角可以给出辐射定标照明源的发散角,使辐射定标照明源的发散角大于被定标光电系统的观测视场角; c.利用已知辐射量的标准辐射源(可溯源到国家计量标准)对参考辐射计进行定标,得到参考辐射计的响应度; d.由参考辐射计对辐射定标照明源进行定标,得到辐射定标照明源的出射辐射亮度 B_λ ,这个过程即完成了国家计量标准到辐射定标照明源的计量传递; e.用辐射定标照明源照明被定标光电系统,使被定标光电系统成像后在其像面上形成均匀且大于被定标光电系统探测器面积的光斑,在其像面上实现扩展的辐射源照明,可以得到被定标光电系统图像的数码输出 DN ,进而得到被定标光电系统的辐照度响应度 R_{SYS} ,则完成大口径光电系统野外现场辐射定标。

所述辐照度响应度为:

$$R_{\text{SYS}} = \frac{DN - DN_B}{B_\lambda} \cdot \frac{f^2}{A_D} \cdot \frac{A_O}{A_S} (1 - M^2) \quad (1)$$

式中,

f — 被定标光电系统的焦距;

A_D — 被定标的光电系统中探测器单个像元的面积;

DN_B — 测得被定标光电系统的暗场数码输出;

A_O — 被定标光电系统的光学接收面积;

M — 被定标光电系统遮拦比;

A_S — 辐射定标照明源有效出射面积。

本发明的辐射定标装置包括参考辐射计和辐射定标照明源,参考辐射计包括:探测器、斩光器、通光孔、主镜、次镜、镜筒;辐射定标照明源包括:第一镜筒、第一次镜、第一主镜、第一通光孔、光栏、腔型辐射源、连接器;

在参考辐射计中,次镜的光轴与主镜光轴夹角为 45° ,主镜和次镜的反射面相对放置并固定到镜筒里,探测器和斩光器位于镜筒外面,主镜固定到镜筒的底部,在镜筒上有与次镜光轴同轴的通光孔,次镜的反射面对准通光孔和镜筒的内壁,斩光器位于探测器和通光孔之间,并斩光器靠近探测器一侧放置,探测器安装在主镜的焦点处;

在辐射定标照明源中,第一镜筒内有第一次镜和第一主镜,在第一镜筒外有光栏、腔型辐射源和连接器,在第一镜筒上有与第一次镜光轴同轴的第一通光孔,第一主镜位于第一镜筒的底部和第一次镜之间,且第一主镜与第一次镜安装固定到第一镜筒上,第一主镜与第一

次镜的反射面相对放置，第一次镜的反射面对准第一通光孔和第一镜筒的内壁，光栏位于腔型辐射源和第一通光孔之间，且光栏放置在第一主镜的焦点位置上，腔型辐射源靠近光栏一侧放置，第一次镜的光轴与第一主镜光轴夹角为 45° ；当用参考辐射计对辐射定标照明源定标时，将镜筒和第一镜筒通过连接器固定连接。

本发明的积极效果：

本发明中采用了将小辐射面源扩展成像的设计思想，成功研制出辐射定标照明源，用此辐射定标照明源对被定标的光电系统进行照明，在被定标光电系统的像面上形成一个扩展的辐射均匀照明光斑，覆盖了被定标光电系统的探测器，使其沿被定标光电系统光学口径的半径方向及圆周方向移动，对被定标光电系统进行全口径的辐射定标，获得用大面积辐射源进行辐射定标的效果；通过参考辐射计对辐射定标照明源定标，完成了国家计量标准到辐射定标照明源的计量传递，使辐射定标照明源的输出辐射量成为已知量；本发明装置具有体积小、重量轻、功耗低、操作简单、光斑的像面均匀、输出辐射能量动态范围大等优点，解决了对大口径光电系统现场辐射定标的一系列难题，即解决了大面积标准辐射源技术复杂、工艺难度大、性能指标难以保证而且成本太高、以及重量、体积和功耗都很大，即不利于运输、安装也不利于操作和维护的难题；还解决了远距离点辐射源照明法完成全部像元定标操作繁杂、工作量大、光斑的像面不均匀，无法满足定标精度的问题；也解决了近距离点辐射源照明法，点辐射源辐射能量动态范围不能满足被定标光电系统动态范围要求的问题。

本发明的辐射定标方法和定标装置,特别适合对野外使用的大口径光电辐射测量系统进行现场定标,已得到实际应用,应用效果很好。此外,该辐射定标方法和定标装置在实验室也能使用。

附图说明

图1 背景技术近距离扩展辐射源照明法定标原理图;

图2 背景技术远距离点辐射源照明法定标原理图;

图3 背景技术近距离点辐射源照明法定标原理图;

图4 本发明辐射定标流程图也是摘要附图;

图5 本发明现场辐射定标原理图;

图6 本发明参考辐射计结构示意图;

图7 本发明辐射定标照明源结构示意图。

具体实施方式

实施例1:如图4所示:在定标光电系统前,首先用标准辐射源5对参考辐射计6进行定标,得到参考辐射计6的响应度7,再把参考辐射计6与辐射定标照明源8通过连接器22对接,测出辐射定标照明源8的输出辐亮度 B_λ ;当定标光电系统时,按照图5所示实施现场辐射定标,将辐射定标照明源8安装在多维调整支架上,使其可沿被定标光电系统9光学口径的半径方向及圆周方向移动,可对被定标光电系统进行全口径的辐射定标。将辐射定标照明源8靠近放置在被定标光电系统9的入瞳处,并使其光轴与被定标光电系统9的光轴平行,可以得出在不同辐亮度 B_λ 下光电系统的输出数码 DN ,按公式(1)可以在现场建立被定标光电系统9的辐照度响应度 R_{SYS} 。

本发明的辐射定标装置包括参考辐射计 6 和辐射定标照明源 8。

参考辐射计 6 包括：探测器 10、斩光器 11、通光孔 12、主镜 13、次镜 14、镜筒 15；辐射定标照明源 8 包括：第一镜筒 16、第一次镜 17、第一主镜 18、第一通光孔 19、光栏 20、腔型辐射源 21、连接器 22。

参考辐射计 6 的光学系统采用典型的牛顿系统；探测器 10 根据被定标光电系统的工作波段选择，可以采用红外探测器或可见光探测器；斩光器 11 采用精密机械斩光器；在镜筒 15 本体上开有与光轴同轴的通光孔 12；主镜 13 可以采用球面反射镜或离轴非球面反射镜；次镜 14 可以采用马蹄镜或平面反射镜。主镜 13 和次镜 14 为一体化结构皆安装固定到镜筒 15 上。主镜 13 采用金属材料（如铝）或光学玻璃材料等制成，经过二次曲面加工，并在其曲面镀制高反膜，高反膜的波段根据被定标光电系统的工作波段选择；次镜 14 采用金属材料（如铝）或光学玻璃材料等制成，经过平面加工，并在其平面镀制高反膜，高反膜的波段根据被定标光电系统的工作波段选择；镜筒 15 可以采用铝合金或质量轻、刚度好的材料制成，镜筒 15 内需消杂光处理。

本实施例参考辐射计主要技术指标：

- 视 场：0.3°；
- 遮 拦 比：1/4；
- 有效入瞳直径： 100mm；
- 焦距：300mm；
- 噪声等效辐射亮度： $10^{-9} \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ ；

辐射定标照明源 8 中的光学系统也是采用牛顿系统，第一主镜

18 采用球面反射镜或离轴非球面反射镜，并用金属材料（如铝）或光学玻璃材料等制成，经过二次曲面加工，在其曲面镀制高反膜，高反膜的波段根据被定标光电系统的工作波段选择；第一次镜 17 采用马蹄镜或平面反射镜，用金属材料（如铝）或光学玻璃材料等制成，经过平面加工，在其平面镀制高反膜，高反膜的波段根据被定标光电系统的工作波段选择；第一次镜 17 的光轴与第一主镜 18 光轴夹角为 45° ，第一主镜和第一次镜为一体化结构皆安装固定到第一镜筒 16 上；腔型辐射源 21 为黑（灰）体；在第一镜筒 16 本体上开有与光轴同轴的第一通光孔 19；光栏 20 安装在第一主镜 18 与第一次镜 17 构成的光学系统的焦平面上，第一通光孔 19 与上述光学系统的光路同轴；第一镜筒 16 由铝合金或质量轻、刚度好的材料制成，第一镜筒 16 内实施了消杂光处理，第一镜筒 16 上有连接器 22，便于在用参考辐射计 6 对辐射定标照明源 8 定标时二者对接。

本实施例辐射定标照明源 8 的主要技术指标：

- 腔型辐射源工作温度：室温~1500K；
- 焦距：300 mm；
- 出瞳直径：100 mm；
- 遮拦比：1/4；
- 发散角： $34.7'$ （光栏直径 3mm）；
- 稳定度：0.25%；
- 非均匀性小于 1.0 %。

本发明实施例对大口径红外光电系统辐射定标的精度优于 5%。

本发明实施例是针对红外大口径光电系统研制的辐射定标装置。

实施例 2:

将辐射定标照明源的红外波段腔型辐射源改为可见光波段光源，再将主镜 13 和次镜 14、第一次镜 17 和第一主镜 18 的工作面镀制可见光波段高反膜，探测器 10 采用可见光波段探测器，其它部件与实施例 1 相同，则本发明就可以对可见光波段的大口径光电系统进行辐射定标。

除了上述实施例之外，在本发明范畴内的实施例不再详细叙述。

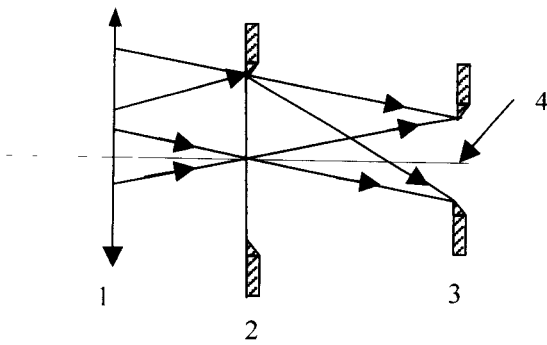


图 1

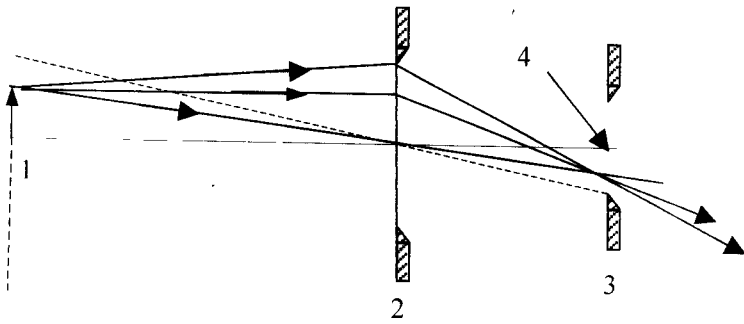


图 2

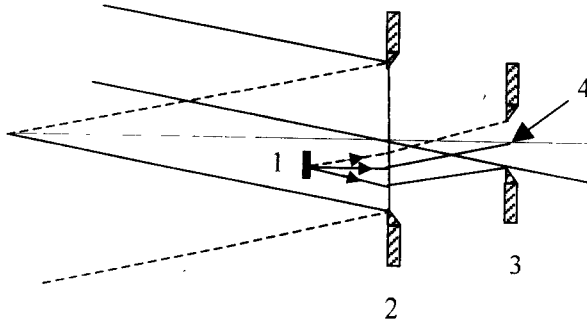


图 3

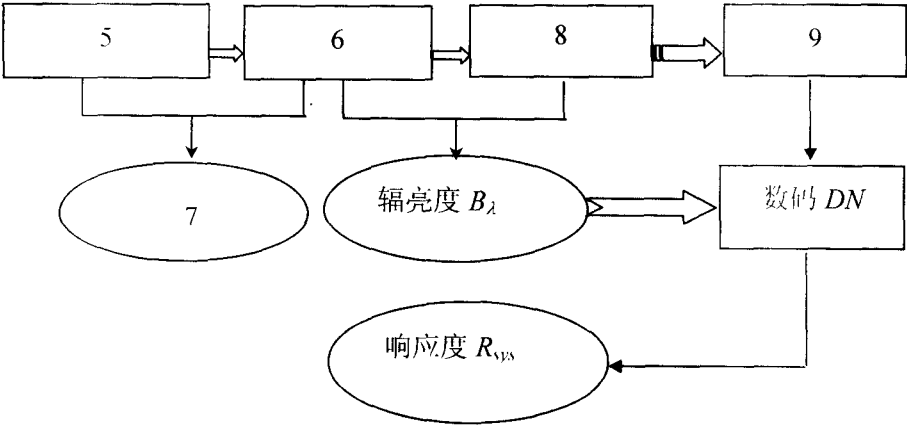


图 4

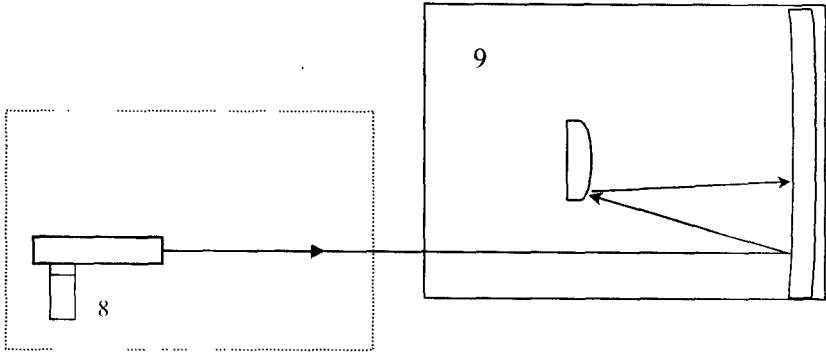


图 5

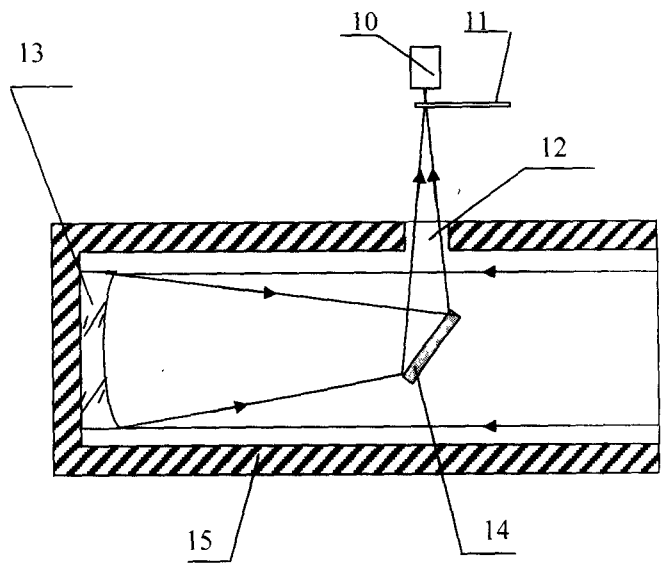


图 6

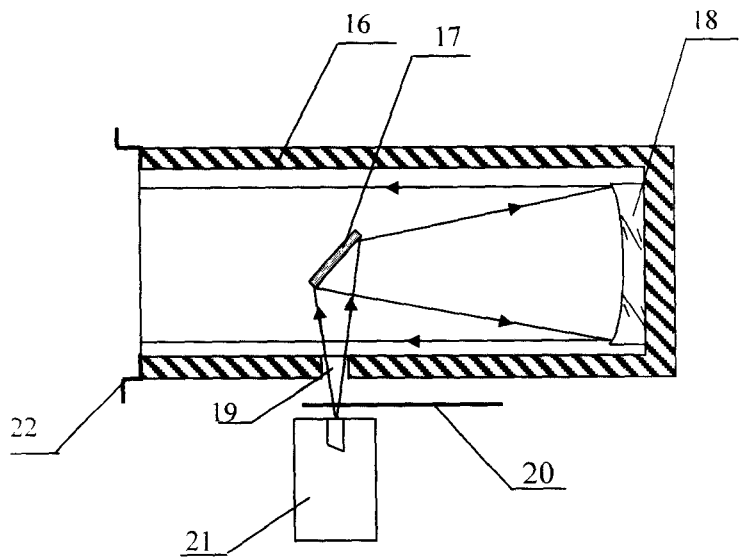


图 7