

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.  
G01B 11/27 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200610088886.5

[45] 授权公告日 2009年2月11日

[11] 授权公告号 CN 100460811C

[22] 申请日 2006.7.24

[21] 申请号 200610088886.5

[73] 专利权人 北京交通大学

地址 100044 北京市西直门外上园村3号  
北京交通大学科技处

[72] 发明人 匡翠方 冯其波 陈士谦 张志峰

[56] 参考文献

JP2004-101427A 2004.4.2

CN1687701A 2005.10.26

JP10-216976A 1998.8.18

CN1786659A 2006.6.14

CN2577239Y 2003.10.1

审查员 徐秋杰

[74] 专利代理机构 北京众合诚成知识产权代理有限公司

代理人 李光松

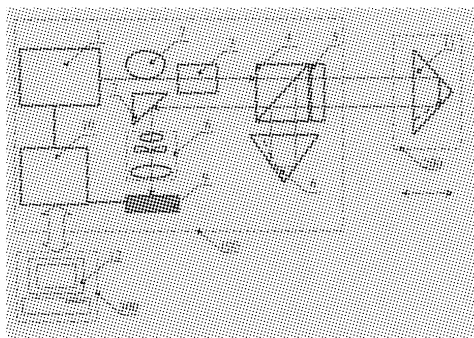
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

[54] 发明名称

一种提高直线度测量灵敏度的方法与装置

[57] 摘要

本发明公开了属于光电检测技术领域的一种提高直线度测量灵敏度的方法与装置。由固定单元、移动单元和计算机三部分组成的激光测量系统。包括激光发射器、偏光分光器、 $\lambda/4$ 波片、反射器、光电接收单元以及信号处理组成的稳定准直激光测量系统，通过光学器件设置测量光线多次经过移动靶镜，使其测量灵敏度成倍得到放大。同时在探测器前面设置透镜组，使系统测量灵敏度得到进一步放大。实现了直线导轨高灵敏度二维直线度实时测量。



1.一种提高直线度测量灵敏度的测量装置，所述提高直线度测量灵敏度的测量装置为由固定单元（100）、移动单元（200）和计算机系统（300）三部分组成的激光测量系统，在发射光光路的光轴上放置固定单元（100）的带尾光纤半导体激光发射器（1）、单模光纤（2）、准直透镜（3）；其特征是，在发射光光路的光轴上放置偏光分光器（4）、 $\lambda/4$ 波片（5）和角锥棱镜反射器（11）；在反射光光轴上，在偏光分光器（4）下面放置逆向反射器（6）；在单模光纤（2）下面，从上向下放置平面反射镜（7）、透镜组（8）和光电探测器（9），驱动和信号处理器（10）分别和带尾光纤半导体激光发射器（1）、光电探测器（9）和计算机（12）连接。

2.根据权利要求1所述提高直线度测量灵敏度的测量装置，其特征是，所说的 $\lambda/4$ 波片的快轴与线偏振光的偏振方向成 $45^\circ$ ，光线四次通过 $\lambda/4$ 波片。

3.根据权利要求1或2所述提高直线度测量灵敏度的测量装置，其特征是，所说的 $\lambda/4$ 波片用 $\lambda/2$ 波片取代时，并使快轴与线偏振光的偏振方向成 $45^\circ$ ，且让光线2次通过。

4.根据权利要求1所述提高直线度测量灵敏度的测量装置，其特征是，所说的透镜组是由两个焦距不同的凸透镜组成，并且在共同的焦平面上放置针孔滤波。

5.根据权利要求1所述提高直线度测量灵敏度的测量装置，其特征是，所说的光电探测器，其接收直线度误差信号，采用四象限光电接收器、PSD位敏器件或者CCD光电接收器。

6.一种提高直线度测量灵敏度的方法，其特征是，所述测量方法是：由带光纤的半导体激光器（1）发射高稳定激光束，入射到偏振分光器（4），该入射光经过偏振分光器（4）变为线偏振光，该线偏振光经过 $\lambda/4$ 波片（5）后，变成圆偏振偏振光；入射到移动单元（200）反射后，再经过 $\lambda/4$ 波片（5）后，又由圆偏振光变成线偏振光，但其偏振方向旋转了 $90^\circ$ 角，经过偏振分光器（4）反射到另一个逆向反射器（6），使光线再次沿原来方向通过一次移动单元的角锥棱镜反

射器（11），光线总共四次通过 $\lambda/4$ 波片后，其偏振方向又回到最初的偏振状态，透过偏振分光器（4），入射到平面反射镜（7）、通过透镜组（8），入射到光电探测器（9）上，并由此光电探测器接收，当移动单元（200）沿导轨移动时，因导轨在两个方向直线度的误差，必然造成光线反射器在对应两个方向的位移，光线在对应两个方向上位置改变，此光线位置的改变量直接由接收此反射光线的光电接收器探测到，并经过信号处理电路得到二维直线度误差。

## 一种提高直线度测量灵敏度的方法与装置

### 技术领域

本发明属于光电检测技术领域，特别适用于工件或物体沿某导轨运动时，对其运动的二维直线度误差或对大型工件的形状位置误差（如直线度、同轴度等）进行测量的一种提高直线度测量灵敏度的方法与装置。

### 背景技术

直线度测量是机械加工中一项常见而重要的测量项目，它主要包括对工件实际表面直线度误差的测量以及对直线导轨或自动校正直线运动机构直线度误差的测量。采用双频激光干涉仪可较好实现对运动部件线位移误差和角位移误差的高精度检测，但仪器价格昂贵，测量成本较高，且是单参数测量，难以满足所有用户的需要。中国专利 02285917.9 提出了一种基于半导体激光、单模光纤组件同时测量二维直线度的方法。但该方法难以满足高精度、超高精度的要求。

### 发明内容

本发明的目的是提供一种提高直线度测量灵敏度的方法与装置。所述提高直线度测量灵敏度的测量装置为由固定单元100、移动单元200和输出与显示单元300三部分组成的激光测量系统，其特征是，固定单元100的带尾光纤半导体激光发射器1、单模光纤2、准直透镜3、偏光分光器4、 $\lambda/4$ 波片5和移动单元的角锥棱镜反射器11放置在发射光光路的光轴上；在反射光光轴上，偏光分光器4下面放置逆向反射器6，在单模光纤2下面，从上向下放置平面反射镜7、透镜组8和光电探测器9，驱动和信号处理器10分别和带尾光纤半导体激光发射器1、光电探测器9和计算机12连接。

所说移动单元是一个逆向反射器，或采用多个反射器，使测量灵敏度进一步提高；并通过支架固定。

所述移动单元内多个反射器为角锥棱镜或者猫眼。

所说 $\lambda/4$ 波片的快轴与线偏振光的偏振方向成 $45^\circ$ ，光线四次通过 $\lambda/4$ 波片。

所说的 $\lambda/4$ 波片用 $\lambda/2$ 波片取代时,并使其快轴与线偏振光的偏振方向成 $45^\circ$ ,且让光线2次通过。

所说的透镜组是由两个焦距不同的凸透镜组成,并且在共同的焦平面上放置针孔滤波。

所述固定单元中利用由逆向反射器和反射镜组成的反射单元14替代方式一中的偏振分光镜4、 $\lambda/4$ 波片5和逆向反射器6,使之测量灵敏度放大到与实施方式一一样的效果,从而更加节省光学元器件。

所说的直线度误差信号的光电接收器9可采用四象限光电接收器、PSD位敏器件或者CCD光电接收器。

本发明的测量原理和测量方法是:由带光纤的半导体激光器1发射高稳定激光束,入射到偏振分光器4,该入射光经过偏振分光器4变为线偏振光。该线偏振光经过 $\lambda/4$ 波片5后,变成圆偏振偏振光。入射到移动单元200反射后,再经过 $\lambda/4$ 波片5后,又由圆偏振光变成线偏振光,但其偏振方向旋转了 $90^\circ$ 角。经过偏振分光器4反射到另一个反射器6,使光线再次沿原来方向通过一次移动单元的角锥棱镜反射器11。光线总共四次通过 $\lambda/4$ 波片后,其偏振方向又回到最初的偏振状态,透过偏振分光器4,入射到平面反射镜7、通过透镜组8,入射到光电探测器9上,并由此光电探测器(美国Edmund Optics公司型号为NT53-007的CCD)接收。当移动单元200沿导轨移动时,因导轨在两个方向直线度的误差,必然造成光线反射器在对应两个方向的位移。由于入射光线不动,移动单元的光线反射器在两个方向的位移必然引起其反射光线在对应两个方向上位置改变,此光线位置的改变量直接由接收此反射光线的光电接收器探测到,并经过信号处理电路得到二维直线度误差。

本发明与背景技术相比所具有的特点:

其一、入射光线经偏光分光器、波片和另一反射器使光线多次通过移动单元的反射器,使其测量灵敏度成倍增加,即光线N次通过移动单元,灵敏度增加到2N倍;

其二、在光电探测器前采用透镜组，并选择合适的参数，可以进一步提高测量的灵敏度，同时在透镜组中采用针孔滤波，增加系统抗干扰能力和稳定性；

其三、移动单元上无电缆连接，现场测量极为方便。装置结构简单、体积小，安装、调整方便，可获得高的测量精度，可适用直线度误差的静态与动态测量。要解决的技术问题是：提供一种简单的激光直线度测量系统，实现对两个方向的直线度误差同时测量。实现直线度误差8倍以上的放大，从而大大提高系统测量灵敏度。测量系统的移动测量头无电缆连接，且具有体积小、重量轻、测量精度高优点。

### 附图说明

图1 提高直线度测量灵敏度的一个实施方式原理图。

图2 光线2次通过移动单元的反射器提高测量灵敏度的原理图。

图3 光线通过透镜组再次提高测量灵敏度的原理图。

图4 光线4次反射提高测量灵敏度的原理图。

图5 光线4次反射提高测量灵敏度的另一种方式原理图。

图6 实施例四原理图

图7 实施例五原理图

图8 实施例六原理图

探测器CCD的驱动和信号处理器选用型号是NI-1405或者Bandit II-E0 数据处理模块。

图中：1为半导体激光发射器，2为单模光线，3为准直透镜，4为偏振分光器，5为 $\lambda/4$ 波片，6为逆向反射器、11为角锥棱镜反射器、13为反射器，7为平面反射镜，8为透镜组，9为光电探测器，10为驱动和信号处理器，12为计算机，14反射单元（由逆向反射器和反射镜组成），100为固定单元，200为移动单元，300为输出与显示单元。

### 具体实施方式

本发明提供一种提高直线度测量灵敏度的方法与装置。所述提高直线度测量灵敏度的测量装置为由固定单元100、移动单元200和输出与显示单元300三部分组成的激光测量系统。下面对照附图，说明实现本发明的实施例：一种提高直线

度测量灵敏度系统包括：激光发射器、偏光分光器、 $\lambda/4$ 波片、反射器、光电接收单元以及信号处理。

实施例一（如图1所示）：

系统中的高灵敏度直线度误差测量系统是由固定单元100中的半导体激光器1发射高稳定激光束，经过单模光纤2、准直透镜3准直后，入射到偏振分光器4，该入射光经过偏振分光器4，变为线偏振光。该线偏振光经过 $\lambda/4$ 波片5后，变成圆偏振偏振光。入射到移动单元200中的角锥棱镜反射器11反射后，再经过 $\lambda/4$ 波片5后，又由圆偏振光变成线偏振光，但其偏振方向旋转了 $90^\circ$ 角。经过偏振分光器反射到另一个逆向反射器6，使光线再次沿原来方向通过一次移动单元的角锥棱镜反射器11。即光线总共四次 $\lambda/4$ 波片5后，但其偏振方向又回到最初的偏振状态，透过偏振分光器4，入射到平面反射镜7、通过透镜组8，入射到探测器上9，并由此光电接收器接收。当移动单元200沿直线导轨移动时，如果导轨在两个方向直线度误差，必然造成光线反射器在对应两个方向的位移。由于入射光线不动，移动单元的光线反射器在两个方向的位移必然引起其反射光线在对应两个方向上位置改变，此光线位置的改变量直接由接收此反射光线的光电接收器探测9到，并经过信号处理电路得到二维直线度误差。由图2中的几何光学知识可得，当移动单元在垂直于导轨方向上有 $\Delta$ 平移时，其反射光线两次经过移动单元200中的角锥棱镜11反射，使透过偏振分光器4的光线有 $4\Delta$ 的平移，即

$$\delta_x = 4\Delta_x; \quad \delta_y = 4\Delta_y \quad (1)$$

式中 $\Delta_x$ 、 $\Delta_y$ 分别是移动单元中的角锥棱镜反射器11在垂直光线入射方向上的水平和竖直直线度误差； $\delta_x$ 、 $\delta_y$ 分别是反射光线透过偏振分光器4后在水平和竖直方向上的平移。由图3可知，当透镜组8中透镜 $L_1$ 、 $L_2$ 的焦距分别为 $f_1$ 、 $f_2$ ，且入射光线有 $d$ 平移时，出射光线的平移 $D$ 为：

$$D = df_2 / f_1 \quad (2)$$

即探测器9上得到光点平移为：

$$X = \delta_x f_2 / f_1 = 4\Delta_x f_2 / f_1; \quad Y = \delta_y f_2 / f_1 = 4\Delta_y f_2 / f_1 \quad (3)$$

则水平和竖直方向直线度误差分别为：

$$\Delta_x = Xf_1 / (4f_2); \quad \Delta_y = Yf_1 / (4f_2) \quad (4)$$

如果透镜 $L_1$ 、 $L_2$ 的焦距比为0.5，探测器的分辨率为0.1 $\mu\text{m}$ ，代入式(4)可得到系统二维直线度测量分辨率为12.5nm。信号经过处理电路10完成对探测器9探测到的二维直线度信号进行采集、处理、经过与计算机12通讯输出并显示。还可以在透镜组8中的焦平面上增加一个小孔滤波器，提高测量的精度。另外，在测量过程中为了尽量减少滚转角对测量的影响，应该尽量减小入射光和反射光之间的距离。

实施例二（如图4所示）：

与实施方式一的不同之处在于：移动单元200中增加了一个角锥棱镜反射器11，并在固定单元中相应增加了一套偏振分光器4、 $\lambda/4$ 波片5，逆向反射器6，和反射器13。使系统的测量灵敏度在实施方式一的基础上再次增加一倍。

实施例三（如图5所示）：

与实施方式一的不同之处在于：利用一个反射单元14（由逆向反射器和反射镜组成），使测量光路四次通过移动靶镜，达到与实施方式二同样的灵敏度倍增效果，与方式二不同的是使系统结构更为紧凑。

实施例四（如图6所示）：

与实施方式一的不同之处在于：固定单元中的透镜组8放置在偏振分光器和反射器6之间的光路上，使达到同样的效果，所不同的是使第二次入射到移动单元的光线的直径增大，可以减小空气扰动对测量的影响。

实施例五（如图7所示）：

与实施方式一的不同之处在于：固定单元中的透镜组8放置在角锥棱镜反射器11和 $\lambda/4$ 波片5之间的光路上，使测量光两次通过透镜组8，使系统的测量灵敏度在实施方式一的基础上再次提高。但光线直径也两次被放大，因此必须考虑探测器的尺寸。

实施例六（如图8所示）：



---

与实施方式一的不同之处在于：在固定单元中利用反射单元 14（由逆向反射器和反射镜组成）替代方式一中的偏振分光镜 4、 $\lambda/4$  波片 5 和逆向反射器 6，使之测量灵敏度放大到与实施方式一一样的效果，从而更加节省光学元器件

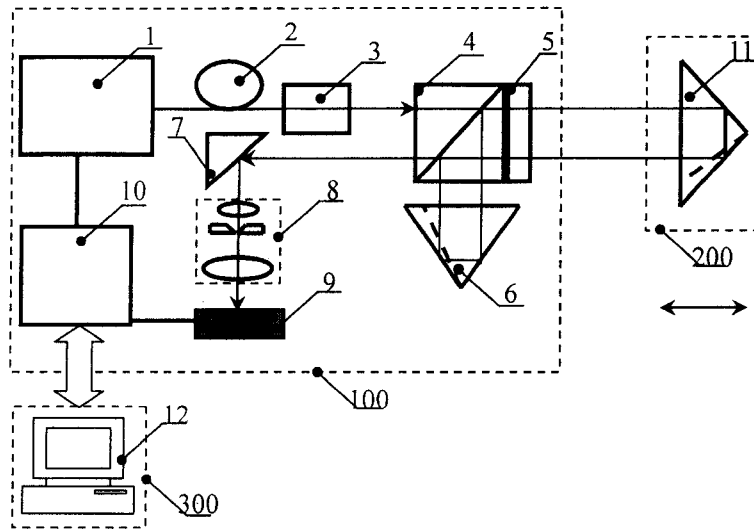


图 1

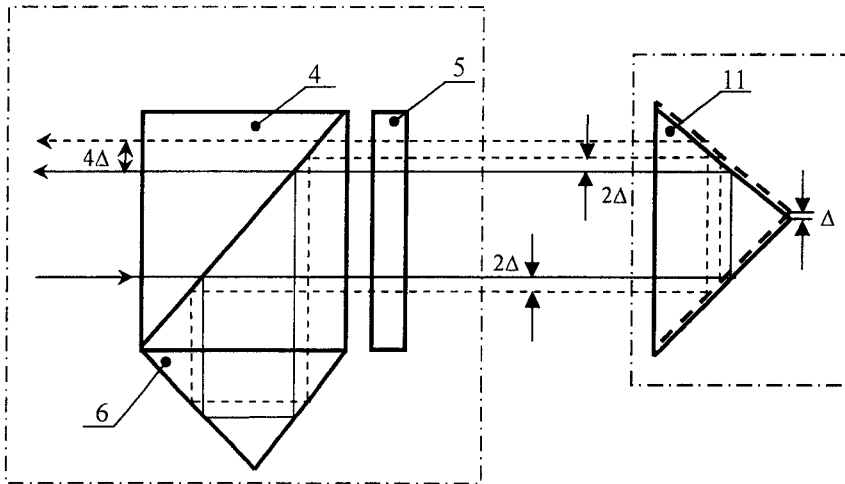


图 2

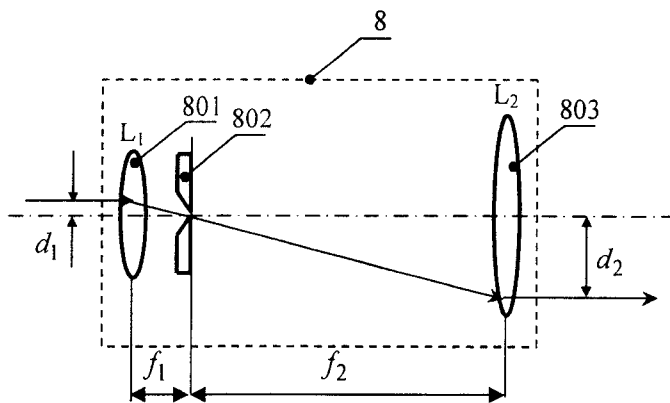


图 3

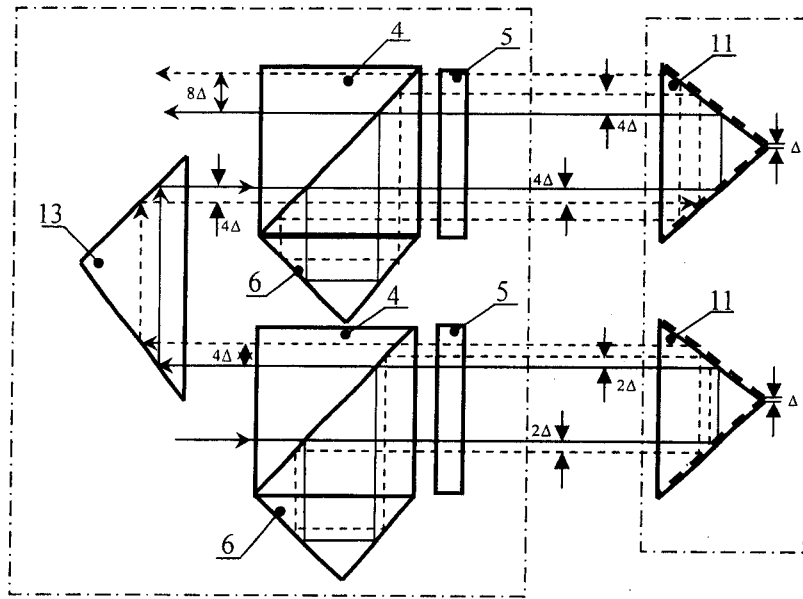


图 4

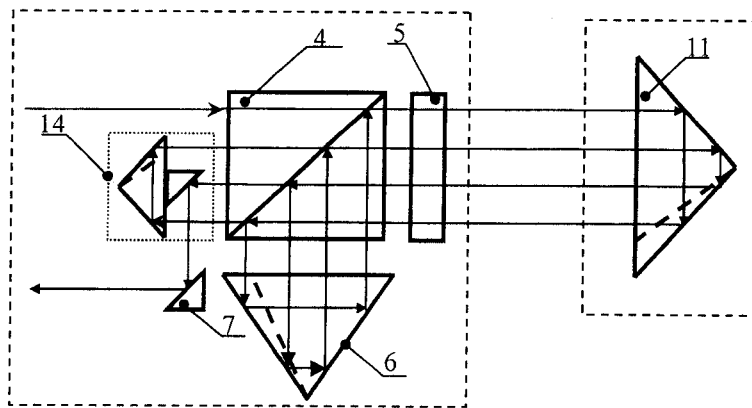


图 5

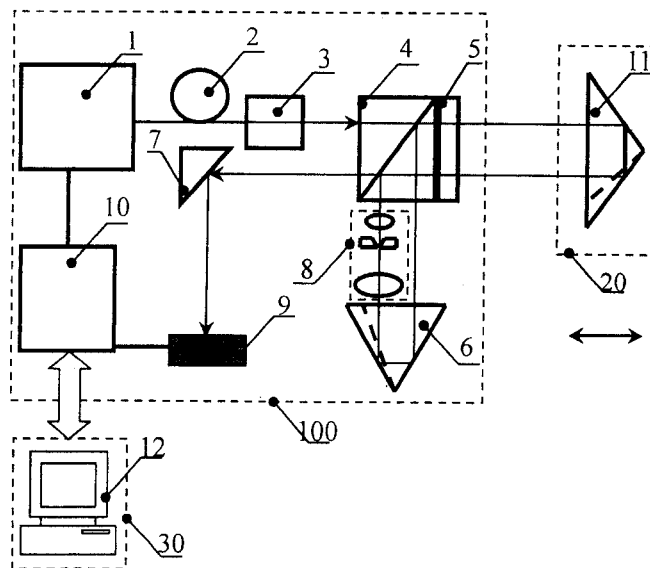


图 6

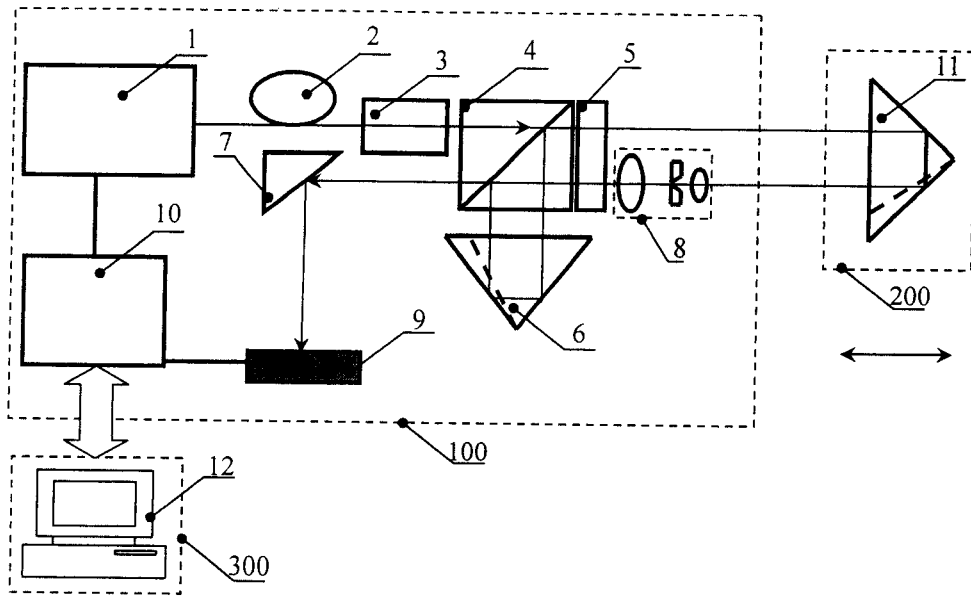


图 7

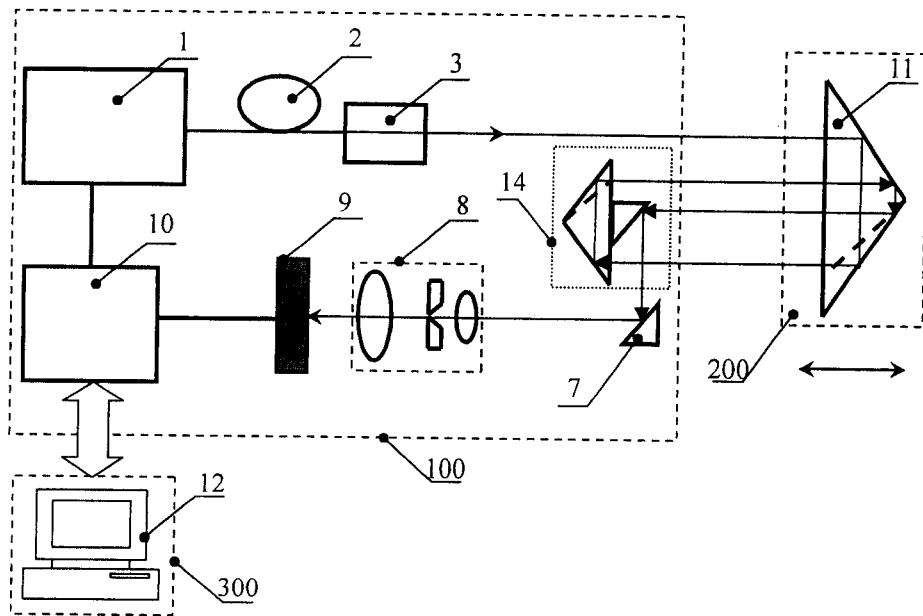


图 8