



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102288113 B

(45) 授权公告日 2016. 04. 06

(21) 申请号 201110131850. 1

US 2008/0067333 A1, 2008. 03. 20,

(22) 申请日 2011. 05. 20

审查员 乐兵兵

(30) 优先权数据

102010029211. 7 2010. 05. 21 DE

(73) 专利权人 约翰内斯·海德汉博士有限公司

地址 德国特劳恩罗伊特

(72) 发明人 W. 霍尔扎普费尔 M. 赫尔曼

K. 森迪希

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 张涛 卢江

(51) Int. Cl.

G01B 11/00(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101144730 A, 2008. 03. 19,

US 5442172 A, 1995. 08. 15,

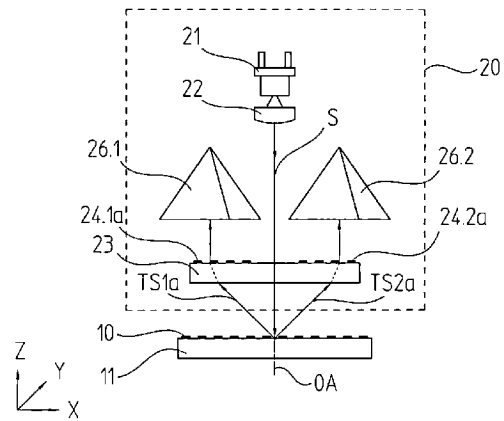
权利要求书2页 说明书17页 附图16页

(54) 发明名称

光学位置测量设备

(57) 摘要

本发明涉及一种光学位置测量设备,其用于检测扫描单元和计量用具的相对位置;扫描单元和计量用具可以沿着弯曲的测量方向彼此相对移动地布置。扫描单元具有至少一个反射器单元和探测器单元,其中反射器单元由第一波前校正器、射束方向逆转器和第二波前校正器构成。反射器单元在扫描单元中被布置和/或构造为使得在部分射束最后到达探测器单元以前,射束首先穿过由计量用具和第一波前校正器构成的第一组合,接着通过射束方向逆转器进行部分射束在计量用具方向的返回反射,并且部分射束然后穿过由计量用具和第二波前校正器构成的第二组合。



1. 用于检测扫描单元(20 ;220 ;320 ;420 ;520 ;520' ;620 ;2000)和计量用具(10;210 ;310;410;510;510' ;610;1000)的相对位置的光学位置测量设备,其中扫描单元(20 ;220 ;320 ;420 ;520 ;520' ;620 ;2000)和计量用具(10;210;310;410;510;510' ;610;1000)能够沿着弯曲的测量方向彼此相对移动,并且其中

—扫描单元(20 ;220 ;320 ;420 ;520 ;520' ;620 ;2000)具有至少一个反射器单元(2000)和探测器单元,并且反射器单元(2000)由第一波前校正器(2100)、射束方向逆转器(2300)和第二波前校正器(2200)构成;以及

—反射器单元(2000)在扫描单元(20 ;220 ;320 ;420 ;520 ;520' ;620 ;2000)中被布置和/或构造为使得在部分射束接着到达探测器单元以前,射束首先穿过由计量用具(10;210;310;410;510;510' ;610;1000)和第一波前校正器(2100)构成的第一组合,接着通过射束方向逆转器(2300)进行部分射束在计量用具(10;210;310;410;510;510' ;610)方向上的返回反射,并且部分射束然后穿过由计量用具(10;210;310;410;510;510' ;610;1000)和第二波前校正器(2200)构成的第二组合,其中

—通过反射器单元(2000)保证,通过计量用具(10;210;310;410;510;510' ;610;1000)处的第一衍射产生的部分射束的波前变形被转换成如下波前变形,所述波前变形补偿在计量用具(10;210;310;410;510;510' ;610)处发生第二衍射时产生的部分射束的波前变形。

2. 根据权利要求1所述的光学位置测量设备,其中

—通过第一波前校正器(2100)将从计量用具(10;210;310;410;510;510' ;610)和第一波前校正器(2100)的第一组合出射的波前转换成具有平坦波前的准直部分射束;以及

—通过第二波前校正器(2200)将从计量用具(10;210;310;410;510;510' ;610)和第二波前校正器(2200)的第二组合出射的波前转换成具有平坦波前的准直部分射束,使得发生叠加的部分射束的波前在计量用具(10;210;310;410;510;510' ;610)处的第二衍射以后在叠加位置处相同。

3. 根据权利要求1或2所述的光学位置测量设备,其中

—计量用具(10;210;310;410;510;510' ;610)和第一波前校正器(2100)的第一组合以计量用具(10;210;310;410;510;510' ;610)—第一波前校正器(2100)的顺序被布置在射束传播方向上;以及

—计量用具(10;210;310;410;510;510' ;610;1000)和第二波前校正器(2200)的第二组合以第二波前校正器(2200)—计量用具(10;210;310;410;510;510' ;610;1000)的顺序被布置在射束传播方向上。

4. 根据权利要求1或2所述的光学位置测量设备,其中

—计量用具(10;210;310;410;510;510' ;610)和第一波前校正器(2100)的第一组合以第一波前校正器(2100)—计量用具(10;210;310;410;510;510' ;610)的顺序被布置在射束传播方向上;以及

—计量用具(10;210;310;410;510;510' ;610)和第二波前校正器(2200)的第二组合以计量用具(10;210;310;410;510;510' ;610)—第二波前校正器(2200)的顺序被布置在射束传播方向上。

5. 根据权利要求1所述的光学位置测量设备,其中射束方向逆转器(2300)被构造为使

得对从该射束方向逆转器反射的部分射束的射束方向逆转在两个正交方向上进行。

6. 根据权利要求 1 所述的光学位置测量设备,其中射束方向逆转器(2300)被构造成三角柱镜或三棱镜。

7. 根据权利要求 1 所述的光学位置测量设备,其中射束方向逆转器(2300)被构造成透镜和反射镜的组合。

8. 根据权利要求 7 所述的光学位置测量设备,其中波前校正器(2100 ;2200)和 / 或射束方向逆转器(2300)的透镜被构造成折射光学元件。

9. 根据权利要求 6 所述的光学位置测量设备,其中波前校正器(2100 ;2200)被构造成衍射光学元件。

10. 根据权利要求 7 所述的光学位置测量设备,其中波前校正器(2100 ;2200)被构造成衍射光学元件。

11. 根据权利要求 9 所述的光学位置测量设备,其中波前校正器(2100 ;2200)和射束方向逆转器(2300)的透镜被构造成衍射光学元件。

12. 根据权利要求 9 所述的光学位置测量设备,其中波前校正器(2100 ;2200)分别被构造成扫描光栅形式的衍射光学组合元件,这些扫描光栅另外对落到其上的部分射束具有下列附加光学功能中的至少之一:

- 光学偏转作用
- 光学分束或联合作用
- 到反射镜上的光学聚焦作用。

13. 根据权利要求 8 — 12 至少之一所述的光学位置测量设备,其中反射镜和衍射光学元件被布置在透明扫描板(23 ;223 ;323 ;423 ;523 ;523' ;623)的相对侧。

14. 根据权利要求 1 所述的光学位置测量设备,其中计量用具(10 ;210 ;310 ;410)被构造成绕旋转轴旋转的分度片(11 ;211 ;311 ;411)上的径向分度并且被绕旋转轴布置为同心的。

15. 根据权利要求 1 所述的光学位置测量设备,其中计量用具(510 ;510' ;610)被构造成旋转分度筒(511 ;511' ;611)的外周上的筒分度,其中旋转轴与分度筒的长轴重合。

16. 根据权利要求 15 所述的光学位置测量设备,其中扫描单元中(620)中的光学元件被构造和布置为使得从光源发射的射束以不等于  $90^\circ$  的角度落到筒分度上。

## 光学位置测量设备

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种光学位置测量设备。

### 背景技术

[0002] 在用于检测计量用具和扫描单元沿着弯曲测量方向的相对运动的光学位置测量设备的情形下,应当区分两种基本类型:

[0003] a) 具有布置在分度盘上的径向分度形式的计量用具的光学位置测量设备;

[0004] b) 具有布置在分度筒上的筒分度形式的计量用具的光学位置测量设备。

[0005] 开头提到光学位置测量设备包括具有精细的径向分度的分度盘作为计量用具,在该光学位置测量设备的情况下,计量用具的安装公差与扫描单元相比通常是极小的。这是由于剧烈的信号下降,该信号下降是在径向分度与额定安装位置之间的小的径向、切向或纵向位置偏差的情况下就已经由于随之而来的在参与信号生成的部分射束中的波前变形造成的,该波前变形造成干涉叠加。在此,径向分度的在径向上变化的光栅常数造成强烈的波前变形。这意味着,被径向分度衍射的部分射束的波前部分地具有相对于平面波前的显著偏差。

[0006] 在第二描述类型的光学位置测量设备的情况下也出现类似的问题,其中计量用具作为所谓的筒分度被布置在旋转筒或旋转圆柱的外周处。在此,弯曲的筒分度同样导致用于生成信号的部分射束中的波前的失真。

[0007] 这样的波前变形还在计量用具的理想安装位置处就已经出现,并且在后面被称为标称波前变形。在非理想安装位置的情况下产生附加的由公差引起的波前变形。因此,在用于生成信号的部分射束中出现的不同波前变形对所生成的位置信号中的开头提到的信号陡降负有主要责任。结果是这样的光学位置测量设备的明显变差的信号质量。

[0008] 另外,在用于检测相对于计量用具的线性推移运动的高分辨率的光学位置测量设备和扫描单元中公知有使用三棱镜形式的回射器;对此例如可以参阅 EP 387 520 A2。在其中提出的扫描光路中,激光源的准直射束在计量用具的线性光栅处衍射为第 +1 和第 -1 衍射级的部分射束。接着,该部分射束借助于一个或多个三棱镜形式的回射器重新偏转到计量用具的线性光栅上。在计量用具处发生进一步衍射以后,两个部分射束在重叠位置处发生干涉。通过使用所述一个或多个被构造成三棱镜的回射器,保证在计量用具相对于扫描单元任意倾斜的情况下,两个部分射束在计量用具处二次衍射以后也保持其方向。于是,不发生干涉部分射束的波前倾斜。通过这种方式,在计量用具的最精细的分度周期和大的扫描面、即计量用具的位置处的大的射束截面的情况下,附加地也可以实现大的安装公差。但是这样的光学位置测量设备的良好特性基本上所基于的是,部分射束的波前在计量用具的线性光栅处衍射以后以及在回射器处反射以后都保持得尽可能小。由此,波前倾斜由于计量用具的倾斜而以理想的方式被所使用的回射器补偿。

[0009] 如果现在也使用高分辨率光学位置测量设备来检测计量用具和扫描单元沿着弯曲的测量方向的相对运动、即结合回射器使用具有径向光栅分度和筒分度的系统,则导致

一定的问题。在 US 5, 442, 172 中对这些问题进行了分析并且提出了想象的解决方案。因此,根据该文献通过提出理想的反射单元将减小波前变形对信号质量的不利影响。该反射单元包括球面镜和布置在透镜的焦平面内的屋脊棱镜的组合。但是通过对所提出的扫描光学系统进行更精确的分析得出,在计量用具和扫描单元失准的情况下导致越来越显著的信号下降。此外,在所提出的理想回射器单元的情况下,射束焦点处于屋脊棱镜的屋脊棱边处,并且因此该屋脊棱镜在该区域中不能产生任何误差。在该区域中,不允许存在丝毫的不均匀性,例如夹杂、污染或者空隙。由于对这样的部件的高制造要求,该屋脊棱镜是极昂贵的。

## 发明内容

[0010] 本发明的任务是,说明一种用于以大的安装公差来检测扫描单元和可以以弯曲测量方向向其移动的计量用具的相对运动的高分辨率光学位置测量设备。

[0011] 根据本发明,该任务通过具有权利要求 1 的特征的光学位置测量设备来解决。

[0012] 根据本发明的光学位置测量设备的有利的实施方式从从属权利要求的措施中得出。

[0013] 根据本发明的光学位置测量设备包括扫描单元和计量用具,其中扫描单元和计量用具可以沿着弯曲的测量方向彼此相对移动。通过根据本发明的位置测量设备,可以检测扫描单元和计量用具的相对位置。在扫描单元一侧设置有至少一个反射器单元和探测器单元。反射器单元由第一波前校正器、射束方向逆转器和第二波前校正器构成。反射器单元在扫描单元中被布置和 / 或构造为使得在射束最后到达探测器单元以前,射束首先穿过由计量用具和第一波前校正器构成的第一组合,接着通过射束方向逆转器进行部分射束在计量用具方向的返回反射,并且部分射束然后穿过由计量用具和第二波前校正器构成的第二组合。通过反射器单元保证,由于计量用具处的第一衍射产生的部分射束的波前变形被转换成这样的波前变形,即该波前变形补偿在计量用具处发生第二衍射时造成的波前变形。

[0014] 有利地通过第一波前校正器将从计量用具和第一波前校正器的第一组合出射的波前转换成具有平坦波前的准直部分射束。通过第二波前校正器将从计量用具和第二波前校正器的第二组合出射的波前转换成具有平坦波前的准直部分射束,使得导致叠加的部分射束的波前在计量用具处的第二衍射以后在叠加位置处相同。

[0015] 在此可以规定:计量用具和第一波前校正器的第一组合以计量用具—第一波前校正器的顺序被布置在射束传播方向上,计量用具和第二波前校正器的第二组合以第二波前校正器—计量用具的顺序被布置在射束传播方向上。

[0016] 替代于此,可以规定:计量用具和第一波前校正器的第一组合以第一波前校正器—计量用具的顺序被布置在射束传播方向上,计量用具和第二波前校正器的第二组合以计量用具—第二波前校正器的顺序被布置在射束传播方向上。

[0017] 优选地,射束方向逆转器被构造为使得对从其反射的部分射束方面的射束方向逆转在两个正交方向上进行。

[0018] 在一个可能的实施方式中,射束方向逆转器可以被构造成三角柱镜或三棱镜。

[0019] 此外,射束方向逆转器可以包括透镜和反射镜的组合。

[0020] 可能的是,波前校正器和 / 或射束方向逆转器的透镜被构造成折射光学元件。

- [0021] 波前校正器可以被构造成衍射光学元件。
- [0022] 另外可能的是,将波前校正器和射束方向逆转器的透镜构造成衍射光学元件。
- [0023] 此外可以规定:将波前校正器分别构造成扫描光栅形式的衍射光学组合元件,该扫描光栅另外对落到其上的部分射束具有下列附加光学功能中的至少之一:
- [0024] 一光学偏转作用
- [0025] 一光学分束或联合作用
- [0026] 一到反射镜上的光学聚焦功能。
- [0027] 在此,反射镜和衍射光学元件可以布置在透镜扫描板的相对侧。
- [0028] 在另一实施方式中,计量用具被构造成绕旋转轴旋转的分度片上的径向分度并且被绕旋转轴布置为同心的。
- [0029] 替代于此地可以规定:计量用具被构造成旋转分度筒的外周上的筒分度,其中旋转轴与分度筒的长轴重合。
- [0030] 在此有利的是,扫描单元中的光学元件被构造和布置为使得从光源发射的射束以不等于 $90^\circ$ 的角度落到筒分度上。
- [0031] 因此,根据本发明的光学位置测量设备的扫描光学系统基于反射器单元的特别构造。这保证:被计量用具衍射的部分射束再次被反射回计量用具,使得所述部分射束在叠加时具有相等的波前。因此,保证在干涉信号生成时的最大干涉对比度。这在计量用具的理想安装位置和与其小的由公差引起的偏差的情况下都被保证。因此,通过根据本发明的光学位置测量设备的扫描光学系统,标称波前变形以及由公差引起的波前变形都被可靠地校正。可以由此在计量用具和扫面单元的可能非最优的相对对准的情况下避免信号陡降,也就是说保证所期望的安装公差。
- [0032] 此外,可以通过根据本发明的措施实现扫描光学系统的明显的简化,也就是说也可以以低成本来制造扫描光学系统。
- [0033] 此外应当提到,在根据现有技术的位置测量设备的情况下,波前变形随着变小的分度周期而增加。出于该原因,在预先给定安装和运行公差以及合理的扫描场强的情况下,计量用具的分度周期以及由此位置测量设备的分辨率受到限制。通过根据本发明的光学位置测量设备,现在也可以在计量用具侧使用较小的分度周期,也就是说,分辨率可以明显增大。

#### 附图说明

- [0034] 从下面根据附图对实施例的描述中得出本发明的另外的优点和细节。
- [0035] 图 1a—1e 分别示出了用于阐述用于获得信号的部分射束中的在回射时出现的波前变形的不同图示;
- [0036] 图 2、3a、3b 分别以不同视图示出了根据本发明的光学位置测量设备的第一实施例的扫描光路的一部分;
- [0037] 图 4 示出了根据本发明的光学位置测量设备的第一实施例的波前校正器的俯视图;
- [0038] 图 5 示出了根据本发明的光学位置测量设备的第一实施例的扫描光路的另一图示;

[0039] 图 6、7a、7b 分别以不同视图示出了根据本发明的光学位置测量设备的第二实施例的扫描光路的一部分；

[0040] 图 8 示出了根据本发明的光学位置测量设备的第二实施例的波前校正器的示意图；

[0041] 图 9、10a、10b 分别以不同视图示出了根据本发明的光学位置测量设备的第三实施例的扫描光路的一部分；

[0042] 图 11a、11b 分别以不同视图示出了根据本发明的光学位置测量设备的第三实施例的变型的扫描光路的一部分；

[0043] 图 12 示出了来自图 11a、11b 的根据本发明的光学位置测量设备的实施方式的光栅分度的示意图；

[0044] 图 13、14a、14b 分别以不同视图示出了根据本发明的光学位置测量设备的第四实施例的扫描光路的一部分；

[0045] 图 15 示出了根据本发明的光学位置测量设备的第五实施方式的第一变型方案的扫描光路的示意图；

[0046] 图 16 示出了根据本发明的光学位置测量设备的第五实施方式的第二变型方案的扫描光路的示意图；

[0047] 图 17 示出了根据本发明的光学位置测量设备的第五实施方式的第三变型方案的扫描光路的示意图；

[0048] 图 18 示出了来自图 17 的变型方案的不同几何关联；

[0049] 图 19、20a、20b 分别以不同视图示出了根据本发明的光学位置测量设备的第六实施例的扫描光路的一部分。

## 具体实施方式

[0050] 在详细描述根据本发明的光学位置测量设备的不同实施例以前，首先根据图 1a — 1c 阐述关于用于获得信号的部分射束中的在回射时出现的波前变形的问题。根据图 1d 和 1e 描述根据本发明的解决方案。

[0051] 图 1a 示意性地示出了如下的理想情况：其中两个参加信号获得的准直部分射束  $S_{in1}$ 、 $S_{in2}$  分别具有平坦的波前  $W_{in1}$ 、 $W_{in2}$ ，所述准直部分射束  $S_{in1}$ 、 $S_{in2}$  在被构造成三棱镜的反射器单元 R 的方向上传播。这些部分射束  $S_{in1}$ 、 $S_{in2}$  在传播方向和波前方面被反射器单元 R 逆转，并且接着作为再次具有平坦波前  $W_{out1}$ 、 $W_{out2}$  的部分射束  $S_{out1}$ 、 $S_{out2}$  与入射方向反平行地返回。

[0052] 如开头阐述的那样，在感兴趣的光学位置测量设备的情况下以及由于径向分度和筒分度形式的用于获得信号的弯曲计量用具、以及由于计量用具的可能有误的安装，在两个参加信号获得的部分射束  $S_{in1}$ 、 $S_{in2}$  中存在变形的不平坦的波前  $W_{in1}$ 、 $W_{in2}$ 。图 1b 中示出了这种情况。在通过回射单元回射的情况下，不平坦的波前现在不再被逆转，这从图 1b 中可以看出。也就是说，在回射以后，留下从传播方向上观察为凸出(凹进)的波前。因此，在出射的部分射束  $S_{out1}$ 、 $S_{out2}$  的波前  $W_{out1}$ 、 $W_{out2}$  中留下显著的变形。因此在接下来一未示出—将这些部分射束  $S_{out1}$ 、 $S_{out2}$  叠加的情况下，仅仅产生非常小的干涉常数；不期望的结果是所生成的位置信号中的非常小的信号强度。

[0053] 而所期望的是如下的反射器单元  $R'$  : 其对于一个或多个入射部分射束  $S_{in}$  具有光学作用, 这如图 1c 所示。因此, 反射器单元  $R'$  将逆转入射部分射束  $S_{in}$  的任何的任意变形的波前  $W_{in}$ 。尤其是入射部分射束  $S_{in}$  的射束方向将被逆转, 而不改变射束位置, 使得入射部分射束如可以看见的那样在回射以后再次返回。

[0054] 这样的理想反射器单元被称为相位共轭元件, 并且仅能利用非线性光学的装置来实现, 这由于光学位置测量设备中的其他缺点而是不实用的。

[0055] 因此, 根据本发明提出图 1d 和 1e 中以高度示意性方式示出的解决方案。在此, 图 1d 示出了根据本发明构造的发射器单元 2000 在计量用具 1000 的理想安装的情况下对从计量用具 1000 (径向分度或筒分度) 入射到其上的部分射束  $S_{in}$  及其波前  $W_{in}$  的光学作用。图 1e 示出了在非理想安装的计量用具 1000 的情况下的相应情况。

[0056] 根据图 1d, 入射部分射束  $S_{in}$  的波前  $W_{in}$  在被构造成径向分度或筒分度的弯曲计量用具 1000 处在第一衍射的情况下经历从原本平坦的波前  $W_{in}$  到变形或弯曲的波前  $W_{in}'$  的失真。然后, 相应的部分射束  $S_{in}'$  在根据本发明构造的反射器单元 2000 的方向上传播, 反射器单元 2000 原则上包括波前校正器 2100、射束方向逆转器 2300 以及第二波前校正器 2200。为简单起见, 在图 1d 中将两个波前校正器 2100、2200 示为唯一的光学器件, 对此, 在根据本发明的光学位置测量设备的具体的实施方式中通常设置两个分开的器件。

[0057] 通过第一波前校正器 2100, 首先将入射到其上的具有变形波前  $W_{in}'$  的部分射束  $S_{in}'$  转换成具有平坦波前  $W_{in}''$  的部分射束  $S_{in}''$ 。然后, 部分射束  $S_{in}''$  到达射束方向逆转器 2300, 该射束方向逆转器 2300 将入射到其上的部分射束  $S_{in}''$  回射成具有平坦波前  $W_{out}$  的出射部分射束  $S_{out}$ 、即反射到入射方向上。

[0058] 接着, 该部分射束  $S_{out}$  穿过第二波前校正器 2200, 该第二波前校正器 2200 将具有平坦波前  $W_{out}$  的入射部分射束  $S_{out}$  转换成具有所定义变形波前  $W_{out}'$  的部分射束  $S_{out}'$ 。在此通过第二波前校正器 2200 所产生的波前变形进行得使得该波前变形在接下来进行的在计量用具 1000 处出现的波前变形被补偿。因此, 在计量用具 2000 处的第二衍射以后, 具有平坦波前  $W_{out}''$  的部分射束  $S_{out}''$  继续传播。与之类似地, 反射器单元 2000 作用于另一未示出的部分射束, 使得在计量用具 1000 处的第二衍射以后, 可以最终使具有平坦波前的两个部分波束被干涉叠加。

[0059] 为此, 图 1e 示出了反射器单元 200 在如下情况下的类似作用机制 : 其中计量用具 1000 不是理想安装的, 使得除了标称波前变形以外还存在用于生成信号的部分波束中的附加的由公差引起的波前变形。该附加的波前变形在图 1e 中由部分波束  $S_{in}'$  在计量用具 1000 处的第一衍射以后的倾斜的波前  $W_{in}'$  来表示。在穿过第一波前校正器 2100 的情况下, 部分波束  $S_{in}'$  的变形的波前  $W_{in}'$  被转换成平坦波前  $W_{in}''$ , 然后, 部分波束  $S_{in}''$  被射束方向逆转器 2300 回射。然后, 具有波前  $W_{out}$  的回射的部分射束  $S_{out}$  到达第二波前校正器 2200。然后, 第二波前校正器 2200 以所定义的方式再次变换部分射束  $S_{out}'$  的入射波前  $W_{out}'$ , 使得具有相应变形波前  $W_{out}'$  的部分射束  $S_{out}'$  在计量用具 1000 的方向上继续传播。由于通过第二波前校正器 2200 的所定义的波长失真, 在计量用具处的第二衍射以后最终产生具有平坦波前  $W_{out}''$  的出射部分射束  $S_{out}''$ , 该出射部分射束  $S_{out}''$  再次可以与另一未示出的部分射束干涉叠加。

[0060] 图 1e 中示出的反射器单元 2000 仅在由公差引起的波前变形仅仅作为波前倾斜出



现并且不作为波前的附加弯曲出现时才提供出射部分射束  $S_{out}''$  的平坦的波前。在这一点上,来自图 1e 的反射器单元 2000 与来自图 1c 的反射器单元 R' 相区分。但是在实际中,由公差造成的波前变形的主要部分是波前的倾斜,使得来自图 1e 的根据本发明构造的反射器单元 2000 显示出尤其期望的光学作用。

[0061] 基于前面阐述的原理和考虑,现在在下面描述根据本发明的光学位置测量设备的多个具体实施例。

#### [0062] 第一实施例

[0063] 下面根据图 2 — 5 阐述根据本发明的光学位置测量设备的第一实施例。

[0064] 首先借助于图 2、3a 和 3b 描述该实施例的原理性的扫描光路。图 2 示出了相应光学位置测量设备在  $y-z$  平面内的径向视图;(弯曲的)测量方向的取向为垂直于该平面。图 3a 和 3b 示出了光学位置测量设备沿着图 2 中示出的截面线 AA' 以及 BB' 的切向截面图。

[0065] 所示的光学位置测量设备包括扫描单元 20 以及可以沿着弯曲测量方向  $x$  向其移动的计量用具 10。在这种情况下,计量用具 10 被构造成布置在分度片 11 上的径向分度。分度片 11 绕旋转轴 RA,围绕旋转轴布置有计量用具 10 以及径向分度。

[0066] 通过计量用具 10 的光学扫描生成关于扫描单元 20 和计量用具 10 的旋转运动的高度精确的位置信号。在此,扫描单元 20 和计量用具 10 例如与一未示出的一彼此相对地绕旋转轴 RA 旋转的机器部件连接。借助于根据本发明的装置生成的位置信号被输送给一同样未示出的一跟随电子装置,该跟随电子装置例如通过其控制相应的机器部件的定位。

[0067] 计量用具 10 以公知方式被构造成反射分度,该反射分度具有在旋转轴 RA 的径向上周期性布置的扇形狭长的具有交替的反射特性的分度结构。合适的计量用具 10 的典型分度周期为大约  $1-4\mu\text{m}$ 。

[0068] 在该例子中静态布置的扫描单元 20 包括一系列光学元件,所述光学元件的各个功能将在下面对于生成与偏移有关的位置信号的扫描光路的描述中予以阐述。

[0069] 从光源 21 发射的线性偏振射束 S 首先通过准直光学 22 被准直,并且到达计量用具 10 以及可以绕旋转轴 RA 运动的分度片 11 的径向分度。作为光源例如可以使用发射波长  $\lambda = 780\mu\text{m}$  的辐射的激光二极管。

[0070] 应当指出,根据本发明的光学位置测量设备中的光源 21 原则上不必直接布置在扫描单元中;替代于所示的变型方案,也可以规定:将该光源布置在外部并且通过合适的光波导将其发射的辐射输送给扫描单元。

[0071] 通过在计量用具 10 上产生的第 +1 和第 -1 衍射级的衍射生成两个部分射束 TS1a、TS2a,所述部分射束以扫描单元 20 的方向被反射回。这些部分射束 TS1a、TS2a 由于计量用具 10 的构造而沿着弯曲的线具有标称波前变形以及可能由于计量用具 10 的非理想安装而具有由公差引起的波前变形。

[0072] 在扫描单元 20 中,部分射束 TS1a、TS2a 到达第一波前校正器 24.1a、24.2a,所述波前校正器布置在扫描单元的一侧。通过第一波前校正器 24.1a、24.2a,部分射束 TS1a、TS2a 的变形波前被校正。接着,具有平坦波前的准直的部分射束 TS1a、TS2a 在射束方向逆转器 26.1、26.2 的方向上继续传播。射束方向逆转器 26.1、26.2 在该例中被构造成三棱镜,该三棱镜将入射部分射束 TS1a、TS2a 作为出射部分射束 TS1b、TS2b 反射回计量用具 10 的方向。在此,部分射束 TS1b、TS2b 在径向上、即所给定的  $y$  方向上错位,这可以从图 2 中看出。

然后,两个部分射束 TS1b、TS2b 穿过  $\lambda/4$  板 25.1、25.2,通过  $\lambda/4$  板 25.1、25.2,两个原来线性偏振的部分射束 TS1b、TS2b 被转换成左/右圆偏振的部分射束 TS1b、TS2b。接着,部分射束 TS1b、TS2b 到达两个波前校正器 24.1b、24.2b。两个部分射束 TS1b、TS2b 的这些失真的波前表示:在计量用具 10 处的第二衍射以后,两个部分射束 TS1b、TS2b 在此为准直的并且共线性地在叠加位置处叠加。

[0073] 接着,从叠加部分射束 TS1b、TS2b 的对中进行相移位置信号的探测。为此,两个部分射束 TS1b、TS2b 在计量用具 10 处的第二衍射以后准直地在扫描单元 20 的方向上传播,在那里,所述部分射束落到分束光栅 27 上。分束光栅 27 将两个入射的叠加部分射束 TS1b、TS2b 分束成三个另外的部分射束对,所述另外的部分射束对在检测单元的方向上传播,并且到达以不同空间方向布置的具有不同的偏振方向的偏振器 28.1-28.3。最后通过布置在偏振器 28.1-28.3 之后的探测元件 29.1-29.3,进行相移位置信号的探测;在此,在本例中产生三个相移  $120^\circ$  的位置信号的探测。因此,在该实施例中,探测器单元除了探测器单元 29.1-29.3 以外还包括偏振器 28.1-28.3 和分束光栅 27。

[0074] 根据前面对扫描光路的描述,根据本发明使用反射器单元,所述反射器单元分别包括第一和第二波前校正器 24.1a、24.1b、24.2a、24.2b、以及布置在其之间的射束方向逆转器 26.1、26.2。所述反射器单元及其相应的部件向具有失真波前的辐射部分射束 TS1a、TS2a 和 TS1b、TS2b 施加所定义的光学作用。通过相应的光学作用保证:通过用于生成信号的部分射束 TS1a、TS2a 和 TS1b、TS2b 中的所存在的波前变形不会导致信号质量的变差。

[0075] 因此,通过第一波前校正器 24.1a、24.2a 将落到其上的部分射束 TS1a、TS2a 的变形波前变换成具有平坦波前的准直部分射束;通过第二波前校正器 24.1b、24.2b 进行落到其上的部分射束 TS1b、TS2b 的平坦波前的失真,使得叠加的部分射束 TS1b、TS2b 的波前在计量用具 10 处的第二衍射以后在叠加位置处是相同的。

[0076] 另外,所使用的射束方向逆转器 26.1、26.2 在本例中被构造为使得在从其反射的部分射束 TS1a、TS2a 的射束方向逆转在径向和切向上进行、即在彼此正交取向的所给定的 y 和 x 方向上进行。

[0077] 因此,通过这样地构造反射器单元保证:由于计量用具 10 处的第一衍射产生的部分射束 TS1a、TS2a 中的可能的波前变形被转换成部分射束 TS1b、TS2b 中的波前变形,所述波前变形补偿由于计量用具 10 处的第二衍射造成的波前变形。

[0078] 作为具有回射光学作用的射束方向逆转器 26.1、26.2 在本实施例的反射器单元中设置三棱镜;为此,可替代地譬如也可以在这些位置处使用三棱镜。

[0079] 在所示的第一实施例中,波前校正器 24.1a、24.1b、24.2a、24.2b 被构造为扫描光栅形式的衍射光学元件。对此,根据图 4 阐述另外的细节,图 4 示出了具有布置在上面的四个波前校正器 24.1a、24.1b、24.2a、24.2b 的扫描板 23 的俯视图。

[0080] 通过良好的近似可能的是,将波前校正器 24.1a、24.1b、24.2a、24.2b 构造成与分度片 11 上的径向计量用具 10 具有相同分度周期的径向扫描光栅,在此,扫描板 23 上的被构造为径向扫描光栅的波前校正器 24.1a、24.1b 以在分度片 11 上平行地错开错位间距  $\Delta x = -x_L$  的形式被布置为与被构造为径向分度的计量用具 10 相对。在此,错位间距  $\Delta x$  表示计量用具 10 的中心地处于射束中的分度条与波前校正器 24.1a、24.1b 的与之平行的光栅条的在测量方向 x 上确定的间距。而波前校正器 24.2a、24.2b 被布置为错开错位间距  $\Delta x$

$= +x_L$ 。所需的错位间距  $|\Delta x| = x_L$  根据等式 1 由分度片 11 上的径向光栅在中心扫描半径  $R_A$  处在扫描板 23 的高度上的射束偏转来确定：

$$[0081] \quad x_L = \frac{D}{\sqrt{\left(\frac{2\pi R_A}{N\lambda}\right)^2 - 1}} \quad (\text{等式 1})$$

[0082] 其中：

[0083]  $D$  := 计量用具与波前校正器之间的有效扫描间距

[0084]  $R_A$  := 中心扫描半径

[0085]  $\lambda$  := 光源的波长

[0086]  $N$  := 在分度片上的计量用具的条数目。

[0087] 扫描板 23 以及相应径向扫描光栅上的用来构造波前校正器 24. 1a、24. 1b、24. 2a、24. 2b 的衍射光学元件优选地被实施成相位结构。在简单的变型方案中，例如设置具有  $180^\circ$  相位深度和与局部空隙宽度相等的局部连接片宽度的相位结构。在此，可替代地也使用破裂的相位结构。通过该相位结构，也可以抑制不需要的衍射级，由此可以实现所产生的位置信号中的信号强度的进一步提高。

[0088] 除了迄今为止所讨论的光学功能以外，本实施例的波前校正器 24. 1a、24. 1b、24. 2a、24. 2b 还具有另外的光学作用。因此，所述波前校正器还具有中心光学偏转作用，使得落到其上的部分射束 TS1a、TS2a 或 TS1b、TS2b 被偏转为与光轴 OA 平行。因此，下面还将参考波前校正器来讨论扫描光栅形式的衍射光学组合元件。

[0089] 从图 4 和图 5 中的视图中可以看出，部分射束 TS1a 或 TS2a 在扫描板 23 的高度上分别相对于部分射束 TS1b 或 TS2b 在 x 方向上稍微向内错开。该错位保证：局部光栅常数在径向上不同并且偏转角也不同的情况下，部分射束 TS1b 和 TS2b 在计量用具 10 上的相同位置、即在叠加位置处相遇并且由此在没有射束错位的情况下叠加。射束方向逆转器 26. 1、26. 2 或本实施例中为此设置的三棱镜的相应的最优位置  $(X_{p1}, X_{p1})$  以及  $(X_{p2}, X_{p2})$  根据下面的关系 2. 1-2. 3 得出：

$$[0090] \quad X_{p1} = -x_L \quad (\text{等式 2. 1})$$

$$[0091] \quad X_{p2} = +x_L \quad (\text{等式 2. 2})$$

$$[0092] \quad Y_{p1} = Y_{p2} = R_A \quad (\text{等式 2. 3})$$

[0093] 这些关系 2. 1-2. 3 对如下的坐标系成立：该坐标系的中心处于分度片 11 的中心，该坐标系的 x 轴与测量方向 x 一致，并且该坐标系的 z 轴的取向为计量用具 10 正交。该坐标系也在另外的描述过程中使用。

[0094] 因此，在图 4 的 x 平面中，被构造成三棱镜的射束方向逆转器 26. 1、26. 2 的尖端在波前校正器 24. 1a、24. 1b、24. 2a、24. 2b 上在部分射束 TS1a 与 TS1b 或 TS2a 与 TS2b 之间对称。

[0095] 射束 TS1a 和 TS2a 在第一波前校正器 24. 2a、24. 2b 位置处的波前可以通过公知的方式以数值方式或者通过所谓的射线追踪方法或者通过波传播来确定。如果使波前校正器

24. 1a 或 24. 2a 的光栅相位等于这些波前,则可以计算出更理想的衍射结构。由此得出稍微失真和再次错开的轴向扫描光栅结构。这样优化的波前校正器 24. 1a 或 24. 2a 在标称安装位置的情况下生成参与信号生成的部分射束中的理想平坦的波前。

[0096] 第二波前校正器 24. 1b 或 24. 2 也可以以类似方式来优化。为此,波前借助于理想准直的部分射束从探测器单元出发通过计量用具 10 或分度片 11 的径向分度回到波前校正器 24. 1b 或 24. 2b 的返回传播被计算出,并且使波前校正器 24. 1b 或 24. 2b 的光栅相位再次等于这些波前。在此使用的计算方法从关于衍射光学元件的相关文献中公知。更精确的计算再次得出稍微失真和错位的径向扫描结构。

[0097] 由于射束方向逆转器 26. 1、26. 2 或为此设置的三棱镜将平坦波前再次转换为平坦波前,因此波前校正不受其干扰。因此,在穿过波前校正器 24. 1b 或 24. 2b 时,波前被预先失真,使得在计量用具 10 处的第二衍射以后,对于两个部分射束 TSb1、TS2b 而言都产生平坦的波前。

[0098] 因此,通过根据本发明构造的反射器单元,可以保证位置测量设备的所有部件的标称安装位置的完全的波前校正(标称波前校正)并且由此保证所生成的位置信号的最大干涉常数和最大信号强度。与从现有技术中公知的利用球面镜和屋脊棱镜进行的波前校正相比,这是显著的改善。

[0099] 对反射器单元的另一重要要求是,当计量用具 10 或分度片稍微与标称安装位置偏移或倾斜时,将可以通过反射单元来校正波前本身。在此,尤其是计量用具 10 的径向和切向偏移对所产生的信号质量特别关键。在本发明的范围内认识到,尤其是通过选择合适的射束方向逆转器 26. 1、26. 2 可以校正反射器单元中这样导致的波前变形。因此,诸如例如在本第一实施例中设置的三棱镜之类的反射器适于作为理想射束方向逆转器。该第一实施例将入射部分射束的由波前梯度确定的射束斜度变换成出射部分射束的相同射束斜度。通过这种方式,校正两个干涉部分射束的附加的由于小安装误差出现的波前变形(由公差引起的波前校正)。明显提高的干涉常数导致在位置信号中小的由公差引起的信号下降,或者反之导致大的安装公差。尤其是径向和切向安装公差与从现有技术中公知的解决方案相比被这样明显扩大。在此,除了在第一实施例中设置的三棱镜以外,还可以设置射束方向逆转器 26. 1、26. 2 的可替代的构造,这将根据下面的例子进一步阐述。

#### [0100] 第二实施例

[0101] 图 6、7a 和 7b 中示意性地示出了根据本发明的光学位置测量设备的第二实施例的扫描光路;在此,这些附图对应于第一实施例的扫描光路图。图 8 中示出了根据本发明的光学位置测量设备的第二实施例的波前校正器。下面仅仅将深入探讨与已经详细讨论的第一例子之间的主要区别。

[0102] 因此,现在首先规定:可替代地构造在第一实施例中被构造成射束方向逆转器的三棱镜。因此在第二实施例中,射束方向逆转器分别被构造成球面镜 226. 1a、226. 2a 与布置在透镜焦点处的反射镜 226. 1、226. 2 的组合。在此,在辐射过程中,首先在射束传播方向上穿过透镜 226. 1a、226. 2a,然后是反射镜 226. 1、226. 2,并且最后再次是透镜 226. 1a、226. 2a。

[0103] 此外,反射器单元的波前校正器 224. 1a、224. b、224. 2a、224. 2b 未被实施成扫描光栅形式的衍射光学元件,而是实施成折射光学元件。此外与第一实施例不同,这些光学元

件不具有用于将光路定向为与光轴 OA 平行的中心光学偏转功能。更确切而言,从计量用具 210 到反射镜 226. 1、226. 2 的中心射束方向保持在  $x - z$  平面内。

[0104] 图 8 中以示意性形式示出了该实施例的两个波前校正器 224. 1a、224. 1b。在此,所需的波前校正由小的与位置有关(局部)的偏转功能导致,该偏转功能由具有不同表面斜度的扫描板 223. 1 的鞍形处的折射来实现,并且等于第一实施例的衍射光学元件或扫描光栅的偏转功能。随着镜像位置的下降( $y$  值增加),向光轴 OA 方向的切向偏转变得越强。

[0105] 折射波前校正器 224. 1a、224. 1b 的制造例如可以通过将相应的器件压印到合适的阴模中或者通过铣磨和随后的局部打磨来进行。此外,也可以通过热成型将矩形玻璃棒旋转成螺旋形并且接着将背侧磨平和打磨。

[0106] 除了以前阐述的部件之外,第二实施例原则上与第一实施例一致。

### [0107] 第三实施例

[0108] 图 9、10a 和 10b 中示出了根据本发明的光学位置测量设备的第三实施例的原理性构造。在此,该图示再次对应于第一和第二实施例的扫描光路图示。在此,这些图示再次对应于第一和第二实施例的扫描光路。下面仅仅阐述与迄今为止的实施例之间的主要区别。

[0109] 由被构造成激光二极管的光源 321 发射的射束被准直光学 322 准直,并且到达分度片 311。在分度片 311 上再次布置有被构造成径向分度的计量用具 310。于是,被偏转到第  $+1/-1$  衍射级的部分射束落到第一扫描光栅 324. 1a 或 324. 2a 上、即衍射光学元件上。

[0110] 在该实施例中,扫描光栅 324. 1a、324. 2a 组合不同的光学功能,也就是说,它们再次被构造成衍射组合光学元件。首先,扫描光栅分别包含对应于第一实施例的波前校正功能和偏转功能。因此,入射部分射束通过该扫描光栅被偏转为与光轴 OA 平行,并且部分射束的波前被校正为使得其首先为平坦的。扫描光栅 324. 1a、324. 2a 附加地包含光学透镜功能,通过该光学透镜功能将部分射束聚焦到反射镜 326. 1、326. 2。在此,相应透镜焦点的位置  $(X_{P1}, Y_{P1})$ 、 $(X_{P2}, Y_{P2})$  根据下面的关系 3. 1 — 3. 3 得出:

$$[0111] \quad X_{P1} = -X_L \quad (\text{等式 3. 1})$$

$$[0112] \quad X_{P2} = +X_L \quad (\text{等式 3. 2})$$

$$[0113] \quad Y_{P1} = Y_{P2} = R_A \quad (\text{等式 3. 3})$$

[0114] 因此,扫描光栅 324. 1a、324. 2a 将波前校正器的光学功能与前述实施例中的射束方向逆转器的透镜元件的光学功能联合。

[0115] 为了在单个衍射光学元件或扫描光栅中实现不同的光学功能,应当叠加引入每种光学元件或光学功能的不同相移并且使这些相移等于相应衍射光学元件的相位功能。于是,该相位功能要么直接给定具有典型的锯齿状轮廓的破裂衍射光学元件的结构,要么被量化以便例如描述二元或四级衍射光学元件。在此,特别低成本的再次是相位深度为  $180^\circ$  的二元相位光栅结构。

[0116] 通过扫描光栅 324. 1a 或 324. 2a,部分射束被聚焦到反射镜 326. 1 或 326. 2,并且在反射以后到达另外的扫描光栅 324. 1b 和 324. 2b。该扫描光栅 324. 1b 和 324. 2b 同样再次含有多个光学功能。通过构造在其中的光学透镜功能,部分射束首先再次被准直,然后通过波前校正器和偏转功能的光学功能被失真为使得部分射束在计量用具 30 处的重新衍射

以后被准直,但是与光轴 OA 成辐射角  $\alpha$  传播。在此,所产生的射束角  $\alpha$  被确定为使得两个部分射束在扫描板 323 底侧的联合光栅 327 处叠加。联合光栅 327 以公知的方式将两个部分射束混合并且在所产生的第 0 和 +1/-1 衍射级中生成相移的部分射束,所述部分射束被探测器单元的探测器元件 329.1 - 329.3 探测。在该实施例中,不需要偏振光学部件来生成相移位置信号。因此在该实施例中,探测器单元仅仅包括探测器元件 329.1 - 329.3。部分射束的优选  $120^\circ$  的相移可以通过合适地选择相位深度和联合光栅 327 的连接片宽度来实现,这例如在 EP 0 163 362 B1 中予以了公开。联合光栅 327 的光栅常数被确定为使得落到其上的部分射束分别通过在第一衍射级中的衍射被偏转为与光轴平行。

[0117] 因此,该实施例的射束方向逆转器由扫描光栅 324.1a、324.2a 和反射镜 326.1、326.2 的光学透镜功能。在辐射过程中,在射束传播方向上分别穿过的是光学透镜或扫描光栅 324.1a、324.2a、反射镜 326.1、326.2,然后再次是光学透镜或扫描光栅 324.1a、324.2a。

### [0118] 第三实施例的经改动的变型方案

[0119] 如果在部分射束在扫描板 323 内平行于光轴传播的条件下放弃之前阐述的第三实施例,则得出第三实施例的图 11a 和 11b 中示出的经改动的变型方案。

[0120] 在此,扫描光栅 324.1a'、324.2a' 以及 324.1b'、324.2b' 包含之前阐述的光学功能。但是扫描光栅 324.1a'、324.2a' 的测量方向上的中心光学偏转功能被选择为较小并且扫描光栅 324.1b'、324.2b' 被选择为较大,使得但是部分射束在联合光栅 327' 处再次叠加。在根据本发明的光学位置测量设备的该变型方案中,部分射束如可以看见的那样在扫描板 323' 内与光轴 OA 平行。

[0121] 在光源 321' 的辐射过程到计量用具 310' 处的第一衍射与计量用具 310' 处的第二衍射以后的辐射过程的在 y 方向上的错位通过选择扫描光栅 324.1a'、324.2a' 以及 324.1b'、324.2b' 的光学透镜功能的透镜焦点的 y 位置来确定。辐射过程的该错位的大小被至少选择为使得从光源 321' 到计量用具 310' 处的衍射的辐射过程未在计量用具 310' 处的衍射以后的辐射过程叠加。但是该错位的大小可以被选择为使得在计量用具 310' 上添加半径  $R_A$  处的未示出的附加的分度痕迹。这样的分度痕迹可以用于生成参考脉冲信号,这例如在发明人的 EP 1 923 673 A2 中予以了公开。

[0122] 扫描光栅 324.1b' 或 324.2b' 的光学功能的计算与第一实施例类似地进行。通过准直射束准直的部分射束从探测器单元的探测器元件 329.1' - 329.3' 到扫描光栅 324.1b' 或 324.2b' 的返回传播计算出第一波前变形或相移。通过从焦点到反射镜 326.1' 或 326.2' 的向前传播计算出第二相移。于是,两个相移的差正好对应于如下相位:该相位将引入相应的衍射光学元件并且因此是该衍射光学元件的相位功能。

[0123] 图 12 中示出了根据本发明的光学位置测量设备的该变型方案的扫描光栅 324.1a'、324.1b' 和与之镜面对称的扫描光栅 324.2a'、324.2b' 的高度简化的结构。

[0124] 通过组合衍射扫描结构或扫描光栅中的不同光学功能,可以非常紧凑和低成本地构造根据本发明的光学位置测量设备的这些实施方式。由于反射镜 326.1'、326.2' 此外可以单片式地涂敷在扫描板 323' 上,因此得出扫描单元 320' 的简单、鲁棒的对波动和温度不敏感的构造。

[0125] 为了进一步降低由公差引起的波前变形,已经证明有利的是,被集成构造在第一和第二扫描光栅 324.1a'、324.2a'、324.1b' 和 324.2b' 中的透镜的焦距不是相等的,而是

被选择为稍微不同。如果  $f_1$  表示第一透镜的在扫描板介质中测量的焦距,  $f_2$  表示第二透镜的相应焦距, 则两个透镜的组合进一步把准直的部分射束变换成准直的部分射束, 即将有下式成立:

$$[0126] \quad f_1 + f_2 = 2 \cdot D_A \quad (\text{等式 4})$$

[0127] 其中:

[0128]  $f_1$  := 第一透镜的焦距

[0129]  $f_2$  := 第二透镜的焦距

[0130]  $r_1$  := 计量用具上的第一扫描位置的扫描半径

[0131]  $r_2$  := 计量用具上的第二扫描位置的扫描半径

[0132]  $D_A$  := 扫描板的厚度。

[0133] 特别有利的是, 根据下面的关系 5, 根据计量用具 310 上的第一以及第二扫描位置的扫描半径  $r_1$  以及  $r_2$  的相关比例来选择焦距的比例  $f_1/f_2$ :

$$[0134] \quad f_1 / f_2 = r_1 / r_2 \quad (\text{等式 5})。$$

[0135] 通过该条件来表征所谓的开普勒望远镜, 该开普勒望远镜具有负的成像比例, 并且将第一外部的扫描位置以缩小的方式投影到第二内部的扫描位置(或者可替代地将内部扫描位置以放大的方式投影到外部扫描位置)。在分度片 311 的小的径向或切向偏移的情况下, 产生随着半径增大而减小的局部波前倾斜。该依赖关系由根据等式 5 的关系来补偿, 其方式是将外部扫描位置的长焦距透镜之前的辐射方向改变翻译成后面的内部扫描位置的段焦距透镜之后的较大的射束方向改变。该优化可以进一步细化, 其方式是在每个扫描位置内确定对于每个第一扫描位置  $(x, y)$  和所分配的第二扫描位置  $(x', y')$  而言满足等式 4 的局部透镜焦距  $f_1(x, y)$  以及  $f_2(x', y')$ , 并且此外将径向和切向的局部射束方向改变分别以这样的方式从第一扫描位置传输到第二扫描位置, 使得其最优地补偿波前倾斜的上述径向依赖关系。由此进一步实现增大的安装公差。

#### [0136] 第四实施例

[0137] 图 13 以及图 14a 和 14b 中示出了根据本发明的光学位置测量设备的第四实施例的原理性构造。所述图示对应于前述实施例的扫描光路图。接着再次仅仅阐述与迄今为止的实施例的主要不同。

[0138] 在根据本发明的光学位置测量设备的第四实施例中, 发散光源现在照射分度片 411 上的计量用具 410。在此, 优选地作为光源使用所谓的 VCSEL 光源 (Vertical Cavity Surface Emitting Laser (垂直腔面发射激光器))。因此, 未设置准直光学。

[0139] 发散射束在计量用具 410 处被衍射或分束为第 +1/-1 衍射级。在此, 第一扫描光栅 424. 1a、424. 2a 再次组合多个光学功能。因此, 通过其构造如下功能: 用于对发散部分射束进行准直的透镜的光学功能; 用于波前变形的波前校正的光学功能, 该功能通过分度片 411 上的被构造成径向分度的计量用具 410 来实现; 以及将部分射束聚焦到扫描板 424 的上侧的中心处的聚焦透镜的光学功能。在部分射束在反射镜 426 处的反射以后, 部分射束到达第二扫描光栅 424. 1b、424. 2b, 所述第二扫描光栅同样具有多个光学功能。因此, 第二扫描光栅 424. 1b、424. 2b 对发散的部分射束进行准直, 并且这些部分射束经历针对计量用具 410 或径向分度处的随后的衍射的波前校正, 并且部分射束聚焦到探测器单元的探测器

元件 429.1-429.3。最后,联合光栅 427 使两个部分射束发生干涉。

[0140] 该实施例的特点在于分度片 411 上的计量用具 410 的直径扫描。由此在分度片 411 在  $x-y$  平面内偏移时减小可能的测量误差。在该实施例中,理想射束方向逆转器是回射器,该回射器如在第三实施例中那样由扫描光栅 424.1a、424.2a、424.1b、424.2b 和反射镜 426 的光学透镜功能构成。在辐射过程中,再次通过光学透镜或扫描光栅 424.1a、424.2a、反射镜 426,并且然后再次穿过透镜或扫描光栅 424.1b、424.2b。

[0141] 根据前面阐述的实施例,根据本发明的光学位置测量设备分具有包括作为计量用具的扫描径向分度,在这些实施例中,对于扫描单元中的反射器单元存在一系列不同的实现可能性。但是通过所有不同的实现可能性来保证反射器单元的下面的光学功能。

[0142] 一入射部分射束的小的径向(切向)射束方向改变分别被转换成出射部分射束的基本上相反的径向(切向)射束方向改变。

[0143] 一入射部分射束的小的径向(切向)射束位置改变分别被转换成出射部分射束的基本上相反的径向(切向)射束位置改变。

[0144] 一由于径向分度处的衍射产生的波前变形被转换成对径向分度处的第二衍射造成的波前变形进行补偿的波长变形。

#### [0145] 第五实施例

[0146] 下面,现在描述根据本发明的光学位置测量设备的第五实施例的不同变型方案。这些变型方案与迄今为止所阐述的例子的区别基本上在于,扫描计量用具被构造成旋转分度筒的外周上的筒分度。在此,旋转轴与分度筒的长轴重合。

[0147] 图 15 和 16 中示意性地示出了第五实施例的第一和第二变型方案的构造。这两个变型方案的不同之处在于,在根据图 15 的变型方案中,扫描的测量方向取向为切向  $x$ ,并且在根据图 16 的变型方案中,扫描的测量方向取向为径向  $y$ 。这意味着,通过根据图 15 的根据本发明的光学位置测量设备,可以确定旋转分度筒 510 的方位角,而通过根据图 16 的变型方案,可以确定旋转分度筒 510' 的径向偏移。

[0148] 第五实施例中的这两个变型方案中的扫描尤其是在构造具有第一和第二波前校正器以及射束方向逆转器的第一反射器单元方面原则上对应于前述实施例中的所阐述的扫描。因此,下面仅简要探讨这些变型方案的几个值得一提的方面。

[0149] 通过准直光学系统 522、522' 被准直的射束到达分度筒 510、510',在这些分度筒的外周上布置有筒分度形式的计量用具 511、511'。在此,图 15 中的计量用具 511 具有径向上的分度光栅线,在图 16 中的计量用具 511' 的情况下,分度光栅线被布置在切向上。被偏转为或者分束为第  $+1/-1$  衍射级的部分射束由于弯曲筒分度处的反射而经历其相应波前的变形。

[0150] 另外,在根据图 16 的变型方案中,落到计量用具 511' 上的准直射束未与其顶点相遇。在此,从计量用具 510' 反射的衍射级或部分射束附加地经历与测量方向垂直的  $x$  方向上的斜度。

[0151] 衍射光学元件或扫描光栅 524.1a、524.2a 或 524.1a'、524.2a' 通过其相应选择的相位功能补偿这些波前变形,以及在图 16 的情况下补偿所产生的射束斜度,并且将部分射束聚焦到反射镜 526.1、526.2 或 526.1'、526.2'。从那里,发散的部分射束到达同样被构造成衍射光学元件的扫描光栅 524.1b、524.2b、524.1b'、524.2b'。在此,它们的相位功能除了



相应符号以外与第一扫描光栅 524. 1a、524. 2a、524. 1a'、524. 2a' 的相位功能是相等的。在计量用具 511 或 511' 处再次反射以后, 两个部分射束再次具有平坦的波前并且接着彼此干涉。扫描光栅 524. 1a、524. 2a 或 524. 1a'、524. 2a' 再次组合波前校正器、透镜和射束偏转的光学功能。

[0152] 在扫描光栅 524. 1a、524. 2a 或 524. 1a'、524. 2a' 中所构造的透镜功能可以如在第二、第三和第四实施例中那样被构造成球面透镜功能。但是在根据图 15 和 16 的分度筒 510、510' 扫描中, 基本上仅仅在切向上出现波前失真。在径向上, 分度筒 510、510' 是直线形的, 并且计量用具 511、511' 或筒分度的偏转作用是恒定的。这可以得出结论, 不一定需要轴向上的回射。但是在此应当考虑到的是, 无论如何都需要垂直于测量方向的回射, 以便减小扫描光学系统绕光轴 OA 的公知的倾斜敏感度(“波纹倾斜”)。在这种情形下, 可以明确地参阅申请入的 DE 10 2005 029 917 A1。因此, 可以放弃仅仅在图 16 的变型方案中的分度筒 510' 的扫描中以测量方向的完全回射。在所有其他情况下、包括径向分度的扫描, 需要具有完全回射的射束方向逆转器。完全回射如上述那样可以通过三棱镜、三角柱镜、球面镜和和反射镜的组合、以及通过屋脊棱镜和具有与屋脊棱边平行的透镜作用的柱面镜的组合。而对于非完全、单轴回射而言, 要么需要屋脊棱镜, 要么需要柱面镜和反射镜的组合。根据图 16 的变型方案中的单轴回射的定向必须进行得使得屋脊棱镜的屋脊棱边的取向为轴向或者柱面镜聚焦到切向上。

[0153] 如在上述第一实施例中那样, 在根据图 15 和 16 的两个变型方案中都以偏振光学的方式进行相移位置信号的生成。但是在此同样也可以与第三实施例类似地通过具有被合适构造的联合光栅的扫描光路来获得相移位置信号。

[0154] 相应的测量任务必要时可能需要检测分度筒 510 或 510' 的轴向偏移以及方位角。在这种情况下可能的是, 将计量用具 511 和 511' 合并, 并且构造成分度筒的外周上的十字光栅分度。由此减小所需的安装空间以及分度筒的惯性转矩。此外, 可以在这种情况下通过使用从那时起总共六个扫描单元来确定分度筒的完整的六维位置。

[0155] 图 17 中部分示出了根据本发明的光学位置测量设备的第五实施例的变型方案; 图 18 用于在下面阐述该变型方案的特定几何尺寸确定规则。根据本发明的光学位置测量设备的该变型方案可以如前面阐述的具有未示出的十字光栅分度的第二变型方案那样用于检测筒分度 610 或 510' 的轴向偏移以及方位角或通过六个扫描单元 620 确定分度筒 611 的六维位置。为此使用如下的扫描: 该扫描的测量方向绕筒外周的表面的法线转动。这通过对计量用具 610 的分度条进行定向来实现, 使得该计量用具同样被布置为绕所述表面法线转动。在此, 十字光栅分度的两个测量方向的  $\pm 45^\circ$  的对称转动所具有的优点是, 不必在扫描板中制造具有不同衍射光学元件的二者都不相同的扫描单元。更确切而言, 于是可以使用相同的但是彼此绕所述法线方向转动的扫描单元。

[0156] 在这样构造计量用具的情况下, 由于扫描部分射束的入射点的侧面错位, 在相对于扫描板垂直照射的情况下, 两个从计量用具反射回的第一级部分射束对称地落到扫描板上。因此, 两个被穿过的尤其是应当校正波前失真的第一扫描光栅 624. 1a、624. 2a 同样在镜面反射以后不相同。因此, 在非理想的安装或者在光源的波长偏离于在设计时作为前提的波长时, 两个彼此干涉的部分射束的波前非常不同地变形。因此, 这将导致调制级的迅速减小并且由此导致所生成的位置信号的信号大小迅速降低。

[0157] 第一衍射光学元件 624. 1a 和 624. 2a 的该对称性以及与之相联系的减小的安装公差可以通过照射射束 S 的倾斜入射以及通过第二彼此干涉的部分射束 TS 的同样倾斜的入射来取消,这在图 17 和图 18 的上部中予以了解释。

[0158] 这近似地通过如下方式来实现:穿过扫描板 623 的穿透点和照射射束 S 的入射角  $\varepsilon_B$  被选择为使得从计量用具 610 或筒分度反射回的部分射束的第 0 级垂直地并且中心地落到两个第一扫描光栅 624. 1a 与 624. 2a 之间。这在图 18 中予以示出。

[0159] 因此,照射射束 S 的入射角  $\varepsilon_B$  优选地根据下式来选择:

$$[0160] \quad \varepsilon_B = \arctan\left(\frac{2x_0\sqrt{R^2 - x_0^2}}{R^2 - 2x_0^2}\right) \quad (\text{等式 6})$$

[0161] 其中:

[0162]  $x_0$ := 在计量用具处的第一衍射时在 x 方向上的扫描位置

[0163]  $R$ := 分度筒的半径。

[0164] 对于大的筒梯度 R 近似地有下式成立:

$$[0165] \quad \varepsilon_B \approx \frac{2x_0}{R} \quad (\text{等式 6.1}).$$

[0166] 通过下式得出照射辐射 S 穿过扫描板 623 底侧的穿透点的 x 坐标:

$$[0167] \quad x_B = \frac{x_0 R^2 - 2x_0(D_L + R)\sqrt{R^2 - x_0^2}}{2x_0^2 - R^2} \quad (\text{等式 7})$$

[0168] 其中:

[0169]  $D_L$ := 筒分度的顶点与扫描板之间的扫描间隔

[0170] 对于大的筒梯度 R 近似地有下式成立:

$$[0171] \quad x_B = x_0 \left( 2 \frac{D_L + R}{R} - 1 \right) \quad (\text{等式 7.1}).$$

[0172] 根据下式,照射辐射 S 穿过扫描板 623 底侧的穿透点的 y 坐标对应于第一扫描光栅 624. 1a 和 624. 2a 的 y 坐标的平均值:

$$[0173] \quad y_B = \frac{y_{624.1a} + y_{624.2a}}{2} \quad (\text{等式 8}).$$

[0174] 根据下式得出出射干涉射束 TS 的相应几何参数(出射角;穿透坐标):

$$[0175] \quad x_D = -x_B \quad (\text{等式 9.1})$$

$$[0176] \quad y_D = \frac{y_{624.1b} + y_{624.2b}}{2} \quad (\text{等式 9.2})$$

[0177]  $\varepsilon_0 = \varepsilon_a$  (等式 9.3)。

[0178] 使用倾斜照射对于测量方向不为切向或径向所有扫描都是有益的。因此,于是可以设置对称构造的扫描光栅 624. 1a、624. 2a 以及 624. 1b、624. 2b ;此外,于是有关于分度筒的标称位置的大的公差可用。在此有意义的是,选择计量用具 610 或分度筒上的第一和第二扫描点在 x 方向上关于筒顶点对称。这导致波前校正器对由于筒弯曲被弯曲的波前进行校正,其中波前的倾斜通过倾斜照射被补偿。

[0179] 如具有径向光栅扫描的第一实施例中那样,对于筒扫描表明:回射器是射束方向逆转器的理想解决方案。这可以归因于,在分度筒偏离于其标称位置时,出现由公差引起的波前变形,该波前变形基本上是波前倾斜并且由此是射束斜度。通过回射,这些射束斜度在此被取消并且导致两个部分射束的最优干涉。

#### [0180] 第六实施例

[0181] 最后根据图 19、20a 和 20b 来描述根据本发明的光学位置测量设备的第六实施例。

[0182] 在迄今为止所阐述的实施例中始终规定:计量用具、两个波前校正器和射束方向逆转器在射束传播方向上以下面的顺序被射束或部分射束穿过:

[0183] 计量用具(第一衍射) — 第一波前校正器 — 射束方向逆转器 — 第二波前校正器 — 计量用具(第二衍射)。

[0184] 根据该顺序将不同的元件布置在根据本发明的光学位置测量设备中。

[0185] 但是在本发明的范围内也可能的是,这些元件也可以以下面的顺序被射束或部分射束穿过:

[0186] 第一波前校正器 — 计量用具(第一衍射) — 射束方向逆转器 — 计量用具(第二衍射) — 第二波前校正器。

[0187] 因此一般可以认为,根据本发明,扫描单元中的反射器单元被布置和 / 或构造为使得在射束最后到达探测器单元以前,射束首先穿过计量用具和第一波前校正器的第一组合,接着通过射束方向逆转器进行部分射束在计量用具方向的往回反射,并且部分射束然后穿过计量用具和第二波前校正器的第二组合。

[0188] 图 19、20a 和 20b 中示出了光学位置测量设备的实施例,其中射束以第二次提到的顺序穿过不同元件。

[0189] 从光源 621 发射的射束通过准直光学系统 622 被准直,并且到达第一扫描光栅 624a,该第一扫描光栅布置在扫描板 623 上。通过第一扫描光栅 624a,入射射束被分束为两个第 +1/-1 衍射级的衍射部分射束。然后,两个部分射束落到分度片 611 上的被构造成径向分度的计量用具 610 上。在那里,部分射束被重新衍射为第 +1/-1 衍射级并且如从图 20a 中看出的那样以基本上与入射方向相反的测量方向 x 被反射回。然后,反射回的部分射束落到被构造成三棱镜的射束方向逆转器上,从该射束方向逆转器,该部分射束再次以计量用具 610 的方向被回射。在部分射束再次在计量用具 610 以后,所述部分射束再次到达第二扫描光栅 624b,该第二扫描光栅 624b 将两个部分射束叠加和干涉。如上面第三实施例中那样,第二扫描光栅被构造为使得在所产生的第 0 和 +1/-1 衍射级中优选地发出单个彼此相移 120° 相位错位的射束,所述射束由探测器单元的探测器元件 629. 1-629. 3 来探测。

[0190] 第一扫描光栅 624a 再次联合不同光学功能。因此,第一扫描光栅充当将从光源

621 入射的射束分束为两个部分射束的分束光栅。利用该分束,同时联系对两个部分射束的对称的偏转功能。此外,第一分束光栅 624a 充当第一波前校正器。由此,两个部分射束的出射波前被失真为使得在被构造成径向分度的计量用具 610 处的衍射以后分别存在准直的部分射束,所述部分射束到达被构造成三棱镜的射束方向逆转器。因此又保证,利用所参与的部分射束的波前进行回射。

[0191] 与之类似地,第二扫描光栅 624b 也联合不同的光学功能。因此,第二扫描光栅 624 充当第二波前校正器,该波前校正器将由于计量用具处的第二衍射被失真的部分射束的波前再次变换成平坦的波前。此外,在该实施例中,第二扫描光栅 624b 也充当联合光栅,该联合光栅使两个部分射束干涉并且将其转换成三个出射相移射束。

[0192] 与迄今为止描述的根据本发明的光学位置测量设备的实施例不同,给两个分束的部分射束在此分配未分开的扫描光栅。因此在该实施例中需要对两个部分射束分别在其相应波前方面进行校正。为此,第一和第二扫描光栅 624a、624b 被构造成衍射结构。

[0193] 作为根据本发明的光学位置测量设备的第六实施方式的特别优点最后应当提到的是,该实施方式具有特别紧凑的构造形式。

[0194] 当然,除了根据本发明的光学位置测量设备的迄今为止详细阐述的不同实施例以外,在本发明的范围内产生另外的实施可能性。下面简要介绍各种变型方案。

[0195] 如果诸如第一扫描位置的方位位置在扫描径向分度时偏离于径向分度的第二扫描位置方位位置的标称值,则两个扫描位置的波前梯度在分度片偏移出标称位置时不再被对准。更确切而言,所述波前梯度彼此转动并且其值改变。因此,引入附加的光学装置、如棱镜(例如多夫(Dove)棱镜)或者镜装置,以便相应地传输这些波前梯度、即以便保证最优的图像旋转和缩放。

[0196] 替代于使用要么纯折射要么纯衍射的波前校正器和透镜,也可以使用混合的折射和衍射元件。此外,也可以为此使用合适构造的镜光学。

[0197] 当然,扫描的计量用具同样可以可替代地来构造,即被构造成透光计量用具。

[0198] 根据本发明的扫描方案可以除了径向或筒分度的扫描以外也可以用于另外的非均质的分度结构。

[0199] 另外可能的是,将射束方向逆转器仅仅构造成三棱镜、三角柱镜或具有镜的透镜。为此也可以使用  $90^\circ$  屋脊和柱面镜的组合,其中透镜作用的取向为与屋脊棱边平行并且屋脊棱镜必须被布置在透镜的焦平面内等等。

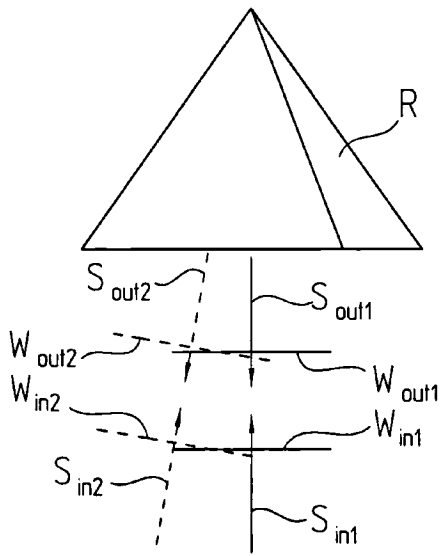


图 1a

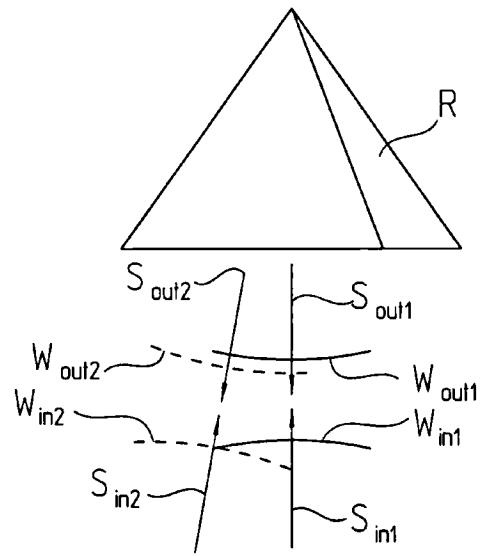


图 1b

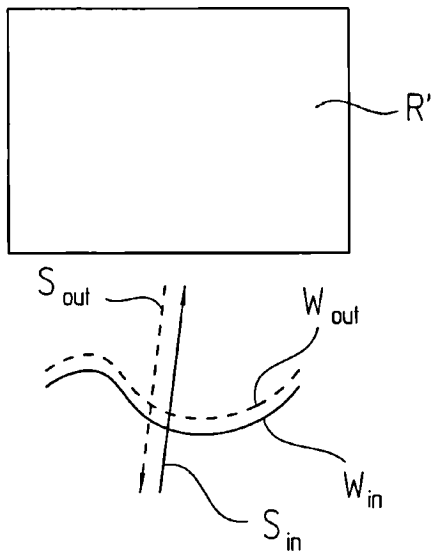


图 1c

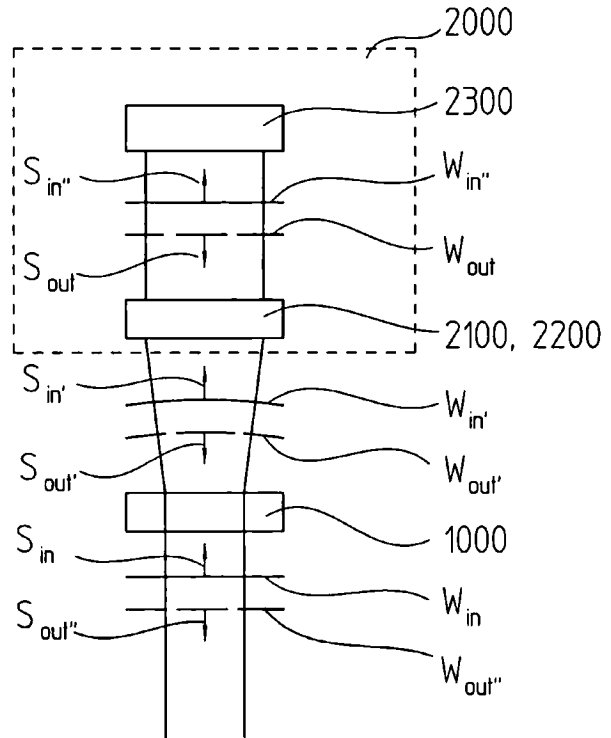


图 1d

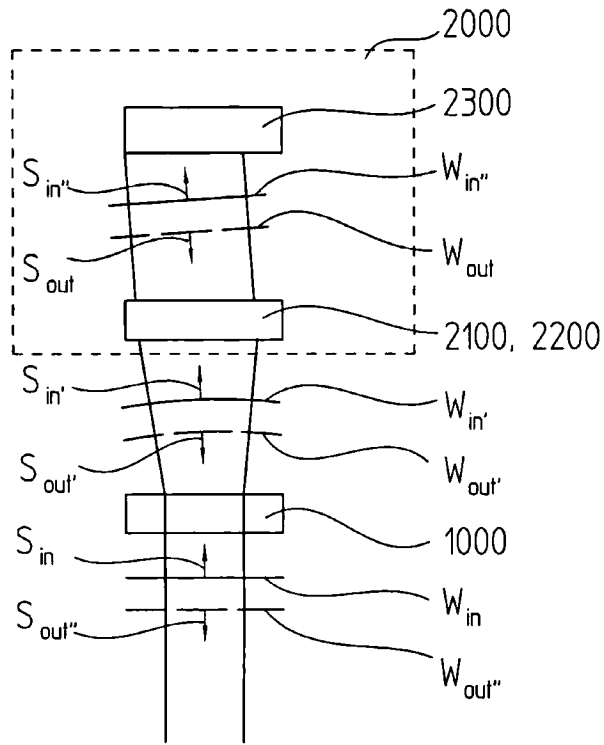


图 1e

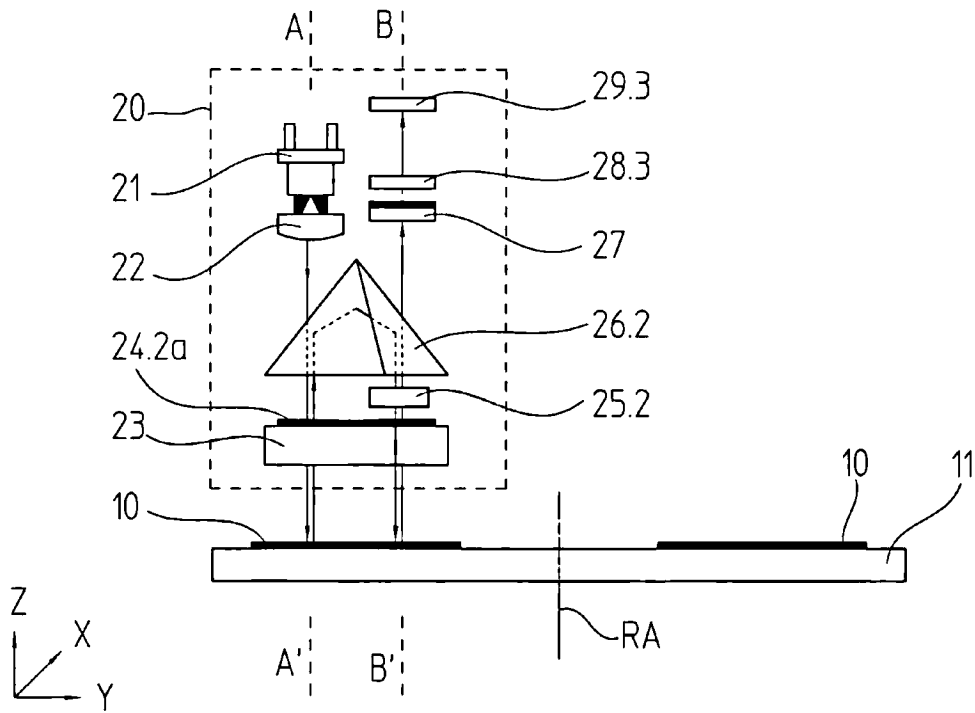


图 2

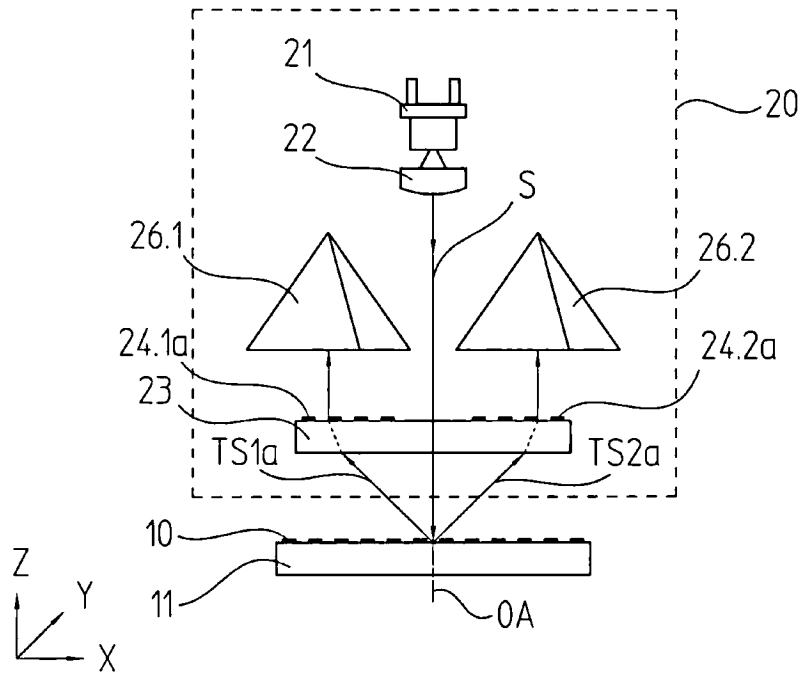


图 3a

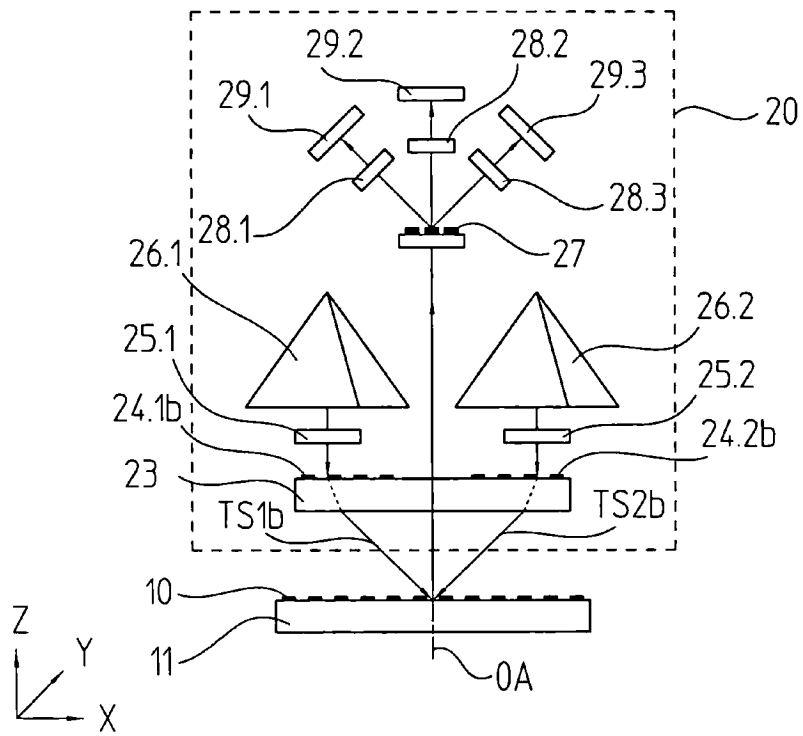


图 3b

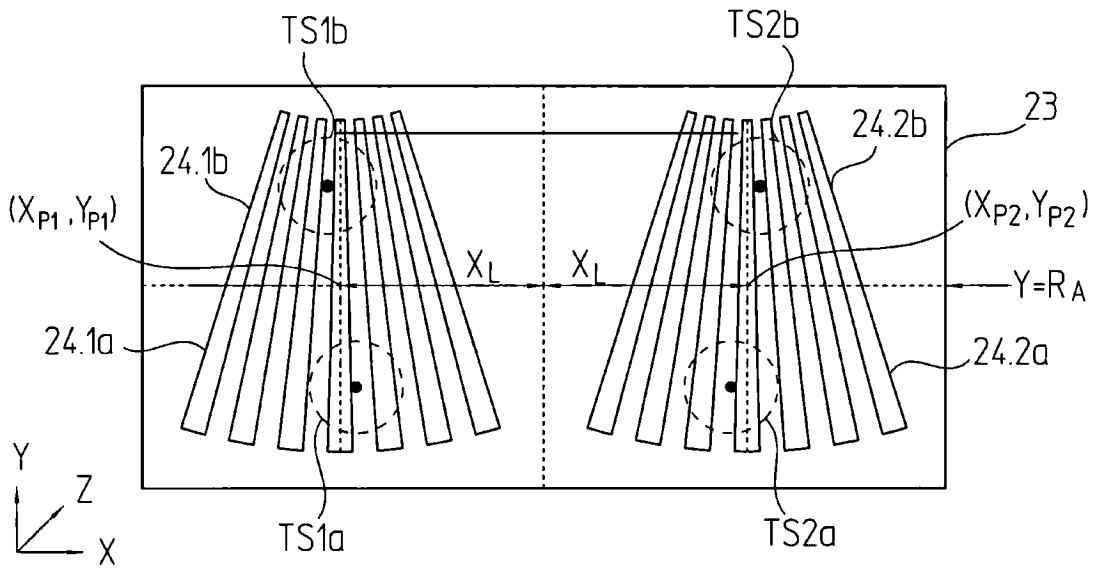


图 4

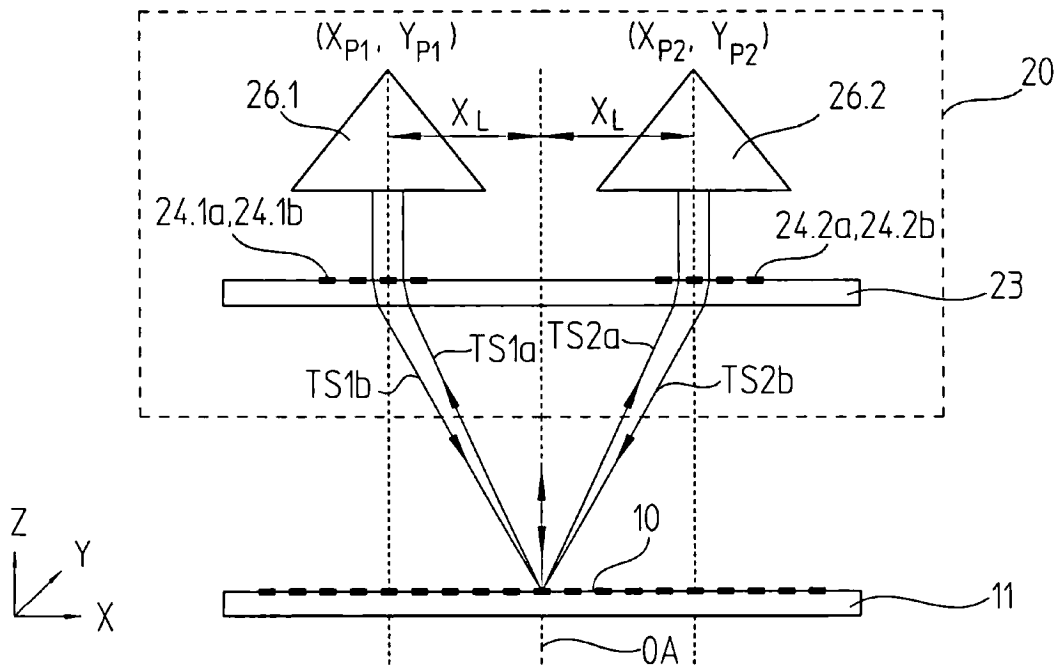


图 5



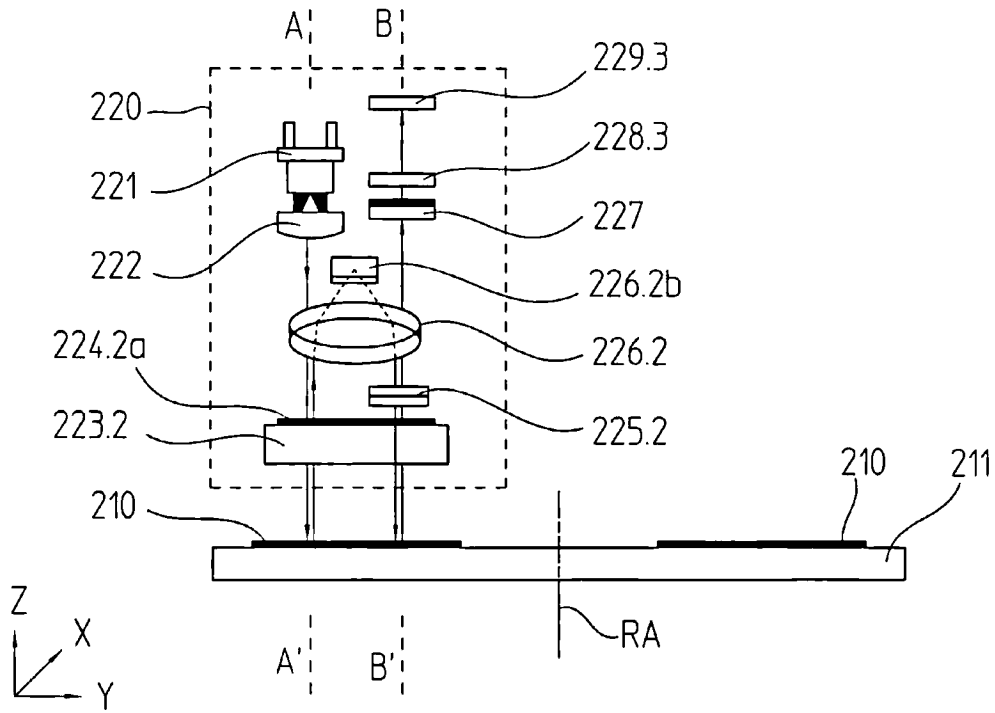


图 6

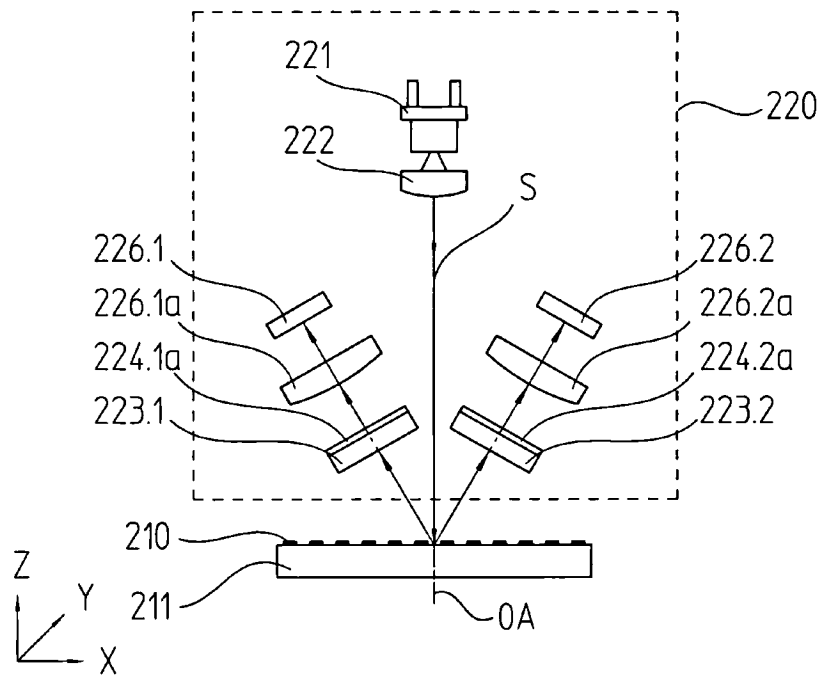


图 7a

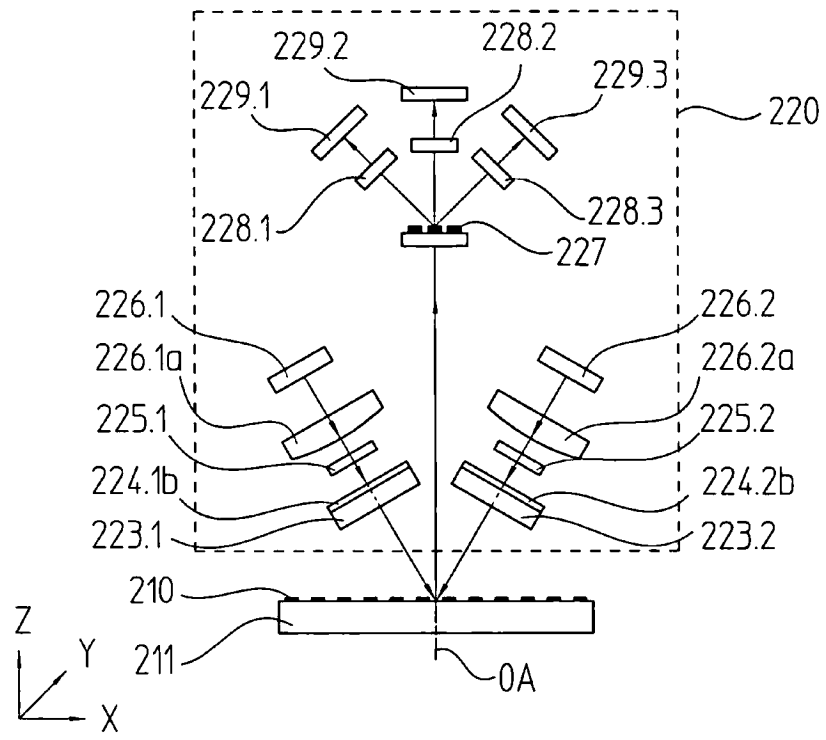


图 7b

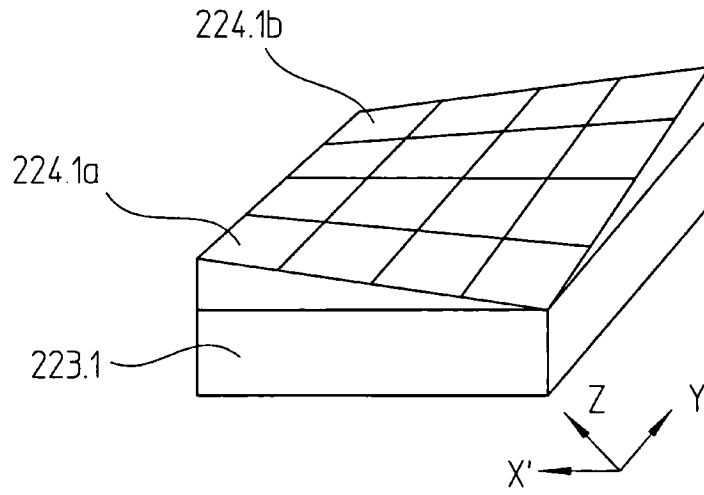


图 8

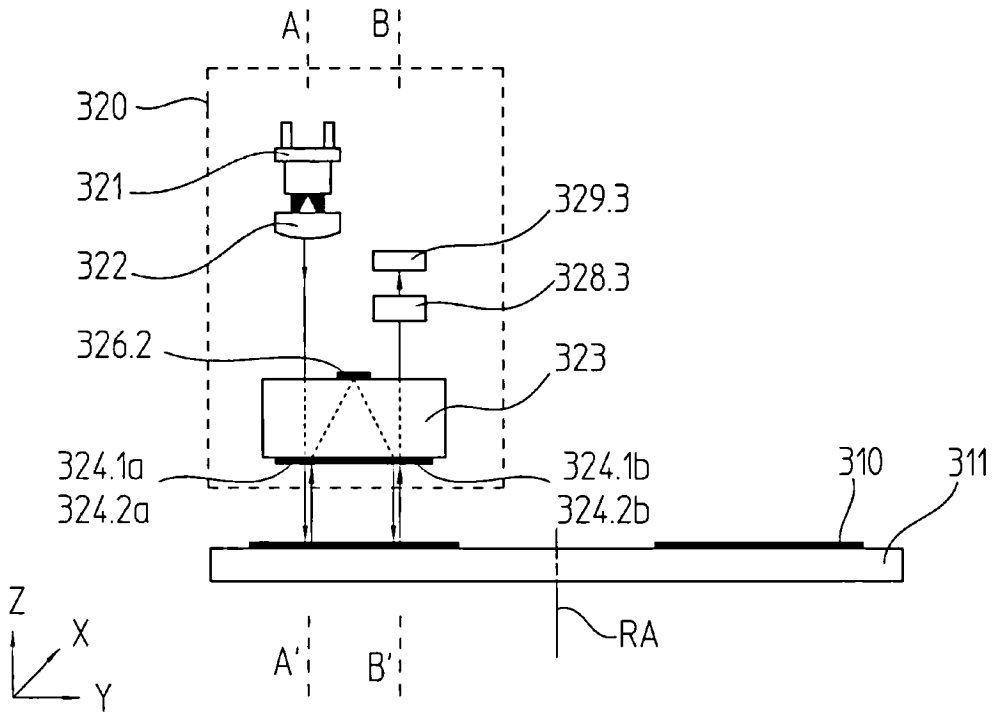


图 9

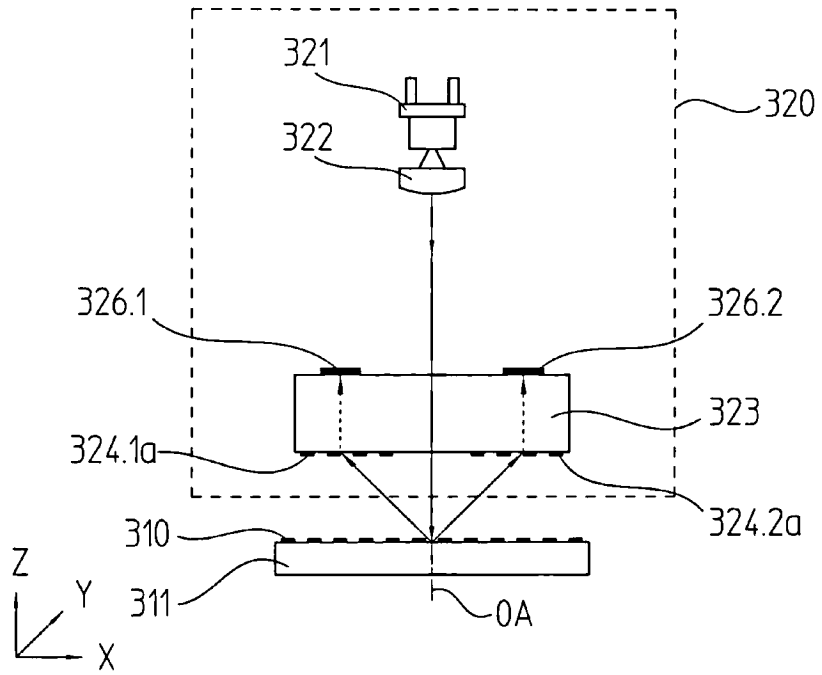


图 10a

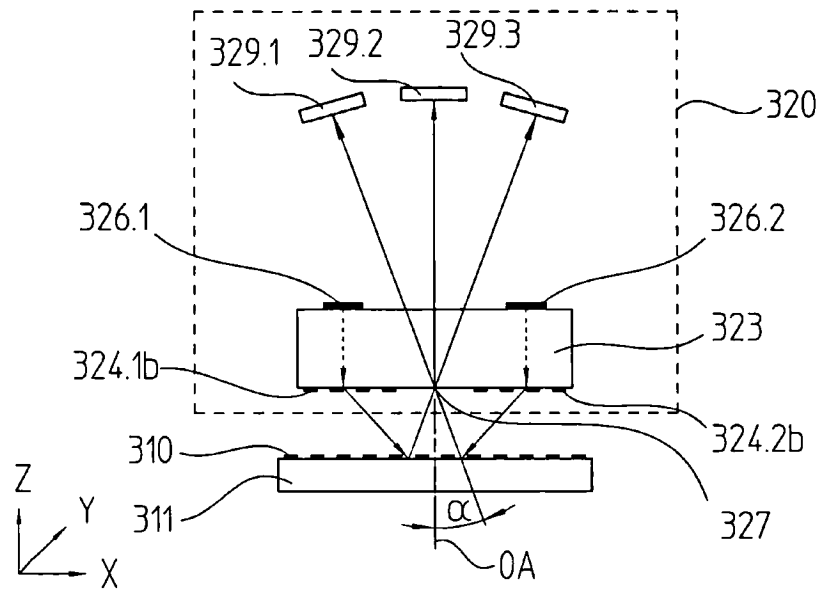


图 10b

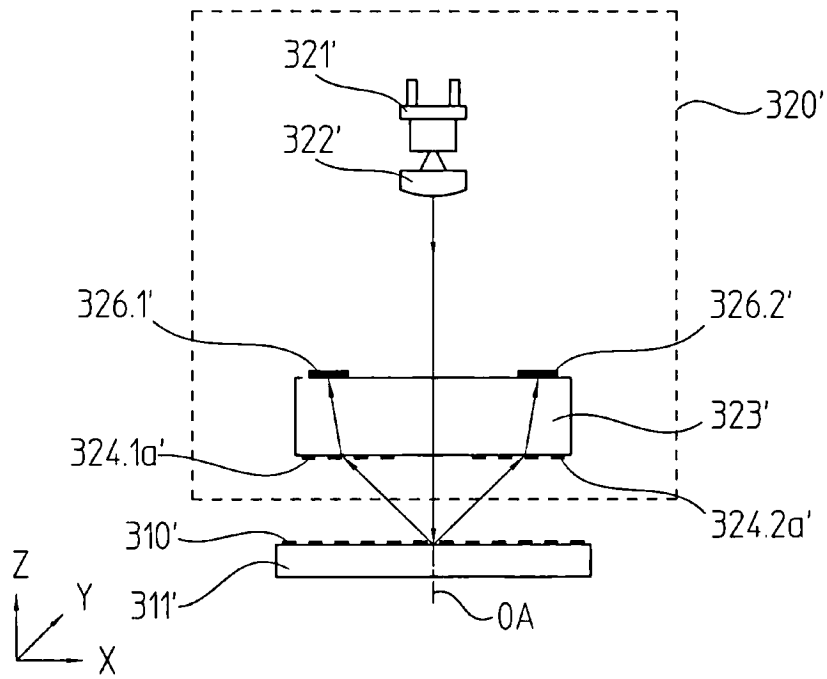


图 11a

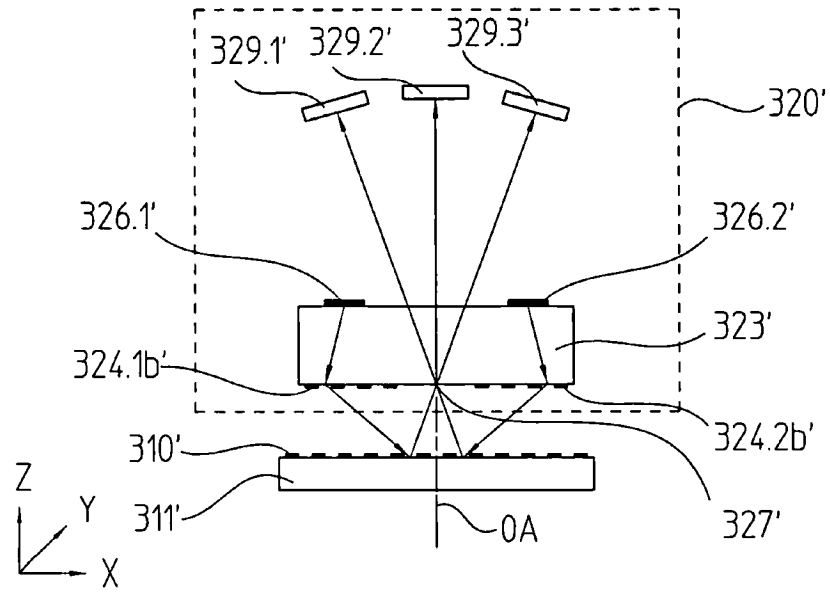


图 11b

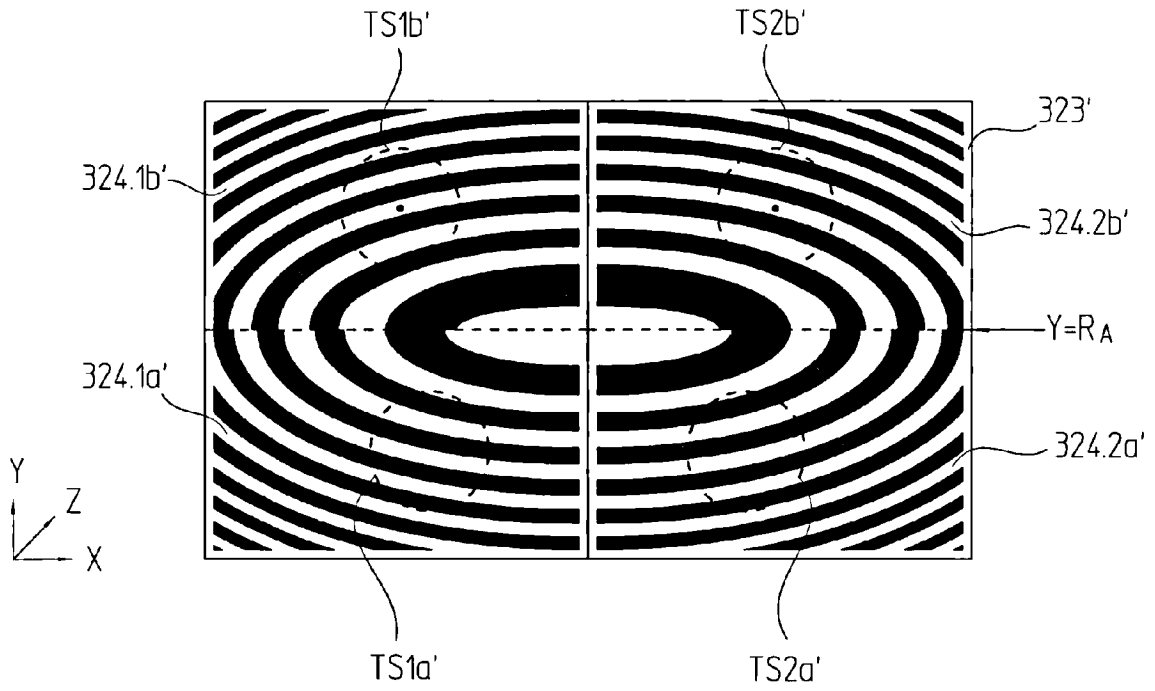


图 12

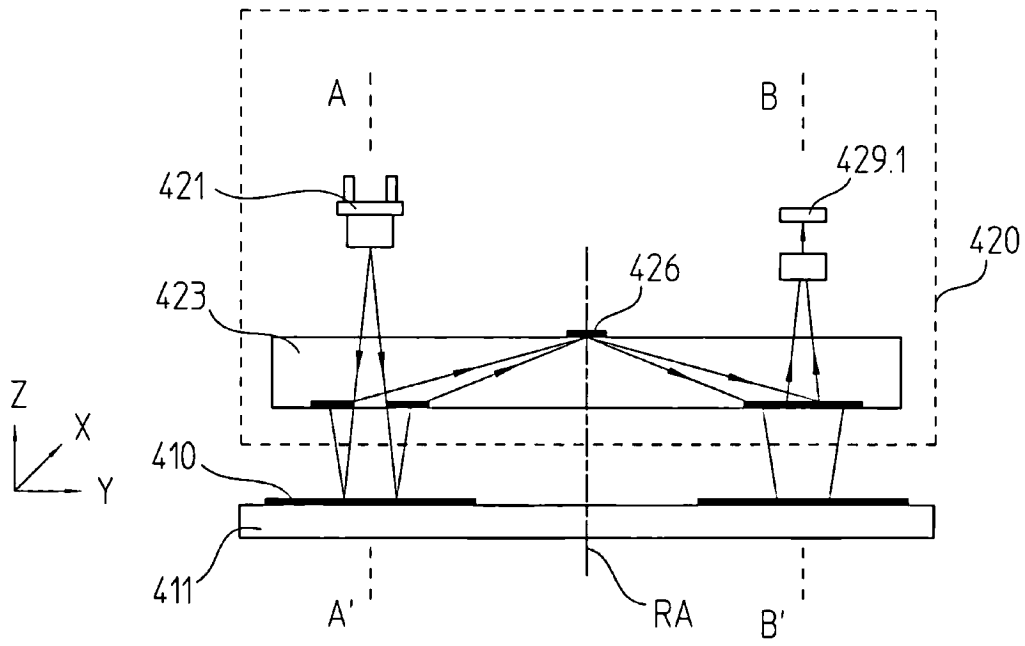


图 13

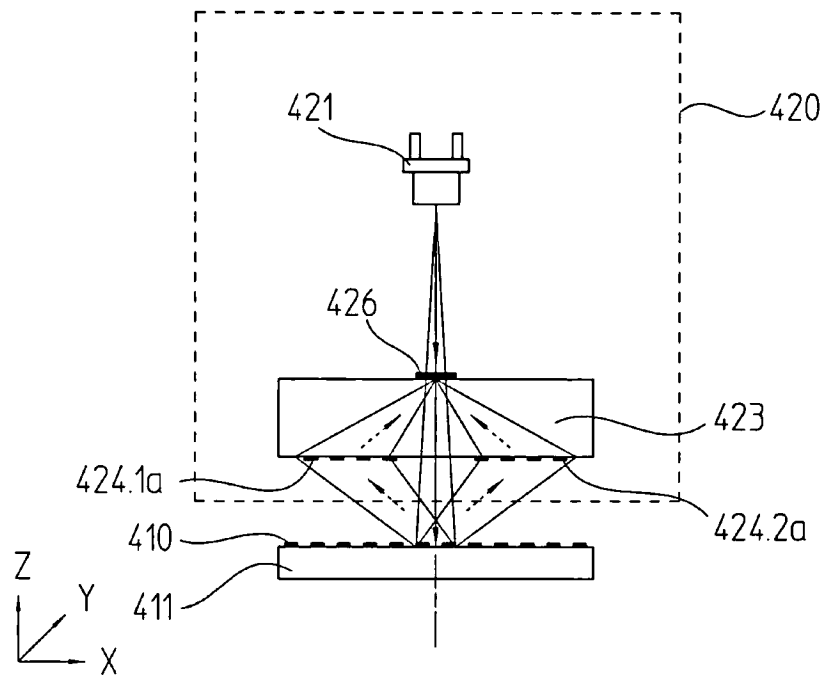


图 14a

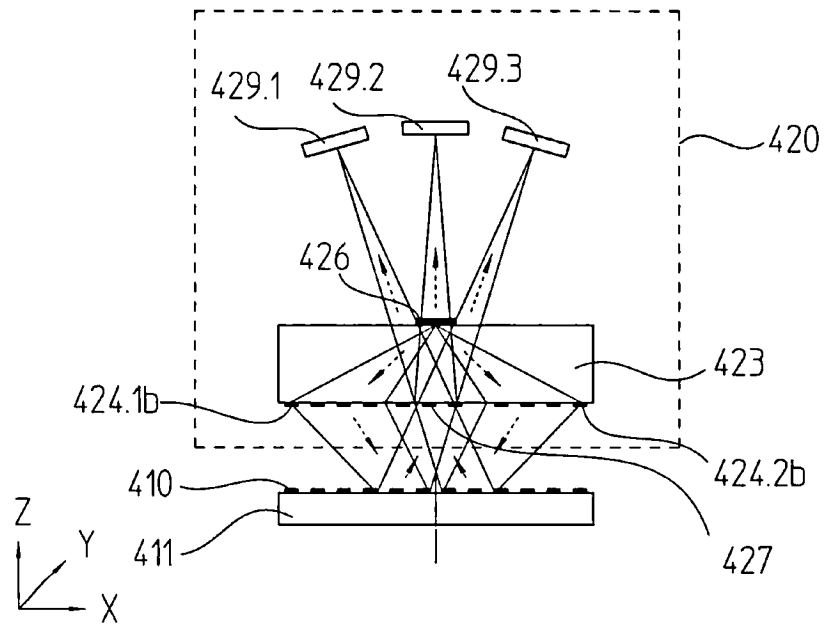


图 14b

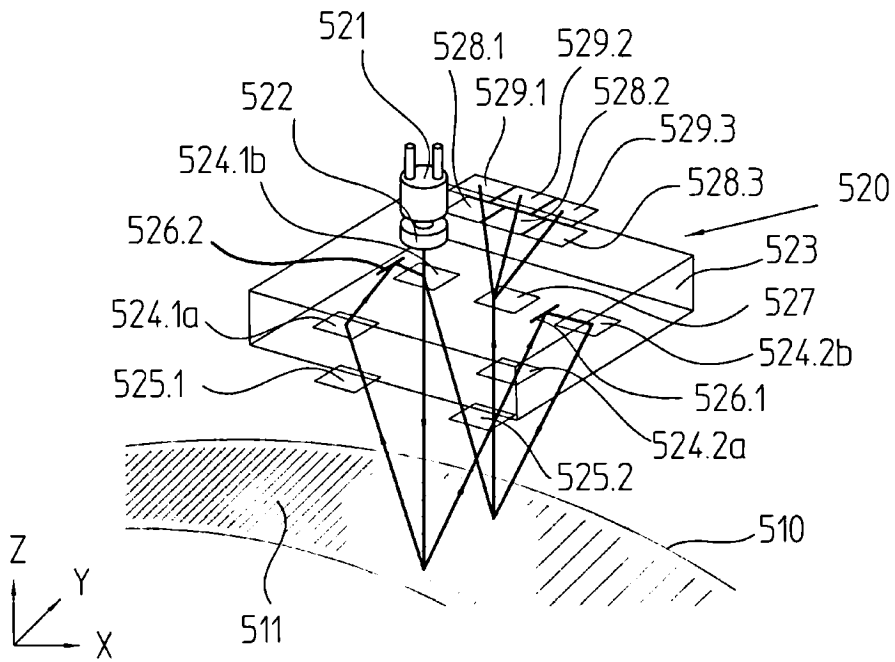


图 15

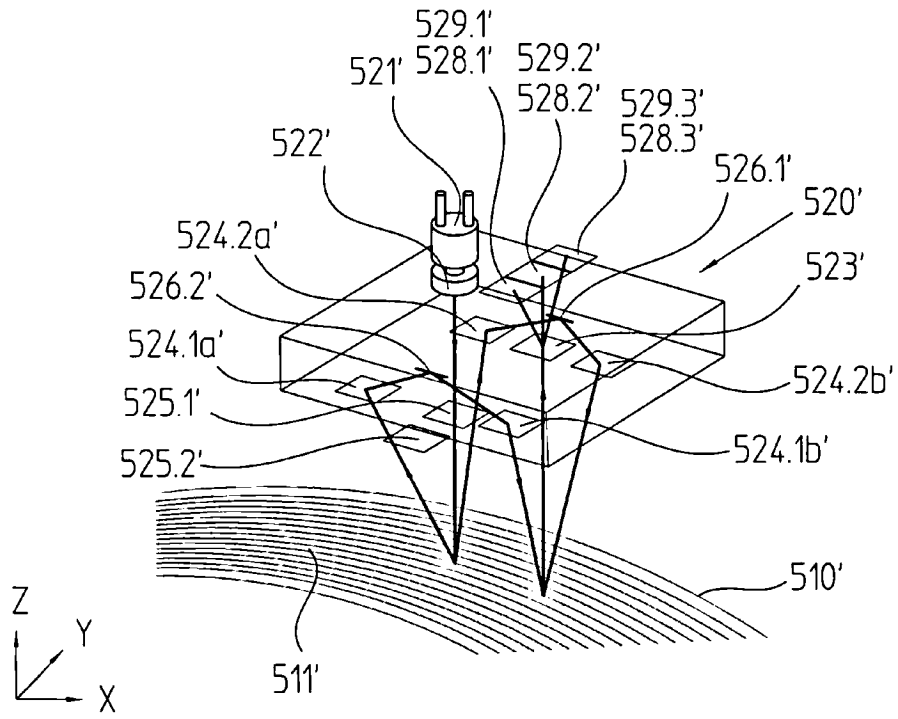


图 16



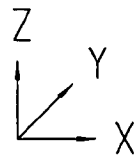
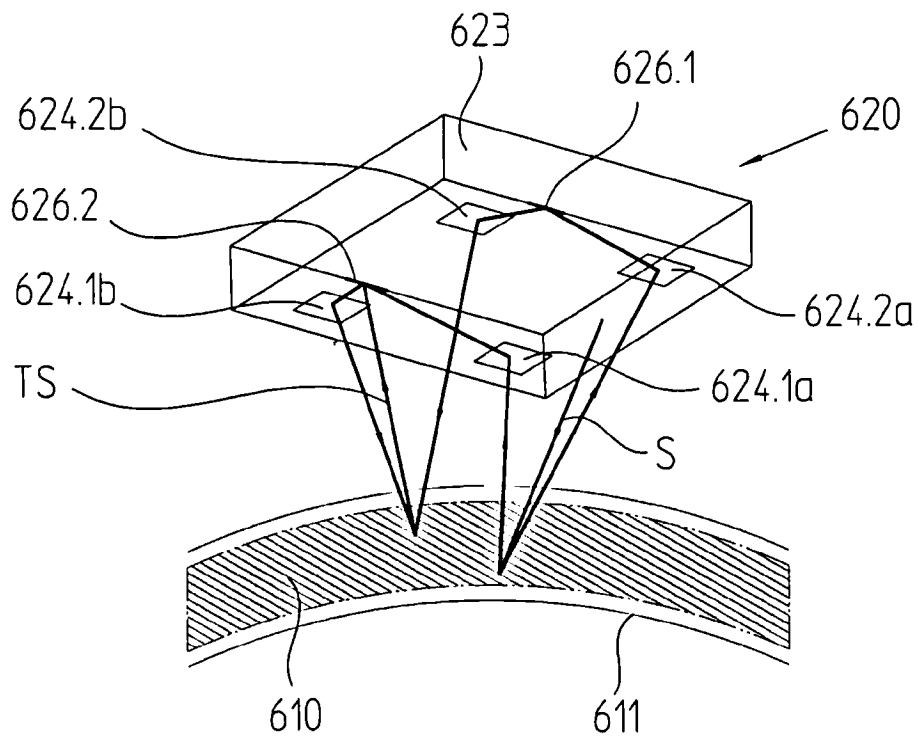


图 17

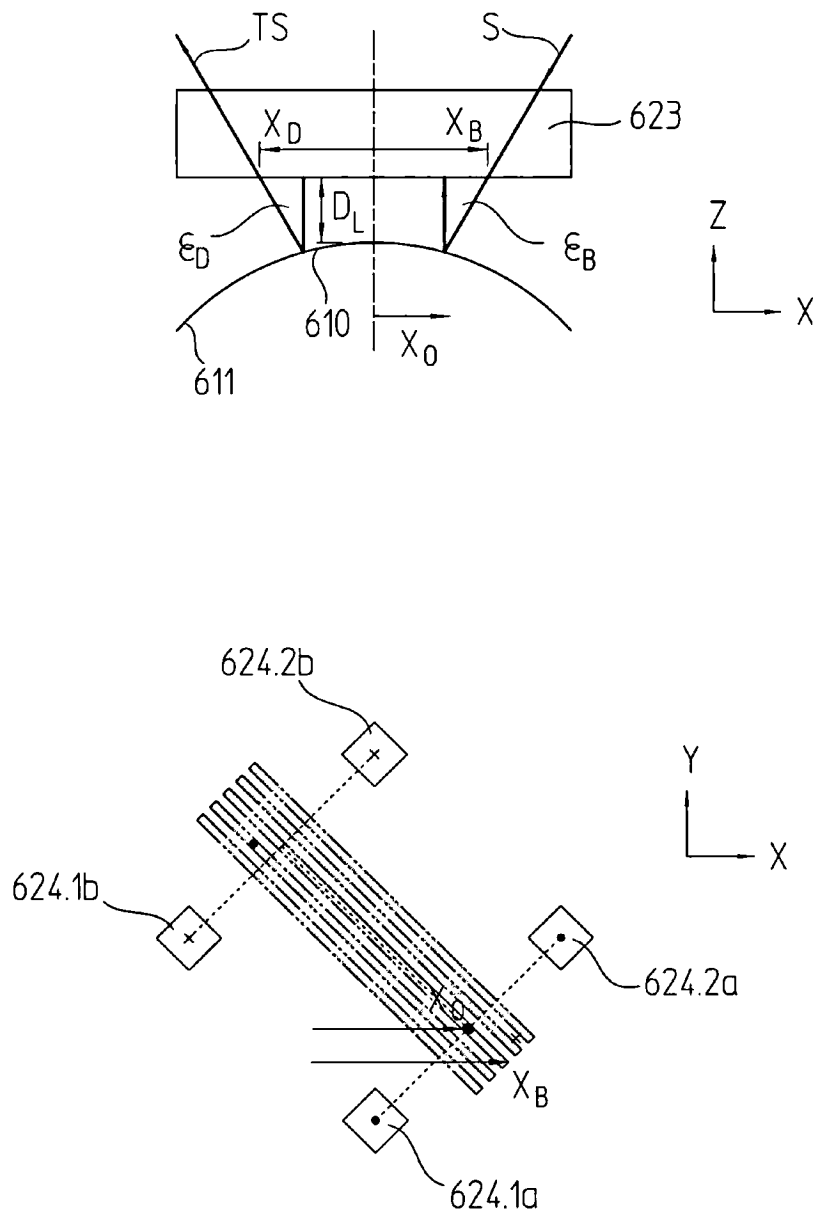


图 18

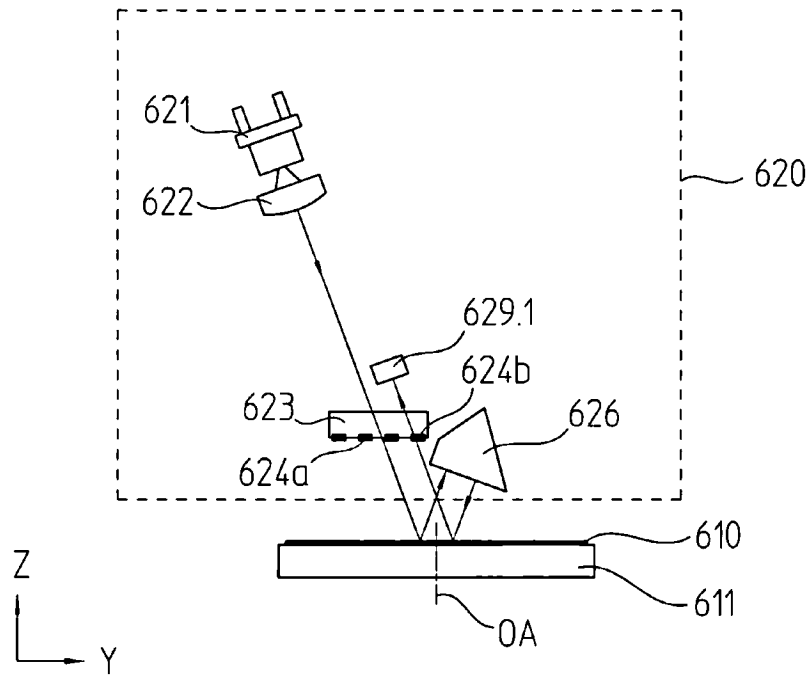


图 19

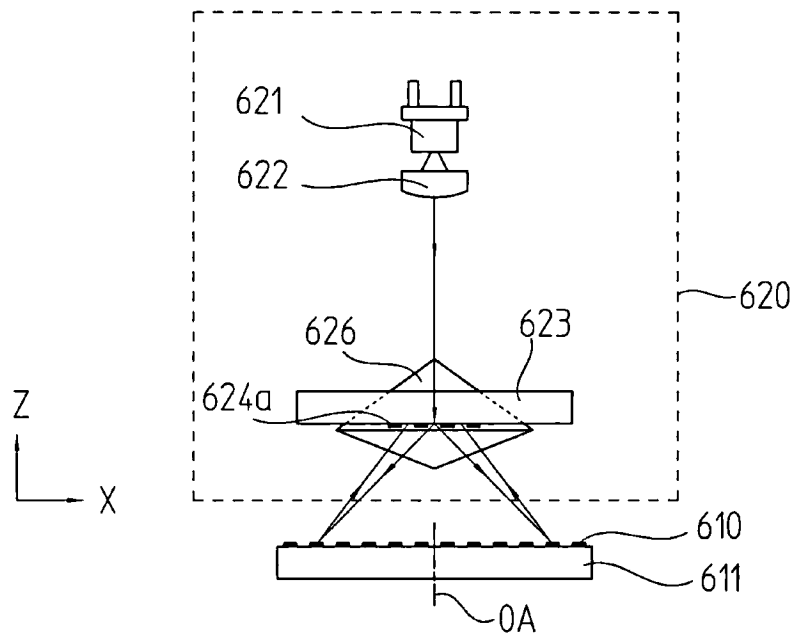


图 20a

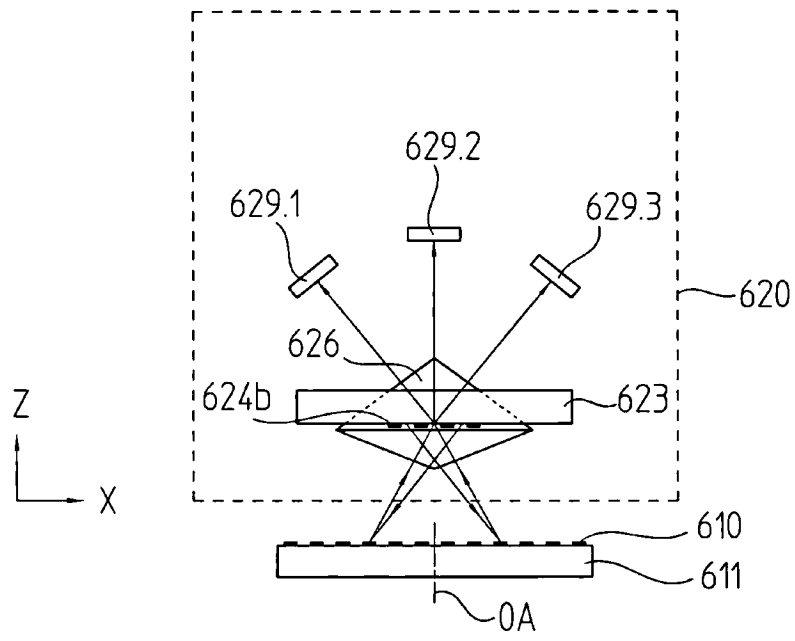


图 20b