



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102575926 B

(45) 授权公告日 2015.08.05

(21) 申请号 201080040371.2

(22) 申请日 2010.08.30

(30) 优先权数据

102009040837.1 2009.09.10 DE

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2012.03.12

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2010/062637 2010.08.30

(87) PCT国际申请的公布数据

W02011/029740 DE 2011.03.17

(73) 专利权人 卡尔蔡司股份公司

地址 德国上科亨

(72) 发明人 伯恩德·斯普鲁克

克里斯蒂娜·阿尔瓦雷斯迪兹

西蒙·布拉特克

拉斯-克里斯琴·威蒂格

斯蒂芬·里克特 恩里科·盖斯勒

克里斯琴·库斯 奥利弗·施米特

弗兰克·霍勒

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 邱军

(51) Int. Cl.

G01B 11/00(2006.01)

G01S 17/10(2006.01)

(56) 对比文件

WO 03/062744 A1, 2003.07.31, 说明书第8页第3行-第24页第22行, 附图1-13.

WO 03/062744 A1, 2003.07.31, 说明书第8页第3行-第24页第22行, 附图1-13.

EP 1251328 A1, 2002.10.23, 说明书第5-6段, 第75-76段, 附图1-8.

US 2002/0143506 A1, 2002.10.03, 全文.

EP 1536248 A2, 2004.11.19, 全文.

CN 101203730 A, 2008.06.18, 全文.

审查员 石小容

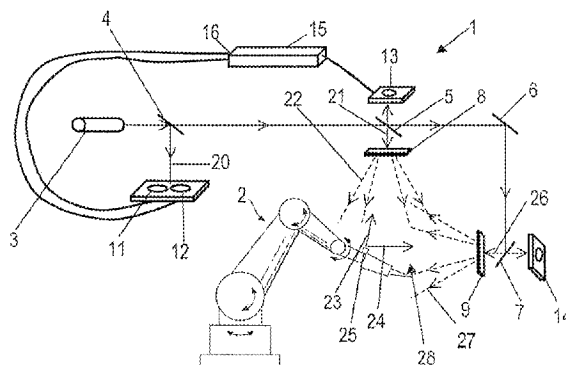
权利要求书2页 说明书16页 附图10页

### (54) 发明名称

用于位置确定和表面测量的设备和方法

### (57) 摘要

根据本发明的实施例, 提供了一种用于确定对象 (25) 在空间区域 (28) 中的位置的方法, 其中, 利用至少一个光束 (22, 27) 照射所述对象 (25)。光束 (22, 27) 不覆盖整个空间区域 (28), 并根据对象 (25) 的位置将光束引导到空间区域中对象 (25) 所处的部分中。根据本发明的另一方面, 提供了一种用于表面测量的方法。



1. 一种用于确定对象(25 ;33 ;191)在空间区域(28 ;31)中的位置的设备,包括:  
至少一个光源(3 ;30 ;51 ;126),用于产生至少一个光束,  
引导装置(5,7 ;40 ;42 ;57,59 ;135 ;153 ;173,214),用于将所述光束(22,27 ;35 ;151 ;171 ;211)引导到反射器,  
其中所述光束的形式被选择为使得所述光束(22,27 ;35 ;151 ;171 ;211)不覆盖所述反射器能够处于的完整区域,  
检测器装置(13,14 ;123),用于检测从所述反射器反射的光束,  
评估装置(15 ;125,127 ;196),用于基于所述检测器装置(13,14 ;123)检测的反射光束确定所述对象(25 ;33 ;191)的位置,以及  
控制装置(58 ;122,128-132),用于控制所述引导装置(5,7 ;40 ;42 ;57,59),使得所述至少一个锥形光束被引导到所述区域(28 ;31)中所述反射器所处的部分,  
所述控制装置(122,128-132)被配置为根据所述检测器装置(123)处的信号的幅度控制所述引导装置(135)。
2. 如权利要求1所述的设备,其中所述反射器与所述对象(25 ;33 ;191)连接,并且其中所述至少一个光源(3 ;30 ;51 ;126)是静态的。
3. 如权利要求1所述的设备,其中所述引导装置(5,7 ;40 ;42 ;57,59 ;135 ;153 ;173 ;214)固定到所述对象,并且其中所述反射器是静态的。
4. 如权利要求3所述的设备,其中所述设备包括其中包括所述反射器的多个反射器。
5. 如权利要求1—4中的任一项所述的设备,其中所述设备被配置为确定三个独立的距离并且通过三边测量法确定所述对象(25 ;33 ;191)的位置。
6. 如权利要求1—4中的任一项所述的设备,其中所述对象(25 ;33)安装到机械臂(2)上,  
其中所述控制装置(58)基于所述机械臂的位置信息控制所述引导装置(5,7 ;40 ;42 ;57,59)。
7. 如权利要求1—4中的任一项所述的设备,包括其它检测器装置(54 ;55,56 ;152 ;172),用于确定所述至少一个光束(22,27 ;35)相对于所述反射器的位置,其中所述控制装置(58)被配置为基于所述其它检测器装置(54 ;55,56)的信号控制所述引导装置(5,7 ;40 ;42 ;57,59 ;153 ;173,214)。
8. 如权利要求7所述的设备,其中所述其它检测器装置包括布置在所述对象(25 ;33)周围的多个光敏检测器(56a-56d)。
9. 如权利要求7所述的设备,其中所述其它检测器装置包括布置在所述检测器(25 ;33)周围的多个其它光源(56a-56d)、以及用于检测所述其它光源(56a-56d)的光的检测器(55)。
10. 如权利要求7所述的设备,其中所述其它检测器装置包括位置敏感检测器(152 ;172)。
11. 如权利要求7所述的设备,其中所述其它检测器装置被布置为使得它们检测从所述反射器反射并进一步从所述引导装置反射的光。
12. 如权利要求11所述的设备,  
其中所述其它检测器装置布置在所述光源和所述引导装置之间,并包括中央光透明区

域。

13. 如权利要求 1—4 中的任一项所述的设备,其中所述引导装置(5,7 ;40 ;42 ;57,59)包括可动反射镜(40 ;59)。

14. 如权利要求 1—4 中的任一项所述的设备,其中所述引导装置(5,7 ;40 ;42 ;57,59)包括可动透镜(42),用于改变所述锥形光束(22,27,35)的方向。

15. 如权利要求 1—4 中的任一项所述的设备,其中所述至少一个光源(3 ;30 ;51)包括脉冲激光器。

16. 如权利要求 1—4 中的任一项所述的设备,还包括用于扩展所述光束(22,27 ;35)的光学部件(216)。

17. 一种用于确定对象(25 ;33)在空间区域(28 ;31)中的位置的方法,包括:

将至少一个光束引导到所述空间区域中存在反射器的部分中,

检测从所述反射器反射的光束,

基于所检测的反射光束确定所述对象(24 ;33)的位置,以及

确定从所述对象反射的光束的幅度的度量,

其中根据所述幅度的所确定的度量进行所述至少一个光束的引导。

18. 如权利要求 17 所述的方法,还包括:

确定所述光束相对于所述反射器的相对位置,

其中基于所述相对位置的确定执行将所述光束引导到所述空间区域中存在反射器的部分中。

19. 如权利要求 18 所述的方法,其中所述相对位置的确定包括利用位置敏感检测器的测量。

20. 如权利要求 18 所述的方法,其中所述相对位置的确定包括与所述反射器相邻布置的多个光源的检测。

## 用于位置确定和表面测量的设备和方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及用于位置确定和表面测量的设备和方法。具体地,本发明涉及使用光学测量方法(例如使用激光)的设备和方法。

### 背景技术

[0002] 坐标测量设备是期望以尽量高的精度在三维空间中确定位置的示例应用领域。坐标测量设备通常具有测量头,其例如可以配备追踪器针(tracer pin)或其它传感器。为了确定对象表面上的位置,确定测量头的位置以及追踪器针(pin)相对于该测量头的位置(如果该测量头上安装了追踪器针)。传统上,为了确定测量头的位置,在坐标测量设备中提供线性标度,其间接地经由单独(individual)轴的运动路径来反馈测量头的位置。然而,这需要坚固的机械结构来防止测量结构由于现场松开或机械变形而导致的破坏。

[0003] 可以通过测量电磁辐射(例如光)行进的路径来确定距离。为了实现这一点,电磁辐射穿过参考位置与对象之间的路径一次或多次,从而可以从辐射行进的路径的长度来导出该距离。

[0004] 以几微米或几十微米量级的精度在具有几米长度的空间中确定距离或对象位置的设备和方法的实现存在技术困难。这特别适用于以高测量速度确定位置的情形。

[0005] 激光距离测量设备使得能够确定对象的距离。在K.Minoshima和H.Matsumoto,“High-Accuracy Measurement of 240-m distance in an optical tunnel by use of a compact femtosecond laser”,Applied Optics,vol.39,No.30 pp.5512-5517(2000)中,描述了使用光学频率梳的距离测量。在此测量中,激光束频率梳的强度的信号分量的相位位置被评估(evaluate)来确定激光束行进的距离。选择信号分量,使得该信号分量以与激光束的重复频率的典型高倍数一致的频率振荡。对这种信号分量的相位差的测量使得能够在所谓的不模糊(unambiguousness)区域中确定位置,该不模糊区域等于光速除以信号分量的频率。为了获得在不模糊区域内近似于欲测量的距离的距离估计,例如,本申请申请人的DE 10 2008 045 386.2提出顺序地评估所捕获的测量信号的、以不同频率振荡的不同信号分量。然而,为了此附加测量,需要评估时间。

[0006] 一般地,在分别基于行进时间测量或相位差测量而在三维空间中确定位置的光学方法中,利用光束(典型地为激光束)照射要被确定位置的对象,并且检测从对象(例如从安装在对象上的回射器)反射的光。在此情况中,必须确保光束在完整的测量体积(volume)中照射对象(例如如上所述的坐标测量设备的测量头)。传统上,通过光学元件扩展光束,使得光束照射完整的测量体积。然而,该扩展导致仅从对象反射激光束中相对较小的一部分,并因此检测器处的信号强度相对于入射激光功率较小。

[0007] 在其它方法中,可以使用逆向方法,即,从对象(例如安装在对象上的测量头)照射一个或多个静态反射器,并且在对象处检测所反射的光。而且,这里必须确保对反射器或多个反射器的照射独立于对象在感兴趣的空间中的运动。此外,传统上,在此情况中,可以利用光学元件扩展光束,这继而导致低的信号强度。

[0008] 一般地,期望更有效地使用激光功率,以在所使用的一个或多个检测器处获得更好的信噪比,以及/或者能够使用具有降低的功率的激光器。

[0009] 也可以在表面测量中采用类似的光学测量方法(例如使用激光的)。这里,例如,利用激光(例如短脉冲激光)照射欲测量的表面,并利用一个或多个检测器检测从该表面反射的光。对于三维测量,至少需要三个独立的检测器,在欲测量更少的维度的情况下,可以相应地使用更少的检测器。

[0010] 而且,在这样的设备和方法中,期望能够检测从表面反射的激光功率的尽可能大的部分。

## 发明内容

[0011] 因此,本发明的目的在于提供可以更有效地使用辐射强度用于位置确定或表面测量的设备和方法。

[0012] 根据本发明的一个方面,提供了一种用于确定对象在空间区域中的位置的设备,包括:至少一个光源,用于产生光束来照射反射器;检测器装置,用于检测从所述反射器反射的光束;以及评估装置,用于基于所检测的反射光确定所述对象的位置。此外,还提供用于将所述光束引导到所述空间区域中存在所述反射器的部分中的引导装置。

[0013] 通过提供所述引导装置,所述光束不需要照射完整的测量体积或者可以关于所述引导装置而存在的反射器的体积。因此,辐射装置的辐射强度可以被使用得更有效率。

[0014] 所述设备可以包括用于扩展所述光束的光学部件。

[0015] 所述至少一个光源可以包括一个或多个短脉冲激光器。对于三维位置确定,所述至少一个光源可以具体地产生三个光束,其中可以利用分束器分裂三个光源的光束。

[0016] 所述引导装置可以基于所述反射器或所述光源的位置信息对准所述光束,例如如果反射器、光源和/或对象定位在机械臂上,可以基于机器人的位置反馈。在其它实施例中,可以使用附加的检测器(例如象限检测器)和/或附加光源(例如安装到所述对象上的光源)来提供用于引导装置的信息,基于该信息将光束对准到所述对象的方向上。

[0017] 可以将反射器安装到要确定位置的对象上。在此情况中,对象的位置与反射器的位置一致,并且检测从对象(即从安装到对象上的反射器)反射的光束。在此情况中,所述至少一个光源可以是静态的,并且通过检测反射光,可以确定反射器与所述至少一个静态光源的距离。在所述至少一个光源包括例如三个光源的情况下,则可以通过三边测量法确定所述位置。

[0018] 在另一变型中,所述至少一个光源安装到所述对象上,或者分别从所述对象辐射至少一个光束,并且使用一个或多个静态反射器。而且,在此情况中,例如通过三个不同静态反射器的测量,可以经由三边测量法确定所述至少一个光源的位置,并因此确定安装了所述至少一个光源的对象的位置。

[0019] 根据另一方面,提供了一种测量表面的设备,包括:光源,用于辐射所述表面;检测器装置,用于检测从所述表面反射的光;以及评估装置,用于根据由至少一个检测器检测的光确定表面参数。根据本发明,所述设备还包括对准装置,用于将所述至少一个检测器对准在反射光的方向上。

[0020] 通过将检测器装置对准在反射光的方向上,可以提高检测器收集光的效率。

[0021] 所述检测器装置可以特别地包括聚光光学部件,用于会聚和聚焦所述反射光。通过所述对准装置,可以确保被聚光物镜聚焦的光入射在检测器装置上。

[0022] 为了控制对准装置,可以提供用于确定所述反射光的方向的其它检测器装置,其可以例如布置为平行于所述检测器装置。所述其它检测器装置可以例如包括象限二极管。

[0023] 在本发明的另一方面中,提供了对应的方法。

## 附图说明

[0024] 下面将参照附图使用实施例说明本发明。

[0025] 图 1 是根据一实施例的设备的示意图示。

[0026] 图 2 和图 3 示出用于图示本发明的实施例的特征的示意图。

[0027] 图 4 示意地示出根据一实施例的辐射布置。

[0028] 图 5 示意地示出另一实施例的辐射布置。

[0029] 图 6 是根据一实施例的设备的示意图示。

[0030] 图 7A 和图 7B 示意地示出根据另一实施例的辐射布置。

[0031] 图 8 示出用于图 7A 和图 7B 的辐射布置的评估布置的框图。

[0032] 图 9A 和 9B 示出根据另一实施例的辐射布置。

[0033] 图 10A-10C 示出根据另一实施例的辐射布置。

[0034] 图 11A-11C 示出根据另一实施例的辐射布置。

[0035] 图 12 是根据另一实施例的设备的示意图示。

[0036] 图 13 是可以例如与图 12 的实施例一起使用的测量设备的图示。

[0037] 图 14 示出根据另一实施例的辐射布置。

[0038] 图 15 示出根据本发明的实施例的用于表面测量的设备。

[0039] 图 16 示出用于图示本发明的某些实施例的原理的示意图。

[0040] 图 17 示出根据本发明的实施例的方向检测器。

## 具体实施方式

[0041] 下面更详细地说明本发明的实施例。不同实施例的特征可以彼此组合,除非在下面的描述中明确排除。即使以如工业布置中的位置确定或工业布置中的表面测量的具体应用描述具体实施例,但本发明并不限于此应用。

[0042] 图 1 是根据一实施例的用于确定对象的位置的设备 1 的示意图示。设备 1 在其中确定配备有回射器 25 的机械臂 2 的组件的位置的示例应用的背景中示出,但设备 1 也可以被用于其它实施例和其它应用中。

[0043] 设备 1 包括:光源 3,产生具有重复频率(repetition rate)的短光脉冲序列;由多个光学元件 4-9 实现的光导布置;具有第一参考信号检测器 11 和第二参考信号检测器 12 的一对参考信号检测器 11、12;具有多个光学检测器 13、14 的检测器布置;以及评估电路 15。光导布置接收光脉冲序列并将光脉冲序列引导到该对参考信号检测器 11、12,以及引导到统一标识为 28 的空间区域中,在该空间区域中确定安装到机械臂的回射器的位置。为了简单,下面也将由光导布置引导到参考信号检测器 11、12 以及引导到空间区域 28 中的光称为光脉冲序列,其中可以看出仅光源 2 产生的光脉冲强度的一部分被分别引导到参考

信号检测器 11、12 以及空间区域 28 中。在空间区域中由安装在机械臂 2 上的回射器 25 反射光脉冲序列。由检测器 13、14 捕获反射的光脉冲序列。评估电路 15 根据在参考信号输入端 16 处接收的来自参考信号检测器 11、12 的信号以及根据来自检测器 13、14 的信号确定在检测器 13、14 处捕获的光信号的信号分量的相位位置,所述相位位置与空间区域 28 中光脉冲的行进时间存在关系,并因此与回射器 25 距光导布置的不同元件的距离存在关系。如此可以确定回射器 25 的位置。如下面将更详细介绍的,评估电路 15 对相位位置的确定基于在检测器 13、14 处捕获的光信号的、具有作为重复频率的倍数的频率的信号分量。

[0044] 例如,检测器 13、14 和参考信号检测器 11、12 被实施为光电检测器并捕获入射光强度。

[0045] 虽然在图 1 中为了清楚仅示出了将光引导到空间区域 28 中的两个分束器 5、7,以及示出了两个相应分配的检测器 13、14,但可以将光从超过两个位置引导到欲确定对象的位置的空间区域中。在欲确定回射器 25 的三个空间坐标的情况中,可以将光脉冲序列从至少另一辐射位置引导到空间区域中,该至少另一辐射位置不布置在由分束器 5 和 7 的光束出射点确定的线上。

[0046] 下面更详细地说明设备 1 的各个组件的操作。光源 3 产生利用周期函数调制的、并具有基频  $f_0$  以及基频  $f_0$  的谐波的明显 (pronounced) 分量 (即具有  $f_0$  的倍数的频率的明显频率分量) 的光信号。例如,由短脉冲激光器产生这样的信号,该短脉冲激光器产生具有清晰的时间间隔  $T_0 = 1/f_0$  (即具有重复频率  $f_0$ ) 的光脉冲序列,其中每个脉冲的宽度相对于连续脉冲之间的时间间隔  $T_0$  较短。

[0047] 相对于相继的光脉冲之间的时间间隔  $T_0$ ,每个脉冲的宽度可以非常短,例如  $1 \cdot 10^{-5}$  的量级。在设备 3 中,可以根据位置确定的期望测量精度、关于对象的位置的初始不确定性、以及检测器 13、14 处检测的光信号的用于确定相位位置的信号分量,或者根据其它因素选择每个脉冲的重复频率  $f_0$  和宽度。在使用  $f_0$  的第  $n$  次谐波确定相位差的情况中,在相继的光脉冲之间的时间间隔  $T_0$  处选择每个光脉冲的宽度,使得从光源 3 输出的光信号的序列在频率  $n \cdot f_0$  处具有足够的频谱权重。作为脉冲形式,可以选择矩形脉冲序列也可以选择其它合适的脉冲形式,例如双曲正割或高斯函数的平方。

[0048] 可以由配置为产生短光脉冲的不同激光器产生光脉冲的合适序列。特别地,可以使用光学频率合成器。例如,可以使用电泵浦的二极管激光器作为光源 3,例如调 Q 激光器、增益开关 (gain switched) 激光器、主动或被动模式耦合激光器或混合模式耦合激光器、或具有垂直谐振腔的模式耦合表面发射激光器 (垂直腔表面发射激光器, VCSEL)。也可以使用光学泵浦的激光器,例如具有外部垂直谐振腔的被动模式耦合表面发射激光器 (垂直外腔表面发射激光器, VECSEL),或者可以使用基于光子晶体光纤的激光器 (光子晶体光纤激光器) 作为光源 3。光源 3 的脉冲宽度的示例在 100fs 至 100ps 的量级上。重复频率的示例在从 50MHz 至 50GHz 的范围中。平均激光功率的示例在从 1mW 至 10W 的范围中。脉冲抖动 (jitter) 值的示例在 10fs 至 1ps 的有效值之间 (均方值)。

[0049] 如图 1 所示,从光源 3 输出的光脉冲序列被光导布置引导到参考信号检测器 11、12 以及空间区域 28 中。设备 1 中的光导布置包括多个分束器 4、5 和 7、反射镜 6 和扩束器 8、9,扩束器 8 和 9 分别分配给分束器 5 和 7。分束器 4 接收来自光源 3 的光脉冲序列。光脉冲序列的部分光束 20 被分束器 4 引导至参考信号检测器 11、12 作为参考信号。如果必要,

用于分束的光学元件（尤其是分束器）可以布置在分束器 4 的下游，以确保部分光束 20 入射在参考信号检测器 11 以及参考信号检测器 12 上。光脉冲序列的另一部分光束由分束器 4 透射，并入射在分束器 5 上。分束器 5 经由扩束器 8 将光脉冲序列的部分光束 21 引导到空间区域 28，其中扩束器 8 将部分光束 21 扩展为光锥 22。另一部分光束被分束器 5 透射，并经由反射镜 6 引导到分束器 7 上。分束器 7 经由扩束器 9 将光脉冲序列的部分光束 26 引导到空间区域 28 中，其中扩束器 9 将部分光束 26 扩展为光锥 27。在所示的实施例中，将扩束器 8 的扩展以及扩束器 9 的扩展显示为使得光锥 22 和光锥 27 分别仅照射空间区域 28 中的一部分，以便能够进行位置确定。如后面将参照图 2-9 所说明的，提供追踪布置，例如，在图 1 的实施例中，所述追踪布置将光锥 22 和 27 引导在空间区域 28 中机械臂 22 的回射器 25 所处的部分中。

[0050] 反射镜 6 接收的光束中被分束器 7 透射的部分可以经由图 1 中未示出的另一分束器引导到空间区域 28 的方向上。空间区域 28 的、在上述追踪布置的某一位置中可以确定对象的位置的部分对应于发散光锥 22、27 的重叠区域。在光脉冲序列被引导到可以从超过三个位置确定对象位置的空间区域的方向上的情况中，可以确定对象位置的空间区域是从不在同一直线上的至少三个起点发射的至少三个不同光锥的所有重叠区域的组合。

[0051] 经由分束器 5 和扩束器 8 而被引导到空间区域 28 中的光脉冲序列入射在回射器 25 上，并被回射器 25 在扩束器 8 的方向上反射回。在扩束器 8 的方向上从回射器 25 反射回的光形成第一光信号，经由扩束器 8 和分束器 5 将第一光信号引导到检测器 13。经由分束器 7 和扩束器 9 而被引导到空间区域 28 中的光脉冲序列入射在回射器 25 上，并被回射器 25 在扩束器 9 的方向上反射回。被回射器 25 在扩束器 9 的方向上反射回的光形成第二光信号 24，经由扩束器 9 和分束器 7 将第二光信号 24 引导到检测器 14。当回射器 25 位于分束器、扩束器和检测器的其它组合的光锥中时，从回射器 25 反射其它光信号，所述其它光信号经由扩束器和分束器而被引导到各自的检测器。

[0052] 将光脉冲序列引导到空间区域 28 和检测器布置的检测器 13、14 中的光导布置被定位为使得在检测器 13 的方向上反射的光信号 23 在与在检测器 14 的方向上反射的光信号 24 不同的方向上反射。

[0053] 机械臂 2 处提供的回射器 25 例如可以被实施为三直角锥反射器 (CCR)、三棱镜或猫眼反射器或球透镜。在三直角锥反射器和三棱镜的情况中，光被平行于入射光方向反射。发散光束保持发散。在猫眼发射器以及球透镜的情况下，可以针对某一距离优化回射器，使得所反射的光束总体被反射回到其自身上，从而在检测器处出现更高的信号水平。

[0054] 也可以使用小散射元件代替回射器，该小散射元件的散射行为与其环境显著不同，以将光从相关物点散射到检测器。该小元件应该强烈散射光，使得在检测器处出现可以从散射环境中分辨出的可用信号。

[0055] 光信号 23 和 24 分别由检测器 13 和 14 捕获。检测器 13、14 和参考信号检测器 11、12 被实施为光接收器 (photo receiver)。检测器 13 和 14 捕获入射在它们上的光脉冲序列的光功率，其中光脉冲序列分别经由分束器 5 和 7 传播到回射器 25，并从回射器分别返回到检测器 13 和 14。光脉冲到达参考信号检测器 11、12 之一的光路（作为一方面）与经过回射器 25 的反射之后分别到达检测器 13 和 14 之一的光路（作为另一方面）的不同光路长度在同一光脉冲分别到达检测器 13 和 14 之一与到达参考信号检测器 11、12 之间分别

导致时延  $\tau_1$  和  $\tau_2$ , 其等于光脉冲的光路长度差除以光速  $c$ 。因为通常仅引导到空间区域 28 中的小部分光被回射器 25 反射, 所以相对于参考信号检测器 11、12 处的参考信号, 检测器 13、14 处的信号较弱。

[0056] 路径长度差一方面包括取决于设备的几何形状的距离, 尤其是取决于分束器 5、7 与分束器 4 之间的距离以及分束器 4、5、7 分别与检测器 13、14 和参考信号检测器 11、12 沿着光路的距离, 另一方面包括对于在检测器 13 处捕获的光信号而言取决于分束器 5 或光锥 22 的虚拟起点与回射器之间的光路长度并且对于检测器 14 处捕获的信号而言取决于分束器 7 或光锥 27 的虚拟起点与回射器 25 之间的光路长度的分量。因为, 在设备 1 的几何形状已知的情况下, 路径长度差中取决于设备的几何形状的部分是已知的, 所以通过测量检测器 30 处的光信号 23 与参考信号检测器 11、12 处的参考信号 20 之间的时延  $\tau_1$ , 可以确定光脉冲在分束器 5 与回射器 25 之间行进的光路长度, 并因此可以确定回射器 25 与分束器 5 的光束出射点或与光锥 22 的虚拟起点的距离。在类似的方式中, 通过测量检测器 14 处的光信号 24 与参考信号检测器 11、12 处的参考信号 20 之间的时延  $\tau_1$  和  $\tau_2$ , 可以确定光脉冲在分束器 7 与回射器 25 之间行进的光路距离, 并因此可以确定回射器 25 与分束器 7 的光束出射点或光锥 27 的虚拟起点之间的距离。

[0057] 检测器 13 和 14 以及参考信号检测器 11、12 与评估电路 15 连接, 评估电路 15 确定光信号 23、24 与参考信号 20 之间的相位差。设备 1 的评估电路 15 接着为频率基本是重复频率的倍数的信号分量确定光信号 23、24 与参考信号 20 之间的相位差。

[0058] 基于所确定的取决于上述时延的相位差, 可以确定回射器 25 的位置。

[0059] 应该注意, 图 1 中所示的设备仅作为示例, 并且以下所说明的追踪布置可以一般地用于在两个或三个维度上基于从对象反射的光束确定物体的位置的情形。

[0060] 现在参考图 2-9, 说明上述追踪布置的实施例和原理, 所述追踪布置用于将 (尤其是扩展的) 光束引导到感兴趣的空间区域的一部分中, 在该部分中存在要确定位置的回射器。在图 2-9 中, 相同的附图标记用于指代相同或类似的元件。图 2 和 3 示出了说明使用更少扩展光束的背景的示意图。

[0061] 在图 2 和 3 中, 回射器 33 被示意地表示为球体, 将在感兴趣的空间区域 31 内确定该球体的位置, 其中空间区域 31 被简化表示为立方体。

[0062] 在图 2 的示例中, 光源 30 产生光锥 32, 该光锥 32 被扩展为其基本照射完整的空间区域 31。图 2 中对应于光锥 32 的立体角被表示为  $\Omega_s$ 。

[0063] 相应地, 仅光锥 32 的相对较小的部分入射在回射器 33 上。图 2 中的光锥的该部分被赋予附图标记 34, 并且对应于立体角  $\Omega_R$ 。仅此被回射器 33 捕获和反射的部分可以用于检测。

[0064] 因为在图 2 的情况中  $\Omega_R/\Omega_s$  相对较小, 因此事实上仅使用了光源 30 的输出功率的一小部分。这可能导致不利的信噪比并且 / 或者需要高功率并因此需要相对昂贵的光源 30。

[0065] 对于这种情况, 可以近似地根据回射器 33 的截面积与空间区域 31 的截面积的比确定  $\Omega_R/\Omega_s$  的值。典型值是例如回射器 33 的截面积为  $1\text{cm}^2$ , 空间体积 31 (即测量体积) 的截面积为  $1\text{m}^2$  的值, 其导致  $1 \cdot 10^{-4}$  的比。

[0066] 相对比的, 在图 3 中, 使用仅照射空间区域 31 的一部分的光锥 35。光锥 35 的部分

36 继而照射回射器 33。在图 3 的情况中,容易看出  $\Omega_R/\Omega_S$  的比值大于图 2 的情况,或者换言之,在图 3 的情况中,光源 30 的光强度的更大部分被用于实际测量。然而,在此情况中,光锥 35 必须追踪回射器 33 的运动,使得可以在整个空间区域 31 中执行测量。为了追踪,可以使用例如反射镜或其它光学元件。其示例将参照图 4 和 5 说明。注意,即使在以上说明中以及在以下实施例中,使用锥形扩展的光束(即发散光束)作为示例,但本发明不限于这样的光束。在其它实施例中,可以使用不同地形成的光束,例如准直光束(即具有由对应的光学部件确定的光束直径的平行光束)、或者会聚(即聚焦的)光束。

[0067] 在图 4 的实施例中,使用可倾翻/可枢转的反射镜 40 来改变从光源 30 发射的光锥 35 的方向,例如改变为虚线所示的光锥 35'。在图 5 的实施例中,使用可以横向偏心的成像元件(在此示例中是透镜 42)代替用于调节光锥 35 的方向的反射镜 40。通过在垂直于光束方向的方向上平移透镜 42,如箭头所示,也可以改变光锥 35 的方向。注意,这样的系统不限于单个可平移成像元件,而是也可以提供多个可平移成像元件,如透镜。而且,可以进行这种成像元件的倾翻或其它运动,代替垂直于光束方向的平移。而且,也可以将能够横向偏心的成像元件与可倾翻/可枢转反射镜进行组合。

[0068] 在一个或多个光源的光锥仅覆盖空间区域中要进行位置确定的部分的这种系统中,必须接收有关要被照射的回射器或其它对象的位置的信息,以能够相应地引导光锥。在如图 1 中所示的实施例中,例如可以通过机械臂 2 的轴中的传感器进行该确定,通过所述传感器可以确定回射器 25 的位置。该位置确定通常没有最终通过光学测量而进行的位置确定准确,但其通常足以相应地对准光锥。可以根据机器人中的传感器的测量精度选择光锥的扩展。在不存在这样的传感器的情况中,也可以使用来自用于控制机器人的运动的控制程序的数据。

[0069] 最后,一旦已经通过光学测量确定了位置(例如通过利用光锥扫描空间体积),则可以使用光学测量的位置本身用于追踪。在光学测量指示回射器朝向对应的光锥的边界移动的情况中,相应地改变光锥的方向。而且,在此情况中,可以以合适的方式选择光锥的尺寸(即扩展),以确保轨道(tracking),即从光锥中心到光锥边界的一定距离,从而能够及时捕获光锥内的运动。

[0070] 另一可能性是在评估反射光的相位用于如上所述的位置确定之外还评估反射光的幅度,并执行追踪,分别使得该幅度最大化或者该幅度达到至少预定的最小值。图 6 中示出了对应设备的实施例。

[0071] 可以将图 6 的实施例实施为图 1 的实施例的附加,但也可以独立于图 1 的实施例实施图 6 的实施例。

[0072] 在图 6 的实施例中,光源 126(例如如上所述的短脉冲激光器)产生光束。通过分束器 133,将光束的一部分引导到参考检测器 124,参考检测器 124 的功能对应于图 1 的参考检测器 11、12 的功能。光锥的剩余部分被引导到反射镜 135,该反射镜 135 可利用反射镜驱动器 122 而运动,以将光束引导到回射器 121。虽然在图 6 中,实施例中仅示出了单个反射镜,但对于位置的三维确定,可以相应地存在三个反射镜以及相应地存在更多分束器,或者对于二维位置确定,存在两个反射镜和两个分束器,以便分别将三个或两个光束引导到回射器 121,如已经参照图 1 所说明的。在其它实施例中,可以提供用于产生附加光束的附加光源。

[0073] 作为示例,在图 6 中示出了反射镜的 135 的两个位置 a 和 b,对应于回射器的位置 121a 和 121b。注意,可以通过反射镜 135 上游或下游的光学部件(未示出)扩展光束,如已经说明的。

[0074] 经由反射镜 135 和分束器 134 将从回射器 121 反射的光引导到检测器 123。测量放大器和混频器 125 处理检测器 123 和 124 的信号,并将各个经处理的信号传递到测相器 127,其确定信号的相位差,如已经说明的,可以从相位差导出回射器 121 的位置。所示实施例中的测量放大器/混频器 125 的混频用于将检测器 123 输出的信号下转换(downconvert)为中频,其中检测器 123 输出的信号在使用短脉冲激光器时具有对应于短脉冲激光器频率的频率。

[0075] 此外,检测器 123 的被测量放大器和混频器 125 处理的信号由整流器 128 整流,并由低通滤波器 129 平滑化。如此产生的信号由模数转换器 130 变换为数字信号,数字信号的值表示检测器 123 检测的信号幅度。将该数字信号提供给评估单元 131,例如微处理器或计算机。评估单元 131 可以是还确定测相器 127 检测或评估的相位差的同一评估单元。

[0076] 根据检测器 123 处如此捕获的信号幅度,评估单元 131 接着经由数模转换器 132 控制反射镜驱动器 122。

[0077] 例如,首先,例如在设备启动时,在一个操作模式中,在反射镜 135 的完整角区域上移动反射镜 135(例如首先在一个轴上),检测测量信号并将其与反射镜 135 的对应位置(例如角位置)一起存储在表中。在此“搜索运行”之后,调节反射镜 135 的位置(即角度),使得其采用已经检测到幅度最大值的位置。在其它实施例中,回射器的初始位置是已知的,并省略“搜索运行”。

[0078] 在操作期间,接着在第二操作模式中,通过连续地或间隔地监视模数转换器 130 输出的信号,调节反射镜 135 的位置,使得测量信号(即检测器 123 处接收的信号幅度)最大化和/或达到预定的阈值。

[0079] 虽然在图 6 的实施例中评估了测量放大器/混频器 125 的信号,但在其它实施例中,也可以直接评估由检测器 123 输出的信号,并确定其幅度。

[0080] 在其它实施例中,使用附加检测器来捕获回射器的运动以及相应地调整光锥。现在将参照图 7-9 说明对应的示例。

[0081] 在图 7 和 8 中,示出了根据本发明的具有检测器布置的追踪布置的实施例。图 7A 示出了追踪布置的视图,图 7B 示出了所使用的回射器/检测器布置的部分视图,图 8 示出了对应的评估/控制布置的框图。在图 7A 的实施例中,光(例如短脉冲激光器的激光)由光源 51 产生,并经由反射镜 59 引导到回射器 53,如以上所述的。光源 51 可以包括光源本身(例如激光器)、以及用于所产生的光源的锥形扩展的光学部件或者其它光学元件,例如如图 1 所示。

[0082] 反射镜 59 可以由反射镜驱动器 57 移动,以改变光源 51 所产生的光锥的方向,尤其是将光锥引导到回射器 53 上。在回射器 53 处,附加提供检测器布置 54,其在所示实施例中分别具有象限二极管或象限检测器的形状。图 7B 中更详细地示出了该布置。在中间布置回射器 53,并在其周围布置象限检测器 54 的四个象限 54a-54d,例如,四个通常独立的光电二极管。

[0083] 通过象限检测器的四个象限 54a-54d,在回射器 53 离开光锥之前可以捕获光锥相

对于回射器 53 的运动,并可以相应地调节光锥。这样的相对运动例如可能由回射器 53 的运动导致,该回射器 53 可以被安装到机械臂上,如图 1 所示。

[0084] 例如,象限 54a 检测到光的衰减而象限 54c 接收到恒定光表示光锥相对于回射器 53 朝向象限 54c 移动,从而可以相应地调节光锥。

[0085] 图 8 中示意地示出了相应的控制布置。这里,控制布置 58(例如其可以被实施为可编程逻辑芯片或者固定硬件的形式)接收来自象限 54a-54d 的信号,并且通过组合这些信号(如上面使用示例所描述的)来确定光锥相对于回射器 53 的运动方向。基于所确定的运动方向,控制反射镜驱动器 57,以移动反射镜 59 用于调节光锥,从而确保回射器 53 总是被光锥覆盖。

[0086] 在图 7 和 8 的实施例中,也可以使用另一多检测器布置来代替象限二极管,其中既可以提供少于四个的单独检测器(象限)也可以提供多于四个的单独检测器。

[0087] 图 9 中示出了根据本发明的追踪布置的另一实施例。图 9A 示出了追踪布置的示意图,图 9B 示出了周围布置了发光二极管的回射器的详细图。

[0088] 与图 7 和图 8 的实施例中一样,在图 9A 的实施例中,提供光源 51、反射镜 59、反射镜驱动器 57 以及回射器 53。这些元件的功能对应于已经参照图 7 和图 8 所说明的功能。

[0089] 在图 9 的实施例中,在回射器 53 周围布置了光源,在所示示例中为四个发光二极管 56a-56d。数目“四”仅是示例,并且可以提供其它数目的发光二极管。此外,在其它实施例中,可以使用除发光二极管(例如激光二极管)以外的光源。

[0090] 此外,图 9 的实施例具有分束器 52,利用分束器 52,经由反射镜 59 和分束器 52 将从发光二极管 56a-56b 发射的光以及从回射器 53 反射的光引导到检测器布置 55。检测器布置 55 配置为检测由发光二极管 56a-56d 发射的光。在图 9 的实施例中,发光二极管 56a-56d 例如可以是连续发光的发光二极管。在这种情况下,检测器布置 55 例如可以包括数字照相机,其捕获对应于光源 51 发射的光锥的“视场区域”的图像,并通过图像处理确定发光二极管的位置以及相应地调节光锥(如果合适)。

[0091] 如此,与基于图 7 和 9 的实施例中的象限检测器的象限类似,可以在回射器 53 离开光锥之前基于所检测的发光二极管 56a-56d 的光辨识光锥相对于回射器 53 的运动。

[0092] 在另一实施例中,发光二极管 56a-56d 的光与光源 51 的光不同,例如具有不同的波长和/或不同的调制。此外,在一实施例中,从发光二极管 56a-56d 发射的光例如由于对每个发光二极管使用不同的调制和/或不同的光波长而不同。

[0093] 在这样的实施例中,可以彼此独立地检测这些发光二极管的光,例如基于上述的不同调制或不同波长。此外,检测器布置 55 可以用于检测从回射器 53 反射的光并因此用于如上所述确定位置。然而,为此,也可以提供分离的检测器布置。

[0094] 如果在此实施例中,例如在检测器布置 55 中,未检测到发光二极管 56a 的光或者仅检测到被衰减后的光,并且连续以全强度(full strength)检测到发光二极管 56c 的光,则表示光锥相对于回射器 53 朝着发光二极管 56c 远离发光二极管 56a 运动,从而对应于图 8 所述的控制的相应控制(未示出)可以控制反射镜驱动器 57 来移动反射镜 59,以相应地调节光锥。

[0095] 在图 7 至图 9 的实施例中,除反射器之外,还提供检测器(在图 7 和 8 的实施例的情况中)或标记(在图 9 的实施例的情况中),以辅助追踪。在其它实施例中,也可以在相

应光源边上提供对应的检测器。现在将参照图 10 和 11 说明对应的实施例。

[0096] 在图 10 中,示出了根据本发明的另一实施例的照射布置。图 10A 是照射布置的总览图,图 10B 示出了可用检测器的示例,图 10C 示出了光束入射在图 10B 的检测器上的不同位置中。

[0097] 如图 10A 中所示,在图 10 的实施例中,经由光导 150(例如玻璃纤维)馈送光束(例如激光束)。当离开光导 150 时,光束 151 扩展(可以提供相应的光学部件(未示出)用于扩展)并穿过检测器 152 的位于中心的孔。后面将更详细地说明检测器 152。

[0098] 接着,光束入射在可动反射镜 153 上,并被引导为从反射镜 153 反射到反射器 157(例如,回射器)的光束 156。如实线 156 所示,仅光束的一部分入射在反射器 157 上,或者换言之,光束 156 被扩展,使得其照射比反射器 157 的对应截面积更大的区域。

[0099] 在图 10A 中,从反射器 157 反射的光被大致表示为虚线。首先,光束从反射器 157 反射回到反射镜 153,作为光束 158,其中如虚线所示的,仅光束的一部分到达反射镜 153。从反射镜 153,最终将光引导到检测器 152。根据检测器 152 检测的信号,控制器 155 控制反射镜 153,以移动反射镜 153。检测器 152 和反射镜 153 可以布置在对应测量装置的测量头 154 中。注意,为了评估所反射的光以便确定位置,可以存在另一检测器,例如图 1 的检测器 13 或 14,或者图 6 的测相器 127。在其它实施例中,为了确定位置,可以附加地使用检测器 152 来进行检测。

[0100] 特别地,检测器 152 可以是象限检测器,例如象限二极管,如图 10B 中所示。图 10B 中所示的象限检测器 152 具有四个区段(segment)A、B、C 和 D,它们布置在光束 152 所通过的圆开孔的周围。在其它实施例中,可以使用其它位置敏感检测器(如位置敏感器件(PSD))来代替象限二极管,或者可以使用多于或少于四个扇区。

[0101] 在从反射镜 153 反射回的光束 159 居中地入射在检测器 152 上的情况下,这对应于图 10C 中 161 表示的情形。在此情况中,四个象限 A、B、C 和 D 被均匀照射,并输出具有相等强度的信号。在光束 159 通过反射器 157 或测量头 154 的运动而在检测器 152 上移动的情况下,可能产生如图 10C 中 160 所表示的情形。在此情况中,区段 B 输出最强的信号,区段 C 输出最弱的信号,区段 A 和 D 输出中等信号。在此情况中,控制器 155 可以控制反射镜 153,使得如果可能恢复图 10C 中 161 表示的情形。

[0102] 在图 10 的实施例中,将检测器 152 布置在光束 151 的光束路径中。在其它实施例中,可以提供分束器来将光束 159 或其部分耦合出该光束路径,并引导到对应的检测器。图 11 中示出了相应的实施例。

[0103] 这里,光导 170、反射镜 173、测量头 174、反射器 177 和控制器 175 对应于图 10A 中的对应元件,即对应于光导 150、反射镜 153、测量头 154、反射器 157 和控制器 155,这里将不再描述。以类似的方式,光束 171、反射光束 176、从反射器 177 反射回的光束 178、以及由反射镜 173 再次反射的光束 179 分别对应于图 10 的光束 151、156、158 和 159,因此也将不再详细描述。

[0104] 在图 11 的实施例中,没有如图 10A 中的检测器 152 位于光束路径中。作为替代,在图 11 的实施例中,如图 11A 所示,提供分束器 182,其将光束 179 耦合出光束路径,并将其引导到检测器 172,检测器 172 一般地具有与图 10A 的检测器 152 相同的功能。

[0105] 如图 11B 中所示,检测器 172 也可以与图 10B 的检测器 152 一样是象限检测器。而

且,这里中心区域可以是自由的,其中在图 11 的情况中,该中心区域的尺寸不需要分别适配于光束 151 或 171,而是可以基本自由地选择。而且,在此情况中,中心区域可以是不透明的。在其它实施例中,也可以省略或基本省略检测器 172 的中心区域。

[0106] 如已经参照图 10C 所说明的,通过检测器 172 可以确定光束与对检测器的居中入射的偏差。这里,如图 11C 中的示例所示的光束 180 和 181 对应于图 10C 的光束 160 和 161。特别地,如果入射在如图 11C 中 180 所标记的位置,则检测器 172 的区段 B 的信号强于区段 C 的信号,而区段 A 和 B 的信号在它们之间。在此情况中,控制器 175 可以控制反射镜 173,以恢复图 11C 的状态 181,在状态 181 中所有区段传递基本相等的信号。

[0107] 除了上述差别之外,参照图 10 所给出的改变和说明的所有可能性也适用于图 11。

[0108] 在至此所说明的实施例中,假设了反射器(例如图 1 的反射器 25)被安装到要确定其位置的可动对象上,并且所述反射器由多个光源照射,并测量各自的反射光,如参照图 1 所说明的。一般地,也可以是反向布置,即在可动对象处(例如在测量头中)提供用于发射一个或多个光束的装置,利用所述装置将光照射在静态反射器上。现在将参照图 12 说明对应的实施例。

[0109] 在图 12 中,示出了基本对应于图 1 的机械臂 2 的机械臂 190。机械臂 190 具有多个可以围绕其转动或枢转的轴。在机械臂 190 的最后一个部件 191 处,类似于参照图 1 所说明的,可以安装传感器或工具。最后一个部件 191 的位置将要被测量,即最后一个部件 191 是要测量其位置的对象。

[0110] 为了确定位置,将测量装置 192 安装在最后一个部件 191 上,其通过光学测量测量与静态回射器 193、194 和 195 的距离,如虚线所表示的。具体地,测量装置 192 可以设置至反射器 193、194 和 195 的光束,并接着测量反射回的光。通过确定至不位于同一直线上的三个回射器 193、194 和 195 的距离,则可以通过三边测量法确定三个空间方向上的位置。可以通过评估单元 196 进行所检测的光的评估和位置的确定。

[0111] 基本上可以如参照图 1 所述进行距离测量,并且将不再重复说明。

[0112] 测量装置 192 可以一个接着一个地(即顺序地)测量回射器 193、194 和 195。在此情况中,仍然可以提供如参照图 2-11 所布置的引导布置,以将光引导到各自的回射器的方向上,例如通过使用反射镜或另一光学元件。

[0113] 在其它实施例中,测量装置 192 包括例如三个分离的测量布置,其中每个测量布置测量回射器之一。也可以提供其它反射或散射元件来代替已经说明的回射器。

[0114] 图 13 中示意地示出了具有三个测量布置的测量装置。在图 13 的示例中,以三角形 200 布置了由光锥表示的三个测量布置 201、202、203。注意,为了获得此,所述测量布置 201、202 和 203 可以布置在三角板上,但也可以布置在另一合适的载体上。测量布置 201、202 和 203 的光锥可以是可枢转的,以照射各自的反射器,例如反射器 193、194 和 195 之一。再次,为了获得此,测量布置 201、202 和 203 中的每个可以配备光导布置,例如如参照图 2-11 所说明的。

[0115] 在一个实施例中,可以以不同的方式标记从测量布置 201、202 和 203 发射的光束,以能够区分反射光。例如,可以使用不同的调制,例如不同的脉冲率(pulse rate),或者可以与对应的滤波器一起使用不同的波长。

[0116] 图 14 中示出了具有光导装置的合适的测量布置的另一实施例。图 14 的测量布置

可以不仅用于图 12 的实施例中,而且还可以例如用于图 1 的实施例中。

[0117] 在图 14 的实施例中,光源 210(例如激光器)产生光束 211。经由光导 212(例如玻璃纤维)将光束 211 引导到反射镜 213。通过使用光导 212,光源 210 可以远离反射镜 213。例如,在图 12 的实施例中,反射镜 213 可以位于测量装置 192 中,而光源 210 可以甚至位于机械臂 190 之外。光源 210(尤其是如已经描述的)可以是短脉冲激光器。

[0118] 图 14 的实施例中的反射镜 213 仍然是可动反射镜,其可以经由布置 214 移动。例如,反射镜 213 可以是微机电系统,即 MEMS 反射镜。在这样的反射镜中,机械元件与致动器一起集成在例如硅基底上。

[0119] 在图 14 的实施例中,反射镜 213 例如可以在两个垂直的空间方向上可枢转。因此,反射光束 215 可以在限度内调节(在图 14 中所述限度由虚线 218 表示),例如为了照射期望的回射器或其它反射器。

[0120] 在 MEMS 反射镜中,反射光束 215 的调节区域典型地在围绕中心位置的  $\pm 10^\circ$  的范围内。

[0121] 为了加大该调节区域,可以提供广角光学部件 216,其在图 14 中被表示为简单的透镜,但其也可以包括多个透镜或其它光学元件。因此,可以加大穿过光学部件 216 的光束 217 的调节区域(如虚线 219 所示),以能够覆盖更大的角度区域。

[0122] 图 7-11 和 14 的实施例仅作为示例,并且也可以使用其它检测器布置,例如基于对应的数字照相机捕获的要执行位置确定的空间区域的图像的分析的检测器。

[0123] 在图 7-11 和 14 的实施例中,并且也在其它实施例中,光锥可以例如照射比相应使用的回射器的面积大 50% -100% 的面积。然而,也可以使用进一步扩展的光锥。

[0124] 如已经提及的,参照图 2-11 和 14 所说明的追踪布置可以例如用于图 1 或图 12 的实施例中,但它们也可以用于其它设备中,在这些设备中,通过用辐射(例如激光辐射)照射对象(例如配备回射器的对象)以及分析反射光来确定对象的二维或三维位置。

[0125] 通过光学手段,不仅可以确定对象在空间区域中的位置,还可以基于类似的原理测量三维表面。现在将参照图 15 说明这样的设备的实施例。

[0126] 图 15 是根据一实施例的用于测量表面 52 的设备 51 的示意图示。

[0127] 设备 51 包括:光源 53,其产生具有重复频率的短光脉冲序列;光导布置,其包括可调反射镜 55 和关联的调节布置或致动器 56;检测器布置 60,其具有多个光电检测器 61-64;以及评估电路 65。从光源 53 以光束将光脉冲序列辐射到反射镜 55 上。根据反射镜 55 的位置,将光脉冲序列作为光束 70 引导到表面 52 的表面区域 75 上。当入射在表面 52 上时,由光束 70(即光脉冲序列)的直径确定表面区域 75 的特征尺寸。当光束 70 聚焦在表面 52 上时,在理想情况中,表面区域 75 的直径可以基本上由衍射限制。

[0128] 光脉冲序列在表面区域 75 处散射。检测器布置 60 的光电检测器 61-64 接收光信号 71-74,光信号 71-74 分别包括被表面区域 75 散射的一部分光脉冲序列。光电检测器 61-64 检测所接收的作为时间的函数的光能量或光强度。评估电路 64 确定光电检测器 61-64 接收的光信号相对于所照射的光脉冲序列的相位位置。相位位置与光脉冲从表面区域 75 至光电检测器 61-64 的时延具有关系,因此与表面区域 75 至检测器的距离具有关系。如此,可以确定表面区域 75 的位置。评估电路 75 对相位位置的确定可以例如基于在光电检测器 61-64 处接收的光信号的、频率为重复频率的倍数的信号分量。

[0129] 设备 51 还包括两个参考信号检测器 58、59，分束器 54 以部分光束 69 将光信号序列引导到所述参考信号检测器 58、59 上作为参考信号。为了简单，这里使用如下的术语：在从分束器 54 透射到反射镜 55 的光束以及在由分束器 54 引导到参考信号检测器 58、59 的部分光束 69 的两者中，都照射光脉冲序列，其中很清楚，每个光脉冲的仅部分光强度被分别在部分光束 69 中引导到参考信号检测器 58、59，以及在部分光束 70 中引导到表面 52。参考信号 69 由参考信号检测器 58、59 两者捕获，并被提供给评估电路 65 和参考信号输入端 66。可能地，可以在部分光束 69 的路径中布置扩束器，以确保部分光束 69 被参考信号检测器 58、59 两者捕获。参考信号检测器 58、59 中的每个提供的参考信号被评估电路 56 用于确定被表面区域 75 散射的光脉冲序列的相位位置。

[0130] 设备 51 还包括计算单元 57，其与评估电路 65 连接，以基于所确定的相位位置确定表面区域 75 的位置。

[0131] 这里，表面区域 75 的位置的确定是指表面区域 75 的点的三个坐标的确定。因为表面区域 75 理想地具有由入射光束 70 的直径确定的小尺寸，所以为了简单，将称之为表面区域的位置，即使其本身也具有一定的小尺寸。

[0132] 为了在测量表面 52 时减小表面区域 75 的尺寸和增加表面区域的分辨率，在分束器 54 和反射镜 55 之间的光束路径中提供可调聚焦光学部件 67。计算单元 57 控制聚焦光学部件 67，使得光束 70 聚焦在表面 52 上，在理想情况中，聚焦到衍射极限。

[0133] 因为在设备 51 中，基于光电检测器 61-64 捕获的光信号 71-74 以及基于参考信号检测器 58 和 59 捕获的参考信号 69 确定表面区域 75 的位置用于确定表面区域 75 的位置，所以在设备 51 中不需要确切地知道反射镜 55 的角位置。此外，通过使用所使用的光电检测器 61-64 的数目大于要被确定的表面区域 75 的坐标数目的检测器布置 60，即使在不知道反射镜 55 的确切位置的情况下也可以稳健地执行位置确定。

[0134] 计算单元 57 与反射镜 55 的致动器 56 连接，以通过控制致动器 56 调节反射镜 55 的位置。通过调节反射镜 55，可以将光脉冲序列作为光束 28 引导到不同的表面区域 77，以确定表面区域 77 的位置。为了扫描表面 52，可以万向联接 (gimbal) 反射镜 55。由于位置确定的稳健性，在设备 51 中也可以使用其它更简单的偏转系统，例如可以绕着两个正交轴枢转或转动的一对反射镜。也可以使用其它光学元件代替偏转反射镜用于扫描表面，例如偏转棱镜等。

[0135] 因为顺序地确定各个表面区域的位置，其中以相同的方式执行每个表面区域的位置确定，所以下面仅更详细地描述一个表面区域的位置确定。为了测量表面，顺序地以所描述的方式确定多个表面区域的位置。

[0136] 设备 51 的光源 53 产生例如强度被周期函数调制的光信号，其中该调制具有基频  $f_0$  以及基频  $f_0$  的谐波的明显分量，即频率为  $f_0$  的倍数的明显频率分量。这样的信号例如由短脉冲激光器产生，该短脉冲激光器产生具有清晰的延迟  $T_0 = 1/f_0$  (即具有重复频率  $f_0$ ) 的光脉冲序列，其中每个脉冲的宽度相对于相继的脉冲之间的延迟  $T_0$  较短。

[0137] 相对于相继的光脉冲之间的延迟  $T_0$ ，每个光脉冲的宽度可以非常小，例如在例如  $10^{-5}$  的量级。可以根据位置确定的期望测量精度、关于表面区域的位置的初始不确定性、光电检测器 61-64 处检测的光信号的用于确定相位差的信号分量的频率、或者根据其它因素，选择光源 53 的各脉冲的重复频率  $f_0$  和宽度。在使用  $f_0$  的第  $n$  次谐波确定相位差的情

况中,选择相继的光脉冲之间的延迟  $T_0$  处的每个光脉冲的宽度,使得从光源 53 输出的光脉冲序列在频率  $n \cdot f_0$  处具有足够的频谱权重。脉冲可以是矩形脉冲的序列,但也可以选择其它合适的脉冲形式,例如双曲正割或高斯函数的平方。

[0138] 可以由配置为产生短光脉冲的各种激光器产生合适的光脉冲序列。特别地,可以使用光学频率合成器。例如,可以使用电泵浦的激光二极管作为光源 53,例如调 Q 激光器、增益开关激光器、主动或被动模式耦合激光器或混合模式耦合激光器、或具有垂直谐振腔的模式耦合表面发射激光器(垂直腔表面发射激光器,VCSEL)。也可以使用光学泵浦的激光器作为光源 53,例如具有外部垂直谐振腔的被动模式耦合表面发射激光器(垂直外腔表面发射激光器,VECSEL),或者可以使用基于光子晶体光纤的激光器(光子晶体光纤激光器)。光源 53 的脉冲宽度的示例在 100fs 至 100ps 的范围中。重复频率的示例在从 50MHz 至 50GHz 的范围中。平均功率的示例在从 1mW 至 10W 的范围中。脉冲抖动值的示例在 10fs 至 1ps 的有效值之间(均方值)。

[0139] 如图 15 所示,将从光源 53 发射的光脉冲序列的部分光束经由分束器 54 引导到参考信号检测器 58、59 作为参考信号 69。如果需要,在从分束器 54 至参考信号检测器 58、59 的光束路径中可以提供用于分束的光学元件(尤其是分束器),以确保部分光束 69 入射在参考信号检测器 58 和参考信号检测器 59 两者上。经由反射镜 55 将另一部分光束 70 引导到表面 52 的表面区域 75。这里,假设其上辐射了光脉冲序列的表面区域具有光散射特性。表面区域 75 将光脉冲序列散射到多个空间方向上。散射的光也包括散射到光电检测器 61-64 的方向上作为光信号 71-74 的光脉冲序列。检测器布置 10 中的光电检测器 61-64 被布置为使得没有光电检测器位于穿过要确定其位置的表面区域 75、77 并穿过光电检测器中的另一个的直线上。在所示的布置中(其中四个光电检测器 61-64 基本布置在一个平面上,使得绝没有超过两个光电检测器 61-64 位于任意选择的直线上),这可以容易地实现,例如通过相对表面点与检测器布置 60 之间的所有连接矢量以不同于  $0^\circ$  的角度将检测器布置 60 布置为远离表面 52。在此情况中,基于在不同光电检测器 61-64 处捕获的信号的位置,表面区域 75 的位置可以被确定为足够多数量的互相独立的相位位置。

[0140] 由光电检测器 61-64 捕获光信号 71-74。由于以清晰的重复频率产生了光脉冲,所以可以通过评估电路 65 在信号处理期间通过合适的滤波确定基于光脉冲序列在表面区域 75 处散射的信号部分,从而下面不进一步讨论不由在表面区域 75 中散射到光电检测器 61-64 的方向上的光产生的分量。光电检测器 61-64 和参考信号检测器 58、59(其也被实施为光电检测器)都捕获作为时间的函数的光能量。光脉冲到达参考信号检测器 58、59 的光路(作为一方面)与在表面区域 75 处散射之后到达光电检测器 61-64 的光路(作为另一方面)的不同光路长度在同一光脉冲到达检测器 61-64 之一与到达参考信号检测器 58、59 之间分别导致时延  $\tau_1$ 、 $\tau_2$ 、 $\tau_3$ 、和  $\tau_4$ ,其等于光束路径的光路长度差除以光速  $c$ 。因为典型地仅照射表面 52 的光 70 的一小部分被表面区域 75 散射到光电检测器 61-64 之一的方向上,所以相比于参考信号检测器 58、59 处的参考信号,光电检测器 61-64 处的信号被衰减。

[0141] 通过从分束器 54 至反射镜 55 至表面区域 75 以及进一步至各自的光电检测器 61-64 的光路长度与从分束器 54 至参考信号检测器 58、59 的光路长度之间的差给出针对每个光电检测器 61-64 的路径长度差。首先提及的从分束器 54 经由反射镜 55 至表面区域

75 并进一步至各自的光电检测器 61-64 的路径取决于要被确定的表面区域 75 的位置,而从分束器 54 至参考信号检测器 58、59 的距离由设备几何形状确定,并可以假设为已知。通过分别测量光探测器 61-64 处捕获的光信号 71-74 与参考信号检测器 58、59 捕获的参考信号 69 之间的时延  $\tau_1$ 、 $\tau_2$ 、 $\tau_3$  和  $\tau_4$ , 可以确定分束器 54 与每个光电检测器 61-64 之间的光脉冲覆盖的光路长度。

[0142] 光电检测器 61-64 以及参考信号检测器 58、59 与评估电路 65 连接,评估电路 65 确定光信号 71-74 与参考信号 69 之间的相位差。

[0143] 评估电路 65 接着基于相位差确定表面的各个测量部分的位置。

[0144] 为了在检测器 61-64 前尽可能多地聚集表面散射的光,可以安装聚光透镜或其它聚光光学部件。为了防止通过此聚焦(例如光的倾斜入射)焦斑离开扇区区域,并因此不再能够进行检测,在图 15 的实施例中,检测器布置 60 可以由检测器驱动器 90 倾翻。在另一实施例中,对于每一单个检测器 61-64,提供检测器驱动器,使得可以独立地倾翻检测器。检测器驱动器 90 可以例如包括所谓的音圈马达或音圈致动器。这样的致动器也称为活动线圈(plunger coil)并具有较小的安装空间。然而,也可以使用其它致动器或马达作为检测器驱动器。

[0145] 在通过倾翻导致单个检测器的显著位置改变的情况中,例如,当倾翻完整的检测器布置时,可以通过评估电路 65 附加地考虑该倾翻。

[0146] 为了确定图 15 的实施例中的入射光束的方向,提供另一检测器 91,其确定入射光的方向,并且基于该检测器 9,可以相应地控制检测器驱动器 90 或个体的检测器的个体的检测器驱动器。

[0147] 下面将参照具体实施例说明检测器倾翻器 90 以及所述另一检测器 91 的功能。注意,图 15 的实施例仅表示可以实施这种检测器倾翻器的一种可能。一般地,用于倾翻检测器(即用于在入射光束的方向上对准检测器)的这种检测器驱动器可以被用于表面测量的设备中,在所述表面测量中将光束引导到表面并测量反射光。

[0148] 图 16 示出了用于进一步图示根据从表面反射的光束的入射方向追踪检测器(如上面针对图 15 的实施例简要说明的)的示意图。在图 16 的简化图示中,光源 10 以聚焦的方式照射表面 100,其中以对应于光锥 102 的立体角  $\Omega_s$  反射光。在没有其它措施的情况下,仅对应于部分光锥 103 的立体角  $\Omega_p$  中的光入射在检测器 104 上。检测器 104 例如可以是图 15 的实施例的检测器 61-64 之一。

[0149] 为了提高光效率,如已经说明的,可以在检测器 104 前布置聚光透镜(未示出),其将光锥 102 中比部分光锥 103 更多的部分聚焦到检测器 104 上。如此,可以提高检测的信噪比。

[0150] 一般地可以使用聚光光学部件代替聚光透镜,图 16 中的聚光透镜 105 仅作为示例。

[0151] 聚光透镜 105 减小检测器 104 上对应于聚光透镜 105 的数值孔径的光斑 107 的直径。此外,这样的聚光透镜或其它聚光光学部件导致检测器 104 上的光斑 107 的位置随着透镜 105 上的光的入射角的改变而改变。光斑的平移  $\Delta s$  在傍轴近似中等于

[0152]  $\Delta s = f \cdot \tan \alpha$  (1)

[0153] 其中  $f$  是聚光透镜 105 的焦距, $\alpha$  是入射角; $\tan$  表示正切函数。根据检测器的实

现,检测器 104 的面积可以相对较小,例如当使用光纤耦合的检测器时,即所接收的光被耦合在玻璃纤维中,并这样被传输到检测器本身。在这种情况下,如描述图 15 时已经简单提及的,例如利用光束扫描样品表面 100 时可能出现的倾斜的入射角或入射角的改变可以导致光斑 107 移出检测器 104 的边缘,这将中断测量。

[0154] 如已经参照图 15 所说明的,以本发明的实施例中的示例方式,确定入射光的方向,并相应地调节所使用的检测器或所使用的检测器布置,例如根据入射角进行倾翻,以确保由如图 5 的聚光透镜 105 的聚光光学部件所成束的光入射在对应的检测器上。图 17 中示意地示出了例如可以用作图 15 中的所述另一探测器 91 的用于确定入射方向的检测器。

[0155] 图 17 的检测器布置包括聚光透镜 111 和检测器 112,检测器 112 在所示的示例中被实施为象限二极管或四区段光二极管。

[0156] 注意,在图 4 的实施例中使用象限检测器(即具有四个区段的检测器)被理解仅为作为示例,而且可以使用其它数目的区段,即不同数目的独立光电检测器,例如超过四个光二极管,以获得更高的空间分辨率。也可以使用其它位置敏感检测器,例如具有多个图像元件(所谓的像素)的 CMOS 或 CCD 检测器。

[0157] 在图 17 中,作为示例,以实线示出了光束 110,以虚线示出了光束 110',其中光束 110 和 110' 从不同的方向入射在透镜 111 上。如可以从图 7 中看出的,这还导致相应的聚焦光斑在象限检测器 112 上的不同位置,在此例中光斑在不同的象限中。分别由检测器 112 的每个象限或每个区段的信号的差,依据上述等式 (1) 可以为图 17 的检测器布置确定入射光的角度。考虑可称为次检测器通道的该检测器布置与实际用于表面测量的检测器(分别是图 16 的检测器 104 和图 15 的检测器 61-64) 的距离,可以确定对于还可称为主通道的该检测器的光入射角,并可以相应地调节主通道的检测器。

[0158] 如可以从以上说明的变化和修改看出,本发明不限于所示的实施例。

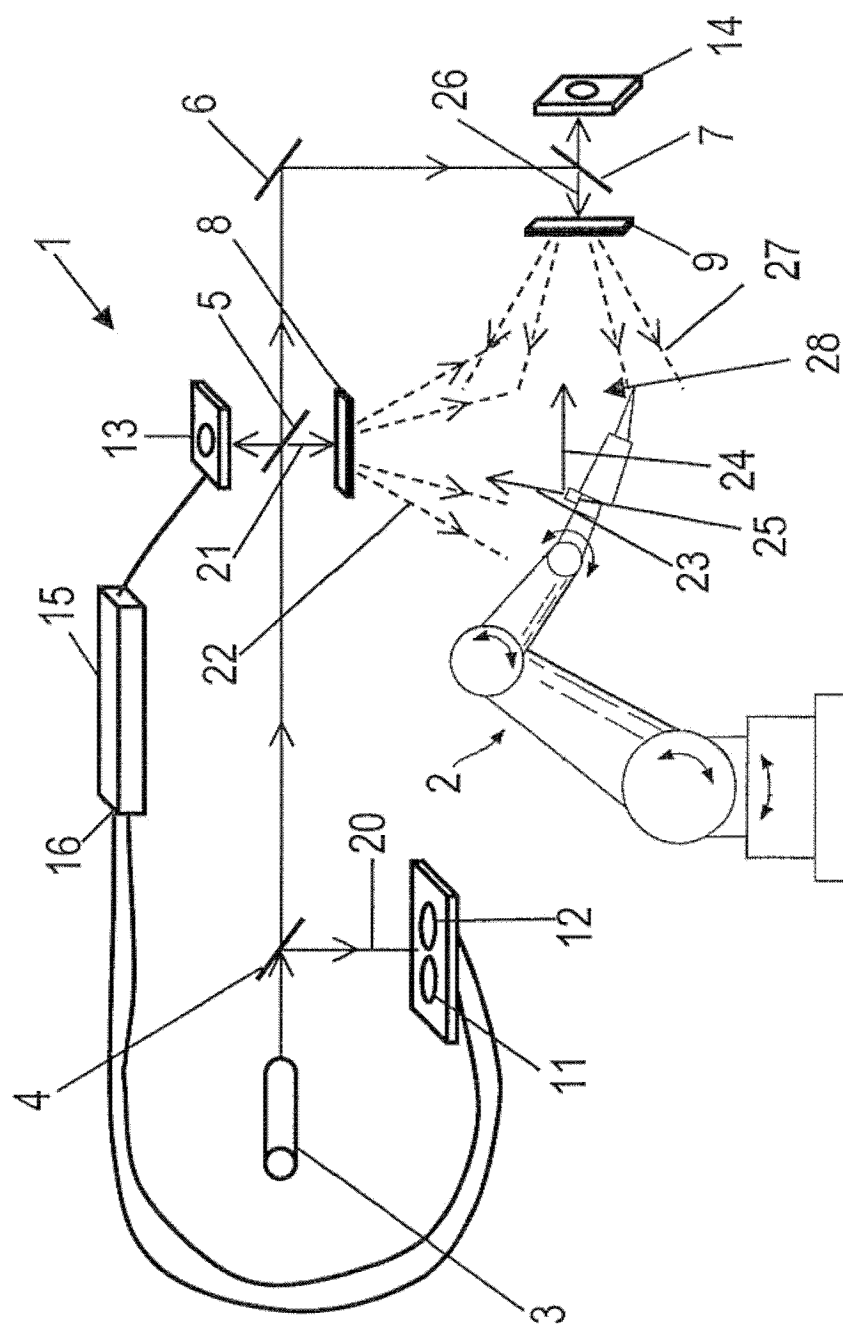


图 1

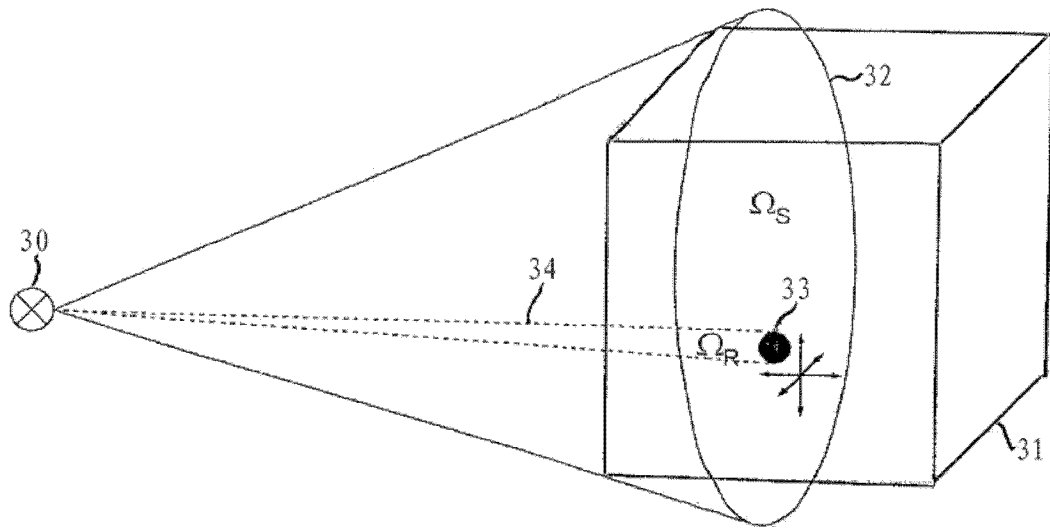


图 2

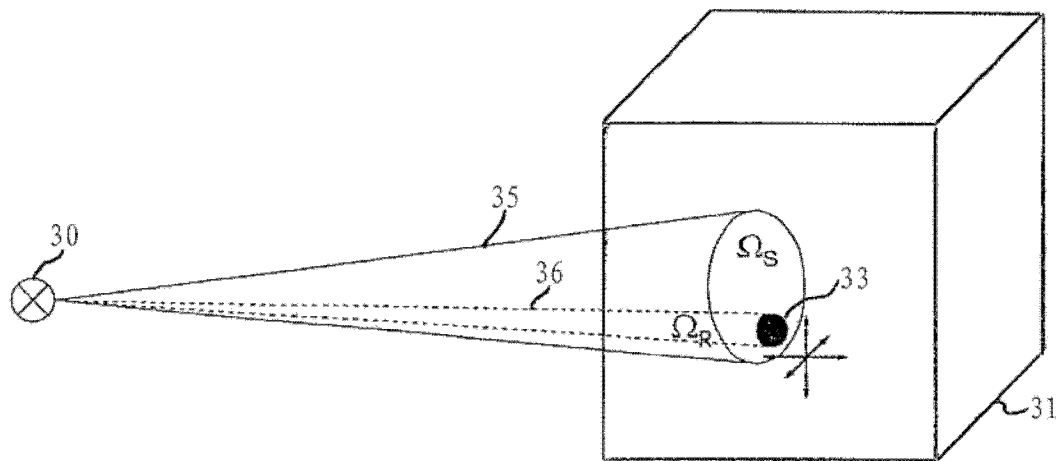


图 3

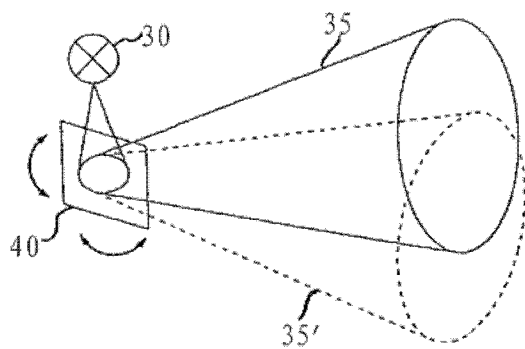


图 4

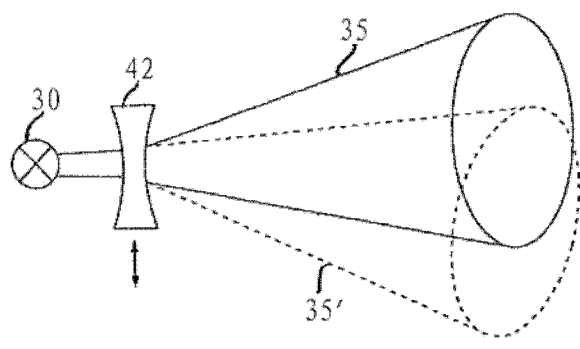


图 5

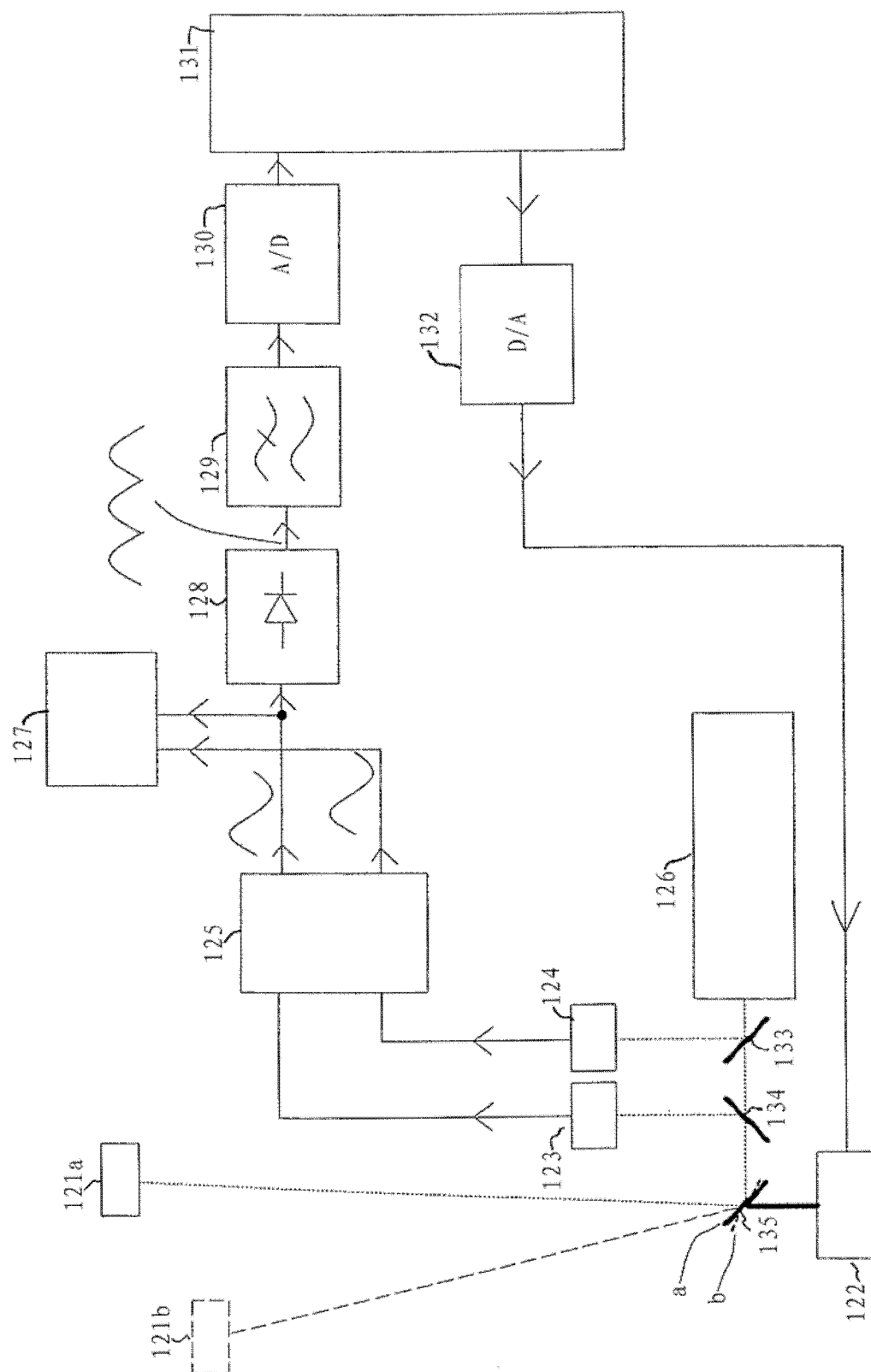


图 6

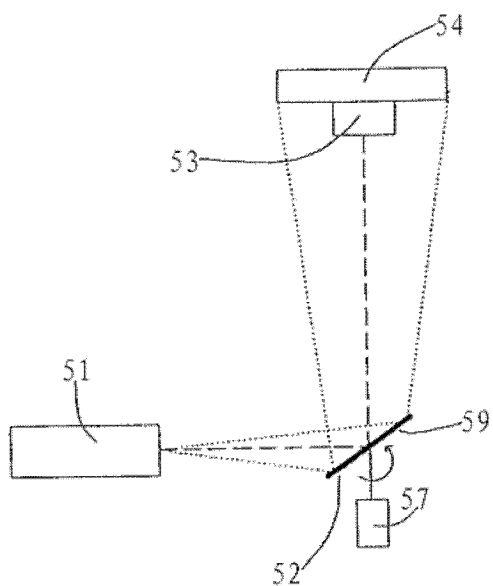


图 7A

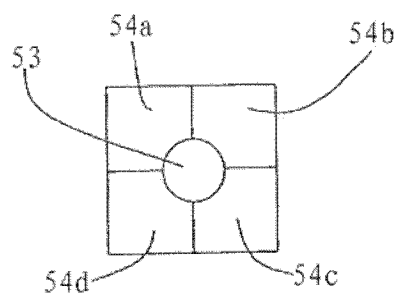


图 7B

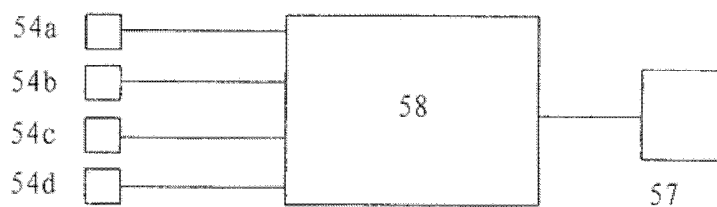


图 8

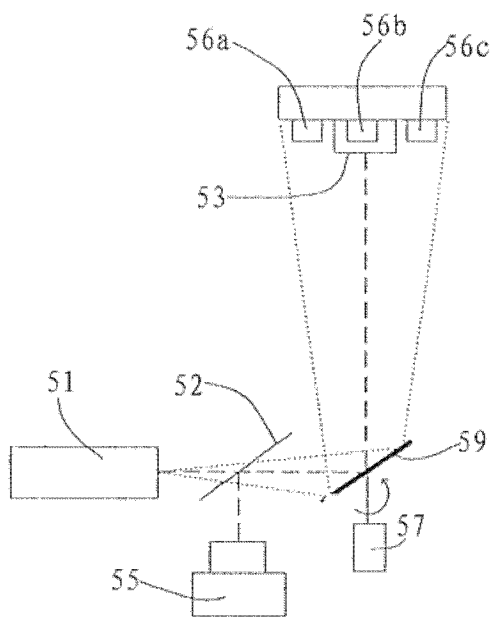


图 9A

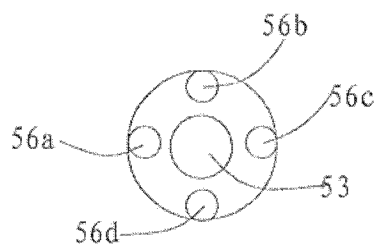


图 9B

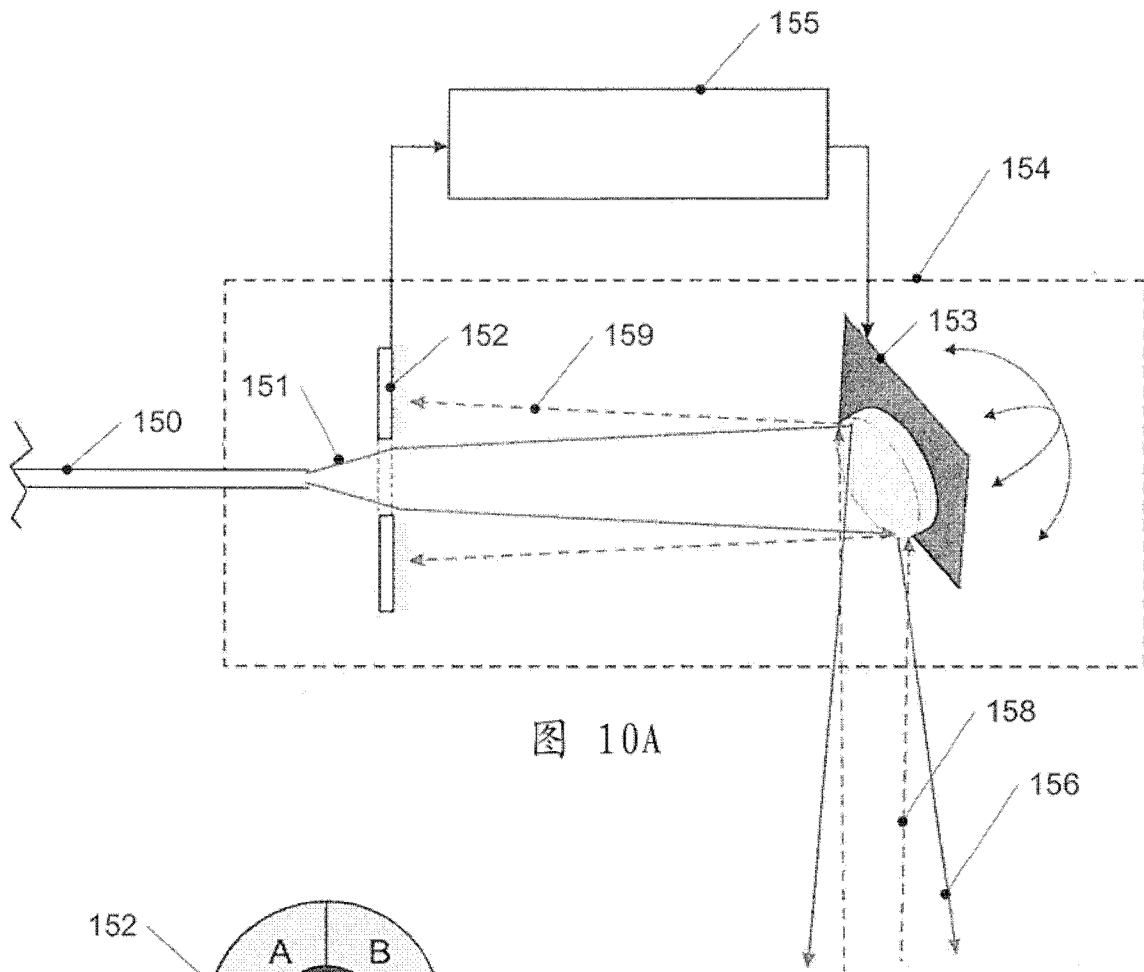


图 10A

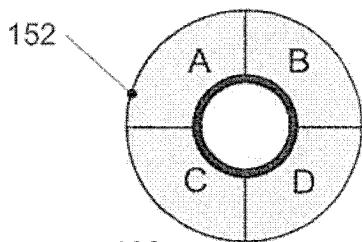


图 10B

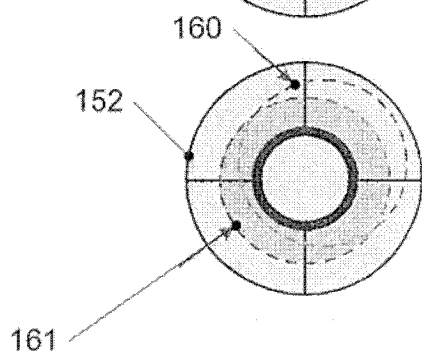
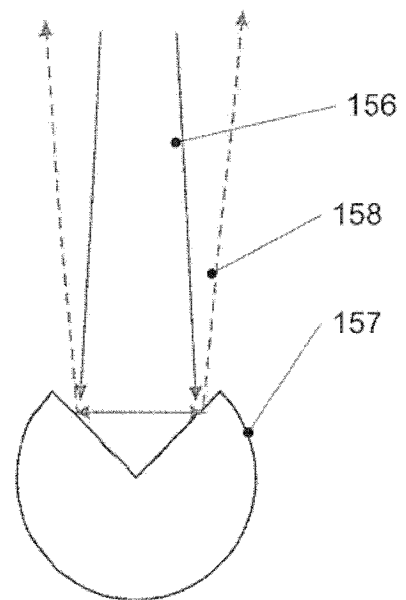


图 10C



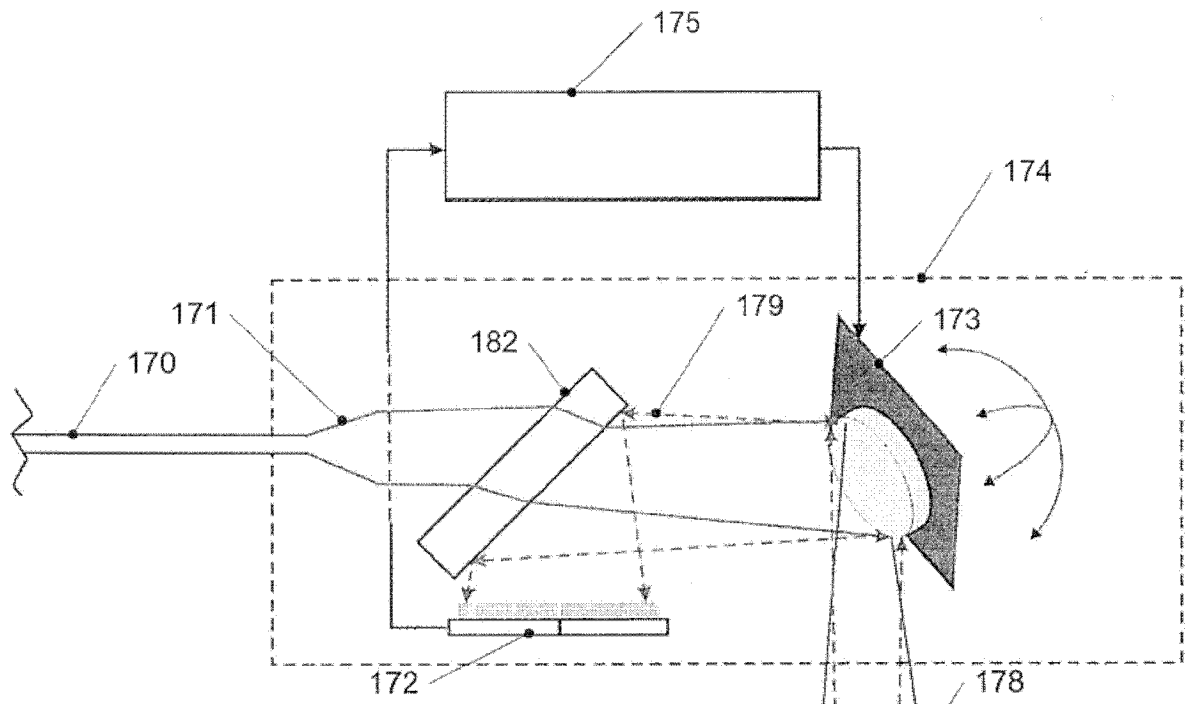


图 11A

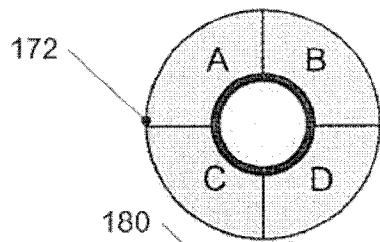


图 11B

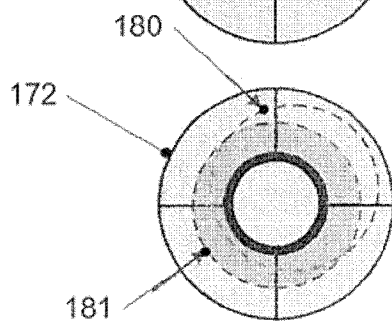
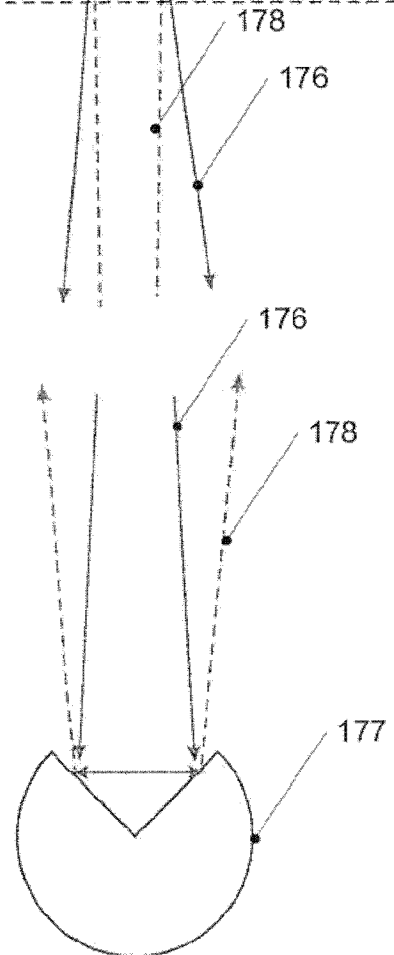


图 11C



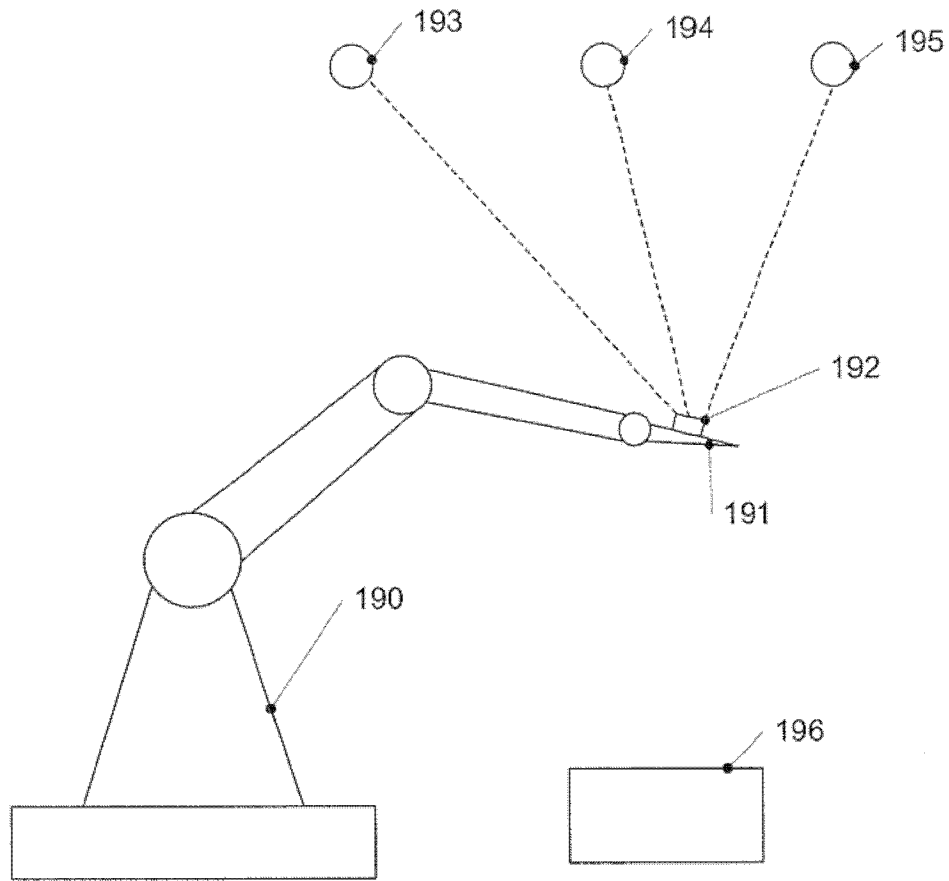


图 12

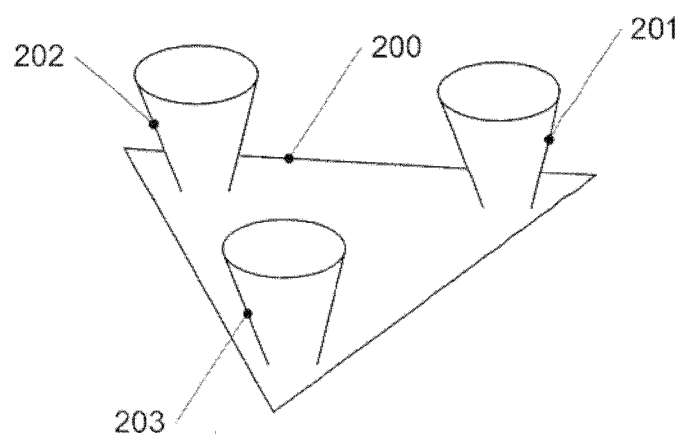


图 13

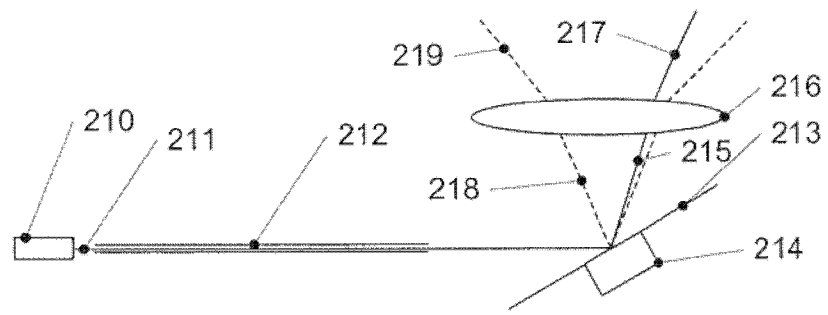


图 14

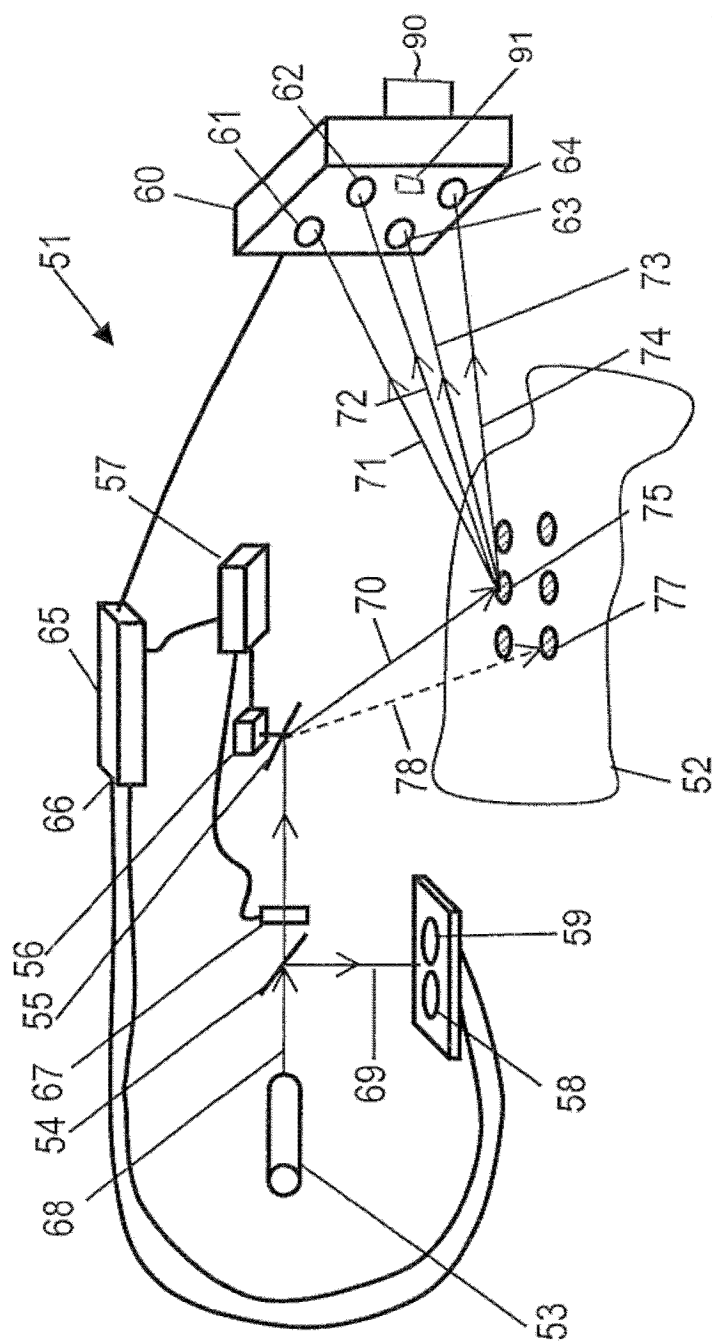


图 15

