



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101548151 B

(45) 授权公告日 2013. 08. 07

(21) 申请号 200880001006. 3

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2008. 05. 21

G01B 7/02 (2006. 01)

G01B 11/02 (2006. 01)

(30) 优先权数据

102007023794. 6 2007. 05. 21 DE

102008023665. 9 2008. 05. 15 DE

(56) 对比文件

CN 1047385 A, 1990. 11. 28, 全文.

WO 96/41123 A1, 1996. 12. 19, 全文.

US 6917421 B1, 2005. 07. 12, 全文.

US 4919519, 1990. 04. 24, 全文.

(85) PCT申请进入国家阶段日

2009. 04. 27

WO 2006/122519 A1, 2006. 11. 23, 全文.

WO 2005/121700 A1, 2005. 12. 22, 全文.

(86) PCT申请的申请数据

PCT/DE2008/000912 2008. 05. 21

(87) PCT申请的公布数据

W02008/141640 DE 2008. 11. 27

审查员 李鹏飞

(73) 专利权人 微-埃普西龙测量技术有限两合公司

地址 德国奥滕伯格

(72) 发明人 R·霍宁克卡 A·芬克

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公
司 31100

代理人 茅翊恣

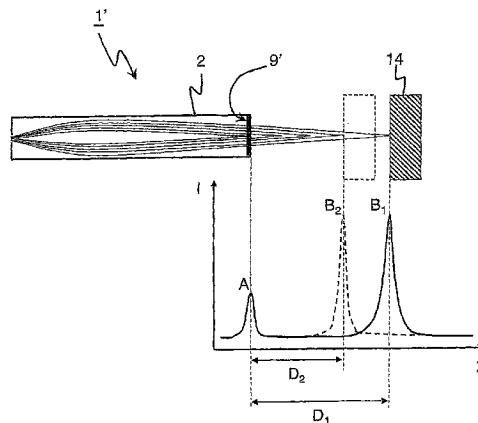
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

因彩色共焦测距传感器中的温度引起的测量误差的补偿方法

(57) 摘要

本发明设计了一种包括至少一个透镜 (2) 的光学装置中与温度相关的测量误差的补偿方法, 由于与温度相关的测量误差的这种补偿没有明显增加生产费用, 故该方法较经济可靠, 其中, 多色光线 (5) 穿过光学装置 (1, 1'), 再聚焦在由于透镜 (2) 的色差而距透镜 (2) 的不同距离的点上, 以致于光线 (5) 的至少一部分光谱至少部分地在光学装置 (1, 1') 内反射, 再射向检测装置 (12), 借助于检测装置确定光谱, 由检测装置 (12) 所记录的光谱测定装置 (1, 1') 的温度, 再补偿与温度相关的测量误差。



1. 一种由光学装置的温度变化引起的测量误差的补偿方法,所述光学装置具有至少一个透镜(2),其特征在于,多色光线(5)穿过光学装置(1、1'),再聚焦在由于透镜(2)的色差而距透镜(2)不同距离的点上,以致于部分光线(5)的光谱至少部分地在光学装置(1、1')内反射,再射向检测装置(12),借助于检测装置确定光谱,再基于由检测装置(12)测得的光谱,测定光学装置(1、1')的温度,以及

通过以这种方式测定的温度,补偿由温度变化引起的测量误差,其中,使用查找表或函数关系将所述检测装置(12)测得的光谱分配给光学装置(1、1')的温度。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,将修正项加入到通过光学装置(1、1')测定的参数中,以便补偿测量误差。

3. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,进行校正测量,以便确定查找表、函数关系和/或修正项。

4. 根据权利要求1或2所述的方法,其特征在于,除了由温度变化引起的测量误差之外,补偿由部分光学装置的老化作用或其它的漂移作用引起的误差。

5. 一种实施权利要求1至4中任一项所述的方法的光学装置,其中光学装置(1、1')具有至少一个透镜(2),其特征在于,透镜(2)使进入光学装置(1、1')的多色光线(5)聚焦在位于由于色差而距透镜(2)有多个不同距离的点上,

以致于把光学器件配置在光学装置(1、1')内,从而使多色光线(5)的部分光谱至少部分地在光学器件的边界面(9、9')上反射,其中光学器件的边界面(9、9')定位在多色光线(5)以光谱分开的区域内,于是使部分反射的光谱射向检测装置(12),以便测定光谱,

这样,评价单元(13)与检测装置(12)连接,以基于由检测装置(12)测得的光谱测定光学装置(1、1')的温度,再补偿由温度变化引起的测量误差。

6. 根据权利要求5所述的装置,其特征在于,所述光学装置(1、1')是彩色共焦的测距传感器。

7. 根据权利要求5或6所述的装置,其特征在于,透镜(2)包括梯度折射率的透镜。

8. 根据权利要求5或6所述的装置,其特征在于,多色光线(5)是白光线。

9. 根据权利要求5或6所述的装置,其特征在于,光学器件由配置在透镜(2)下游的辅助透镜(7)构成或由透镜(2)本身构成。

10. 根据权利要求5或6所述的装置,其特征在于,为了增加反射,给光学器件的边界面(9、9')涂层。

11. 根据权利要求5或6所述的装置,其特征在于,限定光学装置(1、1')的测量范围,以致于测量范围的一部分在光学装置(1、1')内。

因彩色共焦测距传感器中的温度引起的测量误差的补偿方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种由具有至少一个透镜的光学装置的温度而引起的测量误差的补偿方法及相应的光学装置。

背景技术

[0002] 在工业中的许多领域,如半导体和汽车工业,广泛采用了光学装置。例如,它们用来非接触地测定位置和进行测量,且必须在 -30°C 至 $+70^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内,才能保证以可靠和精确的方式工作。然而,由于对特定材料的温度系数的增大,这种温度的变化导致光学和机械组件的尺寸改变。这大大地降低了测量的精确度。例如,长度为10mm的铝支架在温度从 -20°C 升高到 $+40^{\circ}\text{C}$ 后会膨胀 $14\mu\text{m}$ 。为了补偿这种温度的影响,已提出使用多种固定结构。

[0003] US4919519公开了一种具有透镜装置的系统,所述的透镜在它的位置上根据温度的变化移动。为此,腔室内盛装了液体,在温度升高的情况下,液体使得透镜装置沿纵向的光轴移动。结果是,光学装置以聚焦的方式受影响,视温度而定。

[0004] DE102006046416A1所描述的另一种装置也是利用了液体的膨胀。其根据温度变化通过活塞-气缸单元相对于壳体以驱动光学元件。在操作中,限定了温度系数的液体装入活塞-气缸单元中。通过适当的调节装置中的单个元件,热影响会在很大程度上得到补偿。

[0005] DE102611973A1描述了另外一种方法,其把透镜的管式支架插入中间的支架。根据使用的尺寸和材料的温度系数来选择支架和中间支架,以致于即使温度改变,支架和中间支架的膨胀也能相互补偿,而透镜的位置则保持不变。

[0006] 在公开文本JP58007109A和W02007/023052A1所揭示的固定结构中,具有限定了温度膨胀系数的校正材料设置在探测器元件与包围装置的壳体之间,其接下来在温度发生改变的情况下调整探测器的位置。结果是,经合适的尺寸量度,光学系统与探测器之间的距离保持不变。

[0007] 在现有技术中公知的固定结构中,问题在于光学装置和它们的组件在很大程度上必须相互相对地调整。即使仅仅单个部件更换,或者如果因生产误差而温度系数发生变动,也仅仅是出现对由温度变化引起的误差的补偿不足。结果是,这种固定结构最终并不与高成本相关,而表现出对误差的相应的敏感性。此外,采用固定结构的这种结构,人们必须经常借助于使用特殊且昂贵的材料,以便以合适的方式相互地调整单个部件。而且,补偿温度变化的其它部件会导致固定结构的增大。除此之外,这种固定结构不能或仅仅是非常有限地用于具有梯度折射率的透镜的光学装置中。除了几何尺寸的变化,梯度折射率的透镜的透镜折射率也呈非线性的变化。

发明内容

[0008] 因此,本发明的任务是实现并进一步设计一种开始提到的那类方法和光学装置,

且进一步地进行配置,以致于可以达到在无需大大地增加结构所需要的资源的情况下,也能对由温度变化引起的测量误差提供可靠的补偿。

[0009] 根据本发明,上述任务是通过本发明的第一技术方案的特征解决的。根据第一技术方案,进一步研究所述的方法,以致于使多色光线穿过光学装置,再聚焦在由于透镜的色差而距透镜不同距离的点上,以致于部分光线的光谱至少部分地在光学装置内反射,再射向检测装置,借助于检测装置测定光谱,然后基于由检测装置测得的光谱,测定装置的温度,并通过以这种方式测定的温度,补偿由温度变化引起的测量误差。

[0010] 而对于本发明的光学装置这个任务,其是通过第五技术方案的特征得到解决的。根据第五技术方案,所述的光学装置的特征在于,透镜使多色光线聚焦在位于由于色差而距透镜的各个不同距离的点上,以致于部分的多色光线的光谱至少部分地在光学器件的边界上反射。反射的部分光谱能射向检测装置以便测定光谱,这样,评价单元与检测装置连接,以基于由检测装置测得的光谱测定装置的温度,再补偿由温度变化引起的测量误差。

[0011] 首先应该从发明的角度认识到,人们可在很大程度上不做结构测量,也不做配位几何构型以及温度膨胀系数。利用本发明能避免这些,以致于取决于温度的参数在光学装置内被确定,这同样适用于对由温度变化引起的测量误差的补偿。

[0012] 为此,多色光线射入光学装置,再聚焦在由于光学装置的至少一个透镜的色差而距透镜的不同距离的点上。色差描述了投影光学系统的特性,根据这个特性,视波长而定,多色光线通过透镜以程度可变地进行折射。结果是,沿着透镜的光轴产生了一系列位于透镜前面的焦点。这种分成多个焦点的方式也适用于测量距离。W02006/122519A1 公开了一种合适它的固定结构。采用这个结构,通过透镜的色差把光谱分开的多色光线射向测量的目标物,并由目标物反射。反射的光线通过光学导体和光圈到达光谱仪,其用于测定光谱。通过特别设计的固定结构,反射的多色光线的光谱分量基本上到达了光谱仪,且已经尽可能准确地测量目标物的表面上聚焦。结果是,能够测量出到测量目标物的距离。

[0013] 根据本发明,这种效果可不仅仅用于测量距离。而是色差也可用于确定参数,所述的参数表示由于温度变化而引起的光学装置的测量误差的测量值。为此,在光学装置内使用了反射,其无论如何都会习惯性地沿着光学器件的边界面产生。以这种方式,多色光线的部分光谱能在光学装置内反射,并射向检测装置。在检测装置中,测量反射光的光谱,所述的光谱视装置的温度而变化。因此,基于检测装置测到的光谱,以反序可测量装置的温度。利用这个信息,可顺序地补偿由温度变化引起的测量误差。

[0014] 通过装置的特殊设计,不需要单独的温度传感器,因为仅仅在传感器内进行测量,即光学装置内进行测量。为此,在过程中不影响光学装置的实际操作中,反而是利用了不想要的光学装置的寄生效应。

[0015] 对于由检测装置测量的光谱分配给装置的温度,可采用多种方法。查找表作为可能相对有效的资源。为此,把光谱分量与各自对应的装置的温度之间的分配值储存在查找表中。利用装置的各自温度分配值,可以从由检测装置确定的光谱中抽出光谱分量,其通常仅仅由光谱线或窄的光谱区组成。接下来,相应的温度可从查找表中读出。

[0016] 或者,可以在光谱与装置的温度之间建立函数关系。这种分配只需要更少的存储空间,且通常更准确,因为不存在对基本值的数量限制。然而,它却需要更大的计算能力,以便在函数关系的基础上确定温度,但是这在许多的实际应用中都可能不是问题。用这种方

法在使用查找表时也要确定温度。根据抽出的光谱分量的值,它们将会是函数相关,并因此进行计算。在本文中,函数关系可通过微型计算机或类似的器件得到解决。

[0017] 在确定装置的温度之后,它用来补偿由温度变化引起的测量误差。较佳地,其通过与温度相关的修正项来进行,可加入由光学装置确定的测量值中。本文中,测量次数的增加或减少取决于修正各组成部分的引导标志,籍此补偿光学装置的测量误差。然而,补偿也可以通过乘以其它修正项或通过用其它修正项的乘数或使用其它的查找表来完成。使用附加查找表,可根据温度变化把参考值赋予测量,该参考值基于校准测量获得。或者,也可以通过操纵光学装置以完成补偿。因此,用透镜驱动器、检测器或其它光学器件产生移动在原则上都可行或者用光学器件来影响特性。最后,现有技术中也存在多种公知的方法以补偿由温度变化引起的测量误差。

[0018] 对于查找表、函数关系或修正项的确定,可使用校正测量。为此,可在测量位置调整光学装置,并调整到气候箱中所限定的温度。在此,可以遍及进行光分配的整个温度范围。此外,可以改变光学装置的整个测量范围,以致于视温度的变化,知道相应的实际参数。基于这些校正的测量值,得出属于温度的光谱线和各自的内部反射。而且,还获得了关于温度的测量误差的信息,在它们的基础上,可计算相应的修正项。最后,利用这些值可用于建立查找表或找出函数关系。

[0019] 较佳地,除了补偿由温度变化引起的测量误差,也可以进一步补偿其它的误差。以这样的方式,具有梯度折射率的光学装置将产生其它的误差,尤其是由透镜的老化作用引起的。总的来说,这些误差尽管留出相对余量,但降低了光学装置的测量准确性。通过同时利用光学装置测量量值和测量温度,这些误差能很容易地得到补偿。由于漂移效应,除了测量参数,温度的测量在这种情况下也会受到影响。结果是,漂移也影响温度测量的准确性。较佳地,两种误差能在很大程度上相互抵消。

[0020] 在本发明的一个特别有利的配置中,所述的配置包括已经提到的由W02006/122519A1公开的彩色共焦测距传感器。它不仅可以测量目标物的距离,而且同时可测量传感器的温度。传感器的检测装置可用于实现这两个目标。在由检测装置确定的光谱中,至少存在两个峰值:一个峰值是从测量目标物上反射得到的,另一个是由内部传感器反射引起的明显较小的峰值。后者通常通过传感器的技术性的尺寸量度定位,以致于它位于光谱的下端(红色区)或者上端(蓝色区)。两个峰值都受到与温度相关的误差的影响,并包含距离和温度信息。距离信息导致传感器本身在长度上会扩张。然而,由于传感器的几何形状以及内部传感器的距离都是公知的,能够轻易地确定由内部传感器反射引起的峰值与温度相关的误差。结果是,由于距离信息也同样地受误差的影响,距离误差也能依次得到确定。最后,内部传感器误差不起任何作用,且也在补偿中作综合性的考虑。

[0021] 在光学装置中使用了透镜,较佳的是使用梯度折射率的透镜。梯度折射率的透镜具有相对任意的几何结构,其特征在于垂直于光线的扩张方向上折射率会逐渐增大。然而,在大多数情况下,梯度折射率的透镜作成圆柱形,光线沿着圆柱体的底面和上表面区域出入。结果是,穿过梯度折射率的透镜的光线在透镜内被描述成部分的正弦曲线。梯度折射率的透镜越长,透镜内所描述的正弦分量就越大。本文中,色差通过梯度折射率的透镜的延长而增加,其结果是增加了光谱分量的分离。然而,由于梯度折射率的透镜增加,温度误差也随之增加。但这在某些限度内是可以接受的,因为这些误差能被测量并通过本发明的方

法和本发明的固定结构以非常简单的方式得到补偿。

[0022] 较佳地,所述的多色光线使用的是白光光源的光线。同样地,在很大程度上简化了对测量结果的分析。然而,原则上说,也可以使用其它的光源。但是在本文中,如果光谱分量基本上连续地包含在光源中,这就讲得通。这确保了连续的测量范围多半可被覆盖。

[0023] 用于确定光学装置内的装置的温度的反射是发生在光学器件上的。这些光学器件可通过多种方式形成。因此,例如在产生误差的透镜的下游配置辅助透镜即可形成光学器件。这个辅助透镜可利用支架来保持,所述的支架的特征是通过选择合适的材料(如陶瓷或不胀钢)得到最小的温度膨胀率。结果是,在温度变动的情形下,分析透镜的位置将仅仅以极边际程度变化。

[0024] 然而,产生色差的透镜本身可形成光学器件。在使用梯度折射率的透镜中,例如,通过指向测量目标物的透镜的前表面以形成边界面。

[0025] 在任何情况下反射都是沿着光学器件的边界面产生,多色光线的部分光谱在所述的边界面上反射。本文中,整个强度的光谱分量通常不沿着边界面反射。它们也部分地穿过边界面,以致于光谱分量通常只是部分地反射。

[0026] 如果反射的光的强度不够,也可以给光学器件的边界面涂上合适的层。因此,反射光线的强度会增加。由于有可能经常知道哪些光谱分量反射光线,因此,涂层可随这些波长作调整。

[0027] 较佳的是,测定光学装置中温度所用的光学器件的边界面定位在多色光线以光谱分开的区域内,即在产生色差的透镜的下游。然而在本文中,存在由边界面分配的多个点。因此,一方面,可以设置装置的测量范围,以致于部分的测量范围落在光学装置内。结果是,尽管部分的测量范围不能用于实际的测量中,但是这个不能用的范围可以选择到如此的小,以致于仅仅是管理与温度的相关性所导致的变化。从而以这种方式将不能用的范围保持到最小。反过来,无需另外的传感器,装置也提供对温度的测量。

[0028] 或者,边界面也可位于装置的焦距的中间范围内。以这种方式可以设置光学装置的第一透镜,以使它产生色差并使产生的多色光线聚焦在一系列的焦点上。配置在下游的第二透镜可用来生成发射光。如果这个第二透镜在第一透镜的焦点区域的后面,边界面可设于这个中间的焦距范围,该边界面产生用于测定温度的反射。结果是,由检测装置检测到的光谱丧失了清晰度,因为测定温度所用的部分光谱与测量所用的光谱不再有明显的不同。然而,在装置内由反射产生的光线强度明显地小于外部反射产生的光线强度。正是这个原因,上述的缺乏清晰度的问题能以相对简单的方式得到解决。

[0029] 从这点上看,本发明的方法存在多种可能性,并以有利的方式进一步改进本发明的方法。为此,一方面,将参考其它技术方案,另一方面,将参考以下结合附图对本发明优选的具体实施例所作出的解释。再结合本发明的优选实施例的解释和附图,也基本上解释了本发明的方法的优选配置和进一步的实施例。以下是对附图的描述。

附图说明

[0030] 图 1 所示为带有辅助透镜并利用本发明补偿因温度变化引起的测量误差的彩色共焦测量传感器的示意图;

[0031] 图 2 所示为用图 1 的传感器测量得出的例示性的光谱图;以及

[0032] 图 3 所示为不带有辅助透镜并利用本发明补偿因温度变化引起的测量误差的彩色共焦测量传感器的前面部分的示意图,以及对应的光谱的示意图。

具体实施方式

[0033] 图 1 中示出了光学装置 1,其包含梯度折射率的透镜 2。由白光源 6 产生的多色光线 5 通过光纤 3、4 进入梯度折射率的透镜 2。梯度折射率的透镜由石英玻璃棒组成,其提供金属离子(如银离子),以致于垂直于透镜的光轴形成折射率分布。多色光线 5 以视光谱分量的波长而定的变化程度射入梯度折射率的透镜 2 内,于是作为一实施例,在梯度折射率的透镜 2 的上游区域形成了一系列的焦点,其中 3 个焦点在图中所示。辅助透镜 7 设在梯度折射率的透镜的上游,并由支架 8 保持。辅助透镜 7 作为光学器件,并提供边界面 9。部分光谱的多色光线穿过边界面 9 反射,梯度折射率的透镜 2 以反向扩展(图 1 中向上)并会合半透明的镜子 10,这将协助在光学装置内反射的光线或从外部经检测装置 12 的光纤 11 折回到光学装置的光线。检测装置 12 由分光计制成,能把进入检测装置的光线根据相应的波长分开,再测量它们各自的强度。给检测装置 12 提供评价单元 13,以便分析由检测装置确定的光谱。

[0034] 穿过梯度折射率的透镜 2 的多色光线 5 在很大程度上不经边界面 9 反射,而是通过辅助透镜 7 的边界面 9 离开光学装置。如果测量目标物 14 位于光学装置的测量范围内,经测量目标物 14 反射的光也经过辅助透镜 7、梯度折射率的透镜 2、光纤 3、半透明的镜子 10 以及光纤 11 射入检测装置 12 中。本文中,尽管原则上所有产生的光线都经测量目标物反射,但是仅仅是在测量目标物 14 的表面上聚焦的光谱分量满足这样的光学要求,即能够从梯度折射率的透镜 2 进入光纤 3。结果是,在光谱内形成较尖的峰值,其分析有可能测定测量目标物与光学装置 1 之间的距离 D。

[0035] 图 2 中示范性示出了由检测装置 12 检测到的光谱图。图中表示的是光谱分量的强度 I 相对于波长 λ 的曲线图。在短波范围内,可以看到相对低的峰值 A,而较高的峰值 B 则存在于波长较长的范围内。峰值的那些位置是由于装置的特定配置产生的。如果装置采用其它配置,在每种情况下,也能在其它的位置找到这些峰值。

[0036] 两个峰值都受到因温度变化引起的误差的影响,且都包含距离信息和温度信息。然而,虽然不知道距测量目标物的距离,但出于该原因应该测量出这个距离,辅助透镜 7 的位置仅仅视温度的变化而改变。一方面,这个变化可通过选择合适材料(如陶瓷或不胀钢)制成的支架 8 而减小;另一方面,产生的变化不会起作用,因为这些误差全部由本发明的方法得到补偿。

[0037] 由于沿着边界面 9 反射的光线的原因,峰值 A 因此成为基本上与光学装置的温度分量有关。峰值 A 在光谱中的位置对应于传感器内边界面的位置,且只随温度而变化,其中与温度有关的变化在图中用虚线表示。所示的虚线峰值 A' 是由于光学装置的温度 T 的变化产生的。

[0038] 另一方面,峰值 B 基本上取决于光学装置 1 与测量目标物 14 的距离 D,且与温度变化引起的误差相关。然而,利用基于峰值 A 所获得的数据,其并不与各自的测量位置有关,可以修正由温度变化引起的测量误差。为此,借助于评价单元 13 得出的峰值 A 的光谱分量,以及当使用查找表或函数关系时,这些光谱分量为某一温度下的值。基于这个温度,确定一

修正项,其再加入对应于峰值 B 的距离。结果是,从评价单元 13 中得到与环境温度不相关的无误差的测量值。用校正测量以确定查找表、函数关系和修正项。

[0039] 图 3 所示为根据图 1 的光学装置的前面部分,其中没有使用辅助透镜。为清楚地显示,图 3 中省略了光源 6、检测装置 12、镜子 10 以及评价单元 13。因此,多色光线进入梯度折射率的透镜 2,其聚焦在位于透镜 2 上游的多个点上。测量目标物 14 反射由光学装置 1' 发射的光,并反射回来射入梯度折射率的透镜 2。与对应的关于装置 1 的解释那样进行分析。本文中,梯度折射率的透镜 2 的前表面作为光学器件的边界面 9'。相应地,光学器件由梯度折射率的透镜 2 构成。

[0040] 图 3 的下面部分示出了由检测装置 12(图中未示)检测到的光谱。其中表示的是强度 I 相对于波长 λ 的曲线图。第一个峰值 A 表示限定装置温度的参数,其只取决于装置的温度。第二峰值 B1 是由测量目标物形成的。结果是,测量目标物 14 的距离 D1 通过光学装置 1' 确定。在移动测量目标物 14 的情况下,这个峰值也移动,在图中用虚线表示,这里的目的是提供一个例子。在距离 D2,移动后的测量目标物 14 用虚线表示,从而形成移开的峰值 B2。从由峰值 A 获得的温度来看,通过评价单元 13 也能确定对光学装置的测量值的校正。

[0041] 仅仅在温度变化的情况下,梯度折射率的透镜的光学特性是不会发生改变的,但是它们会受到老化的影响。这些变化也可以通过独立于测量目标物的反射来确定,还可以用评价单元 13 中处理的信号进行计算。因此,可以观察到和补偿受其它因素影响的光学装置的通常的长期漂移行为。

[0042] 关于本发明的固定结构的进一步的有利的实施例,请参考说明书的发明内容部分和附随的权利要求书,以避免重复。

[0043] 最后需要指出的是,本文中所提供的本发明的固定结构的样本配置只是用于解释所要求保护的方法,然而,这并不是对该实施例进行限制。

[0044] 附图标记说明:

[0045] 1 光学装置

[0046] 2 梯度折射率的透镜

[0047] 3 光纤

[0048] 4 光纤

[0049] 5 多色光线

[0050] 6 白光源

[0051] 7 辅助透镜

[0052] 8 支架

[0053] 9 边界面

[0054] 10 半透明的镜子

[0055] 11 光纤

[0056] 12 检测装置

[0057] 13 评价单元

[0058] 14 测量目标物

[0059] 15 测量目标物的表面

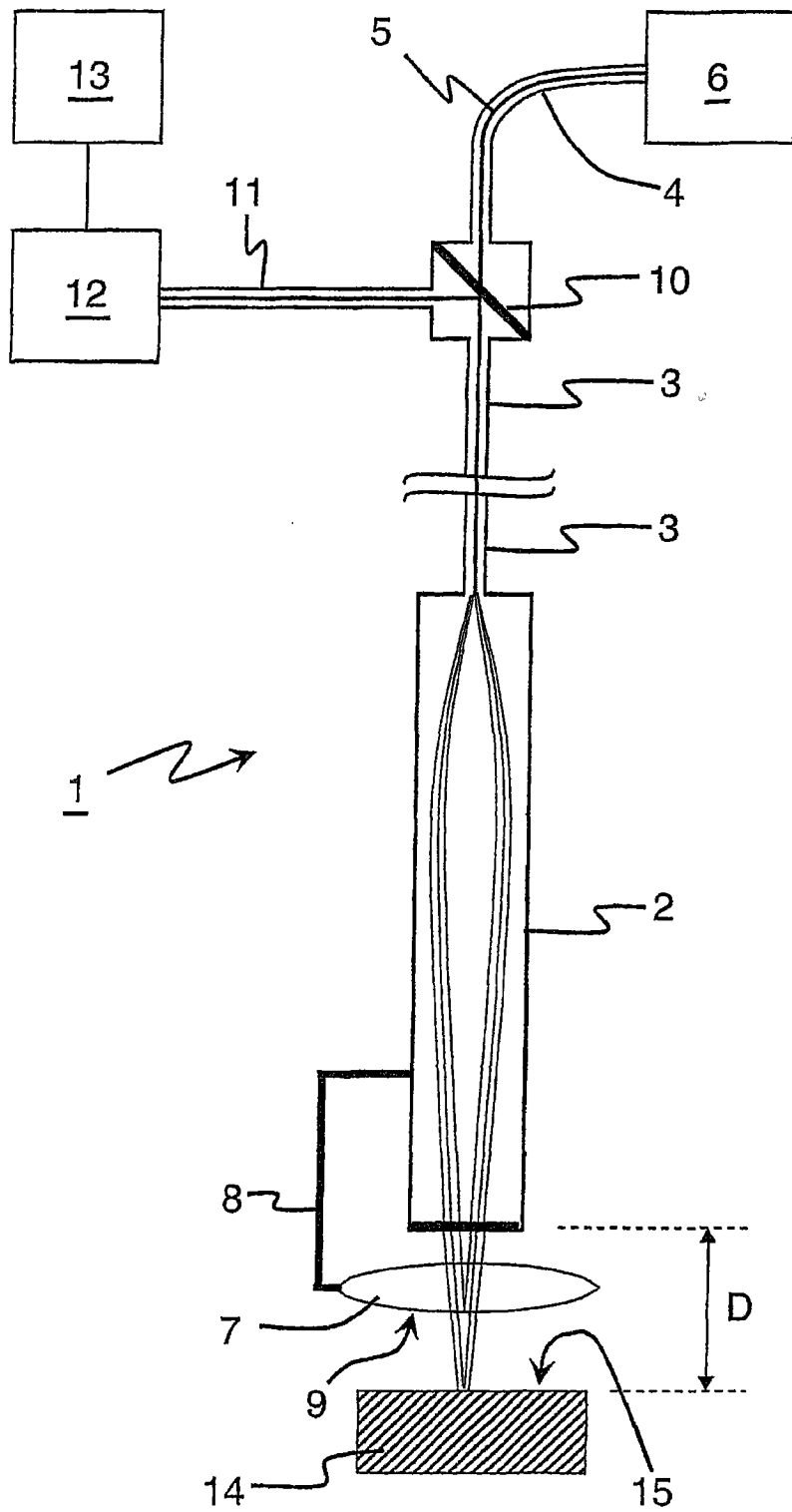


图 1

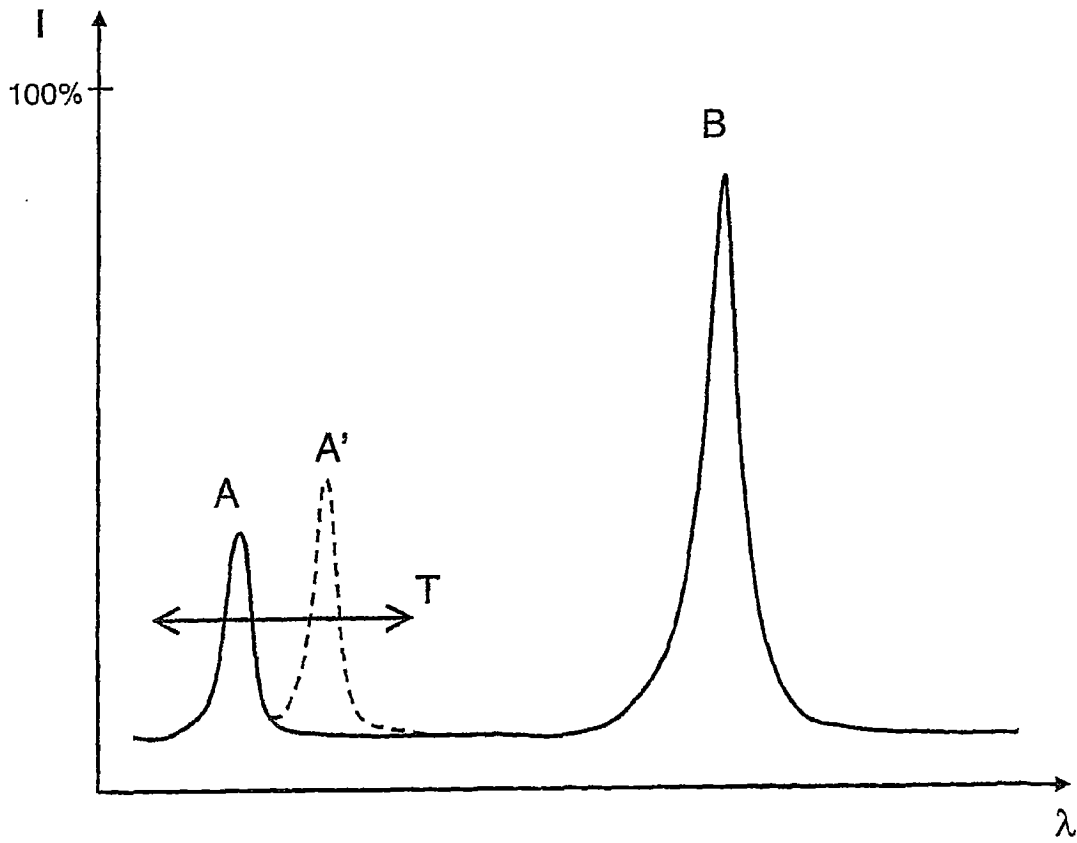


图 2

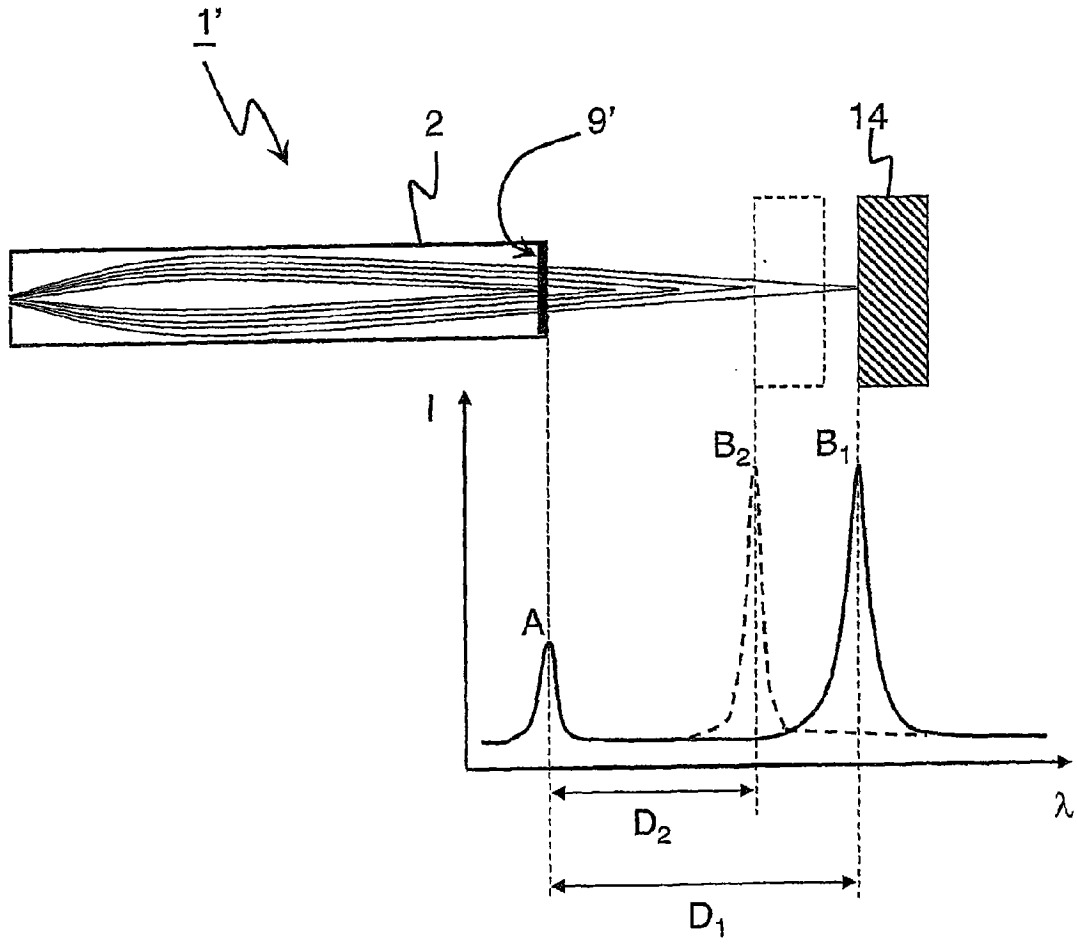


图 3