



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111742190 B

(45) 授权公告日 2022.07.12

(21) 申请号 201980014749.2

(22) 申请日 2019.02.26

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 111742190 A

(43) 申请公布日 2020.10.02

(30) 优先权数据  
18158804.7 2018.02.27 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2020.08.21

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/EP2019/054762 2019.02.26

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02019/166446 DE 2019.09.06

(73) 专利权人 瑞士万通集团公司  
地址 瑞士黑里绍

(72) 发明人 T·吉斯勒

(74) 专利代理机构 北京泛华伟业知识产权代理  
有限公司 11280  
专利代理师 王勇 王博

(51) Int.Cl.  
G01B 9/02 (2022.01)

(56) 对比文件  
JP 2011064674 A, 2011.03.31  
JP 2001249048 A, 2001.09.14  
CN 103635775 A, 2014.03.12  
US 2007273888 A1, 2007.11.29  
CN 102782465 A, 2012.11.14  
CN 101650166 A, 2010.02.17  
CN 101430391 A, 2009.05.13

审查员 刘兵

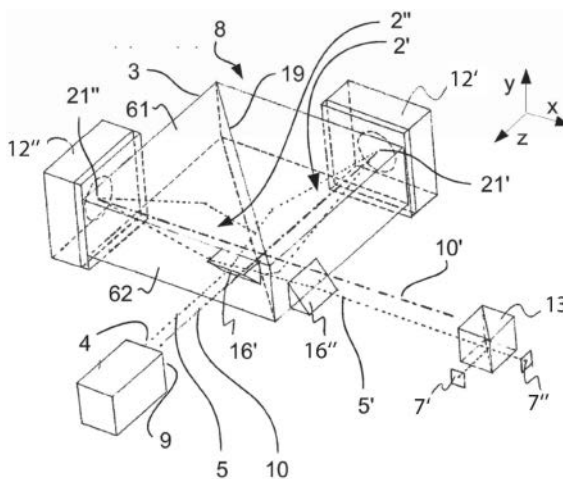
权利要求书3页 说明书11页 附图7页

## (54) 发明名称

干涉仪中的光束引导

## (57) 摘要

本发明涉及一种用于确定干涉仪臂(2)中的光程长度变化,尤其是相对光程长度变化的参考干涉仪(1),其包括分束器(3)和激光光源(4),该分束器(3)被实施为使得激光光源(4)的光束(5)通过在分束器(3)的第一侧面、特别是上侧(61)和第二侧面、特别是下侧(62)上的全内反射来引导,其特征在于,在光路中在分束器(3)的上游设置棱镜(16'),从而能够通过所述棱镜偏转进入分束器(1)的光束(5),和/或其特征在于,在光路中在分束器(3)的下游设置棱镜(16''),从而能够通过所述棱镜偏转离开分束器(3)的光束(5')。此外,本发明涉及基于根据本发明的参考干涉仪的干涉仪、光谱仪和用于确定光程长度变化的方法。



1. 一种用于确定干涉仪臂 (2) 中的光程长度变化的参考干涉仪 (1), 其包括分束器 (3) 和激光光源 (4), 所述分束器 (3) 被实施为使得所述激光光源 (4) 的光束 (5) 通过在所述分束器 (3) 的第一侧面和第二侧面上的全内反射来引导,

其特征在于, 在光路中在所述分束器 (3) 的上游设置至少一个棱镜 (16'), 其中, 上游的所述棱镜 (16') 被实施为使得基本上沿着中心 z 轴或平行于所述中心 z 轴通向所述分束器的光束能够被折射并倾斜地引导至所述分束器的第一侧面; 和/或

其特征在于, 在所述光路中在所述分束器 (3) 的下游设置至少一个棱镜 (16''), 其中, 下游的所述棱镜 (16'') 被实施为使得相对于中心 x 轴倾斜地离开所述分束器的光束能够被折射并基本上沿着所述中心 x 轴或平行于所述中心 x 轴的路线被引导。

2. 根据权利要求 1 所述的参考干涉仪 (1), 其特征不在于, 所述光程长度变化是相对光程长度变化。

3. 根据权利要求 1 所述的参考干涉仪 (1), 其中, 所述至少一个棱镜 (16') 是能够将所述光束转向所述分束器的第一侧面的直角三棱镜。

4. 根据权利要求 1 所述的参考干涉仪 (1), 其中, 所述至少一个棱镜 (16'') 是能够折射从所述分束器的第二侧面入射的光束的直角三棱镜。

5. 根据权利要求 1 所述的参考干涉仪 (1), 其特征不在于, 所述分束器 (3) 的至少所述第一侧面和/或所述第二侧面设置有涂层。

6. 根据权利要求 5 所述的参考干涉仪 (1), 其特征不在于, 所述分束器 (3) 的至少所述第一侧面和/或所述第二侧面在其一部分上设置有涂层。

7. 根据权利要求 1 至 6 中任一项所述的参考干涉仪 (1), 其特征不在于, 所述分束器 (3) 的第一侧面是所述分束器 (3) 的上侧 (61), 并且所述分束器 (3) 的第二侧面是所述分束器 (3) 的下侧 (62)。

8. 根据权利要求 3 至 4 中任一项所述的参考干涉仪 (1), 其特征不在于, 所述参考干涉仪 (1) 是迈克尔逊型参考干涉仪。

9. 根据权利要求 5 至 6 中任一项所述的参考干涉仪 (1), 其特征不在于, 所述涂层的折射率和厚度被选择为使得在所述激光光源 (4) 的光束 (5) 已经通过全内反射而反射的情况下经受全内反射的 s-偏振光束和 p-偏振光束之间能够获得  $\pi/2 \pm \pi/10$  的相移。

10. 根据权利要求 5 至 6 中任一项所述的参考干涉仪 (1), 其特征不在于, 所述涂层的折射率和厚度被选择为使得在所述激光光源 (4) 的光束 (5) 已经通过全内反射而反射的情况下经受全内反射的 s-偏振光束和 p-偏振光束之间能够获得  $\pi/2 \pm \pi/20$  的相移。

11. 根据权利要求 1 至 6 中任一项所述的参考干涉仪 (1), 其特征不在于, 所述分束器 (3) 被实施为平行六面体。

12. 根据权利要求 1 至 6 中任一项所述的参考干涉仪 (1), 其特征不在于, 所述分束器 (3) 被实施为直角矩形棱镜。

13. 根据权利要求 1 至 6 中任一项所述的参考干涉仪 (1), 其特征不在于, 所述分束器 (3) 被实施为长方体。

14. 根据权利要求 1 至 6 中任一项所述的参考干涉仪 (1), 其特征不在于, 提供至少一个检测器 (7)。

15. 根据权利要求 1 至 6 中任一项所述的参考干涉仪 (1), 其特征不在于, 提供用于检测已

经被偏振分束器(13)分离的两个部分光束的两个光电检测器(7',7'')。

16.根据权利要求1至6中任一项所述的参考干涉仪(1),其特征在于,所述激光光源(4)是二极管激光器。

17.根据权利要求1至6中任一项所述的参考干涉仪(1),其特征在于,所述激光光源(4)是分布式反馈激光器、分布式布拉格反射激光器或垂直腔面发射激光器。

18.根据权利要求1至17中任一项所述的参考干涉仪(1)用于监视干涉仪臂(2)中的光程长度变化的用途。

19.一种干涉仪(8),包括用于监视干涉仪臂(2)中的光程长度变化的根据权利要求1至17中任一项所述的参考干涉仪(1),并且包括用于有效光束(10)的第二光源(9)和多个光学元件,其中,当按预期使用时,所述光源(9)的有效光束(10)和激光光源(4)的光束(5)能够通过相同的分束器(3)引导,其中所述激光光源(4)的光束(5)代表参考光束,

其特征在于,在光路中在所述分束器(3)的上游设置至少一个棱镜(16'),从而能够通过所述至少一个棱镜偏转基本上平行于所述有效光束(10)通向所述分束器(3)的参考光束(5);和/或

在所述光路中在所述分束器(3)的下游设置至少一个棱镜(16''),从而能够通过所述至少一个棱镜折射所述参考光束(5'),以使得所述有效光束(10')和所述参考光束(5')基本上平行地离开所述干涉仪。

20.根据权利要求19所述的干涉仪,其特征在于,所述干涉仪(8)被实施为双光束干涉仪。

21.根据权利要求19至20中任一项所述的干涉仪,其特征在于,所述参考干涉仪(1)被实施用于正交检测。

22.根据权利要求19至20中任一项所述的干涉仪,其特征在于,所述参考光束进入设置在所述分束器上游的棱镜的入射位置和/或所述有效光束进入所述分束器的入射位置设置有抗反射涂层。

23.根据权利要求22所述的干涉仪,其特征在于,在所述参考光束进入设置在所述分束器上游的棱镜的入射位置处的抗反射涂层与所述参考光束的波长匹配,并且在所述有效光束进入所述分束器的入射位置处的抗反射涂层与所述有效光束的波长范围匹配。

24.一种光谱仪,包括根据权利要求19至23中任一项所述的干涉仪(8)。

25.根据权利要求24所述的光谱仪,其特征在于,所述光谱仪是近红外光谱仪。

26.一种用于确定干涉仪臂(2)中的光程长度变化的方法,其中,光束(5)从激光光源(4)辐射到分束器(3)上作为参考光束,并通过在所述分束器(3)的第一侧面和所述分束器(3)的第二侧面上的全内反射来引导,其特征在于,所述光束在进入所述分束器之前由至少一个第一棱镜(16')引导和/或在从所述分束器离开之后由至少一个第二棱镜(16'')引导,其中,所述参考光束(5)

-在进入所述第一棱镜(16')之前在光路的第一部分中沿中心z轴或平行于中心z轴传播;

-在所述光路的中间部分相对于所述中心z轴倾斜传播;和/或

-在从所述第二棱镜(16'')离开之后在所述光路的第三部分中沿中心x轴或平行于所述中心x轴传播。

27. 根据权利要求26所述的方法,其特征在於,所述光程长度变化是相对光程长度变化。

28. 根据权利要求26至27中任一项所述的方法,其特征在於,所述分束器(3)的第一侧面是所述分束器(3)的上侧(61),并且所述分束器(3)的第二侧面是所述分束器(3)的下侧(62)。

29. 根据权利要求26至27中任一项所述的方法,其特征在於,所述参考光束(5)的偏振被改变。

30. 根据权利要求26至27中任一项所述的方法,其特征在於,将有效光束(10)与所述参考光束(5)平行地引导在相同的分束器(3)上并且通过反射镜元件(12', 12'')转向,并且有效光束(10')从所述分束器平行于参考光束(5')出射。

31. 根据权利要求30所述的方法,其特征在於,所述参考光束(5)和/或所述有效光束(10)由至少一个检测器(7)捕获。

## 干涉仪中的光束引导

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于确定干涉仪臂中的光程长度变化、特别是相对光程长度变化的参考干涉仪,其包括分束器和激光光源。

[0002] 此外,本发明涉及这种参考干涉仪的用途。

[0003] 此外,本发明涉及一种具有这种参考干涉仪的干涉仪,并且涉及一种具有这种干涉仪的光谱仪,尤其是近红外光谱仪。

[0004] 此外,本发明涉及一种用于确定干涉仪臂中的光程长度变化、特别是相对光程长度变化的方法,其中,将激光光源的光束,特别是参考光束辐射在分束器上。

### 背景技术

[0005] 通常,例如在傅立叶变换光谱仪中使用的两个光束干涉仪需要参考干涉仪,以用于测量干涉仪臂中两个光束之间的光程长度差。

[0006] US2011/0043819公开了一种基于激光束干涉的激光量块干涉仪(gauge interferometer)。量块干涉仪生成测量结果,该测量结果再现可移动元件的位移;以及校正干涉仪生成测量结果,该测量结果指定了在恒定参考间隔内空气折射率的变化。基于此,计算机单元计算可移动元件的位移的目标值,以便补偿折射率的变化。

[0007] 通常使用所谓的正交检测来测量相对光程长度变化,以能够捕获干涉仪臂中除其幅度之外的光程长度变化的信号。正交检测用于许多市售的双光束干涉仪中。为此,实现了双参考干涉仪,在两个干涉仪臂中产生的光程长度差大约为 $\lambda/4$ 。除了确定光程长度变化的幅度外,测量两个干涉信号还允许确定其符号。举例来说,可以通过两个在空间上分开的干涉仪来实现正交检测。

[0008] 用于实现此目的的另一种选择是将 $\lambda/4$ 片引入干涉仪臂中的参考激光束中,因此对于s-偏振和p-偏振或垂直和平行偏振光会产生合适的光程长度差。然后,通过偏振分束器和两个检测器来检测激光束。

[0009] 由于难以实现简单的正交检测,特别是在单片干涉仪设置的情况下,尤其是关于在干涉仪的臂中集成延迟元件(例如 $\lambda/4$ 片),已经提出了单片的、但仍允许容易且有效地确定光程长度变化的干涉仪设置。在申请EP17205704.4中公开了这种设置。

[0010] 通过引用将申请EP17205704.4的教导并入本说明书中。EP17205704.4的不同之处在于,参考光束的s-偏振分量和p-偏振分量之间的相移不是通过 $\lambda/4$ 片实现的,而是通过将光束偏转到参考干涉仪的已涂布有 $\text{HfO}_2$ 的上侧或下侧来实现的。在二氧化铪层和空气之间的界面处存在全内反射,这伴随着垂直和平行偏振(s-偏振和p-偏振)光之间的特定相移。

[0011] 然而,实际上该实施例仍然具有缺点。参考光束或分离参考光束的两个部分都应经由干涉仪的上侧或下侧转向到干涉仪臂的镜面上。因此,相关联的光源不能在入射的使用光束或从干涉仪出射的使用光束的光轴跨越的平面内对准。由于应将光束转向到分束器的上侧或下侧,因此光源应倾斜对齐,以使出射光束的传播方向不再直接通向反射镜元件,而是相对于使用光束倾斜。这导致用于对准参考光束的费用增加,并且在安装设备时会增

加空间要求。

### 发明内容

[0012] 因此,本发明的目的是提出一种克服上述缺点的参考干涉仪。特别地,旨在提供一种更加紧凑和鲁棒的参考干涉仪。

[0013] 此外,一个目的是指定这种参考干涉仪的用途。

[0014] 另一个目的是指定一种具有这种参考干涉仪的干涉仪,并指定一种具有这种干涉仪的光谱仪。

[0015] 此外,一个目的是指定一种开头所述类型的方法,通过该方法可以容易且有效地确定光程长度变化。

[0016] 根据本发明,其目的在于,在用于确定干涉仪臂中的光程长度变化、特别是相对光程长度变化的、开始提到的类型的参考干涉仪的情况下,所述分束器被实施为使得激光光源的光束可通过在分束器的第一侧面、特别是上侧和第二侧面、特别是下侧上的全内反射来引导,并且在光路中在分束器的上游设置棱镜,从而能够通过所述棱镜偏转撞击棱镜的光束;和/或其特征在于,在光路中在分束器的下游设置棱镜,从而能够通过所述棱镜偏转离开分束器的光束。在此,第二侧面与第一侧面相对放置,特别地平行放置;例如,第一和第二侧面在分束器棱镜中形成相对的侧面。

[0017] 优选地,在光路中在分束器的上游设置的棱镜由参考干涉仪构成;即,它形成了后者的集成组成部分。替代地/附加地,在光路中在分束器的下游设置的棱镜由参考干涉仪构成;即,它形成了后者的集成组成部分。

[0018] 应当看到本发明获得的优点在于,特别地,由于在界面处的全内反射,在x偏振和y偏振或垂直(s-)和平行(p-)偏振光之间存在相移,相移取决于分束器的折射率和光束的入射角。在此,入射角不必一定是通过相对于xz平面倾斜地定位光源和/或检测器来实现的;相反,可以通过有针对性地使用棱镜来以节省空间和精确的方式设置它。

[0019] 发现包括在光路中在分束器的上游设置的棱镜和/或在光路中在分束器的下游设置的棱镜的参考干涉仪是紧凑的。如果将参考干涉仪集成到干涉仪中,则在成本效率和精度方面会产生更多优势,在该干涉仪中,使用光束在相同的反射镜元件上而不是在分束器的侧面上被引导。下面详细描述其他实施例。

[0020] 使用棱镜是有利的,因为参考光源的光束在分束器上的入射角可以自由选择,也可以在必要时进行调整,而这不需要改变光源和/或至少一个检测器和/或偏振分束器的对准。

[0021] 以下定义适用于本发明的详细描述:

[0022] 中心z轴是第一干涉仪臂中第一反射镜元件的镜面的、特别是在其中心处的表面法线。优选地,第一干涉仪臂是迈克尔逊型干涉仪的一部分;于是,中心z轴对应于在干涉仪臂的端部侧处的第一反射镜元件的镜面的表面法线,其中,穿过分束器层的光束在干涉仪臂中传播。

[0023] 中心x轴是第二干涉仪臂中第二反射镜元件的镜面的、特别是在其中心处的表面法线。优选地,第二干涉仪臂是迈克尔逊型参考干涉仪的一部分;于是,中心x轴对应于在干涉仪臂的端部侧处的第二反射镜元件的镜面的表面法线,其中在分束器层处反射的光束在

干涉仪臂中传播。

[0024] y轴垂直于由中心z轴和中心x轴跨越的平面。

[0025] 以下内容被理解是指分束器的第一侧面：在至少一个部分中平行于中心z轴延伸并因此在横向上界定第一干涉仪臂的平面，或在至少一个部分中平行于中心x轴延伸并因此在横向上界定第二干涉仪臂的平面，特别是在迈克尔逊型干涉仪中。

[0026] 第一干涉仪臂中的第一侧面和第二干涉仪臂中的第一侧面优选地由于位于共同平面中而重合，该共同平面平行于由中心z轴和中心x轴跨越的平面。第一干涉仪臂和第二干涉仪臂的这种重合的第一侧面被称为上侧。

[0027] 优选地，第一干涉仪臂中的第二侧面和第二干涉仪臂中的第二侧面由于位于共同平面中而重合，该共同平面平行于由中心z轴和中心x轴跨越的平面并且与上侧的平面相对；第一干涉仪臂和第二干涉仪臂的第二侧面的与上侧相对的共同平面被称为下侧。

[0028] 至少一个反射镜元件是可移动地调节的。第一反射镜元件可沿中心z轴移动；第二反射镜元件可沿中心x轴移动。然而，镜面的排列没有倾斜。对于第一反射镜元件，反射镜元件也没有沿与z方向不同的方向位移，对于第二反射镜元件，也没有沿与x方向不同的方向位移。中心z轴和中心x轴始终在迈克尔逊型参考干涉仪的分束器层处相交。

[0029] 优选地，至少一个棱镜被实施为使得基本上沿着中心z轴或平行于中心z轴通向分束器的光束可以被折射并倾斜地引导到分束器的第一侧面，特别是上侧。因此，特别优选的是，参考光源的光轴在中心z轴上或平行于中心z轴的对准。特别地，如果选择了迈克尔逊型干涉仪设置，则参考光源的光轴垂直于第一干涉仪臂的端部侧处的第一反射镜元件的平面。结果，可获得特别简单且鲁棒的参考干涉仪，此外，该参考干涉仪可以用相对较少的花费来生产。在该优选实施例中，参考干涉仪中的光束传播沿着紧接在光源下游的中心z轴。这使得干涉仪的生产简单、精确且具有成本效益。

[0030] 然后，通过设置在分束器上游的棱镜，特别是通过使用具有上游棱镜的分束器，光束被折射并以倾斜的方式远离z轴转向，从而以期望的入射角撞击分束器的涂布和未涂布的侧面。这可以实现简单紧凑的结构，并且光束以适合全内反射的角度撞击侧面。如有必要，可以通过更换棱镜来容易地且快速地更改折射角。

[0031] 第一棱镜可以以任何其他方式粘合或粘接到分束器上，或者布置或固定在分束器的上游。棱镜可以具有与分束器集成的实施例。通过光束入射分束器的面被实施为使得其相对于参考光束的光轴具有不同于 $90^\circ$ 的角度，也可以获得光折射的效果。在这种情况下，术语“棱镜”应理解是指分束器具有斜面的部分。特别优选地，使用直角三棱镜或具有梯形底面的直角棱镜。直角三棱镜可以这样的方式对准，使得光束能够被转向到分束器的第一侧面上，特别是上侧。优选地，对于棱镜选择对参考光束的波长足够透明的材料；举例来说，棱镜可以由合成熔融石英制成。

[0032] 作为在光路中在分束器上游设置的棱镜的补充或替代，可以在光路中在分束器下游设置棱镜。优选地，使用包括下游棱镜的分束器。优选地，下游棱镜被实施为使得相对于中心x轴倾斜地离开分束器的光束可以被折射并基本上沿着沿中心x轴或平行于中心x轴的路线被引导。特别地，如果选择了迈克尔逊型干涉仪设置，则可以将检测器对准，以使得检测器面的法线垂直于第二干涉仪臂的端部侧处的第二反射镜元件的平面。

[0033] 这是因为经由第一或第二反射镜元件在分束器的第一侧面、优选地在上侧经历全

内反射,并且通过分束器的第二侧面、优选地通过下侧经历全内反射的另一种情况的参考光束在从分束器出射时,不沿着中心x轴或平行于中心x轴传播。可以使用第二棱镜,以便仍然能够将用于参考光束的至少一个检测器的面平行于分束器的侧面定位。第二棱镜允许相对于中心x轴倾斜延伸的光束以这样的方式被折射,以使得其在从棱镜离开之后沿着中心x轴或平行于中心x轴延伸。结果,可以实现简单且紧凑的结构,并且光束仍然可以以垂直的方式撞击在平行于中心z轴或平行于分束器的侧面对准的检测器表面上。如有必要,可以通过更换棱镜来容易且快速地更改折射角。

[0034] 以类似于第一棱镜的方式,第二棱镜也可以以任何其他方式粘合或粘接到分束器,或者布置或固定在分束器的下游。棱镜可以具有与分束器集成的实施例。通过光束从分束器离开的面被实施为使得其相对于光束的光轴具有不同于 $90^\circ$ 的角度,也可以获得光折射的效果。在这种情况下,术语“棱镜”应理解为是指分束器具有斜面的部分。可以使用单个棱镜或多个棱镜。直角三棱镜或具有梯形底面的直角棱镜是特别优选的。直角三棱镜可以这样的方式对准,使得从分束器的第二侧面、特别是从下侧(62)进入的光束被折射。优选的材料对于参考光源的波长是足够透明的。举例来说,棱镜可以由合成熔融石英制成。

[0035] 优选地,至少一个棱镜设置有与参考光源的波长匹配的抗反射涂层。

[0036] 光束特别地被实施为由激光光源发射的激光束。

[0037] 有利的是,如果分束器的至少第一侧面和/或第二侧面、特别是上侧和/或下侧涂布有涂层,特别是在其一部分上。上侧或下侧也可以完全由相同的材料单独或一起完全涂布。对于伴随着垂直和平行偏振(s-偏振和p-偏振)光之间的特定相移的全内反射有利的涂层在下文中被称为延迟器层。延迟器层可以优选地施加到分束器的侧面,优选地施加到分束器的上侧或下侧。只有涂层的折射率或厚度不同,才能获得干涉仪臂的延迟器功能。在给定的激光光源的光束的入射角的情况下,涂层的折射率和厚度的目标选择可以导致在s-偏振光和p-偏振光之间获得期望的相移。

[0038] 优选地,与第二干涉仪臂中的涂层相比,第一干涉仪臂中侧面的涂层具有不同的实施例。特别地,如上所述,第一干涉仪臂中的第一和第二侧面可以涂布有延迟器层,而第二干涉仪臂中的第一和第二侧面没有涂布或涂布有利于全内反射的涂层,该涂层没有实施为延迟器层。如果第一干涉仪臂中的第一侧面与第二干涉仪臂中的第一侧面例如通过位于分束器棱镜的共同上侧上而重合,并且第一干涉仪臂中的第二侧面和第二干涉仪臂中的第二侧面例如通过位于分束器棱镜的共同下侧上而重合,则也可以获得在两个干涉仪臂的侧面上的涂层的这种不对称性。在这种情况下,例如,分束器棱镜的上侧和/或下侧仅可以部分地涂布有延迟器层,例如仅涂布在分配给第一干涉仪臂的侧面的部分上。

[0039] 特别地,有利的是,如果涂层的折射率和厚度被选择为使得在已经通过全内反射而反射的激光光源的光束的情况下在经受全内反射的s-偏振和p-偏振光束之间可获得 $\lambda/4 \pm \pi/10$ 、优选地 $\pi/2 \pm \pi/20$ 的相移。因此,不再需要现有技术中使用的 $\lambda/4$ 片。分束器涂布有具有合适折射率的单层,这使得相移的大小可控。举例来说,分束器涂布有二氧化铅层,其中二氧化铅层的折射率约为1.82。例如,在638nm的激光波长的情况下,利用大约60nm和/或大约120nm的层厚度可以实现 $\lambda/4$ 的相移。通过调整层厚度和/或层材料,实际上可以获得针对任何衬底材料的任何期望的相移、入射角和激光波长,从而为根据本发明的参考干涉仪开辟了许多应用可能性。

[0040] 其他可能的涂层材料包括铟锡氧化物、二氧化钛、 $\text{Nb}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_3$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{Sc}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 以及上述氧化物彼此之间和/或与 $\text{SiO}_2$ 的混合氧化物。

[0041] 有利的是,如果分束器被实施为平行六面体,特别是被实施为正四棱柱,优选地被实施为立方体或长方体。这提供或使得参考干涉仪的特别简单的实现成为可能。举例来说,分束器长方体的尺寸可以为20mm至30mm乘20mm至30mm乘5mm至10mm、优选地22mm至28mm乘22mm至28mm乘6mm至8mm、特别是大约25mm乘25mm乘7mm。

[0042] 如果提供至少一个检测器,则是有利的。特别地,如果使用偏振分束器和两个检测器来实现将激光光源的光束作为参考光束的检测是有利的。优选地,提供了用于检测已经被偏振分束器分离的两个部分光束的两个光电检测器。所述至少一个检测器可以特别地实施为辐射检测器、优选地实施为光电管、光电二极管或光电倍增管。

[0043] 激光光源可以是二极管激光器,特别是分布式反馈激光器(DFB激光器)、分布式布拉格反射激光器(DBR激光器)或垂直腔面发射激光器(VCSEL)。在此,这些是优选的激光光源,其相对于传统的激光器,例如HeNe激光器(氦-氖)的区别在于具有紧凑的结构、低功耗和波长对温度变化的高稳定性。

[0044] 在本文中,分布式反馈激光器(DFB激光器)被理解是指这样的激光二极管,其有源介质被构造为使得折射率沿着光轴周期性地变化。

[0045] 在本文中,分布式布拉格反射激光器(DBR激光器)被理解是指这样的激光二极管,其有源介质的一端被布拉格反射镜(分布式布拉格反射器,DBR)限制,并且常规的耦合镜附接到另一端。

[0046] 在本文中,垂直腔面发射激光器(VCSEL)被理解是指其中垂直于半导体芯片的平面发射光的激光二极管。在此,激光谐振腔由平行于晶片的平面布置的两个布拉格反射镜形成,激光介质被嵌入在它们之间。

[0047] 然而,激光光源也可以是任何其他类型的二极管激光器。取决于二极管激光器的类型,如果由其提供的光的波长通过限带元件,特别是通过体布拉格光栅(VBG)来稳定,则可能是有利的。特别地,这赋予激光光源激光波长抵抗温度变化的更大的稳定性。

[0048] 本申请的一个方面涉及根据本发明的参考干涉仪用于监视干涉仪臂中的光程长度变化的用途。

[0049] 此外,本发明涉及一种具有用于监视干涉仪臂中的光程长度变化的上述参考干涉仪的干涉仪,特别地包括用于使用光束的光源和多个光学元件。如果按预期使用,则可通过同一分束器引导使用光束和激光光源的光束,激光光源的光束代表参考光束。

[0050] 根据本发明的干涉仪,其特征在于,在光路中在分束器的上游设置至少一个棱镜,从而能够通过所述至少一个棱镜偏转基本上平行于使用光束通向分束器的参考光束;和/或在光路中在分束器的下游设置至少一个棱镜,从而能够通过所述至少一个棱镜折射以与使用光束倾斜的方式远离分束器传播的参考光束,以使得使用光束和参考光束基本上平行地离开所述干涉仪。

[0051] 特别地,干涉仪包括在光路中在分束器上游设置的至少一个棱镜和/或在光路中在分束器下游设置的至少一个棱镜。

[0052] 由此获得的优点应该被认为是,特别地,如果使用光束和参考光束被引导通过相同的分束器,则可以特别容易地进行干涉仪中的正交检测。还发现干涉仪特别精确。参考光

束通过全内反射在分束器的上侧和下侧引导。这种几何形状有利于干涉仪的特别简单和紧凑的构造。

[0053] 光源被定位为使得使用光束和参考光束基本上平行地通向干涉仪和/或设置在光路下游的棱镜被定位为使得使用光束和参考光束基本平行地离开干涉仪。在此,使用光束或者使用光束的第一和第二部分的光路优选地沿着中心x轴和中心z轴延伸。

[0054] 在当前情况下,按预期使用应理解是指激光光源的使用光束和参考光束可通过同一分束器引导。优选地,当按预期使用时,使用光束和参考光束利用棱镜在干涉仪的方向上平行地传播。在撞击在分束器层上之前,参考光束会被设置在光路中分束器上游的棱镜折射。作为附加或替代,当按预期使用时,使用光束和参考光束在利用棱镜离开干涉仪后再次平行传播。为此,在离开分束器层之后,参考光束在光路中被分束器下游的棱镜折射。在具有一个或多个棱镜的干涉仪内,当按预期使用时,使用光束和参考光束不会平行传播。

[0055] 在优选的实施例中,参考光束相对于使用光束平行偏移地被转向,特别是在使用光束的上方或下方,在棱镜上,在分束器上,并且从那里,在分束器的第一侧面上,特别是分束器的上侧或下侧,以使得光束在与使用光束基本上相同的区域中撞击反射镜元件。这是有利的,因为光束入射在干涉仪的反射镜上的重叠区域上。优选地,两个光束的入射区域的重叠区域位于反射镜元件的反射镜区域的中心。

[0056] 这导致构造的最佳精度。这是因为在干涉仪操作期间,由于动态的反射镜变形(实际上很难完全避免),光束引导发生了变化;然而,在优选实施例中,这些对使用光束和参考光束具有相同的影响。这有利于光程长度差的最佳参考。

[0057] 因此,根据本发明的干涉仪有利于在进入和离开分束器时分开引导使用光束和参考光束,并且同时,在各个反射镜元件的重叠区域上将光束合并。这考虑到紧凑性、精度和成本效率的问题。

[0058] 将干涉仪实施为双光束干涉仪是有利的。特别优选地,后者被实施为傅立叶变换光谱仪的一部分,特别是被实施为单片迈克尔逊干涉仪。

[0059] 有利的是,如果参考干涉仪被实施用于正交检测,以便测量干涉仪的干涉仪臂中的相对光程长度变化。

[0060] 优选地,如上所述的干涉仪的特征在于,参考光束进入设置在分束器上游的棱镜的入射位置和/或使用光束进入分束器的入射位置设置有抗反射涂层;优选地,在参考光束进入设置在分束器上游的棱镜的入射位置处的抗反射涂层与参考光束的波长匹配,并且在使用光束进入分束器的入射位置处的抗反射涂层与使用光束的波长匹配。不需要既覆盖使用光束的光谱也覆盖参考光束的光谱的昂贵的抗反射涂层。

[0061] 已经集成到所使用的干涉仪中的根据本发明的参考干涉仪的优点在于,使用光束和参考光束可以平行地但在空间上偏移地入射在分束器上。平行特性提供了两个光束的性质的特别最佳的可比性,这两个光束在同一反射镜元件的重叠区域上同时被引导。然而,由于根据本发明的构造,进入分束器时的空间偏移可以被选择得很大,以致可以使用更具成本效益的抗反射涂层,每种涂层都与参考光束或使用光束的波长相匹配。

[0062] 在组合使用干涉仪和参考干涉仪的情况下,优选的是,位于参考光束的光路中的棱镜或位于参考光束的光路中的棱镜由以下材料制成,该材料对参考光束的波长特别透射但对使用光束的波长不透明。这可以避免参考光束与来自使用光束的杂散光发生不必要的

重叠。

[0063] 此外,本发明涉及一种具有如上所述的干涉仪的光谱仪,特别是近红外光谱仪。

[0064] 本发明的另一方面涉及一种用于确定干涉仪臂中的光程长度变化、特别是相对光程长度变化的方法,其中,光束从激光光源辐射到分束器上作为参考光束,并通过分束器的第一侧面、特别是上侧和分束器的第二侧面、特别是下侧上的全内反射来引导,其特征在于,光束在进入分束器之前由至少一个第一棱镜引导和/或在从分束器离开之后由至少一个第二棱镜引导。

[0065] 所实现的是,在所述类型的方法中,激光光源的光束通过在分束器的第一侧面、特别是上侧和第二侧面、特别是下侧上的全内反射作为参考光束被引导。

[0066] 由此获得的优点应当被考虑为,特别地,可以通过分束器的第一侧面和/或第二侧面、特别是上侧和/或下侧处的全内反射来特别容易和有效地测量使用光束的光程长度变化。这是通过全内反射(而不是通过传统的延迟器片)进行的相移的影响。干涉仪可以被构建得非常紧凑(也可以单片地),从而在机械坚固性方面带来优势。借助于上游和/或下游棱镜的精确、灵活和节省空间的光束引导,仍然扩大了这一优势。

[0067] 在如上所述的方法中,在进入第一棱镜之前,光束优选地在光路的第一部分中沿着中心z轴或平行于中心z轴传播;在光路的中间部分相对于中心z轴倾斜地传播;和/或在从第二棱镜离开后在光路的第三部分中沿着中心x轴或平行于中心x轴传播。

[0068] 在此,表述“倾斜”是指传播方向与相应的干涉仪臂轴不平行或不垂直。这样的光束引导允许最重要的光学元件、尤其是光源、分束器、干涉仪臂、反射镜和检测器的正交对准,并使得方法结构精确。

[0069] 改变参考光束的偏振是有利的。为此,分束器至少部分地被涂布,如上所述,借助于具有合适折射率的单层来控制相移的大小。

[0070] 与参考光束平行地转向到分束器上的使用光束是优选的。特别是在迈克尔逊型干涉仪中,参考光束和使用光束在干涉仪的相同分束器层和相同反射镜元件上转向。于是,使用光束和参考光束可以离开分束器,特别是平行地离开分束器。结果,参考波差异的测量变得特别精确,同时可以保持紧凑的方法结构。

[0071] 有利的是,特别是在将分束器实施为长方体或立方体的情况下,将参考光束和使用光束从不同的角度引导到前分束器侧面上。特别地,使用光束相对于光束通过其进入的前分束器侧面的表面法线以小于 $7^\circ$ 、优选小于 $3^\circ$ 、优选小于 $1^\circ$ 的入射角被引导。在优选的实施例中,使用光束相对于光束通过其进入的前分束器侧面的表面法线以 $0^\circ$ 的入射角被引导。与此相反,在穿过棱镜之后,参考光束的光轴以倾斜的入射角在光束通过其进入的分束器侧面相对于y轴以例如 $30^\circ$ 至 $89^\circ$ 、优选地 $50^\circ$ 至 $85^\circ$ 、优选地 $65^\circ$ 至 $80^\circ$ 的角度被引导。然而,取决于实施例,相对于y轴的入射角为 $65^\circ$ 至 $88^\circ$ 、优选地 $70^\circ$ 至 $83^\circ$ 、优选地 $75^\circ$ 至 $78^\circ$ 也是有利的。在特别优选的实施例中,参考光束相对于y轴以 $76.5^\circ$ 的入射角被引导。

[0072] 如果参考光束和使用光束被至少一个检测器捕获,则是进一步有利的。特别地,提供捕获参考光束和使用光束的两个检测器。此外,对于实施为参考光束的光束而言,偏振分束器设置在检测器的上游是有利的。在这种情况下,总共需要至少三个检测器。

## 附图说明

[0073] 另外的特征、优点和效果从下面示出的示例性实施例中显现。在过程中引用的附图中：

[0074] 图1a示出了现有技术中已知的用于正交检测的设备；

[0075] 图1b示出了根据EP17205704.4的干涉仪；

[0076] 图2示出了按预期使用时根据本发明的干涉仪的示意图；

[0077] 图3示出了按预期使用时根据本发明的干涉仪的优选实施例的平面图；

[0078] 图4示出了根据本发明的干涉仪的替代实施例的平面图；

[0079] 图5示出了干涉仪臂中沿着图4的截面AA的光路的视图，包括参考光束和使用光束；

[0080] 图6示出了参考干涉仪臂中沿着图4的截面BB的光路的视图，包括参考光束但是没有使用光束；

[0081] 图7示出了根据本发明的干涉仪中沿着截面BB的光路的示意图，包括参考光束和使用光束以及关于相移的细节；

[0082] 图8示出了作为延迟器层的层厚度的函数的、参考光束的s-偏振和p-偏振光的相位的示例性图示；

[0083] 图9示出了不同偏振光的相移之间的差、模拟值的图示；以及

[0084] 图10示出了不同偏振光的相移之间的差、模拟值和来自实验验证的数据的图示。

## 具体实施方式

[0085] 图1a示出了现有技术中已知的用于正交检测的设备。该设备包括具有用于常规正交检测的参考干涉仪的迈克尔逊干涉仪。此外，该设备包括激光光源4和另一光源9。在 $\lambda/4$ 片11的位置处，被实施为参考光束的光束5和使用光束10在空间上彼此分离，为此目的，参考光束是倾斜的。该设备包括另外的光学元件，例如分束器3、反射镜12、检测器7'、7''、补偿器元件31和偏振分束器13。为了补偿由于在分束器3处反射的光束不通过分束器3的事实而导致的路径差，该设备包括片31，该片31由与分束器3相同的材料制成并且具有与分束器3相同的厚度。延迟器片11被对准以使得它从入射的参考光束生成两个正交偏振(s-偏振和p-偏振)，所述偏振相对于彼此具有相移。优选地，选择延迟器11，使得出现 $90^\circ$  (或 $\pi/2$ )的相位差。

[0086] 图1b示出了按预期使用时根据EP17205704.4中公开的教导的干涉仪8。干涉仪8被实施为具有单片构造的迈克尔逊干涉仪。参考干涉仪1包括发射光束5的激光光源(在图1b中未示出)。此外，提供了实施为分束器长方体的分束器3。此外，干涉仪8包括光源(图1b中未示出)，该光源发射使用光束10。使用光束10和实施为参考光束的光束5均被引导通过分束器3。可以通过反射镜6将参考光束转向到分束器上。如所述，可以提供另一种选择，使激光光源定位在反射镜6的位置并相对于使用光束10倾斜。此外，参考光束通过全内反射在分束器3的上侧61和下侧62上被引导。例如，分束器3的上侧61和/或下侧62涂布有二氧化钛。分束器的涂层代替了图1a所示的已知设备的 $\lambda/4$ 片11。此外，干涉仪8包括第一检测器7'和第二检测器7''以及用于检测被实施为参考光束的光束5和使用光束10的偏振分束器13。在这里，在第一检测器7'的上游设置有偏振分束器13，该第一检测器7'用于检测参考光束。此

外,可以提供反射镜12,特别是可移动反射镜12用以组装在分束器3上,特别是借助于直接粘接到分束器3上的反射镜壳体。反射镜12被实施为微系统技术部件(MEMS部件)。

[0087] 在所示的干涉仪中,s-偏振和p-偏振参考光束之间的相位差是通过分束器主体的上侧61和/或下侧62处的部分光束的全内反射生成的。可以通过在干涉仪臂中的上侧或下侧的涂层来设置相位差。相位差取决于延迟器层的折射率和厚度、分束器主体材料的折射率、延迟器层上的入射角以及参考光源的波长。

[0088] 图2示出了根据本发明的具有光束引导的干涉仪8的示意图。分束器3被实施为棱镜。然而,其他几何结构也是可以实现的。参考光束5、5'由虚线示出。用点划线示出了使用光束10、10'。干涉仪包括设置在光路中的分束器的上游的第一棱镜16'、以及设置在光路中的分束器的下游的第二棱镜16''。

[0089] 应该注意的是,图2示出了按预期使用时的干涉仪(8)。也就是说,参考光束5、5'和使用光束10、10'被引导通过相同的分束器3。在参考干涉仪的情况下,同样根据本发明,当按预期使用时,仅参考光束5、5'将被引导通过分束器3。

[0090] 使用光束10的光轴最初沿中心z轴延伸。在分束器层19处分离光束10之后,使用光束10的第一部分的光轴仍然在干涉仪的第一干涉仪臂2'中沿中心z轴延伸,即在第一反射镜元件12'的镜面的穿过其中心21'的表面法线上延伸。使用光束10的第二部分的光轴在第二干涉仪臂2''中沿着中心x轴延伸,即,在第二反射镜元件12''的镜面的穿过其中心21''的表面法线上延伸。

[0091] 在入射到上游棱镜16'之前,使用光束10和参考光束5的光轴是平行的。由于在斜入射面或在上游棱镜16'处的光折射,参考光束5朝着分束器主体的上侧61折射。因此,参考光束不再在分束器3内平行于x轴或z轴延伸。区域16'可设置有用于参考光束的激光波长的抗反射涂层。使用光束通过其进入分束器主体的下方区域可以设置有用于使用光束的波长范围的抗反射涂层。在分束器层处形成的参考光束的部分光束在第一和第二干涉仪臂中在公共侧面,特别是在上侧面61处均受到全内反射,并且然后入射在第一干涉仪臂2'中反射镜12'的中心21'上或第二干涉仪臂2''中反射镜12''的中心21''上。

[0092] 使用光束和参考光束的入射点在反射镜12'和12''的相应中心上在空间上重叠,以确保干涉图的最佳参考。

[0093] 在分束器层19在中心x轴上的第二次通过之后,使用光束10'从分束器主体3重新出现。

[0094] 在分束器主体3的下侧62处的全内反射之后以及在分束器面19处的反射或透射之后,参考光束离开分束器主体3。参考光束和使用光束的光轴在从分束器主体离开时尚未平行。因此,参考光束5'在光路中被下游棱镜16''反射,使得它平行于使用光束10'并因此平行于x轴对准。

[0095] 在离开分束器主体并在棱镜面16''折射后,参考光束5'被偏振分束器13分离成s-偏振和p-偏振的部分光束,其分别在检测器7'和7''上被检测。

[0096] 图3示出了根据本发明的参考干涉仪1的平面图。更精确地,图3示出了通过分束器3的参考光束5、5'的光路,在分束器3上布置了两个可移动反射镜12'、12''。分束器3,特别是分束器3的至少一个侧面,被部分地涂布有二氧化铅层14,该二氧化铅层在638nm的激光波长下的折射率为1.82。分束器3本身由折射率为1.46的熔融石英制成。参考光束5在图像中

从左侧进入分束器主体,被棱镜16'折射,并且在分束器层处被分离成两个部分光束。因此,透射部分撞击在该情况下形成在分束器主体的上侧的延迟器涂层14。在面14处发生全内反射之后,参考光束撞击反射镜12',并且随后撞击分束器主体的下侧,在此处再次受到全内反射。类似地,这同样适用于在分束器层处反射并经由分束器主体的上侧转向到反射镜12"上的部分光束。光束在分束器层19处重新统一并离开干涉仪,以便再次在棱镜16"中折射。空心圆圈表示参考光束在分束器主体上侧的入射区域。

[0097] 图4以平面图示出了根据本发明的参考干涉仪1的替代示例性实施例。它与根据图3的示例性实施例的不同之处在于,分束器主体不是提供为长方体而是提供为具有两个单独形成的干涉仪臂的L形结构。

[0098] 图5和图6分别示出了穿过根据本发明的干涉仪8的截面,图5中的截面是沿着没有延迟器层的干涉仪臂(图4中的垂直臂,截面AA)实现的。相反,图6示出了穿过具有延迟器涂层14的干涉仪臂(图4中的水平臂,截面BB)的截面。

[0099] 在图5中,上部空心圆17标记参考光束进入分束器层19的位置,以完成其在干涉仪臂的两个侧面和反射镜元件(12")上的路径。实线示出了参考光束的光轴;点划线示出了使用光束的光轴。参考光束5经由棱镜16'(未示出)的倾斜入射面进入分束器主体。在分束器层19(未示出)处反射,在上侧61处进行全内反射,在反射镜12"处进行反射,在分束器主体的下侧62处进行全内反射,并通过分束器层19(未示出)透射之后,光束再次通过棱镜面16"离开干涉仪。在离开干涉仪之后,参考光束5'与反射的使用光束10'平行地延伸。

[0100] 图6示出了透射通过分束器层19(未示出)的参考光束的一部分的光路。参考光束5经由倾斜面16'从左侧进入分束器主体,以便在干涉仪臂2'的两个侧面61、62和反射镜元件12'上完成其路径。参考光束的光轴由实线示出。该图中未显示使用光束。在延迟器层14处全内反射,在反射镜12'处反射并在下侧62处进行全内反射之后,光束再次通过分束器层19(未示出)离开光束主体。图6中的下部空心圆18标记了将参考光束转向远离分束器层并离开分束器的位置。在通过棱镜16" (未示出) 折射之后,参考光束5'与反射的使用光束(未示出)平行地延伸。由反射镜12'反射的一小部分参考光束透射通过分束器层19。该透射分量要么沿参考光源的方向离开干涉仪,要么如图所示被不透明涂层22吸收。

[0101] 图7示出了从在延迟器层14处全内反射出射的参考光束的垂直和平行(s-和p-)偏振光的相移的示例。在所示示例中,具有波长 $\lambda=638\text{nm}$ 的激光束5撞击棱镜16'的入射面,参考光束5的入射面的法线相对于参考光束5的光轴倾斜角度 $\delta$ 。光束以相对于法线约 $76.5^\circ$ 的入射角 $\alpha$ 入射在分束器3的熔融石英和二氧化铪层14之间的界面上。相移的大小可通过具有合适折射率的单层材料来控制。当激光束在分束器3的熔融石英(其折射率例如为 $n_1=1.46$ )和二氧化铪层14(其折射率例如为 $n_2=1.82$ )之间的界面处经历全内反射时,相移出现。相对于二氧化铪层14的表面法线的角度 $\beta$ 约为 $49.7^\circ$ 。从该图明显的是,二氧化铪层14采用根据图1所示的常规参考干涉仪的 $\lambda/4$ 片11的功能。多种效应有助于相移。光束5与在分束器3和二氧化铪层14之间的界面处反射的分量干涉,并与在二氧化铪层14中多次反射的分量干涉,因此累积了更大的相移。总体而言,这导致与二氧化铪层14的厚度成周期性的调制。经过全内反射的参考光束以角度 $\epsilon$ 从分束器主体离开,并在镜面(12')上与使用光束的光轴相交。

[0102] 图8示出了作为全内反射的结果的垂直和平行(s-和p-)偏振参考光束的相移的示

意图,该相移是延迟器层14的层厚度的函数。

[0103] 图9示出了如图7所示在界面处的全内反射的情况下,作为延迟器层14的厚度的函数的、参考光束的s-偏振光和p-偏振光的相位差。很明显的是,用厚度为60nm或120nm的二氧化铪层实现了 $\pi/2$ 的相移(对应于 $\lambda/4$ )。通过调整层厚度和/或层材料,对于任何衬底材料和入射角实际上可以实现任何期望的相移。

[0104] 图10中所示的数据是模拟数据,其以半分析方式手动进行了验证。用于测量的二氧化铪层的厚度为约58nm、约93nm、约121nm和约149nm。使用测试干涉仪测量了s-偏振光和p-偏振光之间的相移。图10示出了根据图9的理论值与实验值的比较。明显的是,实验值和理论值吻合良好。

[0105] 原则上,相移的精确值敏感地取决于涂层的厚度和光的入射角。在将参考干涉仪1应用于正交检测的情况下, $\lambda/4$ 的精确相移不是必不可少的; $\pm\lambda/20$ 的偏差是完全可接受的,因此与生产相关的公差也不应该代表任何困难。

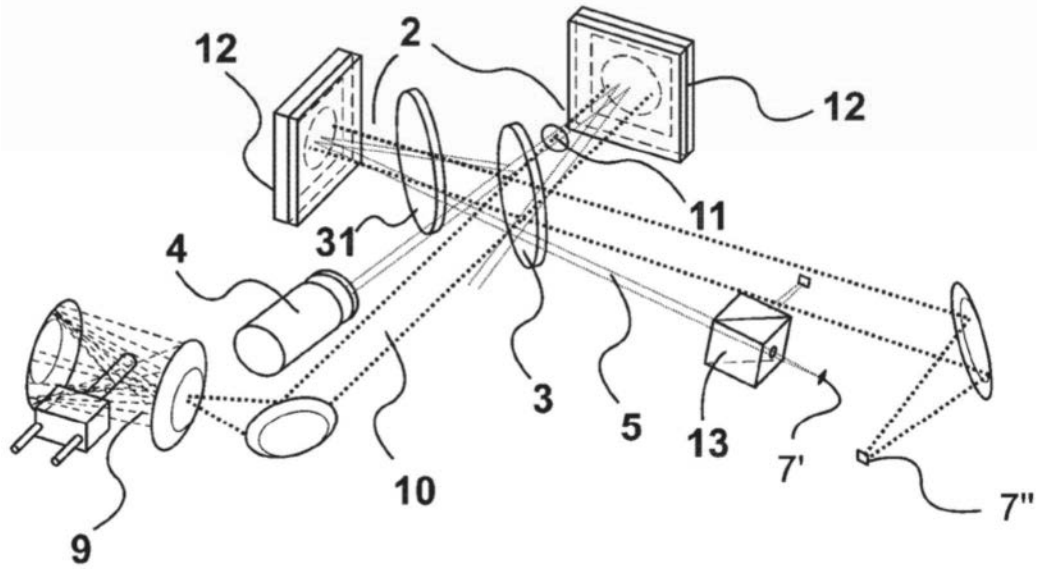


图1a

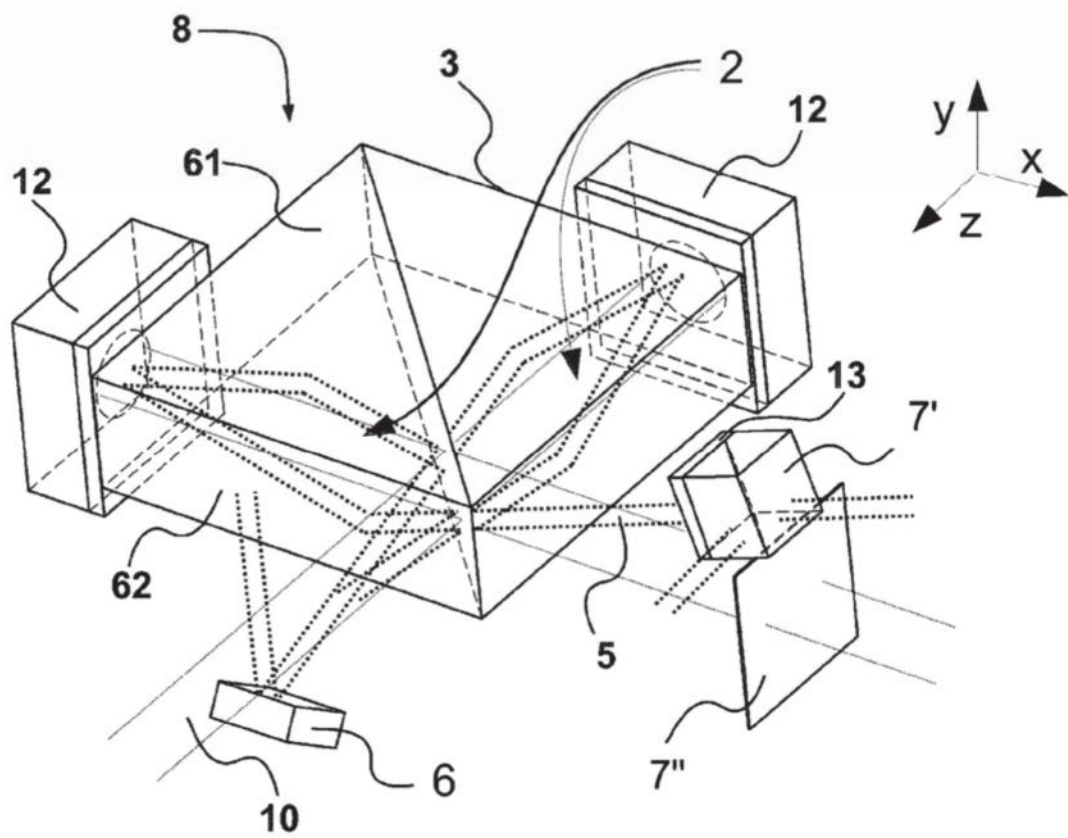


图1b

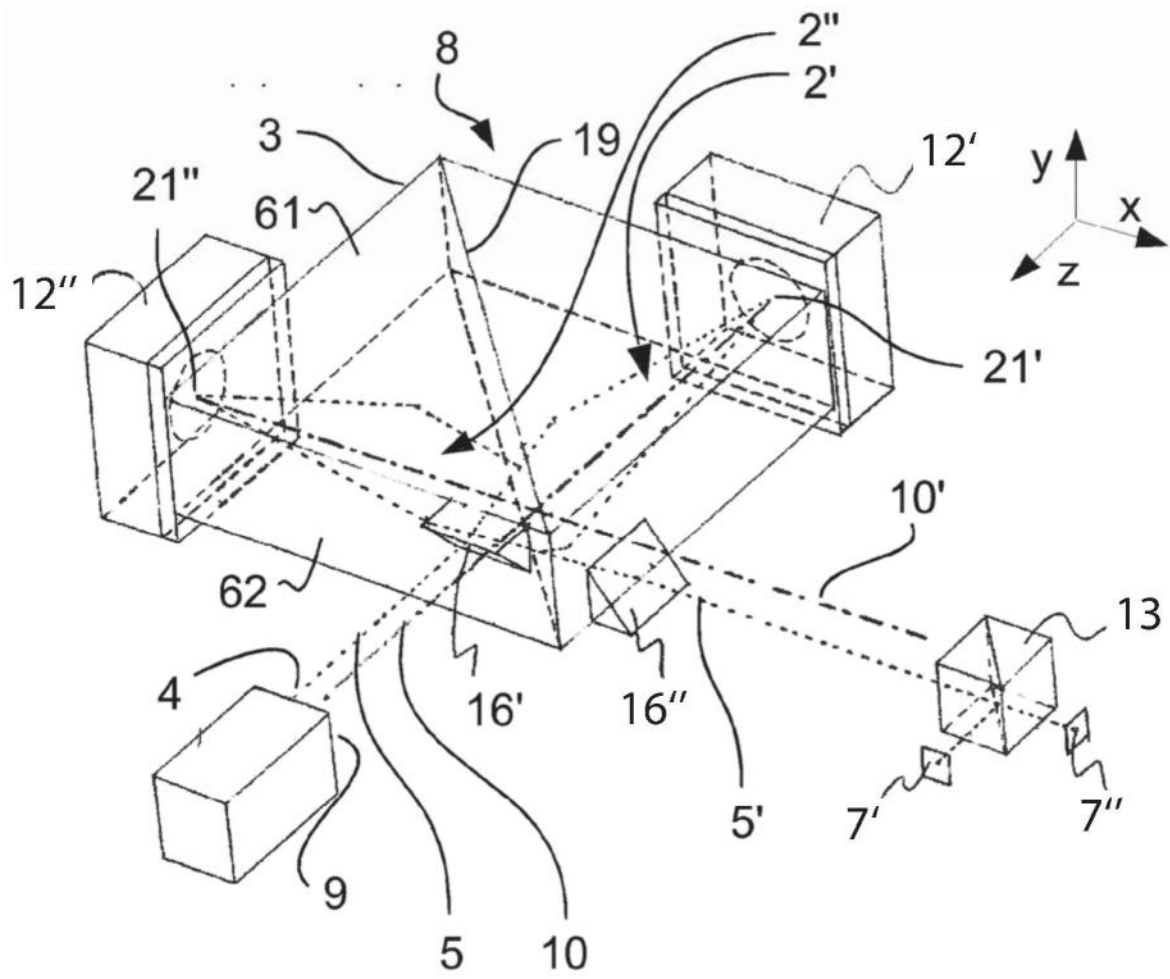


图2

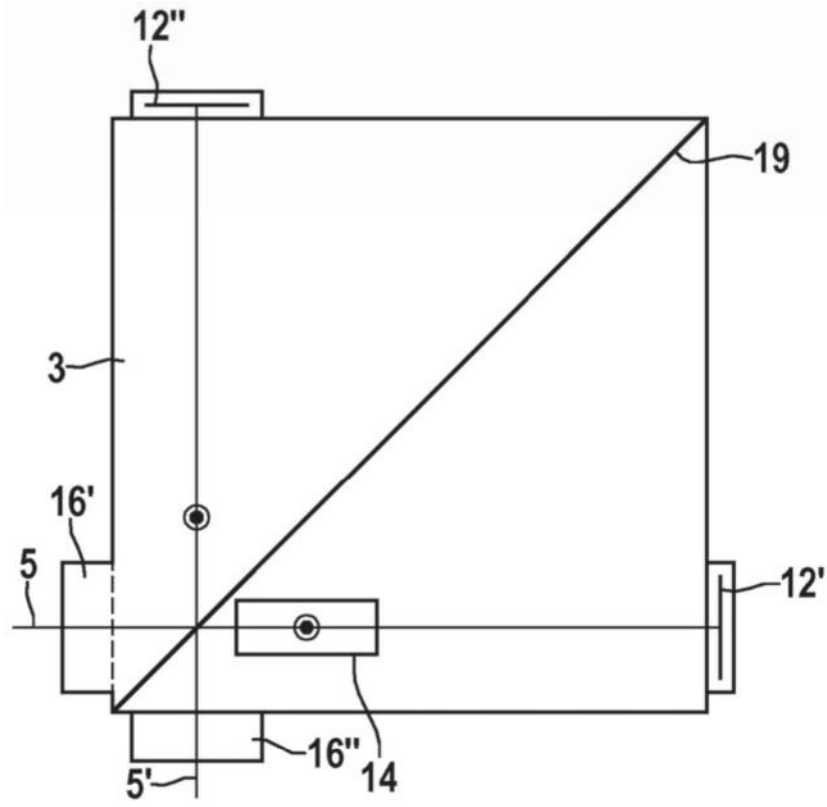


图3

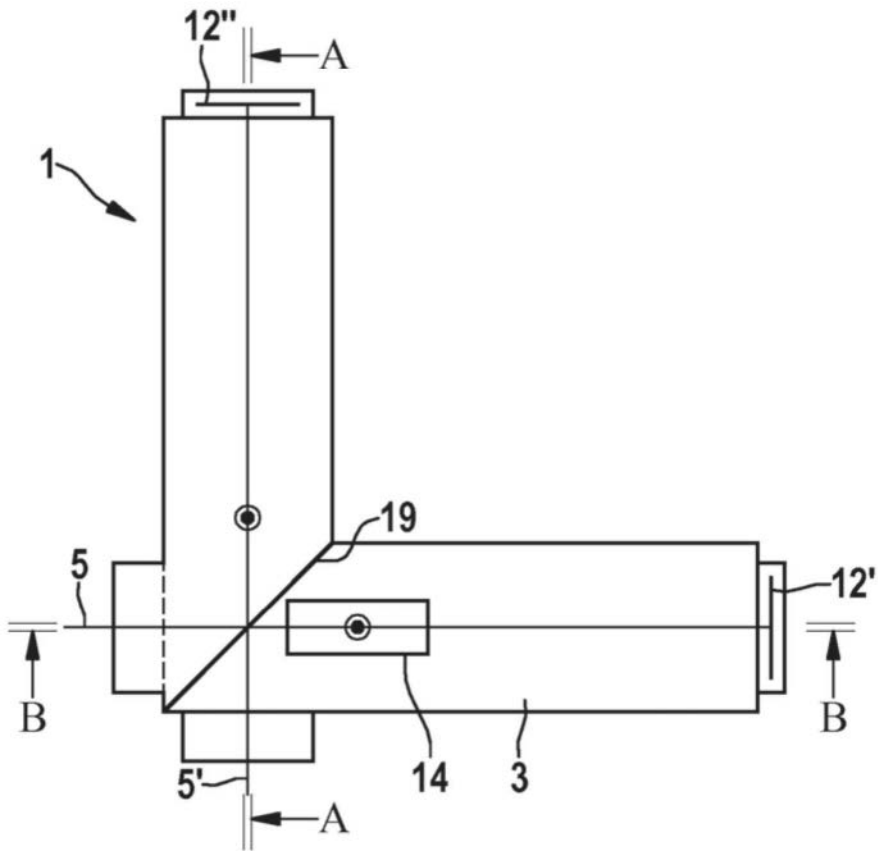


图4

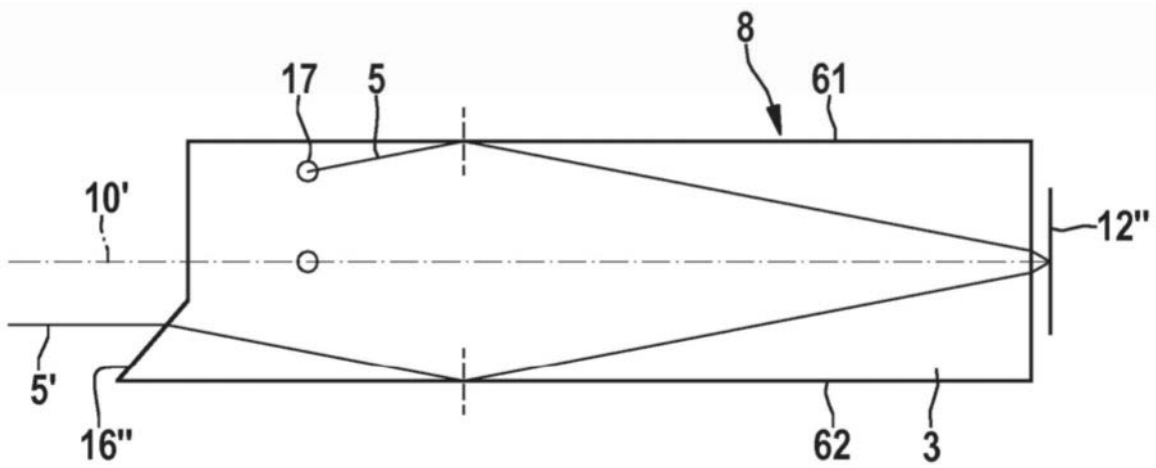


图5



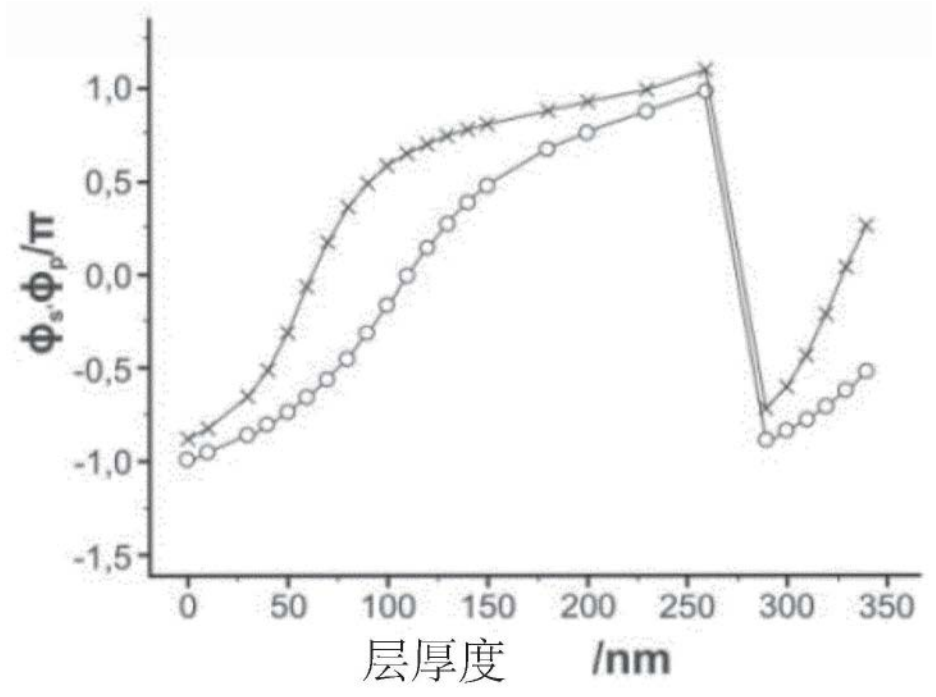


图8

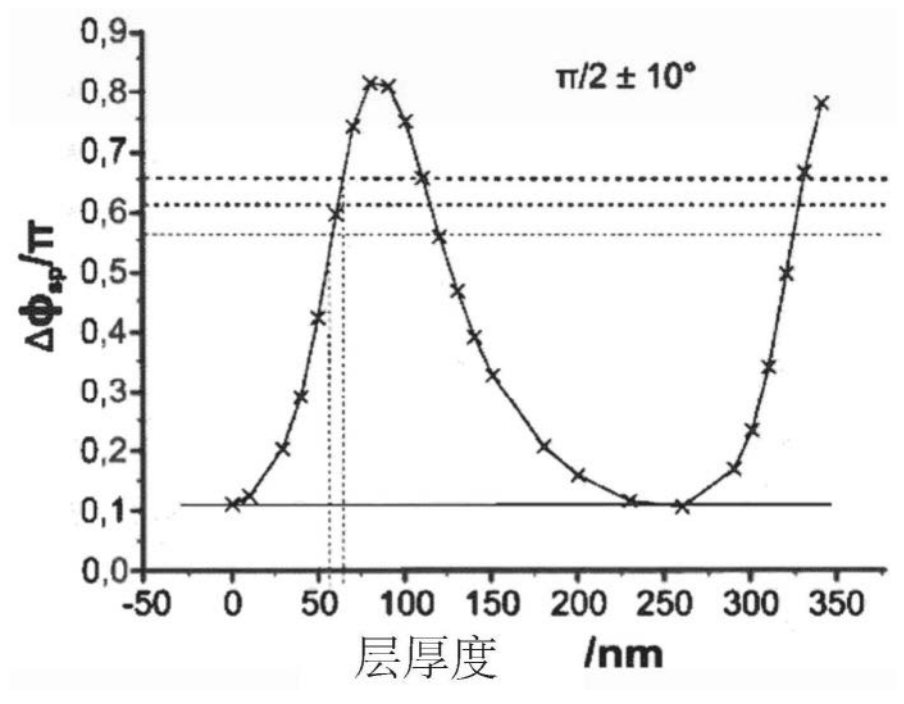


图9

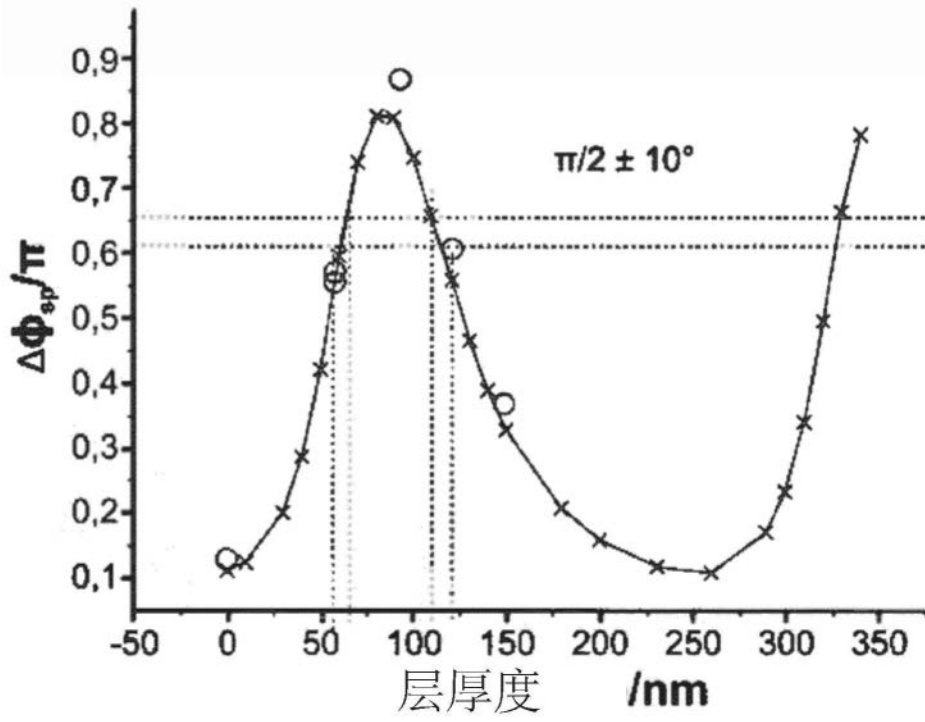


图10