



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101868688 B

(45) 授权公告日 2013. 03. 06

(21) 申请号 200880117054. 9

代理人 张涛 李家麟

(22) 申请日 2008. 10. 01

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

G01B 9/02 (2006. 01)

102007055665. 0 2007. 11. 21 DE

G01N 21/45 (2006. 01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

(56) 对比文件

2010. 05. 20

US 3734623 A, 1973. 05. 22,

(86) PCT申请的申请数据

US 5674362 A, 1997. 10. 07,

PCT/EP2008/008341 2008. 10. 01

CN 1813167 A, 2006. 08. 02,

(87) PCT申请的公布数据

CN 1483995 A, 2004. 03. 24,

W02009/065463 DE 2009. 05. 28

CN 2819171 Y, 2006. 09. 20,

(73) 专利权人 约翰尼斯海登海恩博士股份有限
公司

审查员 苏爱华

地址 德国特劳恩罗伊特

(72) 发明人 W·霍尔扎普费尔

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公
司 72001

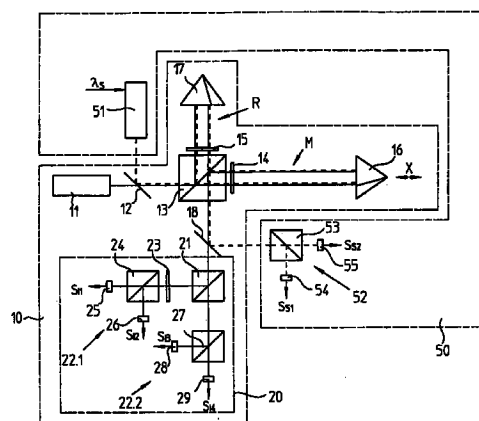
权利要求书 4 页 说明书 19 页 附图 7 页

(54) 发明名称

干涉仪设备及其运行方法

(57) 摘要

本发明涉及干涉仪设备及其运行方法。干涉仪设备包括具有干涉仪光源的干涉仪,干涉仪光源发出的辐射可分配到测量臂和参考臂中,其中测量对象被布置在测量臂中并且干涉仪提供依赖于测量对象位置的干涉仪信号。干涉仪设备还包括检测装置,用于检测测量臂和/或参考臂中的空气的折射率的波动。在此,检测装置包括光谱仪单元;光谱仪单元具有至少一个光谱仪光源以及至少一个光谱仪探测器单元。由光谱仪光源发出的射束与干涉仪光源的射束相叠加,其中光谱仪光源发出具有如下波长的辐射:该波长处于至少一种确定的空气成分的吸收线范围内。光谱仪探测器单元用于生成光谱仪信号,光谱仪信号表征空气成分在测量臂和/或参考臂中关于光谱仪光源波长的吸收。



1. 一种干涉仪设备,包括:

- 干涉仪 (10 ;100 ;1000 ;100'),具有干涉仪光源 (11 ;111 ;351),该干涉仪光源 (11 ;111 ;351) 发出的辐射能够分配到测量臂和参考臂 (M,R) 中,其中测量对象被布置在测量臂 (M) 中,并且干涉仪 (10 ;100 ;1000 ;100') 提供依赖于所述测量对象的位置的干涉仪信号 (S_{I1} - S_{I4});以及

- 检测装置,用于检测测量臂和 / 或参考臂 (M, R) 中的空气的折射率的波动;
其特征在于,

所述检测装置包括光谱仪单元 (50 ;150 ;250 ;250' ;450),其中光谱仪单元 (50 ;150 ;250 ;250' ;450) 具有至少以下部件:

- 光谱仪光源 (51 ;151 ;251 ;351 ;451),该光谱仪光源 (51 ;151 ;251 ;351 ;451) 发出的射束与干涉仪光源 (11 ;111 ;351) 的射束相叠加,并且该光谱仪光源 (51 ;151 ;251 ;351 ;451) 发出具有波长 (λ_s) 的辐射,该波长 (λ_s) 处于至少一个确定的空气成分 (ϵ) 的吸收线范围内;

- 至少一个光谱仪探测器单元 (52 ;520),用于生成光谱仪信号 (S_{S1} , S_{S2}),该光谱仪信号 (S_{S1} , S_{S2}) 表征空气成分 (ϵ) 在测量臂和 / 或参考臂 (M, R) 中关于光谱仪光源波长 (λ_s) 的吸收。

2. 根据权利要求 1 所述的干涉仪设备,其特征在于,所述检测装置进一步包括折射率确定装置 (64),该折射率确定装置 (64) 用于确定测量臂和 / 或参考臂 (M, R) 范围内的空气的标称折射率 n 。

3. 根据权利要求 1 所述的干涉仪设备,其特征在于,具有第一处理器单元 (63),在第一处理器单元 (63) 的输入侧施加光谱仪单元 (50 ;150 ;250 ;250' ;450) 的光谱仪信号 (S_{S1} , S_{S2}),其中该处理器单元 (PS) 被构造为根据所施加的光谱仪信号 (S_{S1} , S_{S2}) 确定测量臂和 / 或参考臂 (M, R) 中的空气的折射率的波动并且提供第一处理器单元 (63) 的相应的输出信号 (n_M , n_R) 以用于继续处理。

4. 根据权利要求 2 所述的干涉仪设备,其特征在于,具有第一处理器单元 (63),在第一处理器单元 (63) 的输入侧施加光谱仪单元 (50 ;150 ;250 ;250' ;450) 的光谱仪信号 (S_{S1} , S_{S2}),其中该处理器单元 (PS) 被构造为根据所施加的光谱仪信号 (S_{S1} , S_{S2}) 确定测量臂和 / 或参考臂 (M, R) 中的空气的折射率的波动并且提供第一处理器单元 (63) 的相应的输出信号 (n_M , n_R) 以用于继续处理。

5. 根据权利要求 4 所述的干涉仪设备,其特征在于,在第一处理器单元 (63) 上附加地施加折射率确定装置 (64) 的输出信号 (RH_0 , T_0 , p_0),并且第一处理器单元 (63) 被构造为根据所施加的信号 (S_{S1} , S_{S2} ; RH_0 , T_0 , p_0) 确定测量臂和 / 或参考臂 (M, R) 范围内的平均折射率 (n_M , n_R) 并且提供第一处理器单元 (63) 的相应的输出信号 (n_M , n_R) 以用于继续处理。

6. 根据权利要求 3 至 5 之一所述的干涉仪设备,其特征在于,具有修正单元 (66),在修正单元 (66) 的输入侧施加第一处理器单元 (63) 关于测量臂和 / 或参考臂 (M, R) 中的折射率的输出信号 (n_M , n_R) 以及第二处理器单元 (65) 关于光学光程差 (OPD) 的输出信号,所述光学光程差 (OPD) 由第二处理器单元 (65) 根据所施加的干涉仪信号 (S_{I1} - S_{I4}) 确定,其中修正单元 (66) 被构造为根据第一处理器单元 (63) 关于测量臂和 / 或参考臂 (M, R) 中折射率的输出信号 (n_M , n_R) 确定有效折射率 (n_{eff}) 并且结合光学光程差 (OPD) 处理该有效折

射率 (n_{eff}), 并且在输出侧提供关于测量臂 (M) 中的测量对象位置的经过修正的位置信号 (GPD)。

7. 根据权利要求 3 至 5 之一所述的干涉仪设备, 其特征在于, 第一处理器单元 (63) 被构造为对光谱仪光源 (51 ; 151 ; 251 ; 351 ; 451) 的波长 (λ_s) 在被确定吸收特性的至少一个空气成分 (ϵ) 的至少一个吸收线的范围内进行连续调谐。

8. 根据权利要求 3 至 5 之一所述的干涉仪设备, 其特征在于, 第一处理器单元 (63) 被构造为对法布里 - 珀罗干涉仪在被确定吸收特性的至少一个空气成分 (ϵ) 的至少一个吸收线的范围内进行连续调谐, 其中所述法布里 - 珀罗干涉仪被布置在光谱仪探测器单元 (52 ; 520) 一侧。

9. 根据权利要求 7 所述的干涉仪设备, 其特征在于, 第一处理器单元 (63) 被构造为将光谱仪光源 (51 ; 151 ; 251 ; 351 ; 451) 的连续调谐范围的中心波长调节为或者将所述法布里 - 珀罗干涉仪连续调谐为: 使得所述中心波长与被确定吸收特性的空气成分 (ϵ) 的最大吸收相距固定的距离。

10. 根据权利要求 1 至 5 之一所述的干涉仪设备, 其特征在于, 所述干涉仪 (10 ; 100 ; 1000 ; 100') 和所述光谱仪单元 (50 ; 150 ; 250 ; 250' ; 450) 具有共同的光源。

11. 根据权利要求 1 所述的干涉仪设备, 其特征在于, 在光谱仪单元 (50 ; 150 ; 250 ; 250' ; 450) 的光路中布置有如下的光学元件: 所述光学元件多次沿着干涉仪 (10 ; 100 ; 1000 ; 100') 的测量臂和 / 或参考臂 (M, R) 引导光谱仪光源 (51 ; 151 ; 251 ; 351 ; 451) 的射束

12. 根据权利要求 9 所述的干涉仪设备, 其特征在于, 第一处理器单元 (63) 被构造为周期性地对光谱仪光源 (51 ; 151 ; 251 ; 351 ; 451) 的波长 (λ_s) 在连续调谐范围内进行连续调谐, 其中连续调谐的周期在时间上比测量臂和 / 或参考臂 (M, R) 中的折射率的典型波动短。

13. 根据权利要求 1 所述的干涉仪设备, 其特征在于, 光谱仪光源 (51 ; 151 ; 251 ; 351 ; 451) 的波长 (λ_s) 处于至少一种下列空气成分中的至少一个吸收线的范围内: N_2 、 O_2 、 CO_2 、 H_2O 。

14. 根据权利要求 13 所述的干涉仪设备, 其特征在于, 光谱仪光源 (51 ; 151 ; 251 ; 351 ; 451) 的波长 (λ_s) 至少处于水 (H_2O) 和另外一种空气成分 (ϵ) 的吸收线的范围内。

15. 根据权利要求 1 所述的干涉仪设备, 其特征在于, 检测多个具有显著不同的吸收温度系数的吸收线。

16. 根据权利要求 1 所述的干涉仪设备, 其特征在于, 光谱仪光源 (51 ; 151 ; 251 ; 351 ; 451) 的光谱宽度比吸收线的光谱宽度小或者能够与吸收线的光谱宽度相比。

17. 根据权利要求 3 至 5 之一所述的干涉仪设备, 其特征在于, 第一处理器单元 (63) 根据施加在输入侧的光谱仪信号 (S_{s1} , S_{s2}) 形成吸收线中心处的吸收与该吸收线的外部区域中的吸收的吸收差值, 该吸收差值然后能够被用于确定折射率。

18. 根据权利要求 3 至 5 之一所述的干涉仪设备, 其特征在于, 第一处理器单元 (63) 根据施加在输入侧的光谱仪信号 (S_{s1} , S_{s2}) 确定吸收线的光谱宽度。

19. 根据权利要求 1 所述的干涉仪设备, 其特征在于, 所述干涉仪 (10 ; 100 ; 1000 ; 100') 具有干涉仪探测器单元 (20 ; 120 ; 2000), 该干涉仪探测器单元 (20 ; 120 ; 2000) 具有多个用于生成所述测量对象在各个测量点处的多个位置信号的干涉仪探测器元件 (25, 26,

28, 29 ; 125, 126, 128, 129 ; 2500, 2600, 2800, 2900), 并且光谱仪探测器单元 (52 ; 520) 也包括多个用于检测所述测量臂和 / 或参考臂 (M, R) 中的空气成分 (ϵ) 的吸收的光谱仪探测器元件 (54, 55 ; 154 ; 454, 455, 540, 550)。

20. 根据权利要求 19 所述的干涉仪设备, 其特征在于, 所述干涉仪探测器元件 (25, 26, 28, 29 ; 125, 126, 128, 129 ; 2500, 2600, 2800, 2900) 和所述光谱仪探测器元件 (54, 55 ; 154 ; 454, 455, 540, 550) 分别被构造为探测器阵列。

21. 根据权利要求 1 所述的干涉仪设备, 其特征在于, 所述干涉仪 (10 ; 100 ; 1000 ; 100') 被构造为迈克尔逊干涉仪、或者法布里 - 珀罗干涉仪、或者 Fizeau 干涉仪、或者 Twyman-Green 干涉仪、或者散斑干涉仪。

22. 根据权利要求 1 所述的干涉仪设备, 其特征在于, 所述光谱仪探测器单元 (52 ; 520) 包含能够连续调谐的法布里 - 珀罗干涉仪。

23. 根据权利要求 1 所述的干涉仪设备, 其特征在于, 所述光谱仪光源 (51 ; 151 ; 251 ; 351 ; 451) 被构造为 DFB 激光器或者外腔激光器。

24. 根据权利要求 2 所述的干涉仪设备, 其特征在于, 所述折射率确定装置 (64) 包括: 一个或多个传感器 (B64. 1, 64. 2, 64. 3), 用于确定空气参数; 和 / 或具有已知测量段的参考干涉仪, 用于确定测量臂和 / 或参考臂中的空气的平均折射率。

25. 一种用于运行干涉仪设备的方法, 所述干涉仪设备包括:

- 干涉仪 (10 ; 100 ; 1000 ; 100'), 具有干涉仪光源 (11 ; 111 ; 351), 该干涉仪光源 (11 ; 111 ; 351) 发出的辐射分配到测量臂中以及参考臂中, 其中测量对象被布置在测量臂中, 并且干涉仪 (10 ; 100 ; 1000 ; 100') 提供依赖于所述测量对象的位置的干涉仪信号; 以及

- 检测装置, 通过该检测装置来检测所述测量臂和 / 或参考臂 (M, R) 中的空气的折射率的波动;

其特征在于,

所述检测装置包括光谱仪单元 (50 ; 150 ; 250 ; 250' ; 450), 其中

- 由光谱仪光源 (51 ; 151 ; 251 ; 351 ; 451) 发出具有如下波长的辐射: 该波长处于至少一种空气成分的吸收线的范围内, 并且由光谱仪光源 (51 ; 151 ; 251 ; 351 ; 451) 发出的射束与干涉仪光源 (11 ; 111 ; 351) 的射束相叠加; 以及

- 通过至少一个光谱仪探测器单元 (52 ; 520) 生成光谱仪信号 (S_{S1} , S_{S2}), 所述光谱仪信号 (S_{S1} , S_{S2}) 表征所述空气成分 (ϵ) 在测量臂和 / 或参考臂 (M, R) 中关于光谱仪光源波长 (λ_s) 的吸收。

26. 根据权利要求 25 所述的方法, 其特征在于, 所述检测装置进一步包括折射率确定装置 (64), 通过所述折射率确定装置 (64) 来确定测量臂和 / 或参考臂 (M, R) 范围内的空气的标称折射率 n 。

27. 根据权利要求 25 所述的方法, 其特征在于, 根据光谱仪信号 (S_{S1} , S_{S2}) 确定测量臂和 / 或参考臂 (M, R) 中的空气的折射率的波动, 并且提供相应的信号以用于继续处理。

28. 根据权利要求 26 或 27 所述的方法, 其特征在于, 确定测量臂和 / 或参考臂 (M, R) 范围内的平均折射率, 并且提供相应的信号以用于继续处理。

29. 根据权利要求 27 所述的方法, 其特征在于, 根据关于测量臂和 / 或参考臂 (M, R) 中的折射率的信号 (S_{S1} , S_{S2}) 确定有效折射率 (n_{eff}), 并且结合根据干涉仪信号 (S_{I1} - S_{I4}) 确定

的光学光程差 (OPD) 来处理该有效折射率 (n_{eff}), 并且提供关于测量臂 (M) 中的测量对象位置的经过修正的位置信号 (GPD) 以用于继续处理。

30. 根据权利要求 26 或 27 所述的方法, 其特征在于, 光谱仪光源 (51 ; 151 ; 251 ; 351 ; 451) 的波长 (λ_s) 在被确定吸收特性或色散特性的至少一种空气成分 (ϵ) 的至少一个吸收线的范围内被连续调谐。

31. 根据权利要求 26 或 27 所述的方法, 其特征在于, 对法布里 - 珀罗干涉仪在被确定吸收特性或色散特性的至少一种空气成分 (ϵ) 的至少一个吸收线的范围内进行连续调谐, 其中所述法布里 - 珀罗干涉仪被布置在光谱仪探测器单元 (52 ; 520) 一侧。

32. 根据权利要求 30 所述的方法, 其特征在于, 将光谱仪光源 (51 ; 151 ; 251 ; 351 ; 451) 的连续调谐范围的中心波长调节为使得所述中心波长与被确定吸收特性或色散特性的空气成分 (ϵ) 的最大吸收相距固定的距离。

33. 根据权利要求 32 所述的方法, 其特征在于, 周期性地对光谱仪光源 (51 ; 151 ; 251 ; 351 ; 451) 的波长在连续调谐范围内进行连续调谐, 其中所述连续调谐周期在时间上比测量臂和 / 或参考臂 (M, R) 中的折射率的典型波动短。

34. 根据权利要求 27 所述的方法, 其特征在于, 根据光谱仪信号 (S_{s1} , S_{s2}) 形成吸收线中心处的吸收与该吸收线的外部区域中的吸收的吸收差值, 该吸收差值然后被用于确定折射率。

35. 根据权利要求 27 所述的方法, 其特征在于, 根据光谱仪信号 (S_{s1} , S_{s2}) 确定吸收线的光谱宽度。

干涉仪设备及其运行方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种干涉仪设备及其运行方法。

背景技术

[0002] 在借助于干涉仪进行长度测量的情况下,所使用的激光辐射在空气中的波长用作测量标准或度量用具。该波长在后面被称为光波长。该光波长依赖于特定的环境参数,例如温度、压力、湿度以及具体的气体组成。因此,正确的长度测量需要知道正确的光波长以及在测量期间补偿环境影响。

[0003] 因此,测量段和/或参考段处于空气中的激光干涉仪经历由空气的局部折射率波动所引起的明显的测量波动。由此,这样的激光干涉仪的稳定性、可再现性以及精确度被限制在相对于测量段的 $1 \cdot 10^{-6}$ (车间条件) 至 $1 \cdot 10^{-7}$ (良好的实验室条件)。由于最强的波动处于频域 0-10Hz 的范围中,所以这些最强的波动还对在相对较短时间内执行的测量产生不利影响。因此,不再能够满足目前电子工业和半导体工业中对长度测量的稳定性和可再现性的要求。典型地,所述要求处于在几分钟的时间间隔内的 $1 \cdot 10^{-8}$ 至 $1 \cdot 10^{-9}$ 的范围(即在 20cm 的平均测量段的情况下为 0.2nm 至 2nm) 中。

[0004] 为了检测和补偿空气中的这种折射率波动,迄今为止已经公知有一系列解决方案。

[0005] 在第一变型方案中,借助于合适的传感器检测各个环境参数-如空气温度、空气压力以及空气湿度,并且通过所谓的 Edlen 公式确定经过修正的或有效的光波长。例如在 Jens Flüge 的博士论文“Vergleichende Untersuchungen zur messtechnischen **Leistungsfähigkeit** von Laserinterferometern und inkrementellen Maßstabmesssystemen”, RWTH Aachen (D82), 1996 年 2 月, ISBN3-89429-683-6, 第 13-14 页中描述有这样的方法。这种方法的缺点是,仅在离散点处以及仅仅在光学测量轴附近确定关于环境条件的各个参数。因此,这些参数沿着测量轴的精确变化曲线仅仅被近似地检测,由此又造成在确定有效光波长时的不精确性、进而造成在实际长度测量时的不精确性。另外,各个传感器一般具有显著的响应时间,使得这些参数沿着测量轴可能出现的短时波动同样不能被正确地检测。由于这些不足,该用于在空气中在干涉长度测量的情况下检测和补偿折射率波动的变型方案的精确度被认为是有限的。

[0006] 第二变型方案规定:借助于折射计确定空气波长。在上面已经提到的 Jens Flüge 的博士论文“Vergleichende Untersuchungen zur messtechnischen **Leistungsfähigkeit** von Laserinterferometern und inkrementellen Maßstabmesssystemen”, RWTH Aachen (D82), 1996 年 2 月, ISBN 3-89429-683-6, 第 15-16 页中也描述有这样的方法。在此,产生与在第一变型方案的情况下原理相同的问题;此外,该方法成本相对较高,由此应被归为昂贵的一类。

[0007] 最后,从 US 6,501,550 中公知有用于修正干涉测量方法中的光波长的第三变型方案,该变型方案为此设置有一种声光干涉仪设备。借助于声发送器和声接收器求得声沿

着测量轴的传播时间并且确定声速,所使用的方式是将所测量的声传播时间与通过光学干涉仪测量得知的位置相关联。由于声速又以已知的方式依赖于主要的环境条件,所以可以通过相应的修正函数来确定沿着测量轴的当前平均空气温度。然后,借助于 Edlen 公式等,这样确定的空气温度又作为开头已经描述的方法的输入量被用于确定平均的光波长。该方法可列举的优点是:沿着测量轴被取平均的声速被用作引入到修正中的测量量 (**Messgröße**)。因此,沿着测量轴的可能的温度波动同样可以被补偿。然而,在此的缺点是:由于明显更大的声波波长 (2-5mm) 以及与此相关联的较强的衍射效应,声波的横向扩展是光波的 20-100 倍。由此导致该方法的两个关键性的缺点:首先,在相邻机器零件处的几乎不可避免的声反射和声偏转导致使超声测量的测量结果失真的干扰信号。其次,超声检测明显更大的处于测量轴周围的空气体积,使得处于干涉仪的光波之外的空气温度波动同样造成测量误差。

[0008] 最后,在第四变型方案(后面被称为多波长干涉法)中,可以通过使用多个波长来进行真空波长的修正。为此将空气的色散特性 (Dispersionsverhalten) 用于该修正。例如,关于这样的方法可以参阅 US 5,404,222 或者 US 5,764,362,这两个文献详细地公开有相应的方法。环境补偿的干涉测量方法的该第四变型方案的缺点被认为是:高度精确的激光光源所需的光学倍频造成相对较高的成本。另外,在对空气的色散特性进行必要的确定时必须始终考虑到显著的测量不可靠性,因为所利用的色散效应非常小。因此,通过该方法仅能轻微地减小测量波动。

发明内容

[0009] 本发明的任务是提供一种干涉仪设备及其运行方法,通过所述干涉仪设备和所述方法来保证改善的测量精确度。在此,尤其是将在无需高成本的情况下尽可能精密地检测空气中可能的折射率波动。

[0010] 根据本发明,第一子任务通过具有权利要求 1 的特征的干涉仪设备来解决。

[0011] 从权利要求 1 的从属权利要求中的措施得出根据本发明的干涉仪设备的有利实施方式。

[0012] 根据本发明,第二子任务通过具有权利要求 24 的特征的用于运行干涉仪设备的方法来解决。

[0013] 从权利要求 24 的从属权利要求中得出根据本发明的用于运行干涉仪设备的方法的有利实施方式。

[0014] 根据本发明,现在规定:通过光谱方法确定测量臂和 / 或参考臂中的空气的平均折射率的波动。在此,借助于合适的检测装置以测量技术来确定空气成分沿着测量段和 / 或参考段的吸收,所述吸收由于均匀的空气组成而表示相应空气柱的密度或平均温度的间接度量。在此,所检测的空气柱与干涉仪设备的空气柱一致。通过其它检测装置所检测到的平均折射率可以通过以短的时间间隔获得的关于所述吸收的测量值被适当地修正。因此通过这种方式,可以补偿空气柱的主要由局部温度波动引起的平均折射率波动。相对于现有技术的方法,根据本发明的干涉仪设备的测量精确度可以被显著提高。

[0015] 根据本发明的干涉仪设备包括具有干涉仪光源的干涉仪,所述干涉仪光源发出的辐射可以分配到测量臂和参考臂中,其中测量对象被布置在测量臂中,并且所述干涉仪提

供依赖于所述测量对象的位置的干涉仪信号。另外,所述干涉仪设备还包括检测装置,所述检测装置用于检测测量臂和 / 或参考臂中的空气的折射率的波动。所述检测装置进而包括光谱仪单元,其中所述光谱仪单元具有至少一个光谱仪光源和光谱仪探测器单元。由所述光谱仪光源发出的射束与所述干涉仪光源的射束相叠加;所述光谱仪光源发出具有如下波长的辐射:该波长处于至少一个特定的空气成分的吸收线范围内。通过所述光谱仪探测器单元生成光谱仪信号,所述光谱仪信号表征所述空气成分在测量臂和 / 或参考臂中关于光谱仪光源波长的吸收。

[0016] 另外,所述检测装置有利地包括折射率确定装置,该折射率确定装置用于确定测量臂和 / 或参考臂范围内的空气的标称折射率 $n(T_0, p_0, RH_0)$ 。

[0017] 在可能的变型方案中,设置有第一处理器单元,在该第一处理器单元的输入侧施加有所述光谱仪单元的光谱仪信号,其中所述处理器单元被构造为根据所施加的光谱仪信号确定测量臂和 / 或参考臂中的空气的折射率波动并且提供第一处理器单元的相应的输出信号以用于继续处理。

[0018] 在此可能的是,在第一处理器单元上附加地施加所述折射率确定装置的输出信号,并且第一处理器单元被构造为根据所施加的信号确定测量臂和 / 或参考臂范围内的平均折射率并且提供第一处理器单元的相应的输出信号以用于继续处理。

[0019] 另外还可能的是,设置一种修正单元,在所述修正单元的输入侧施加有第一处理器单元的关于测量臂和 / 或参考臂中的折射率的输出信号、以及第二处理器单元的关于光学光程差的输出信号,所述光学光程差由第二处理器单元根据所施加的干涉仪信号确定,其中所述修正单元被构造为根据第一处理器单元的关于测量臂和 / 或参考臂中折射率的输出信号确定有效折射率并且结合所述光学光程差处理所述有效折射率,并且在输出侧提供关于测量臂中的测量对象的位置的经过修正的位置信号。

[0020] 例如,第一处理器单元可以被构造为对光谱仪光源的波长在要确定吸收特性的至少一个空气成分的至少一个吸收线的范围内进行连续调谐。

[0021] 可替代地,第一处理器单元也可以被构造为对法布里 - 珀罗 (Fabry-Perot) 干涉仪在要确定吸收特性的至少一个空气成分的至少一个吸收线的范围内进行连续调谐,其中所述法布里 - 珀罗干涉仪被布置在所述光谱仪探测器单元一侧。

[0022] 在此,第一处理器单元可以被构造为将所述光谱仪光源的连续调谐范围的中心波长调节为或者将法布里 - 珀罗干涉仪连续调谐为使得所述中心波长与要确定吸收特性的那个空气成分的最大吸收相距固定的距离。

[0023] 另外还可能的是,所述干涉仪和光谱仪单元具有共同的光源。

[0024] 在所述光谱仪单元的光路中可以布置如下的光学元件:这些光学元件沿着所述干涉仪的测量臂和 / 或参考臂多次引导所述光谱仪光源的射束。

[0025] 第一处理器单元可以被构造为周期性地对所述光谱仪光源的波长在连续调谐范围内进行连续调谐,其中所述连续调谐周期在时间上比测量臂和 / 或参考臂中的折射率的典型波动更短。

[0026] 所述光谱仪光源的波长优选地处于下列至少一种空气成分中的至少一个吸收线的范围内: N_2 、 O_2 、 CO_2 、 H_2O 。

[0027] 在此,所述光谱仪光源的波长有利地至少处于水和另外的空气成分的吸收线的范

围内。

[0028] 另外可能的还有,利用吸收的显著不同的温度系数对多个吸收线进行检测。在可能的变型方案中,所述光谱仪光源的光谱宽度比吸收线的光谱宽度小或者与吸收线的光谱宽度可相比。

[0029] 第一处理器单元有利地根据施加在输入侧的光谱仪信号形成吸收线的中心处的吸收与处于所述吸收线之外部区域的吸收的吸收差,所述吸收差然后可以被用于确定折射率。

[0030] 此外可能的是,第一处理器单元根据施加在输入侧的光谱仪信号确定吸收线的光谱宽度。

[0031] 所述干涉仪例如具有干涉仪探测器单元,所述干涉仪探测器单元具有多个用于在所述至少一个测量对象的各个测量点处生成多个位置信号的干涉仪探测器元件,并且所述光谱仪探测器单元也包括多个用于检测所属的测量臂和 / 或参考臂中的空气成分的吸收的光谱仪探测器元件。

[0032] 在此,所述干涉仪探测器元件和所述光谱仪探测器元件可以分别被构造为探测器阵列。

[0033] 此外可能的是,将所述干涉仪构造为迈克尔逊 (Michelson) 干涉仪、法布里 - 珀罗干涉仪、Fizeau 干涉仪、Twyman-Green 干涉仪、或者散斑干涉仪。

[0034] 另外,例如所述光谱仪探测器单元还可以包含可连续调谐的法布里 - 珀罗干涉仪。

[0035] 所述光谱仪光源可以优选地被构造为 DFB 激光器或者外腔激光器。

[0036] 所述折射率确定装置可以包括:一个或多个传感器,用于确定空气参数;和 / 或具有已知的测量段的参考干涉仪,用于确定测量臂和 / 或参考臂中的空气的平均折射率。

[0037] 在根据本发明的用于运行干涉仪设备的方法的范围内,所述干涉仪设备包括具有干涉仪光源的干涉仪,所述干涉仪光源发出的辐射分配到测量臂以及参考臂中,其中测量对象被布置在测量臂中,并且所述干涉仪提供依赖于所述测量对象的位置的干涉仪信号。另外,通过检测装置来检测测量臂和 / 或参考臂中的空气的折射率的波动。在此,所述检测装置包括光谱仪单元,其中由光谱仪光源发出具有如下波长的辐射:所述波长处于至少一个空气成分的吸收线的范围内,并且由所述光谱仪光源发出的射束与所述干涉仪光源的射束相叠加。通过至少一个光谱仪探测器单元生成光谱仪信号,所述光谱仪信号表征所述空气成分在测量臂和 / 或参考臂中关于光谱仪光源波长的吸收。

[0038] 另外,所述检测装置可以包括折射率确定装置,其中通过所述折射率确定装置来确定测量臂和 / 或参考臂范围内的空气的标称折射率 $n(T_0, p_0, RH_0)$ 。

[0039] 在此,可以根据光谱仪信号确定测量臂和 / 或参考臂中的空气的折射率的波动,并且提供相应的信号以用于继续处理。

[0040] 例如,可以测量测量臂和 / 或参考臂范围内的平均折射率,并且提供相应的信号以用于继续处理。

[0041] 可能的是,根据关于测量臂和 / 或参考臂中的折射率的信号确定有效折射率,并且结合根据所述干涉仪信号确定的光学光程差来处理所述有效折射率,并且提供关于测量臂 M 中的测量对象的位置的经过修正的位置信号以用于继续处理。

[0042] 在此,所述光谱仪光源的波长可以在要确定吸收特性或色散特性的至少一个空气成分的至少一个吸收线的范围内被连续调谐。

[0043] 另外,可以对法布里-珀罗干涉仪在要确定吸收特性或色散特性的至少一个空气成分的至少一个吸收线的范围内进行连续调谐,其中所述法布里-珀罗干涉仪被布置在所述光谱仪探测器单元一侧。

[0044] 可能的例如还有,将所述光谱仪光源的连续调谐范围的中心波长调节为使得所述中心波长与要确定吸收特性或色散特性的空气成分的吸收最大值相距固定的距离。

[0045] 此外可能的还有:周期性地对所述光谱仪光源的波长在连续调谐范围内进行连续调谐,其中所述连续调谐周期在时间上比测量臂和/或参考臂中的折射率的典型波动更短。

[0046] 例如可以根据光谱仪信号形成吸收线中心处的吸收与处于所述吸收线之外部区域的吸收的吸收差,所述吸收差然后可以被用于确定折射率。

[0047] 另外,可以根据光谱仪信号确定吸收线的光谱宽度。

附图说明

[0048] 结合附图,根据下面对实施例的描述来阐述本发明的其它细节和优点。

[0049] 图 1 示出吸收线范围内的吸收特性和色散特性的图示;

[0050] 图 2a 示出根据本发明的干涉仪设备的第一实施方式的示意图;

[0051] 图 2b 示出用于阐述来自图 2a 的根据本发明的干涉仪设备的信号处理的示意图;

[0052] 图 3a 示出根据本发明的干涉仪设备的第二实施方式的示意图;

[0053] 图 3b 示出用于阐述来自图 3a 的根据本发明的干涉仪设备的信号处理的示意图;

[0054] 图 4 示出根据本发明的干涉仪设备的第三实施方式的示意图;

[0055] 图 5 示出根据本发明的干涉仪设备的第四实施方式的示意图;

[0056] 图 6 示出根据本发明的干涉仪设备的第五实施方式的示意图;

[0057] 图 7 示出根据本发明的干涉仪设备的第六实施方式的示意图;

具体实施方式

[0058] 在根据各个附图对根据本发明的干涉仪设备的具体实施方式进行描述以前,下面首先阐述本发明的基本理论基础。

[0059] 理论基础

[0060] 公知的干涉仪测量测量段 MS 与参考段 RS 之间的光学光程差 OPD。在此,激光光源的射束沿着测量光路 MSW 经过测量段 MS,并且沿着参考光路 RSW 经过参考段 RS。在此,仅仅考虑空气路程 (Luftweg),因为诸如分束器和三棱镜之类的光学器件中的附加光程在测量光路和参考光路中通常是长度相等的,并且因此被补偿。因此有下式适用:

$$[0061] \quad OPD = \int_{MSW} n(x)dl - \int_{RSW} n(x)dl \quad (\text{等式 } 1)$$

[0062] 干涉仪将在输出端输出测量光路 MSW 的长度 L_{MSW} 与参考光路 RSW 的长度 L_{RSW} 之间的几何光程差 GPD 的测量量或度量 $GPD = L_{MSW} - L_{RSW}$ 。因此为了能够从光学光程差 OPD 推测出几何光程差 GPD,必须利用如下等式确定修正因子 $1/n_{eff}$:

[0063] $GPD = OPD/n_{eff}$ (等式 2)

[0064] 有效折射率 n_{eff} 可以根据沿着光路 MSW 以及 RSW 的平均折射率 n_M 和 n_R 来确定：

$$[0065] \quad n_{eff} = \frac{OPD}{GPD} = n_M \cdot \frac{1}{1 - L_{RSW} / L_{MSW}} + n_R \cdot \frac{1}{1 - L_{MSW} / L_{RSW}} \quad (\text{等式 3})$$

[0066] 其中：

$$[0067] \quad n_M = \frac{1}{L_{MSW}} \int_{MSW} n(x) dl$$

$$[0068] \quad n_R = \frac{1}{L_{RSW}} \int_{RSW} n(x) dl \quad (\text{等式 4})$$

[0069] 在等式 3 和 4 中, 使用 L_{MSW} 和 L_{RSW} 的估计值就足够了, 例如可以使用诸如未经修正的或者最近测量的长度值。

[0070] 空气的局部折射率 $n(x)$ 依赖于局部的参数, 即空气温度 $T(x)$ 、空气压力 $p(x)$ 以及相对空气湿度 $RH(x)$ 。在工作点 T_0 、 p_0 、 RH_0 周围, 这些依赖关系可以被线性化：

$$[0071] \quad n(x) = n(T_0, p_0, RH_0) + \left. \frac{\partial n}{\partial T} \right|_{T=T_0} \cdot (T(x) - T_0) + \left. \frac{\partial n}{\partial p} \right|_{p=p_0} \cdot (p(x) - p_0)$$

$$[0072] \quad + \left. \frac{\partial n}{\partial RH} \right|_{RH=RH_0} \cdot (RH(x) - RH_0)$$

$$[0073] \quad = n(T_0, p_0, RH_0) + \eta_T \cdot \Delta T(x) + \eta_p \cdot \Delta p(x) + \eta_{RH} \cdot \Delta RH(x) \quad (\text{等式 5}) \quad (\text{等式 5})$$

[0074] 其中：

$$[0075] \quad \eta_T = \left. \frac{\partial n}{\partial T} \right|_{T=T_0} \quad \Delta T(x) = T(x) - T_0$$

$$[0076] \quad \eta_p = \left. \frac{\partial n}{\partial p} \right|_{p=p_0} \quad \Delta p(x) = p(x) - p_0$$

$$[0077] \quad \eta_{RH} = \left. \frac{\partial n}{\partial RH} \right|_{RH=RH_0} \quad \Delta RH(x) = RH(x) - RH_0$$

[0078] (等式 6)

[0079] 在此, 因子 η_T 、 η_p 和 η_{RH} 在通常情况下低程度地依赖于空气组成。

[0080] 如果工作点 T_0 、 p_0 、 RH_0 由所设置的环境传感器的相应测量值来定义, 则在工作点 T_0 、 p_0 、 RH_0 处的标称折射率 $n(T_0, p_0, RH_0)$ 可以通过公知的 Edlen 公式来确定。局部空气参数沿着光路 MSW 和 RSW 的偏差 $\Delta T(x)$ 、 $\Delta p(x)$ 以及 $\Delta RH(x)$ 导致平均折射率 n_M 和 n_R 围绕标称值 $n(T_0, p_0, RH_0)$ 上下波动。在此, 在实际中重要的主要是局部温度波动 $\Delta T(x)$ 。通过空气中的快速压力平衡, 压力波动被均匀地分步在测量体积的范围内。因此, 在远离光路 MSW 和 RSW 处所测量的空气压力 p_0 与沿着所述光路的空气压力 $p(x)$ 基本一致。类似的道理也适用于相对空气湿度 RH 。可以高精度地列出下式：

$$[0081] \quad \Delta p(x) \approx 0$$

$$[0082] \quad p(x) \approx p_0$$

[0083] $\Delta RH(x) \approx 0$ 或 (等式 7)

[0084] $RH(x) \approx RH_0$

[0085] 因此, 折射率的唯一的位置依赖性由局部的温度影响造成。这也适用于受空气影响的其它参数。因此, 等式 5 简化为:

[0086] $n(x) = n(T_0, p_0, RH_0) + \eta_T \cdot \Delta T(x)$ (等式 8)

[0087] 并且利用等式 4 得到:

[0088] $n_M = n(T_0, p_0, RH_0) + \frac{\eta_T}{L_{MSW}} \int_{MSW} \Delta T(x) dl = n(T_0, p_0, RH_0) + \eta_T \cdot \Delta T_{MSW}$

[0089] $n_R = n(T_0, p_0, RH_0) + \frac{\eta_T}{L_{RSW}} \int_{RSW} \Delta T(x) dl = n(T_0, p_0, RH_0) + \eta_T \cdot \Delta T_{RSW}$ (等式 9)

[0090] 平均温度偏差 ΔT_{MSW} 和 ΔT_{RSW} 是在两个光路 MSW 以及 RSW 的范围内的平均值。系数 η_T 可以通过 Edlen 公式的推导来确定, 并且处于大致为 $1 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ 。

[0091] 这种关系的可应用性的基本前提是空气的组成恒定。因此, 在干涉仪的附近不允许存在诸如氮气冲管、保护气体输入管道之类的气源或者燃烧处理。所述气源或者燃烧处理将局部改变气体组成, 因此干扰关于等式 8 的重要前提。如果这样的气源不可避免, 则必需良好地屏蔽激光干涉仪的光路。对此的另一替代方案将在后面予以描述。

[0092] 根据本发明, 现在借助于光谱仪单元通过各个空气成分 (分子) 处的光学吸收光谱来确定沿着光路 MSW 和 RSW 的平均空气温度偏差 ΔT_{MSW} 和 ΔT_{RSW} 。在此有利的是: 为光谱选择空气的主要成分, 如 N_2 、 O_2 、 CO_2 或者 H_2O 。所选空气成分在后面由下标 ϵ 来表征。通过合适地选择光谱仪单元的光源的如下波长 λ_s 来进行选择: 所述波长 λ_s 与空气成分 ϵ 的吸收分子共振相接近。穿过光路 MSW 和 RSW 的空气柱的透射率 $TR_{\epsilon, M}(\lambda_s)$ 和 $TR_{\epsilon, R}(\lambda_s)$ 由下式给出:

[0093] $TR_{\epsilon, M}(\lambda_s) = \exp(- \int_{MSW} \alpha_{\epsilon}(\lambda_s, x) dl)$ (等式 10)

[0094] $TR_{\epsilon, R}(\lambda_s) = \exp(- \int_{RSW} \alpha_{\epsilon}(\lambda_s, x) dl)$

[0095] 其中 $\alpha_{\epsilon}(\lambda_s, x)$ 表示波长 λ_s 时在位置 x 处的吸收系数。该吸收系数 $\alpha_{\epsilon}(\lambda_s, x)$ 依赖于压力 p 、温度 T 、相对空气湿度 RH 以及标称的谱线分布 $\Psi_{\epsilon}(\lambda_s, T, p, RH)$ 。后者又是空气参数 T 、 p 以及 RH 的函数:

[0096] $\alpha_{\epsilon}(\lambda_s, x) = g_{\epsilon}(T, p, RH) \cdot \Psi_{\epsilon}(\lambda_s, T, p, RH)$ (等式 11)

[0097] $= g_{\epsilon}(T(x), p_0, RH_0) \cdot \Psi_{\epsilon}(\lambda_s, T(x), p_0, RH_0)$

[0098] 其中在吸收线 A_{ϵ} 的范围内进行归一化:

[0099] $\int_{A_{\epsilon}} \Psi_{\epsilon}(\lambda_s, T(x), p_0, RH_0) d\lambda_s = 1$ (等式 12)

[0100] 函数 g_{ϵ} 基本上包含空气成分 ϵ 的密度 ρ_{ϵ} 的比例性影响以及吸收线 A_{ϵ} 的输出态的依赖于温度的占有密度 (Besetzungsdichte) $\sigma_{\epsilon}(T)$ (参见 M. E. Webber 等人的 “In situ Combustion Measurements of CO_2 Using Diode Laser Sensors Near $2.0 \mu m$ ”, American Institute of Aeronautics and Astronautics Paper 2000-0775)。

[0101] 在具有密度 ρ 以及空气成分 ϵ 占全部空气的相对比重为 r_{ϵ} 的理想气体的情况

下,有下式适用:

$$[0102] \quad \rho_{\epsilon} = r_{\epsilon} \cdot \rho = r_{\epsilon} \cdot \frac{p}{R \cdot T} \quad (\text{等式 13})$$

[0103] 其中 R 表示里德伯 (Rydberg) 常数。在精确观测的情况下,相对比重 r_{ϵ} 依赖于相对空气湿度 RH 以及温度 T。

[0104] 在热平衡中有下式适用于占有密度 $\sigma_{\epsilon}(T)$:

$$[0105] \quad \sigma_{\epsilon}(T) = \frac{e^{-E_{\epsilon}/kT}}{\sum_n e^{-E_n/kT}} \quad (\text{等式 14})$$

[0106] 其中 E_n 表示所选分子的状态 n 的能量, E_{ϵ} 表示所选吸收线 A_{ϵ} 的输出态的能量,并且 k 表示玻尔兹曼 (Boltzmann) 常数。

[0107] 由此得出函数 g_{ϵ} 的复杂的温度依赖性:

$$[0108] \quad g_{\epsilon}(T, p, RH) \propto r_{\epsilon}(T, RH) \cdot \frac{p}{T} \cdot \frac{e^{-E_{\epsilon}/kT}}{\sum_n e^{-E_n/kT}} \quad (\text{等式 15})$$

[0109] 谱线分布 $\psi_{\epsilon}(\lambda_s, T, p, RH)$ 同样包含不同的分量。首先,分子的热运动导致吸收线的依赖于温度的多普勒展宽。另一方面,空气压力 p 影响分子之间的碰撞次数,使得导致所谓的压力展宽。

[0110] 根据是确定在所定义的波长 λ_s 情况下的吸收系数 $\alpha_{\epsilon}(\lambda_s, X)$ (下面称为:“光谱选择性情况”)还是在吸收线 A_{ϵ} 的范围内进行光谱积分 (下面称为:“光谱积分情况”),可以进行关于依赖于位置的温度 $T(x)$ 的不同的线性化:

$$[0111] \quad \alpha_{\epsilon}(\lambda_s, x) = \alpha_{\epsilon 0} + \gamma_{\epsilon} \cdot \Delta T(x)$$

$$[0112] \quad \int_{A_{\epsilon}} \alpha_{\epsilon}(\lambda_s, x) d\lambda_s = \alpha'_{\epsilon 0} + \gamma'_{\epsilon} \cdot \Delta T(x) \quad (\text{等式 16})$$

[0113] 其中 $\alpha_{\epsilon 0}$ 、 γ_{ϵ} 和 $\alpha'_{\epsilon 0}$ 、 γ'_{ϵ} 在一般情况下依赖于 λ_s 、 T_0 、 p_0 以及 RH_0 。在光谱选择性情况下,有利的是选择吸收线中心的波长 λ_s 。

[0114] 现在,等式 10 和 16 允许在光谱选择性情况下根据本发明确定沿着光路 MSW 和 RSW 的平均空气温度偏差 ΔT_{MSW} 和 ΔT_{RSW} :

$$[0115] \quad \Delta T_{MSW} = -\frac{1}{\gamma_{\epsilon} \cdot L_{MSW}} \cdot \ln(TR_{\epsilon, M}(\lambda_s)) - \frac{\alpha_{\epsilon 0}}{\gamma_{\epsilon}}$$

$$[0116] \quad \Delta T_{RSW} = -\frac{1}{\gamma_{\epsilon} \cdot L_{RSW}} \cdot \ln(TR_{\epsilon, R}(\lambda_s)) - \frac{\alpha_{\epsilon 0}}{\gamma_{\epsilon}} \quad (\text{等式 17a})$$

[0117] 以及在光谱积分的情况下:

$$[0118] \quad \Delta T_{MSW} = -\frac{1}{\gamma'_{\epsilon} \cdot L_{MSW}} \cdot \int_{A_{\epsilon}} \ln(TR_{\epsilon, M}(\lambda_s)) d\lambda_s - \frac{\alpha'_{\epsilon 0}}{\gamma'_{\epsilon}}$$

$$[0119] \quad \Delta T_{RSW} = -\frac{1}{\gamma'_{\epsilon} \cdot L_{RSW}} \cdot \int_{\lambda_{\epsilon}} \ln(TR_{\epsilon,R}(\lambda_S)) d\lambda_S - \frac{\alpha'_{\epsilon 0}}{\gamma'_{\epsilon}} \quad (\text{等式 17b})$$

[0120] 在光谱选择性情况下, 等式 9 和 17 可以被归纳为:

$$[0121] \quad n_M = n(T_0, p_0, RH_0) - \beta_{\epsilon} \cdot \left[\frac{1}{L_{MSW}} \cdot \ln(TR_{\epsilon,M}(\lambda_S)) + \alpha_{\epsilon 0} \right]$$

$$[0122] \quad n_R = n(T_0, p_0, RH_0) - \beta_{\epsilon} \cdot \left[\frac{1}{L_{RSW}} \cdot \ln(TR_{\epsilon,R}(\lambda_S)) + \alpha_{\epsilon 0} \right] \quad (\text{等式 18a})$$

[0123] 以及在光谱积分的情况下:

$$[0124] \quad n_M = n(T_0, p_0, RH_0) - \beta'_{\epsilon} \cdot \left[\frac{1}{L_{MSW}} \cdot \int_{\lambda_{\epsilon}} \ln(TR_{\epsilon,M}(\lambda_S)) d\lambda_S + \alpha'_{\epsilon 0} \right] \quad (\text{等式 18b})$$

$$[0125] \quad n_R = n(T_0, p_0, RH_0) - \beta'_{\epsilon} \cdot \left[\frac{1}{L_{RSW}} \cdot \int_{\lambda_{\epsilon}} \ln(TR_{\epsilon,R}(\lambda_S)) d\lambda_S + \alpha'_{\epsilon 0} \right]$$

[0126] 其中 $\beta_{\epsilon} = \frac{\eta_T}{\gamma_{\epsilon}}$ 并且 $\beta'_{\epsilon} = \frac{\eta_T}{\gamma'_{\epsilon}}$ 。系数 $\alpha_{\epsilon 0}$ 、 β_{ϵ} 、以及 $\alpha'_{\epsilon 0}$ 、 β'_{ϵ} 在一般情况下依

赖于标称空气参数 T_0 、 p_0 、 RH_0 。因此在精确度要求非常高的情况下, 必须至少确定一次该依赖性。在此, 可以通过环境传感器连续地测量标称空气参数。可替代地, 也可以通过附加的校准干涉仪利用光谱吸收测量来确定系数 $\alpha_{\epsilon 0}$ 、 β_{ϵ} 、以及 $\alpha'_{\epsilon 0}$ 、 β'_{ϵ} 。由于校准干涉仪中的空气段的长度是已知的, 因此可以通过根据等式 2、3 和 18 的平衡计算来推导出系数 $\alpha_{\epsilon 0}$ 、 β_{ϵ} 、以及 $\alpha'_{\epsilon 0}$ 、 β'_{ϵ} 。

[0127] 下面将来自等式 18a 或 18b 的第一项 $n(T_0, p_0, RH_0)$ 称为标称折射率, 将第二项称为折射率波动。这两项在求和的情况下得出平均折射率 n_M 以及 n_R 。

[0128] 等式 2、3 和 18 构成根据本发明借助于测量吸收线范围内的透射率 $T_{\epsilon,M}$ 和 $T_{\epsilon,R}$ 来补偿空气折射率波动的基础。

[0129] 除了光谱选择性情况和光谱积分情况以外, 还可以使用从透射率值推导出的其它参数。因此, 例如也可以确定如前面所述那样同样取决于空气温度的吸收线的光谱宽度。那样的话, 折射率确定以类似于等式 18a 和 18b 的方式进行。

[0130] 上面的等式意味着: 以光谱方式确定的平均空气温度偏差 ΔT_{MSW} 和 ΔT_{RSW} 检测与由干涉仪所透射的空气柱相同的空气柱。因此, 对于测量光路 MSW 以及对于参考光路 RSW 而言, 光谱仪单元的激光射束必须优选尽可能地与干涉仪的射束共线或反共线 (antikollinear)。除此之外, 干涉仪与光谱仪单元的光源的射束截面或射束轮廓 (Strahlprofil) 应当相同, 以便能够对空气温度分布进行相同的横向加权。

[0131] 在参考光路 RSW 完全或几乎完全处于玻璃中的常用干涉仪的情况下, 可以取消对折射率 n_R 的确定, 并且代替于等式 3 适用的是:

$$[0132] \quad n_{\text{eff}} = n_M \quad (\text{等式 19})$$

[0133] 只要在光学上起足够的吸收作用, 则原则上分子的电子跃迁、振动跃迁、或者旋转跃迁适于作为分子共振。在通常情况下, 电子跃迁处于 $\lambda_S < 400\text{nm}$ 的 UV 范围内, 并且可以由目前可用的 UV 激光二极管 (可能利用双倍频或三倍频) 来测量。由于输出态 (=

基态)的占有密度的小的温度依赖性,上面的公式被在一定程度简化。弱的吸收线更适于作为 UV 范围内的有利的分子共振,因为一般而言,吸收线过强。可替代地,在 UV 范围内的强分子共振的情况下,可以在透射还算足够的情况下选择该线的边缘区域中的波长 λ_s 。

[0134] 但是特别有利的是振动跃迁,因为振动跃迁处于容易达到的红色或近红外光谱范围中,并且合适的窄带和低成本的光源可用作光谱仪光源。在此,该光谱仪光源例如是 DFB 激光二极管、VSCEL 或者具有光谱范围 $\lambda_s = 0.5 \mu\text{m} \dots 10 \mu\text{m}$ 内的外腔的激光二极管。DFB 激光器的典型线宽处于 10MHz 以下,而典型的振动分子跃迁的线宽在正常的空气条件下处于 3GHz 的范围内,因此明显大于该激光器的线宽。这是有利的,因为由此所检测到的吸收效应特别明显。

[0135] 原则上,旋转跃迁可以借助于量子级联激光二极管在波长范围 $\lambda_s > 10$ 内来测量。

[0136] 通过测量多个吸收线,可以使根据本发明的设备以及根据本发明的方法进一步改善。该测量应当分开地采集,并且例如可以在时间上依次通过光谱光源的扩展的连续调谐来进行。所检测的其它吸收线可以涉及同一空气成分 ε 或者涉及不同的空气成分 ε_1 、 ε_2 、 ε_3 。通过附加的信息,例如可以修正空气组成的变化。在此特别有利的是,除了第二空气成分以外还直接检测水蒸气 (H_2O),因为该空气成分导致空气组成的最大波动。在必须引入气体的应用中,这些气体浓度同样可以直接通过附属的吸收线而被测量。那样的话,不再需要将气源同干涉仪光路屏蔽开。

[0137] 根据 Kramers-Kronik 关系,与分子跃迁的每个吸收线相关联的还有色散曲线、即折射率 $n(\lambda)$ 在 $\lambda = \lambda_R$ 时在分子共振范围内的改变;对此例如可以参阅图 1。所述色散曲线在吸收线的光谱宽度 $\Delta\lambda$ 内具有负斜率(反常色散)。吸收测量和色散测量提供可以通过 Kramers-Kronik 关系相互换算的等效信息(参见“Method for obtaining gasconcentration with a phase-based metrology system”, Craig R. Schwarze 等人, Appl. Optics 37, Nr. 18, 3942-3947, 1998)。但是在实际中,色散效应比吸收效应明显更弱,因此比吸收效应检测起来更困难。因此,从简单的原子振动模型中得出共振内的最大折射率变化 Δn_{MAX} 和最大吸收 $\Delta \alpha_{\text{MAX}}$ 存在如下关联:

$$[0138] \quad \Delta n_{\text{MAX}} \approx \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \frac{\Delta \alpha_{\text{MAX}}}{5} \quad (\text{等式 } 20)$$

[0139] 对于在 $\lambda \sim 600\text{nm}$ 时具有 $\Delta \alpha_{\text{MAX}} \sim 0.01\text{m}^{-1}$ 的典型振动跃迁而言,得出 $\Delta n_{\text{MAX}} \sim 10^{-9}$ 。这对应于干涉仪中每米测量段仅仅 1nm 的表面上的长度变化,而这在实际中几乎不能检测到。另一方面,可以简单地并且精确度高地证明所属的每米测量段的 1% 的吸收。根据这些评估,与色散测量相比显示出吸收测量的特别的优点。

[0140] 接着,现在根据所述理论阐述根据本发明的干涉仪设备及其运行方法的具体实施例。

[0141] 第 1 实施例

[0142] 在图 2a 和图 2b 中示意性地示出根据本发明的干涉仪设备的第一实施例。在此,图 2a 示出所述干涉仪设备的光路,图 2b 示出所属的信号处理。

[0143] 根据本发明的干涉仪设备可以例如用于对可以在一个或多个测量方向上移动的

测量对象进行高精度的定位。对此相应的应用例如存在于半导体制造中,例如当必须确定晶片步进电机的工作台位置时。但是可替代于此地,根据本发明的干涉仪设备还可以用于高精度地检测测量对象的形貌 (Topographie)。在这种情况下,进行关于被布置在测量臂中的测量对象的表面的定位。

[0144] 在图 2a 的示例中,基本上示出根据本发明的干涉仪设备的干涉仪 10 以及光谱仪单元 50;图 2b 中示出各个信号处理部件。

[0145] 在该实施方式中,干涉仪 10 包括干涉仪光源 11,例如发出具有波长 λ_I 的线性偏振射束的合适的激光器;例如可以将波长 λ_I 选择为 $\lambda_I = 500\text{nm} \dots 1500\text{nm}$;特别优选的波长例如为 $\lambda_I = 633\text{nm}$ 或者 $\lambda_I = 532\text{nm}$ 。如下面还要描述的图那样,在图 2a 中用实线绘有干涉仪 10 的要阐述的光路。由于干涉仪光源 11 发出的射束在经过第一分束器元件 12 以后落到第一干涉仪分束器元件 13 上,在那里该射束被分成两个分射束,这两个分射束被输送给干涉仪 10 的测量臂 M 和参考臂 R。在此,第一分束器元件 12 被构造为二向色性分束器,第一干涉仪分束器元件 13 被构造为已知的偏振分束器方块 (Strahlteilerwürfel)。

[0146] 在测量臂和参考臂 M、R 中,分射束在落到反向反射器元件 16、17 上以前分别穿过 $\lambda/4$ 板 14、15,所述分射束被所述反向反射器再次反射回干涉仪分束器元件 13。在该例中,反向反射器 16、17 被构造为已知的三棱镜。

[0147] 干涉仪的参考臂 R 中的反向反射元件 17 被布置为固定的,而干涉仪 10 的测量臂 M 中的反向反射器元件 16 在该实施例中被布置为可以连同未示出的要确定位置的测量对象一起在标定的 x 方向 (测量方向) 上移动。

[0148] 在被反向反射器元件 16、17 反射回的分射束重新穿透以后,所述分射束分别重新穿过 $\lambda/4$ 板 14、15,并且最后借助于第一干涉仪分束器元件 13 被叠加。接着,经过叠加的分射束在向干涉仪探测器单元 20 方向传播以前穿过第二二向色性分束器元件 18。

[0149] 在干涉仪探测器单元 20 中设置有被构造为中性分束器方块的第二干涉仪分束器元件 21,通过所述中性分束器方块将分射束对分配到两个探测器设备 22.1、22.2 的方向上。

[0150] 第一探测器设备 22.1 包括另一 $\lambda/4$ 板 23、被构造为偏振分束器方块的第三干涉仪分束器元件 24、以及两个布置在后面的干涉仪探测器元件 25、26。在两个干涉仪探测器元件 25、26 的输出端处产生干涉仪信号 S_{I1} 、 S_{I2} 。

[0151] 第二探测器设备 22.2 包括再次被构造为偏振分束器方块的第四干涉仪分束器元件 27、以及两个布置在后面的干涉仪探测器元件 28、29。在两个干涉仪探测器元件 28、29 的输出端处产生另外的干涉仪信号 S_{I3} 、 S_{I4} 。干涉仪探测器元件 25、26、28、29 优选地被构造为探测器阵列。

[0152] 从射束方向上来看,两个偏振干涉仪分束器元件 24 和 27 的偏振轴以未示出的方式与偏振干涉仪分束器元件 13 的偏振轴倾斜 45° 。由此使测量臂 M 和参考臂 R 的两个分射束发生干涉。

[0153] 接着,由干涉仪探测器元件 25、26、28、29 生成的干涉仪信号 S_{I1} 、 S_{I2} 、 S_{I3} 、 S_{I4} 以已知方式被分析,以便生成干涉仪 10 的关于感兴趣的光学光程差 OPD 的、表示测量对象的位置度量的测量量。

[0154] 图 2 所示的干涉仪 10 的变型方案、包括在此所使用的信号处理对应于现有技术中

的公知干涉仪。在此,原则上可以使用零差法以及外差法来运行和分析。

[0155] 现在对于本发明重要的是使用以及构造用于检测干涉仪 10 的测量臂和 / 或参考臂 M、R 中的空气的折射率波动的检测装置。因此,根据本发明规定:为此将光谱仪单元 50 用作相应的检测装置,所述检测装置的构造以及到干涉仪 10 中的集成将在后面予以阐述;图 2a 中以虚线绘出对于光谱仪单元 50 的功能来说重要的射束的光路。

[0156] 光谱仪单元 50 包括同样被构造为激光器的光谱仪光源 51,其中所述激光器发出具有波长 λ_s 的线性偏振射束。在此,根据上面的理论考虑,由光谱仪光源 51 发出的辐射的波长 λ_s 被选择为使得所述波长处于至少一个空气成分 ϵ 的吸收线的范围内。例如,可以是水在 723.5nm 处的吸收线,或者是氧气在 761nm 处的吸收线;在这种情况下,光谱仪光源 51 则同样发出 723.5nm、761nm 时的辐射。原则上还可以考虑,选择空气成分 N_2 、 O_2 、 CO_2 等等的至少一个吸收线范围内的光谱仪光源的波长。对空气成分吸收线的全面整理可在“The HITRAN database:1986 edition”(L. S. Rothman 等人, App. Opt. 26No. 19(1987), 4058-4097) 中找到。

[0157] 另外被证明有利的是,检测多个具有强度不同的吸收温度系数的吸收线;有利的同样还有,各个光谱仪光源的光谱宽度可与相应吸收线的光谱宽度相比或者比相应吸收线的光谱宽度小。

[0158] 有利地将激光二极管的温度和电流依赖关系用于对光谱仪光源 51 进行波长调整和波长调制。该温度例如可以通过帕尔贴元件 (Peltierelement) 来调节,激光二极管就安装在该帕尔贴元件上。通过合适地选择激光二极管的工作温度来进行对波长的粗调。微调以及必要时快速调制通过相应的、必要时经过调制的工作电流来实现。可替代地,波长调整和波长调制可能性由外腔激光二极管或者具有后连的光学调制器的激光二极管提供。

[0159] 由光谱仪光源 51 发出的射束通过第一分束器元件 12 被偏转 90° 并且以该方式共线地与干涉仪光源 11 的射束相叠加。接下来,如在干涉仪光路中那样通过第一干涉仪分束器元件 13 对光谱仪光源 51 的射束进行分裂。在测量臂和参考臂 M、R 中,光谱仪光源 51 的分射束在落到反向反射器 16、17 上以前同样经过 $\lambda/4$ 板 14、15,所述分射束被所述反向反射器再次反射回干涉仪分束器元件 13。最后,在再次穿过 $\lambda/4$ 板 14、15 以后,光谱仪光源 51 的分射束再次到达第一干涉仪分束器元件 13 上,在那里所述分射束被叠加为叠加的分射束对,所述分射束对如干涉仪光源 11 的分射束那样继续传播到第二分束器元件 18 的方向上。通过第二分束器元件 18,光谱仪光源 51 的分射束与干涉仪光源 11 的分射束分开,并且接着传播到光谱仪探测器单元 52 的方向上。在光谱仪探测器单元 52 中,所述分射束首先到达被构造为偏振分束器方块的光谱仪分束器元件 53 上。在那里,入射的射束被分裂成两个分射束,接着所述两个分射束传播到布置在后面的两个光谱仪探测器元件 54、55 的方向上。通过第一光谱仪探测器元件 54,之前曾穿过干涉仪 10 的测量臂 M 的分射束被检测;通过第二光谱仪探测器元件 55,之前曾穿过干涉仪 10 的参考臂 R 的分射束被检测。在此,光谱仪分束器元件 53 与第三和第四干涉仪分束器元件 24、27 不同地被构造以及定向为使得不产生来自测量臂和参考臂 M、R 的分射束的干涉。因此,通过光谱仪探测器元件 54、55 检测到光谱仪信号 S_{S1} 、 S_{S2} ,所述光谱仪信号分别是关于所穿过的测量臂和参考臂 M、R 中的路程的吸收信号;在一个有利的实施方式中,光谱仪探测器元件 54、55 被构造为探测器阵列。具体而言在本例中,根据本发明生成光谱仪信号 S_{S1} 、 S_{S2} ,所述光谱仪信号表征空气成分

ϵ 在测量臂和 / 或参考臂 M、R 中的关于光谱仪光源波长 λ_s 的吸收。

[0160] 测量臂和参考臂中的第一干涉仪分束器 13 以及两个 $\lambda/4$ 板 14、15 被干涉仪光源 11 的分射束以及被光谱仪光源 51 的分射束穿过。既然如此,所述部件就必须都满足这些分射束在两个波长 λ_T 、 λ_s 时相应的偏振光学特性。因此需要对所述部件的起偏振光学作用的相应层进行专门优化。在此,被证明有利于所述优化的是,将两个波长 λ_T 、 λ_s 选择为彼此紧密相邻。

[0161] 下面,现在将根据图 2b 阐述对根据本发明的干涉仪设备中的干涉仪 10 和光谱仪单元 50 的各个信号 S_{I1} 、 S_{I2} 、 S_{I3} 、 S_{I4} 、 S_{S1} 、 S_{S2} 的处理的示例。

[0162] 从图 2b 中可以看出,光谱仪信号 S_{S1} 、 S_{S2} 在通过放大器元件 61.1、61.2 放大以及通过 A/D 转换器 62.1、62.2 数字化以后被输送给第一处理器单元 63。

[0163] 另外,第一处理器单元 63 调节光谱仪光源 51 的波长 λ_s ,并且对所述波长在要确定吸收特性的至少一个空气成分 ϵ 的至少一个吸收线的范围内进行连续调谐。在此,连续调谐范围的中心波长优选地被选择为使得所述中心波长与相应空气成分 ϵ 的最大吸收一致或者处于与其相距确定的距离处。在此,这样的连续调谐过程的周期应当被选择为尽可能短,处于 10msec 至 1 μ sec 范围内的值被证明是有利的。为此,同时对测量臂和参考臂 M、R 中的透射率 $T_{\epsilon,M}(\lambda_s)$ 、 $T_{\epsilon,R}(\lambda_s)$ 进行测量。

[0164] 由于光谱仪信号 S_{S1} 、 S_{S2} 的信号电平不仅依赖于空气中的吸收,而且还依赖于反射特性和透射特性以及依赖于干涉仪的所有部件的位置公差和形状公差,因此应当尽可能修正不期望的信号部分。为此,在对波长 λ_s 连续调谐过程期间确定空气成分 ϵ 的最大吸收中以及吸收线之外的光谱仪信号 S_{S1} 、 S_{S2} ,并且求差。该差可能仅仅取决于空气成分 ϵ 的吸收和光谱仪光源 51 的光学功率。后者以未示出的形式要么被稳定化,要么同样被测量并且被相应地计算在内。

[0165] 在该实施例中,除了光谱仪信号 S_{S1} 、 S_{S2} 以外,在第一处理器单元 63 处还存在示意性显示出的折射率确定装置 64 的输出信号 RH_0 、 T_0 、 p_0 。在该实施例中,折射率确定装置 64 同样属于上面所提到的用于检测折射率波动的检测装置,并且具体而言用于确定测量臂和 / 或参考臂 M、R 范围内的空气的平均折射率。通常,折射率确定装置 64 包括多个传感器 64.1、64.2、64.3,这些传感器给第一处理器单元 63 提供测量臂和 / 或参考臂 M、R 范围内的相对空气湿度 RH、空气温度 T 以及空气压力 p。

[0166] 在该例中,第一处理器单元 63 通过上面在理论部分中所记载的公式 18a、18b 根据折射率确定装置 64 的信号和光谱仪信号 S_{S1} 、 S_{S2} 来确定测量臂和参考臂 M、R 中的局部折射率 n_M 、 n_R 的值。以该方式确定的 n_M 、 n_R 的值作为第一处理器单元 63 的输出信号被提供给布置在后面的修正单元 66 以用于继续处理。

[0167] 可替代于此地,在此也可以将第一处理器单元 63 构造为使得可以根据施加在输入侧的光谱仪信号 S_{S1} 、 S_{S2} 确定测量臂和 / 或参考臂 M、R 中的空气的折射率 n_M 、 n_R 的波动并且提供相应的输出信号以用于继续处理。在这样的变型方案中,原则上不需要对折射率确定装置的输出信号进行分析。

[0168] 如从图 2b 同样可以看出的那样,在该例中干涉仪信号 S_{S1} 、 S_{S2} 、 S_{I3} 、 S_{I4} 被输送给第二处理器单元 65,该第二处理器单元以公知方式确定光学光程差 OPD,并且将该光学光程差作为输出信号同样提供给修正单元 66 以用于继续处理。

[0169] 修正单元 66 被构造为使得可以根据等式 3 通过施加在输入侧的关于折射率 n_M 、 n_R 的信号首先确定针对测量臂和 / 或参考臂 M、R 的有效折射率 n_{eff} ，以便然后根据等式 2 结合所述干涉仪信号以及相应地被编辑成光学光程差 OPD 的干涉仪信号 S_{I3} 、 S_{I4} 、 S_{I1} 、 S_{I2} 对有效折射率 n_{eff} 进行处理，使得在输出侧产生作为测量量感兴趣的关于测量臂 M 中的测量对象位置的几何光程差 GPD 以及经过修正的位置信号。

[0170] 替代于直接对窄带光谱仪光源 51 的波长 λ_s 进行连续调谐，可以规定设置一种宽带光谱仪光源 51，该宽带光谱仪光源 51 的光谱扩展覆盖至少一个空气成分 ϵ 的至少一个吸收线。在这种情况下，必须在紧接着图 2a 中的分束器元件 53 之前布置法布里 - 珀罗干涉仪。该法布里 - 珀罗干涉仪通过第一处理器单元 63 在被确定吸收特性的至少一个空气成分 ϵ 的至少一个吸收线的范围内被连续调谐。

[0171] 在此，对光谱仪光源的连续调谐范围的调节或者对法布里 - 珀罗干涉仪的连续调谐可以这样进行，使得相应的中心波长与被确定吸收特性的那个空气成分 ϵ 的最大吸收相距固定的距离。

[0172] 图 2b 中所示的处理器单元 63、65 以及修正单元 66 当然可以以按照软件和 / 或按照硬件的任意方式来构造，也就是说，图 2b 中所示的各个部件的分离仅仅用于较为简单地阐述根据本发明的干涉仪设备中的信号处理。例如，也可以由第一处理器单元 63 替代于折射率 n_M 和 n_R 而将其它描述折射率波动的参数转交给修正单元 66。

[0173] 第 2 实施例

[0174] 下面将根据图 3a 和 3b 阐述根据本发明的干涉仪设备的第二实施例。图 3a 再次示出所述干涉仪设备的光路，在该变型方案中将根据图 3b 来说明信号处理。另外，图 3a 和图 3b 的示例是已经在上面的理论部分中被称为“光谱积分情况”的变型方案。

[0175] 在该变型方案中，干涉仪 10 的光学构造仍然基本上对应于前面所阐述的图 2a 的实施例中的光学结构；因此将放弃对相同光学构造的再次详细描述。

[0176] 要提及的相对于所使用的干涉仪 10 的微小差别仅仅是：参考臂 R 现在被选择为非常短，使得尤其是不需要对参考臂 R 中的折射率 n_R 进行检测和修正。

[0177] 作为用于检测干涉仪 10 的测量臂 M 中空气的折射率 n_M 的波动的检测装置，再次设置光谱仪单元 150。该光谱仪单元再次含有发出具有波长 λ_s 的射束的光谱仪光源 151。所发出的射束在干涉仪 10 的测量臂 M 中通过被构造为二向色性分束器的分束器元件 153 而与干涉仪 10 的测量臂分射束相叠加。因此在该例中，来自光谱仪光源 151 的射束与干涉仪光源 11 的测量臂分射束的叠加在第一干涉仪分束器 13 之后才进行。在通过反向反射器元件 16 将光谱仪光源 151 的射束反射回以后，分束器元件 153 再次将该射束与干涉仪光源 11 的分射束分开，并且将该射束导引到光谱仪探测器元件 154 的方向上。光谱仪探测器元件 154 再次提供关于相应空气成分 ϵ 中的波长 λ_s 的吸收的光谱仪信号 S_{S1} 。

[0178] 在该实施例中，干涉仪 10 与光谱仪单元 150 的辐射方向相反，即反共线。该变型方案的优点可以列举为：针对两个波长 λ_s 、 λ_I 都不需要专门的偏振光学器件。另外，包括分束器元件 152 的光谱仪单元 150 的完整光学系统可以如该图中所显示的那样被安放在分开的单元中。但是该单元应当基本上尽可能地布置在第一干涉仪分束器元件 13 的附近，以便保证根据本发明检测尽可能完整的测量臂 M 中的折射率 n_M 并且避免未经补偿的空气路程。

[0179] 尤其是当干涉仪 10 的参考臂 R 应当较长一些时,原则上当然可以为了提高折射率检测的精确度而还在干涉仪 10 的参考臂 R 中附加地布置相应的光谱仪单元。

[0180] 根据图 3b 中的示意图,将阐述根据本发明的干涉仪设备的第二实施例的信号处理;在此,给具有与图 2a 的示例中相同功能的部件配备相同的附图标记。

[0181] 如第一例中那样,对干涉仪信号 S_{I1} 、 S_{I2} 、 S_{I3} 、 S_{I4} 的处理通过第二处理器单元 65 进行,在该第二处理器单元的输出端上提供关于干涉仪中的光学光程差的信号 OPD 以用于继续处理。

[0182] 如前面的示例中那样,给第一处理器单元 63 同样在此输送来自示意性显示的折射率确定装置 64 或相应传感器 64.1、64.2、64.3 的输出信号 RH_0 、 T_0 、 p_0 。

[0183] 另外,通过第一处理器单元 63,利用频率 f 非常快速地调制光谱仪光源 151 的波长 λ_s ;在可能的实施方式中,频率 f 大致为 $f = 200\text{kHz}$,一般地频率 f 处于 10kHz 与 10MHz 之间的范围内。由于该调制而产生相应的经过快速调制的光谱仪信号 S_{s1} 。该光谱仪信号 S_{s1} 通过放大器元件 161 被放大并且被输送给两个带通滤波器 167.1、167.2。在该图中,这两个带通滤波器具有通过频率 f 以及 $2f$ 。在带通滤波器 167.1、167.2 后面布置有第一处理器单元,该第一处理器单元借助于锁相放大器根据经过放大和带通滤波的光谱仪信号 S_{s1} 确定这些信号的幅度和相位。在此,二次谐波 $2f$ 处的信号幅度包含在吸收线的范围内被光谱平均的相应空气成分 ϵ 中的透射率,因为在每个调制周期中两次经过最大吸收。如在第一实施例中阐述的那样,自动进行将最大吸收中的信号电平与处于谱线之外的信号电平的相减,以补偿不期望的信号影响,因为仅仅探测到光谱仪信号 S_{s1} 的幅度而不是其偏移量。在该实施方式中,通过类似的平均来取消其它所需的计算强度大的数值积分(例如第一实施例中所需的数值积分)。因此,在第二实施例中可以利用明显更高的调制频率或连续调谐频率 f 运行光谱仪光源 151,由此尤其是可以实现该方法的更高的精确度。基波 f 处的幅度和相位被输送给针对波长 λ_s 的偏移量调节装置。仅当吸收线处于波长调制的中心时,该幅度才是最小的。如果波长调制的偏移量移动得超过吸收线,则光谱仪信号 S_{s1} 的基波 f 的相位改变 180° ,这可以用于偏移量调节。关于该实施方式的分析方法例如可以参阅出版物“Digital phase sensitive detection for in-situ diode-laser spectroscopy under rapidly changing transmission conditions”(T.Fernholz 等人, Appl. Phys. B 75, 229-236, (2002))。

[0184] 第 3 实施例

[0185] 下面将根据图 4 阐述根据本发明的干涉仪设备的第三实施例;在此,由于信号处理基本上可以如最前面的两个示例中那样进行,因此放弃对信号处理的单独阐述。与第二示例不同的是,现在在第三实施例的情况下又涉及频谱选择性变型方案。

[0186] 与前面两个所阐述的示例另外不同是,在根据本发明的干涉仪设备的本实施例中,干涉仪 100 现在被构造为所谓的平面镜干涉仪,如原则上从现有技术中公知的平面镜干涉仪。

[0187] 在此,由干涉仪光源 111 发出的射束被输送给被构造为偏振分束器方块的第一干涉仪分束器元件 113。通过干涉仪分束器元件 113,入射射束被分成测量射束和参考射束。在测量臂 M 中,测量射束的分射束穿过 $\lambda/4$ 板 114,在第一平面镜反射器元件 116.1 处被反射,然后再次穿过 $\lambda/4$ 板 114。参考射束的分射束以类似的方式被引导通过 $\lambda/4$ 板 115、

到达第二平面镜反射器元件 116.2 并且接着再次穿过 $\lambda/4$ 板 115。两个分射束在干涉仪分束器元件 113 中相叠加,其中这两个分射束彼此正交偏振。两个分射束到达被构造为三棱镜的反向反射器元件 117,在那里被反射回,并且由于这两个分射束的偏振态不同而在干涉仪分束器元件 113 中再次被分开。在分别再次经过 $\lambda/4$ 板 114、第一平面镜反射器元件 116.1、以及 $\lambda/4$ 板 114 及 $\lambda/4$ 板 115、第二平面镜反射器元件 116.2 以及 $\lambda/4$ 板 115 以后,所述分射束最后在干涉仪 113 中再次相叠加,并且被引导到用于以公知的方式生成四个经过相移的干涉仪信号 S_{11} 、...、 S_{14} 的探测器单元 120。在该例中,第一平面镜反射器元件 116.1 是测量反射器,该测量反射器沿着测量方向 x 的位置应当被测量。

[0188] 该实施方案的光谱仪单元 250 包括光谱仪光源 251,该光谱仪光源将线性偏振射束引向被构造为偏振分束器方块的光谱仪分束器元件 253,使得仅仅该射束被透射。该射束经过 $\lambda/4$ 板 225,并且通过干涉仪 100 的测量臂 M 中的分束器元件 257 被引导得与干涉仪射束共线。分束器元件 257 例如被构造为二向色性分束器。

[0189] 在平面镜反射器元件 116.1 处以及在分束器元件 257 处的反射以后,光谱仪射束再次到达 $\lambda/4$ 板 225 上,并且因此由被构造为偏振分束器方块的光谱仪分束器元件 253 反射。反向反射器元件 256 将光谱仪射束经过偏移地反射回,使得该光谱仪射束在光谱仪分束器元件 253 处再次被反射。所述光谱仪射束再次通过部件 255、257、116.1、257 以及 255 到达光谱仪分束器元件 253,所述谱仪分束器元件由于经过转动的偏振态而透射该光谱仪射束。光谱仪射束最后被光谱仪探测器元件 254 检测,该光谱仪探测器元件提供相应的光谱仪信号 S_{s1} 。反向反射器 256 的射束偏移被选择为使得干涉仪 100 和光谱仪单元 250 的叠加的射束在平面反射器元件 116.1 与分束器元件 257 之间共线。

[0190] 在该实施例中,所有的偏振光学构件分别仅针对波长 λ_I 或 λ_s 而设计,这大大简化了制造。光谱仪单元 250 可以再次被设计为单独的结构单元。

[0191] 可以如根据本发明的干涉仪设备的第一或第二实施方式那样进行信号分析。可替代地,可以将光谱仪单元的波长调节为相应吸收线的最大吸收。从文献中公知有相应的调节方法。

[0192] 第 4 实施例

[0193] 下面将根据图 5 阐述根据本发明的干涉仪设备的第四实施例,图 5 再次示出各个光路的示意图。

[0194] 第四实施例在原理上基于前面所阐述的根据本发明的干涉仪设备的第三实施例。因此在该变型方案中,除了在图 5 下面部分中示出的根据图 4 的干涉仪 100 以外,在上面部分中还设置有相同的根据第三实施例的这样的干涉仪设备 100'。因此,第四实施例包括根据第三实施例的两个干涉仪设备 100、100'。

[0195] 当然在该变型方案中同样设置有如前面的第三实施例中那样被构造的两个被分配给干涉仪 100、100' 的光谱仪单元 250、250'。

[0196] 因此在图 5 中,在下面部分中针对干涉仪 100 以及光谱仪单元 250 的具有与第三实施例中相同的功能的各个部件使用相同的附图标记,在上面部分中给相应的部件配备标志“'”。

[0197] 干涉仪 100、100' 以及两个分别分配的光谱仪单元 250、250' 都由相同干涉仪光源 111 以及光谱仪光源 251 来馈送。通过附加的分束器元件 19.1、259.1,射束分别为了供

应附加的干涉仪 100' 以及附加的光谱仪单元 250' 而从干涉仪光源 111 以及光谱仪光源 251 的射束中被分出,并且通过另外的偏转元件 19.2 以及 259.2、259.3、259.4 被输送给附加的单元 100'、250'。

[0198] 在该例中,图 5 的下面部分中的具有干涉仪 100 和光谱仪单元 250 的干涉仪设备用作实际的测量设备,图 5 的上面部分中的具有干涉仪 100' 和光谱仪单元 250' 的干涉仪设备充当校准设备。校准设备的干涉仪 100' 具有固定的尽可能公知的测量段,也就是说,平面镜反射器元件 116.1' 不沿着测量段移动。那样的话,可以根据等式 18a 以及 18b 通过校准设备来校准系数 α_{ϵ_0} 、 β_{ϵ} 以及 α'_{ϵ_0} 、 β'_{ϵ} ,并且由此还可以补偿空气组成的改变。为此,根据等式 2、3 以及 18a 或 18b 通过线性平衡计算将系数 α_{ϵ_0} 、 β_{ϵ} 以及 α'_{ϵ_0} 、 β'_{ϵ} 确定为使得所测量的几何光程差 GPD 与校准干涉仪的已知的实际几何光程差之间具有最小的均方根偏差。

[0199] 第 5 实施例

[0200] 图 6 中示出根据本发明的干涉仪设备的第五实施方式的示意性光路。下面再次仅仅阐述与下面的变型方案之间的重要不同。

[0201] 因此,根据本发明的干涉仪设备现在包括组合的干涉仪/光谱仪单元设备,该设备由相同的或共同的光源 351 来馈送。这意味着,在该例中,光源 351 既充当干涉仪光源又充当光谱仪光源。光源 351 的波长 $\lambda_I = \lambda_s$ 再次被选择为处于空气成分 ϵ 的吸收线范围内。

[0202] 通过该光源 351 一方面给干涉仪 1000 馈送,该干涉仪被构造为差分平面镜干涉仪并且与第四实施例的干涉仪被相似地构造。不同的是仅仅规定:平面镜参考反射器 1600.2 同样可以在测量方向 x 上移动。

[0203] 从被构造为偏振分束器方块的第一干涉仪分束器元件 1300 射出到第二干涉仪分束器元件 1800 方向上的射束含有测量段和参考段的具有彼此正交的偏振态的两个分射束。通过被构造为非偏振分束器的第二干涉仪分束器元件 1800,该光束的一部分被分路以用于在光谱仪探测器单元 500 中探测吸收,并且被输送给被构造为偏振分束器方块的光谱仪分束器元件 520。因此,两个分射束被分开地引导到光谱仪探测器元件 540、550 上,并且不能彼此干涉。因此可以通过光谱仪探测器元件 550 测量干涉仪 1000 的测量臂 M 中的吸收,并且通过光谱仪探测器元件 540 测量干涉仪 1000 的参考臂 R 中的吸收。

[0204] 如第一实施例中那样,通过干涉仪探测器元件 2500、2600、2800、2900 首先确定干涉仪 1000 的相移。光源 351 的波长 $\lambda_I = \lambda_s$ 可以在吸收线的范围内被连续调谐。该连续调谐优选地利用高的调制频率 f 进行。干涉仪相位同样通过波长调制被调制。通过在调制周期内对干涉仪相位取平均 $\langle \Phi_s(\lambda_s) \rangle$ 或者通过在调制周期内总是在同一采样时刻进行同步的采样来获得稳定的用于位置测量的、不再受波长调制影响的相位值。

[0205] 通过根据吸收测量调节共同的光源 351 的中心波长,自动地将光源波长 $\lambda_I = \lambda_s$ 稳定在吸收线上。这尤其是在将半导体激光器用作光源 351 的情况下是有利的。在此可以取消作为标准频率或标准波长的填充有铷的高成本的充气光电管,因为取而代之使用测量臂以及参考臂 M、R 中的空气成分 ϵ 。此外,通过将光源 351 和大部分干涉仪部件共同用于长度测量和吸收测量,该实施例特别简单,因此可以低成本地来构造。

[0206] 第 6 实施例

[0207] 接着将根据图 7 中的图示阐述根据本发明的干涉仪设备的第六实施例。在下面的描述中,再次仅仅探讨与下面的变型方式之间的重要不同。

[0208] 在此,该例中所使用的干涉仪 10 的构造与图 2a 或图 3a 中的构造相同,因此放弃对相同构造的详细描述。该实施例的光谱仪单元 450 被构造为与前面的变型方案不同,这将在后面予以阐述。

[0209] 光谱仪光源 451 的射束经过光学隔离器元件 459,该光学隔离器元件阻止将散射光反射回光谱仪光源 451 的谐振器中。通过这种方式可以稳定地运行光谱仪光源 451。接下来,光谱仪光源 451 的射束在分束器元件 457 处被分开。被反射的分射束被光谱仪探测器元件 455 探测,并且提供光谱仪信号 S_{s2} 作为参考信号,该光谱仪信号是光谱仪光源 451 的功率的度量。光谱仪光源 451 的被透射的分射束落到被构造为偏振分束器方块的光谱仪分束器元件 453 上。在此,入射分射束的线性偏振态被选择为使得该分射束在偏振光谱仪分束器元件 453 处被反射。接着,分射束经过使该分射束的线性偏振态转动 90° 的 $\lambda/2$ 板 455,并且然后被构造为二向色性分束器的分束器元件 458 反射,并且与干涉仪光源 11 的分射束反共线地相叠加。在反向反射器 16 处被反向反射以及在分束器元件 458 处被再次反射以后,分射束到达反向反射器元件 456 上,并且在那里同样被反向反射。通过转动偏振方向,光谱仪分射束在未偏转的情况下穿透偏振光谱仪分束器元件 453,并且通过器件 455、458、16、458 以及 456 而再次到达偏振光谱仪分束器元件 453。通过借助于 $\lambda/2$ 板 455 再次转动偏振方向,分射束现在在光谱仪分束器元件 453 处被反射,并且到达反射镜或者说反向反射器元件 460,在那里反射回到光谱仪分束器元件 453 的方向上。在此之后,偏振光谱仪分束器元件 453 再次反射分射束,使得辐射方向被翻转,并且该分射束经过器件 456、458、16、458、455、453、456、458、16、458、455。然后,分射束被偏振光谱仪分束器元件 453 反射,并且通过分束器元件 457 到达光谱仪探测器元件 454,该光谱仪探测器元件生成光谱仪信号 S_{s1} 。

[0210] 由于该设备中的光谱仪单元 450 的光路中的各个光学元件,分束器元件 458 与充当测量反射器的反向反射器元件 16 之间的测量段总共被来回经过四次。因此,光谱仪信号 S_{s1} 测量是第一实施例中的四倍的吸收效应,这显著地增大了测量精确度。在该实施方案中,在分析侧,光谱仪信号 S_{s1} 与充当参考信号的光谱仪信号 S_{s2} 相除。由此光谱仪光源 451 的功率波动在光谱仪波长 λ_s 的调制期间被补偿,使得仅仅从空气吸收来确定所产生的信号 $S = S_{s1}/S_{s2}$ 。

[0211] 在本发明的范围内,除了具体描述的实施例以外当然还存在可替代的扩展可能性。

[0212] 作为对上述实施方式的修改,尤其是可以代替零差干涉仪还使用外差干涉仪。这将在后面根据图 3a 的示例简要阐述。在这种情况下,干涉仪光源 11 发出两个具有一定程度不同波长的彼此正交偏振的共线射束。所使用的干涉仪光源 11 的偏振轴被调整到干涉仪的分束器元件 13 的偏振轴,使得具有第一波长的射束被导引到测量臂 M 中并且另一射束被导引到参考臂 R 中。在这种情况下,干涉仪探测器单元 20 可能仅含有一个探测器,该探测器具有布置在前面的偏振器,该探测器探测由干涉仪分束器元件 13 所引导的射束。由探测器提供的信号由于干涉仪光源 11 的两个波长分量的干涉而被调制。该调制的相位在相应匹配的两个处理器单元 65 中以公知的方式被分析,并且提供光学光程差 OPD。光谱

仪单元的构造不受其影响。

[0213] 此外还可能的是,除了所阐述的干涉仪类型以外还在根据本发明的干涉仪装置之内使用其它的干涉仪类型、例如 Mach-Zehnder 干涉仪、光栅干涉仪、角干涉仪以及散斑干涉仪。尤其是还可以使用具有大采样间隔的光栅编码器。

[0214] 除此之外,还可以结合成像干涉仪(例如 Fizeau、Twyman-Green、...)使用根据本发明的措施、即尤其是光谱仪单元的设置,其中一个或多个摄像传感器提供位置分辨的长度信息。有利的是,不仅给干涉仪而且还给光谱仪单元装备这样的位置分辨的摄像传感器。由此干涉仪的每个像素值都可以根据本发明通过分析光谱仪单元的所属像素值而被单独地修正。在此,所阐述的第五实施方式特别有利,因为针对干涉仪和光谱仪单元使用同一光源。

[0215] 原则上,根据本发明的通过基于干涉的光学设备的至少两个光路中的至少一个空气成分的吸收测量对空气折射率波动的补偿可以被转用到每个这样的设备上。

[0216] 此外还可能的是,使用具有比所使用的吸收线大一些的光谱宽度的光谱仪光源。在这种情况下,自动进行在该光谱宽度范围内的平均。

[0217] 代替于根据第四实施例的相对高成本的校准设备,也可以通过沿着测量段移动(anfahren)参考点来执行参考测量。这些参考点由附加的参考传感器(例如电容式或光学零点传感器)的信号来指示。最后利用这些信息再次确定系数 $\alpha_{\epsilon 0}$ 、 β_{ϵ} 、以及 $\alpha'_{\epsilon 0}$ 、 β'_{ϵ} 。

[0218] 另外还可能的是,设置用于干涉仪和/或光谱仪单元的光源的光纤引线,以便将放热保持得低,并且使得能够简单地安装。

[0219] 另外例如可以规定:将干涉仪光源和/或光谱仪光源的射束分布到多个干涉仪轴以及所属的光谱仪单元上,以便使所需成本最小化。

[0220] 此外,还可以使用其它调制可能性来调节中心波长,这例如在出版物“Development of an IR tunable diode laser absorptionspectrometer for trace humidity measurements at atmospheric pressure”(Chr. S. Edwards 等人, Appl. Optics 38, No. 21, 1999 年 7 月 20 日)中被描述。

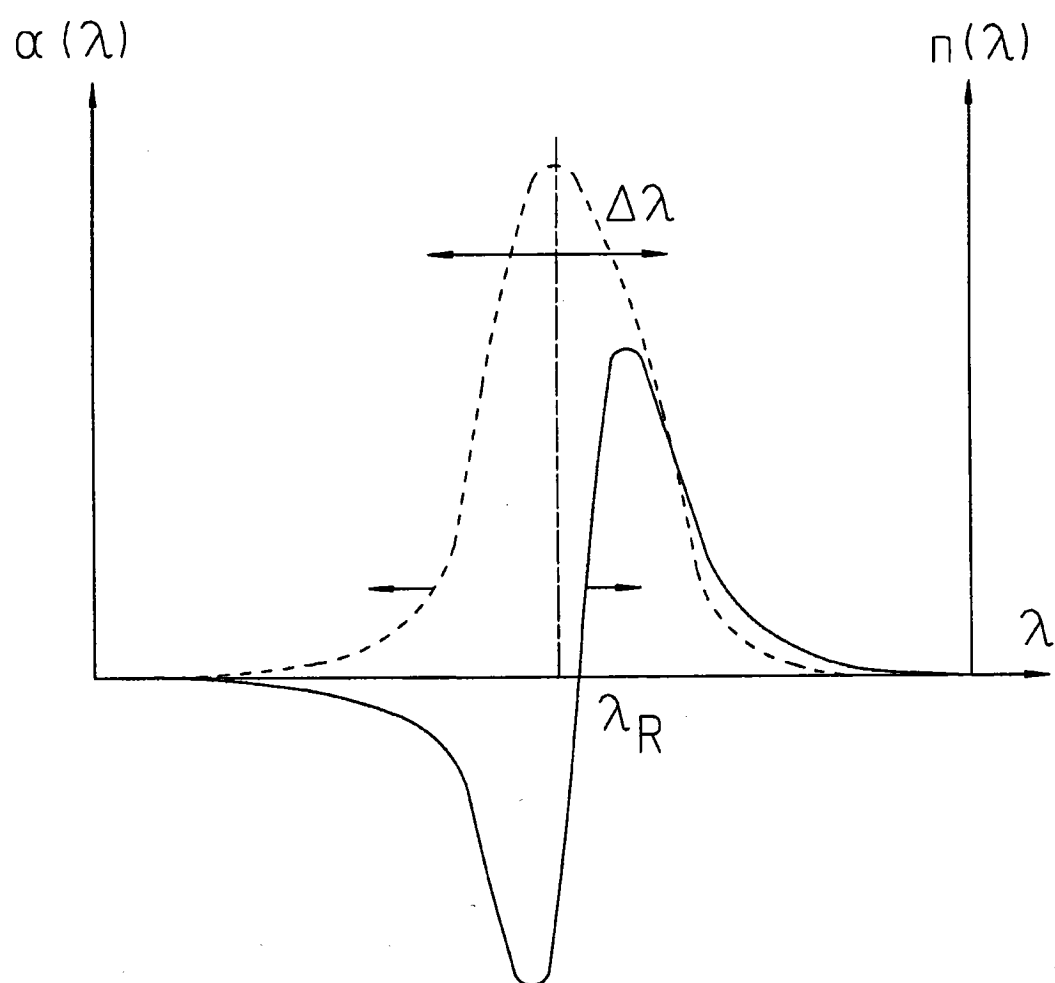


图 1

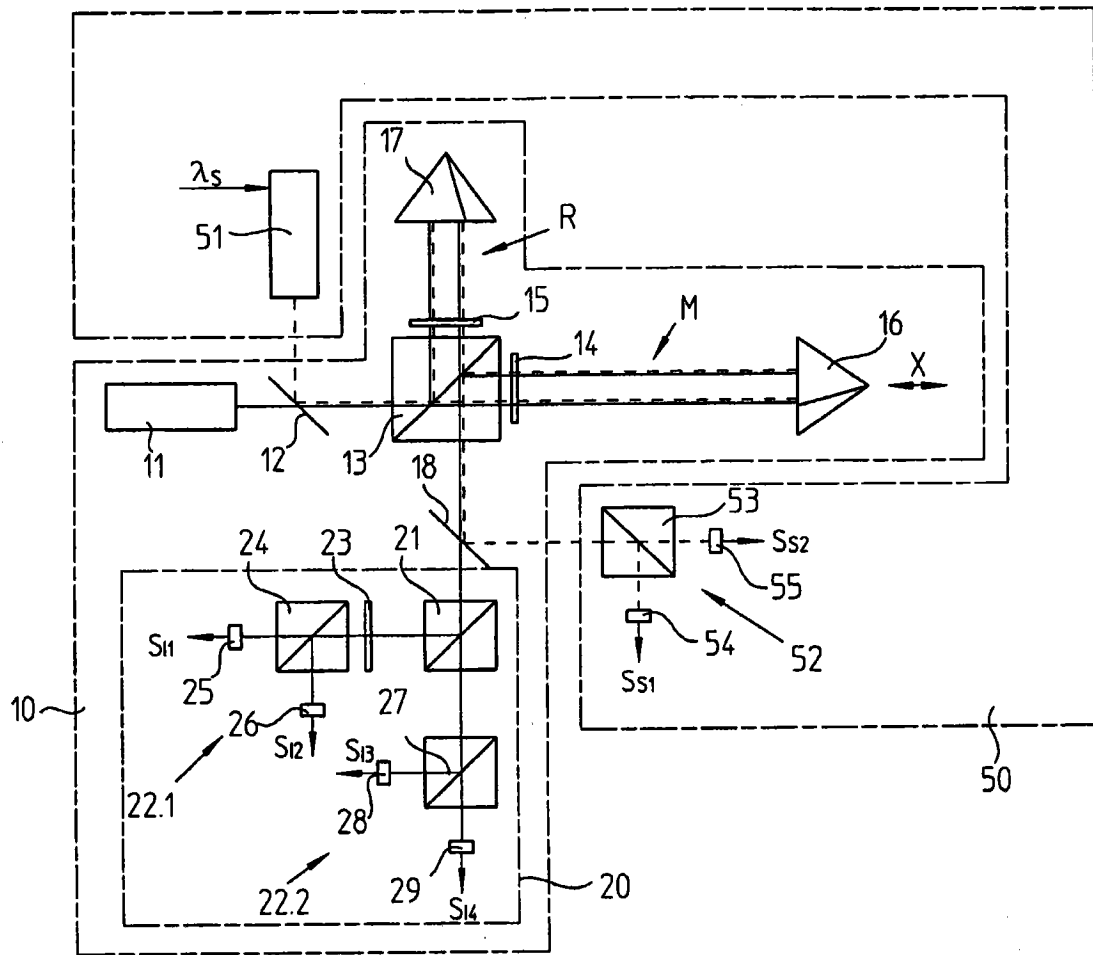


图 2a

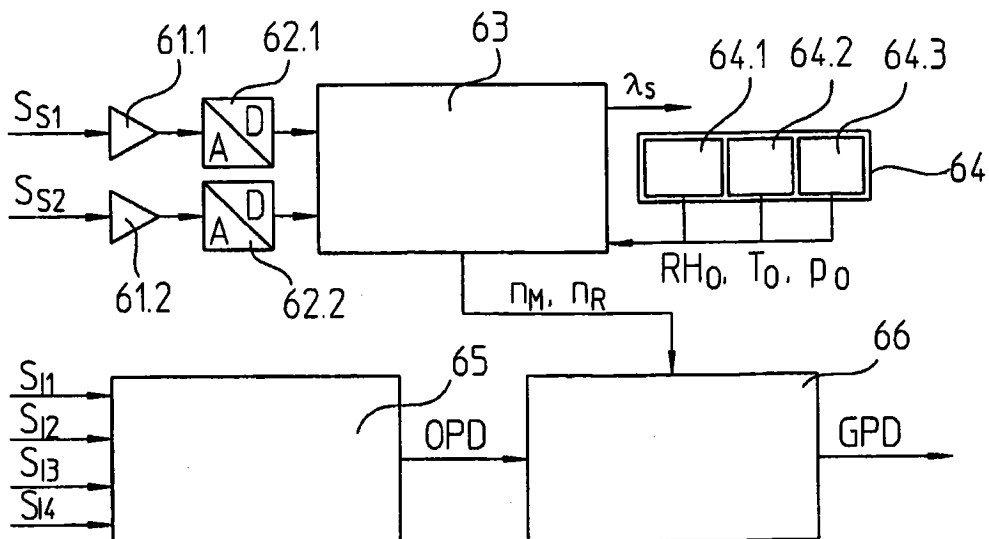


图 2b

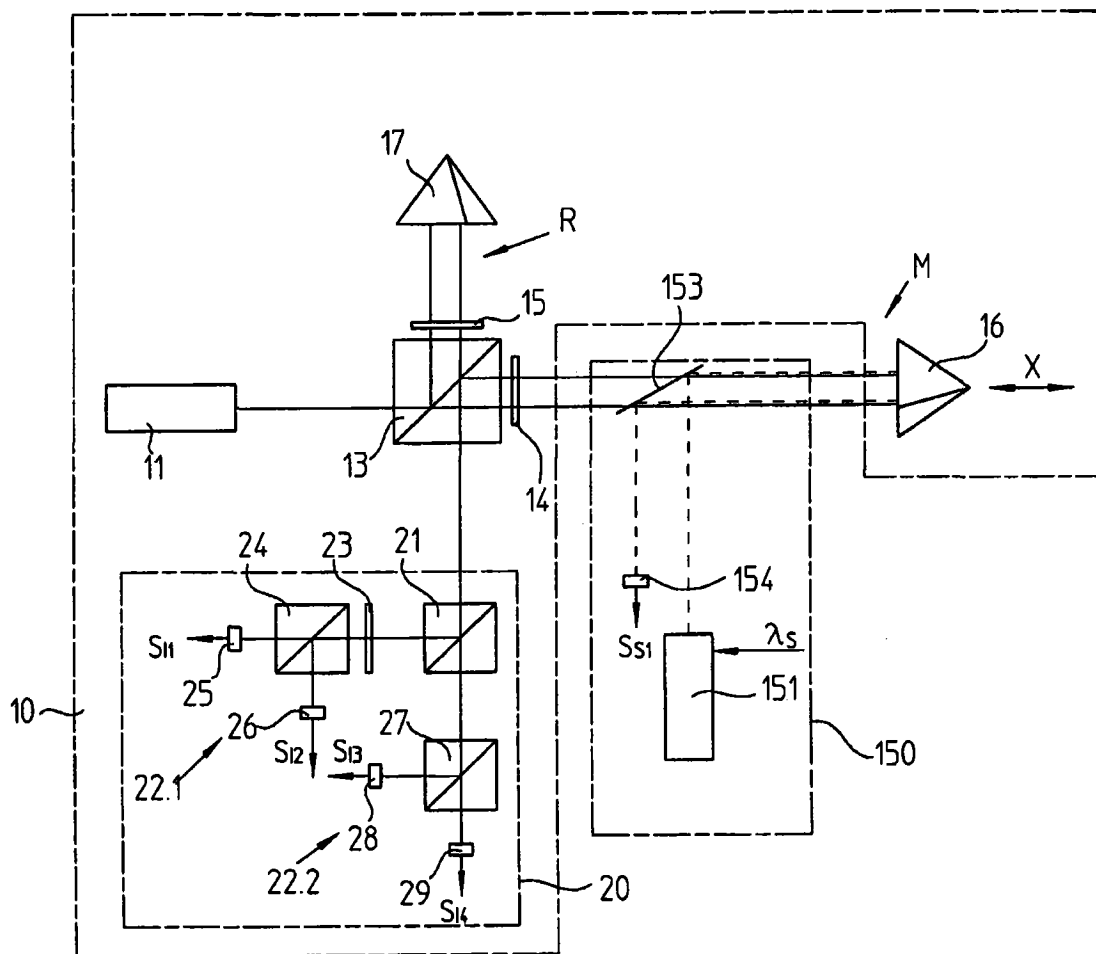


图 3a

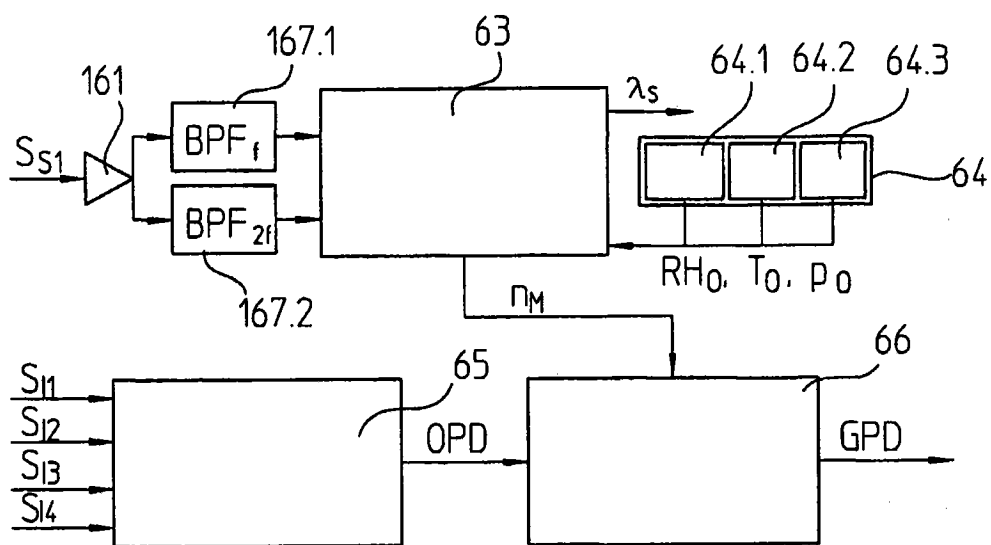


图 3b

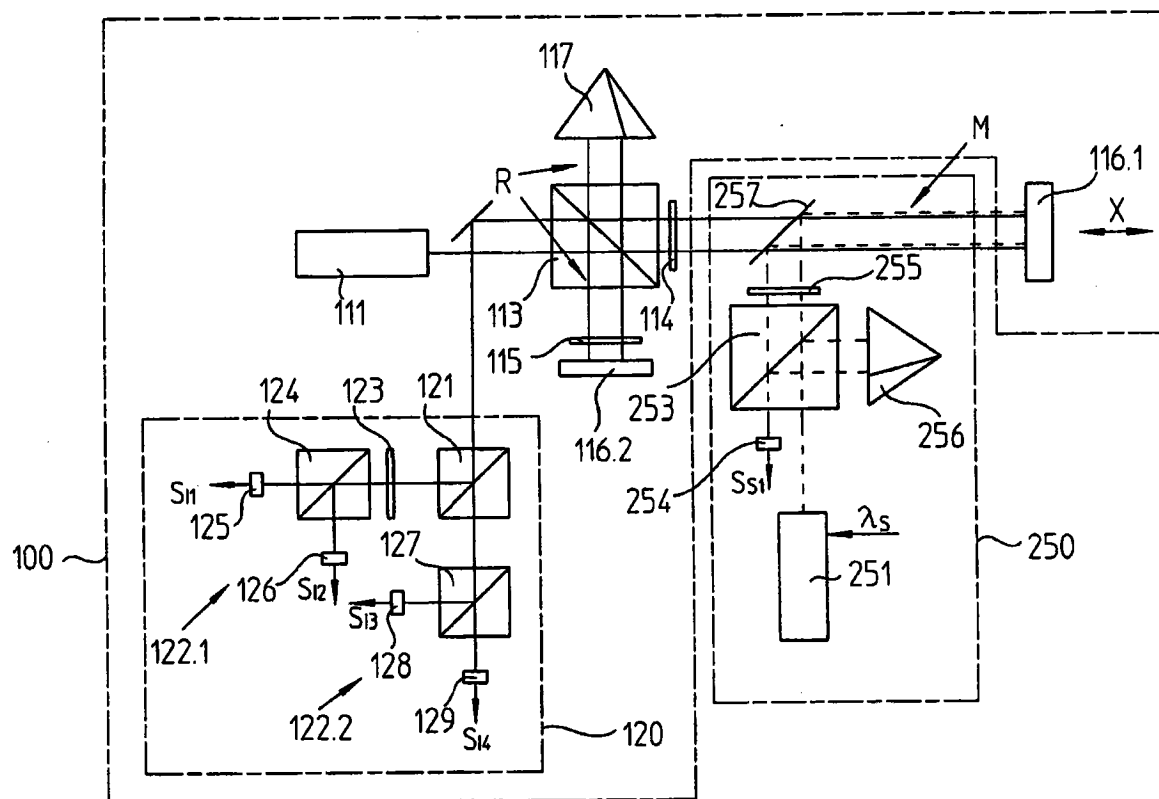


图 4

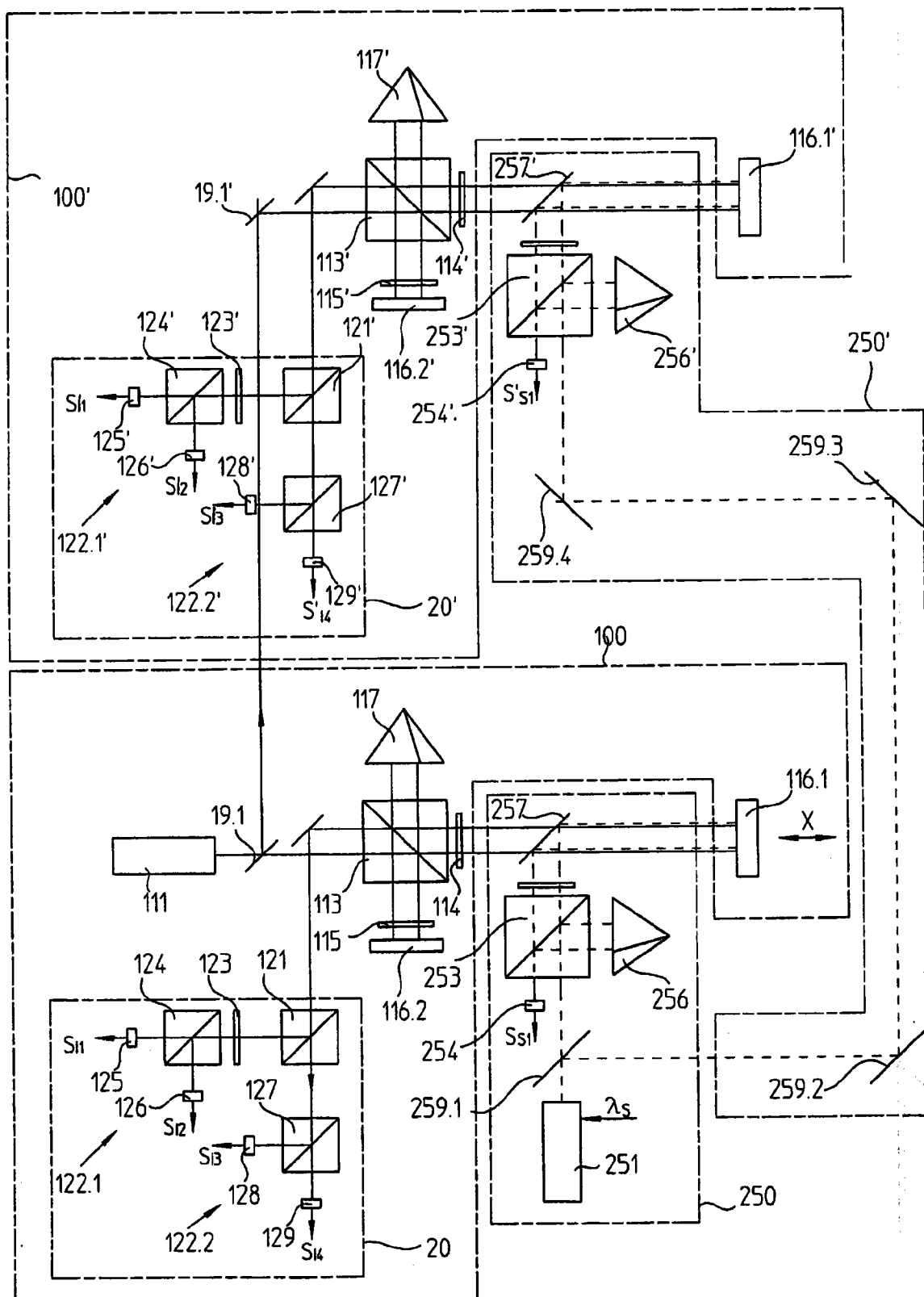


图 5

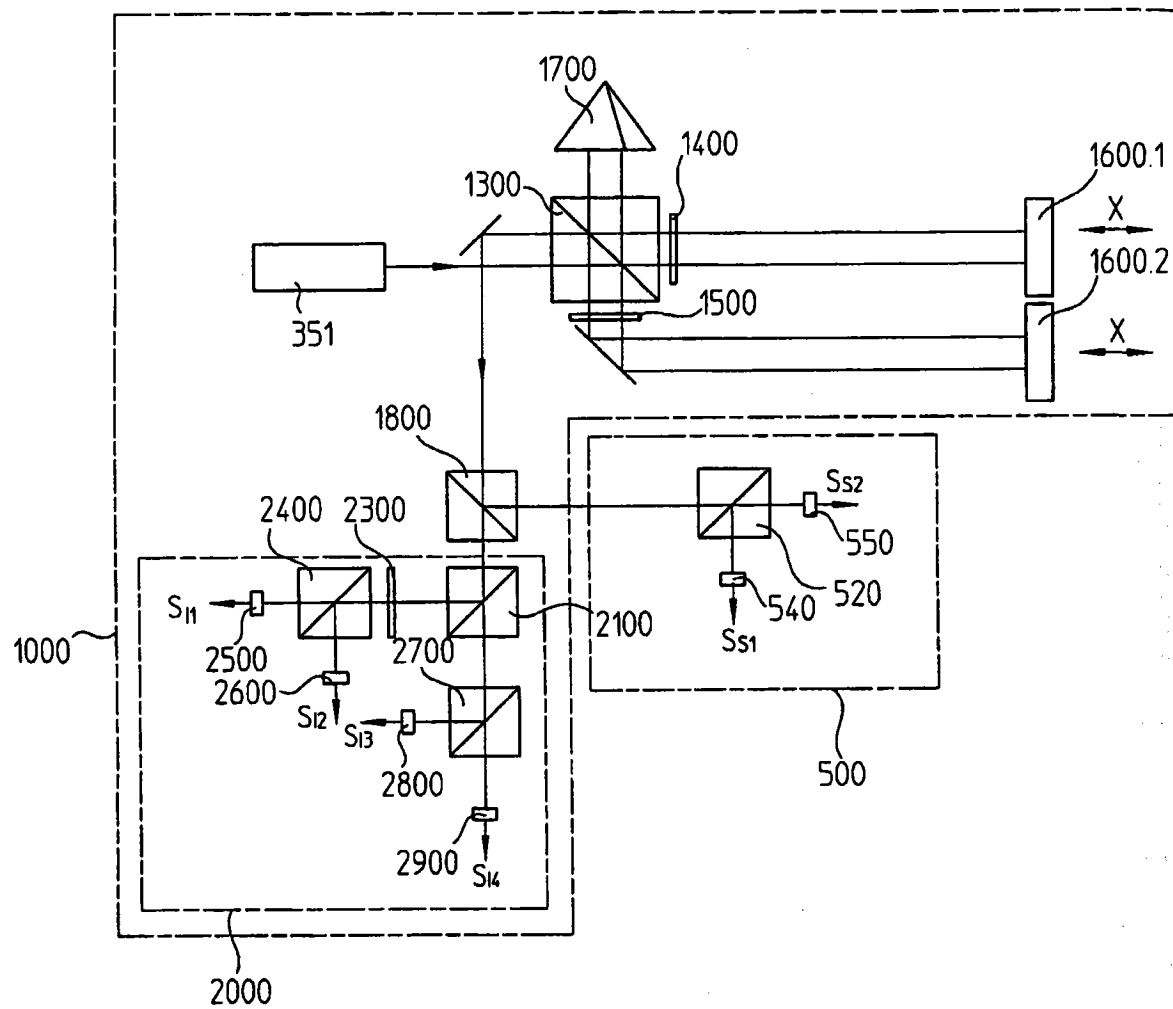


图 6

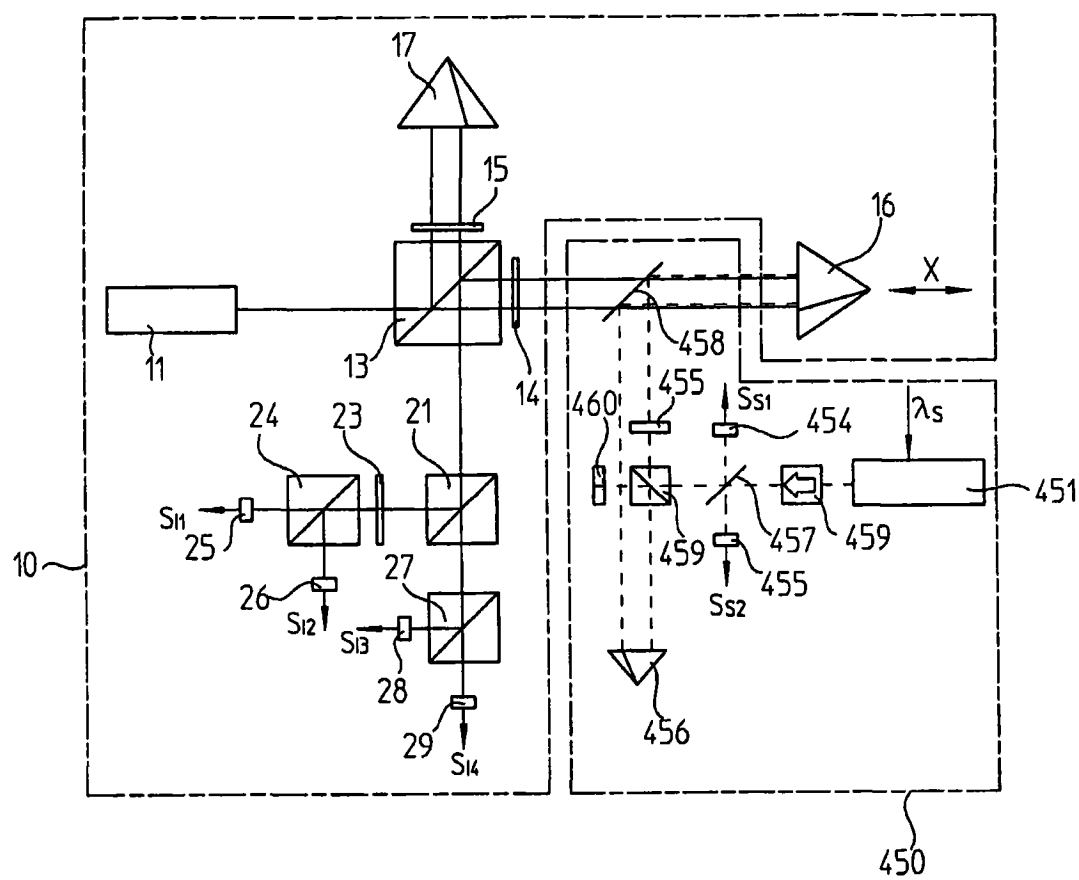


图 7