



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102538714 A

(43) 申请公布日 2012. 07. 04

(21) 申请号 201110451097. 4

(22) 申请日 2011. 12. 29

(71) 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130033 吉林省长春市东南湖大路
3888 号

(72) 发明人 鱼卫星 王二伟 王成 孙强

(74) 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所 22210

代理人 张伟

(51) Int. Cl.

G01B 11/26(2006. 01)

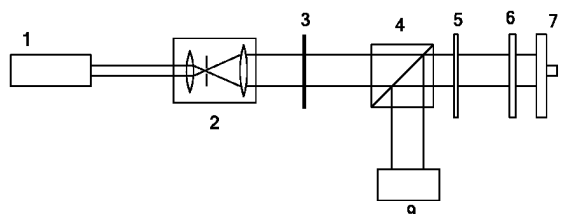
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 1 页

(54) 发明名称

一种平面高精度平行度的检测装置

(57) 摘要

一种平面高精度平行度的检测装置,包括:平面干涉测量装置,其可以对第一待测面与第二待测面之间的平行度进行激光平面干涉测量;移相装置,其可以将所述第二待测面在光路方向上移动;所述第一待测面为半反半透的待测面,所述第二待测面为全反射的待测面,在光路上,所述第一待测面位于所述第二待测面之前。本发明的平面高精度平行度的检测装置,利用将激光平面干涉测量技术与移相干涉技术相结合,大幅度的提高激光平面干涉测量技术的精确度,从而可以对平面高精度平行度进行检测。



1. 一种平面高精度平行度的检测装置,其特征在于,包括:
平面干涉测量装置,其可以对第一待测面与第二待测面之间的平行度进行激光平面干涉测量;
移相装置,其可以将所述第二待测面在光路方向上移动;
所述第一待测面为半反半透的待测面,所述第二待测面为全反射的待测面,在光路上,所述第一待测面位于所述第二待测面之前。
2. 如权利要求 1 所述的检测装置,其特征在于,所述平面干涉测量装置为平面斐索干涉仪。
3. 如权利要求 1 所述的检测装置,其特征在于,所述移相装置包括:
PZT 压电陶瓷,其与所述第二待测面相连,用来调整所述第二待测面在光路上的位置;
驱动电路,其用来控制所述 PZT 压电陶瓷的工作;
控制电路,其用来控制所述驱动电路的工作;
检测电路,其用来检测所述 PZT 压电陶瓷的位置;
电源电路,其用来对驱动电路,控制电路,检测电路进行供电。
4. 如权利要求 1-3 任一所述的检测装置,其特征在于,所述检测装置中还包括信息采集处理装置,其包括:
探测器,其用来接收激光平面干涉测量得到的干涉信息;
信息采集卡,其用来采集所述探测器探测到的信息;
PC 机,其用来处理信息采集卡采集到的信息。

一种平面高精度平行度的检测装置

技术领域

[0001] 本发明属于光学检测技术领域,涉及一种平面高精度平行度的检测装置。

背景技术

[0002] 平面平行度的测量在光学检测和加工中有着重要的作用。激光平面干涉测量技术已经可以很成熟的用来检测两平面平行度,其具有非接触性的特点,测量精度可以达到二分之一波长,能够很好的满足一般情况下的要求。

[0003] 关于激光平面干涉测量技术,下面以平面斐索干涉仪为例具体介绍。平面斐索干涉仪由激光器、分束器、准直物镜、测试平面和标准平面所组成。单色光束入射到标准平面上,部分反射回来作为参考光束;部分透射并通过测试平面反射回来作为检测光束。检测光束与参考光束重合,形成等厚干涉条纹。用斐索平面干涉仪可以检测平板或棱镜的表面面形及其均匀性,测量精度约 1 微米。

[0004] 但是,上面提到激光平面干涉测量技术,因为受到视场内条纹判读的限制,无法进一步的提高测量精度,所以无法应用在一些需要高精度平行度(纳米量级)的环境下,例如纳米压印和纳米光刻等技术领域。

[0005] 另外一方面,近年来移相干涉技术发展已经很成熟,它能够达到百分之一波长的测量精度。具体的说,干涉测量中,若其中一个平面被压电晶体驱动产生移动或振动,其瞬时位移为 l_t ,被检表面的面形为 $w(x, y)$,则参考波面为

$$[0006] \quad w_1 = a \cdot \exp[i2k(s+l_t)]$$

[0007] 被检光路波面为

$$[0008] \quad w_2 = b \cdot \exp\{[i2k[s+w(x, y)]]\}$$

[0009] 式中, a, b 为两波面振幅; s 为两干涉光路的起始光程; $w(x, y)$ 为被检表面的面形函数,它与被检表面的位相 $2k w(x, y)$ 仅差一个常数,故常把 $w(x, y)$ 就当作被检波面的位相。于是,干涉条纹的光强分布为

$$[0010] \quad I(x, y, l_t) = |w_1 + w_2|^2$$

$$[0011] \quad I(x, y, l_t) = a^2 + b^2 + 2ab \cos 2k[\omega(x, y) - l_t]$$

$$[0012] \quad = (a^2 + b^2) \{1 + r \cos 2k[w(x, y) - l_t]\} \quad (1)$$

[0013] 式中, $r = \frac{2ab}{a^2 + b^2}$ 为干涉条纹的对比度。

[0014] 上式说明,干涉场中任意一点的光强都是 l_t 的余弦函数,由于 l_t 随时间变化,因此上式具有时间周期函数的性质,这就可以应用通讯理论从带有噪声的信息中提取信号的相关检测技术或者同步检测技术,以便从带噪声的干涉条纹中提取所需要的波面位相信息。

[0015] 设干涉条纹光电接收时,由于振动,空气扰动,光源及光电转换系统的噪声等影响,使得信号中不仅包含被检的位相信息,而且还包含有噪声项 $n(t)$ 。若用一个相同载波频率的余弦信号与被检信号进行相关运算。则

$$[0016] \quad \langle I_1 \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T [I(x, y, l_t) + n(t)] \cos 2kl_t$$

[0017] 把 (1) 式代入上式, 并设 $n(t)$ 为随机噪声, 则其相关积分场为

$$[0018] \quad \langle I_1 \rangle = r \cos 2kw(x, y) \quad (2)$$

[0019] 因此相关函数 $\langle I_1 \rangle$ 反映了波前 $w(x, y)$ 的大小, 为了能得到 $w(x, y)$, 将被检信号同时与 $\sin 2kl_t$ 相关, 同理可得到

$$[0020] \quad \langle I_2 \rangle = r \sin 2kw(x, y) \quad (3)$$

[0021] 由 (2), (3) 两式可得到所需要的波面位相信息为

$$[0022] \quad w(x, y) = \frac{1}{2k} \tan^{-1} \frac{\langle I_2 \rangle}{\langle I_1 \rangle}$$

$$[0023] \quad \text{其中 } k = \frac{2\pi}{\lambda}。$$

[0024] 为了利用干涉检测达到与上述相关检测技术相同的结果, 把 (1) 式展开成傅里叶级数的形式:

$$[0025] \quad I(x, y, l_t) = a_0 + a_1 \cos 2kl_t + b_1 \sin 2kl_t$$

$$[0026] \quad \text{式中 } a_0 = a^2 + b^2, a_1 = 2ab \cos 2kw(x, y), b_1 = 2ab \sin 2kw(x, y) \quad (4)$$

[0027] 为了方便对干涉场内多个数据点采样, 使 l 作分立阶梯式变化。因为 l 每变化 $\lambda/2$, 条纹亮暗变化一个周期, 设一个周期内 l 的阶梯变化数为 n , 即 l 变化一个条纹周期对每个采样点采样 n 次, 其采样值为

$$[0028] \quad I(x, y, l_i) = a_0 + a_1 \cos 2kl_i + b_1 \sin 2kl_i$$

$$[0029] \quad l_i = \frac{\lambda}{2n} \bullet i \quad i = 0, 1, 2, 3, \dots, n-1$$

[0030] 根据三角函数的正交性关系, 可求出傅里叶级数各系数, 即

$$[0031] \quad a_0 = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n I(x, y, l_i)$$

$$[0032] \quad a_1 = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n I(x, y, l_i) \cos 2kl_i \quad (5)$$

$$[0033] \quad b_1 = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n I(x, y, l_i) \sin 2kl_i$$

[0034] 式 (4) 和式 (5) 给出的傅里叶级数表达式是在最小平方意义上对干涉场亮度变化周期函数的最佳拟合。因此干涉场上个采样点的位相可由两个加权平均值之比给出:

$$[0035] \quad w(x, y) = \frac{1}{2k} \tan^{-1} \frac{b_1}{a_1} = \frac{1}{2k} \tan^{-1} \frac{\frac{2}{n} \sum_{i=1}^n I(x, y, l_i) \sin 2kl_i}{\frac{2}{n} \sum_{i=1}^n I(x, y, l_i) \cos 2kl_i}$$

[0036] 为进一步降低噪声影响, 提高测量精度, 可进一步对 P 个周期的测量数据做累加

$$\text{平均, 即 } w(x, y) = \frac{1}{2k} \tan^{-1} \frac{\frac{2}{n} \sum_{i=1}^{n \bullet p} I(x, y, l_i) \sin 2kl_i}{\frac{2}{n} \sum_{i=1}^{n \bullet p} I(x, y, l_i) \cos 2kl_i}$$

[0037] 因此, 孔径内任意一点的位相即可由该点上 $n \times p$ 个光强采样值计算求得, 算出逐个孔径上各点的位相, 就可以得到整个被检面的位相或面形。而且由于消去了干涉光强中

的直流项,因此光强扰动产生的直流漂移也被消除了。

[0038] 采用四步算法来计算 $w(x, y)$, 可以使得移相干涉技术的测量精度达到百分之一波长, 即纳米量级。具体的说

[0039] 可令 $2kl_i = 0, \pi/2, \pi, 3\pi/2, i = 1, 2, 3, 4$

$$[0040] \quad \text{则 } \omega(x, y) = \frac{1}{2k} \arctan \frac{I_4 - I_2}{I_1 - I_3} \quad (6)$$

[0041] 由 $\omega(x, y)$ 分布曲线我们可以得到视场内两平面的倾斜量

$$[0042] \quad \Delta \omega = \omega_{\max} - \omega_{\min}$$

[0043] 平行度 $\alpha = \frac{\Delta \omega}{D}$ 其中, D 为干涉场口径。平行度的单位为弧度 (rad)。

[0044] 进而, 采用四步平均法能够减小移相干涉中相位位移误差引起的相位计算误差, 具体方法如下:

[0045] 在 (6) 式中取 $2kl_i = 0, \pi/2, \pi, 3\pi/2, 2\pi$, 使 $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ 作为一个测量组合, 错过一个干涉图后, 取 $\pi/2, \pi, 3\pi/2, 2\pi$ 作为一个测量组合, 其中, $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2, 2\pi$ 分别对应 $i = 1, 2, 3, 4, 5$ 。于是基于四步移相法分别求出 ω_1 和 ω_2 , 最后把这两个结果进行平均, 即

$$[0046] \quad \omega(x, y) = \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{2k} \left[\arctan \frac{I_4 - I_2}{I_1 - I_3} + \arctan \frac{I_5 - I_3}{I_2 - I_4} \right] \right\} \quad (7)$$

[0047] 目前, 还没有人将上面详细描述移相干涉技术, 及其相应的四步算法、四步平均法等数据处理方法, 具体应用在平面高精度平行度检测的方面。

发明内容

[0048] 为了解决现有平面平行度检测装置测量精度不高, 无法适用在平面高精度平行度检测的技术问题, 提出一种结合了激光平面干涉测量技术与移相干涉技术的, 平面高精度平行度的检测装置。

[0049] 本发明解决技术问题所采用的技术方案如下:

[0050] 一种平面高精度平行度的检测装置, 包括:

[0051] 平面干涉测量装置, 其可以对第一待测面与第二待测面之间的平行度进行激光平面干涉测量;

[0052] 移相装置, 其可以将所述第二待测面在光路方向上移动;

[0053] 所述第一待测面为半反半透的待测面, 所述第二待测面为全反射的待测面, 在光路上, 所述第一待测面位于所述第二待测面之前。

[0054] 在上述技术方案中, 所述平面干涉测量装置为平面斐索干涉仪。

[0055] 在上述技术方案中, 所述移相装置包括:

[0056] PZT 压电陶瓷, 其与所述第二待测面相连, 用来调整所述第二待测面在光路上的位置;

[0057] 驱动电路, 其用来控制所述 PZT 压电陶瓷的工作;

[0058] 控制电路, 其用来控制所述驱动电路的工作;

[0059] 检测电路, 其用来检测所述 PZT 压电陶瓷的位置;

- [0060] 电源电路,其用来对驱动电路,控制电路,检测电路进行供电。
- [0061] 在上述技术方案中,所述检测装置中还包括信息采集处理装置,其包括:
- [0062] 探测器,其用来接收激光平面干涉测量得到的干涉信息;
- [0063] 信息采集卡,其用来采集所述探测器探测到的信息;
- [0064] PC 机,其用来处理信息采集卡采集到的信息。
- [0065] 本发明的有益效果是:
- [0066] 本发明的平面高精度平行度的检测装置,利用将激光平面干涉测量技术与移相干涉技术相结合,大幅度的提高激光平面干涉测量技术的精确度,从而可以对平面高精度平行度进行检测。

附图说明

- [0067] 图 1 是本发明的平面高精度平行度的检测装置的一种具体实施方式的光路原理示意图。
- [0068] 图中的附图标记表示为:
- [0069] 1. 激光器;2. 扩束准直装置;3. 起偏器;4. 分束镜;5. 1/4 波片;6-7. 待测面;8. PZT;9. CCD。

具体实施方式

- [0070] 下面结合附图对本发明做进一步详细描述。
- [0071] 如图 1 所示,本发明的平面高精度平行度的检测装置中,包括平面干涉测量装置和移相装置。在光路方向上分别设有:用来提供相干光源的激光器 1,扩束准直装置 2,起偏器 3,分束镜 4,1/4 波片 5,待测面 6 和待测面 7,以及与所述待测面 7 相连接的移相装置。所述待测面 6 为半反半透待测面,所述待测面 7 为全反射待测面。光线经过待测面 6 和待测面 7 反射后,将分别产生参考光束和检测光束,并会经原光路返回,通过分束镜 4 反射到 CCD9 中进行采集,实现干涉。其中的起偏器 3 和 1/4 波片 5 的作用是用来抑制反射光对激光的干扰。
- [0072] 上述的由激光器 1,扩束准直装置 2,分束镜 4,待测面 6 和待测面 7,以及 CCD9 组成的测量装置,即为平面斐索干涉仪。
- [0073] 所述移相装置包括:PZT 压电陶瓷 8,驱动电路,控制电路,检测电路以及电源电路。与所述第二待测面相连的 PZT 压电陶瓷 8,是用来调整待测面 7 在光路上的位置;驱动电路是用来控制所述 PZT 压电陶瓷 8 的工作;控制电路是用来控制所述驱动电路的工作;检测电路是用来检测所述 PZT 压电陶瓷 8 的位置;而电源电路是用来对驱动电路,控制电路,检测电路进行供电。
- [0074] 本发明的平面高精度平行度的检测装置中还信息采集处理装置,其包括:探测器,信息采集卡,以及 PC 机。探测器是用来接收激光平面干涉测量得到的干涉信息;信息采集卡用来采集所述探测器探测到的信息;PC 机用来处理信息采集卡采集到的信息。
- [0075] 本发明检测装置的工作原理为:激光器 1 发射光束经扩束准直装置 2 准直扩束,通过起偏器 3,入射到分束镜 4 上,通过分束镜 4 后面的 1/4 波片 5 后,入射到待测面 6 和待测面 7 上(待测面 6 和待测面 7 分别为半反半透和全反平行平板)。然后通过移相装置对待测

面 7 进行移相处理,使待测面 7 在光路方向上的位相改变量分别为 $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2, 2\pi$ 。分别检测上述 5 个位置的干涉图。然后采用四步平均法对检测到的数据进行处理,得到待测面 6 与待测面 7 之间的平行度的信息,平行度的测量精度可以达到微弧度 (microradian, mrad) 的量级。

[0076] 所述移相装置中的 PZT8 的驱动频率和 CCD9 采样相匹配,满足移相测量以及四步平均数据处理方法的要求。干涉图像由 CCD9 采集。信息采集处理装置通过探测器,从 CCD9 处探测得到干涉信息,然后收集到信息采集卡中,然后再由 PC 机处理信息采集卡采集到的信息,并输出结果。

[0077] 显然,上述实施例仅仅是为清楚地说明所作的举例,而并非对实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说,在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式的变化或变动。这里无需也无法对所有的实施方式予以穷举。而由此所引伸出的显而易见的变化或变动仍处于本发明创造的保护范围之内。

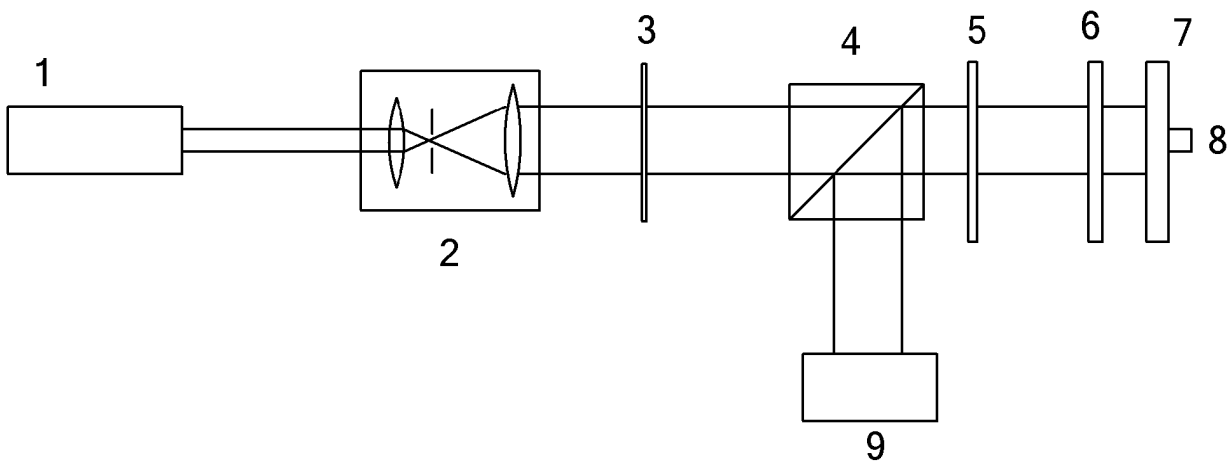


图 1