

[19]中华人民共和国专利局

[51]Int.Cl.⁴
G01J 9/00



[12] 发明专利申请公开说明书

[11] CN 85 1 02287 A

CN 85 1 02287 A

[43] 公开日 1986年8月6日

[21] 申请号 85 1 02287
[22] 申请日 85. 4. 1
[71] 申请人 中国科学院长春光学精密机械研究所
地址 吉林省长春市斯大林街112号
[72] 发明人 徐炳德

[74] 专利代理机构 中国科学院长春专利事务所
代理人 刘树清

[54] 发明名称 一种微小光程差测量系统

[57] 摘要

一种微小光程差测量系统。

属于物理学领域中一种光学计量测试装置[G01J9/00],它是利用光拍相位变化来测量微小光程差的一种光电系统。

本发明采用含有电光移相器的双臂可调程平行光路作为二不同频率光的非共程光路,选用了具有较佳性能参数的双频激光,因而使系统可测量 1\AA ~一个光波长范围的微小位移;也可测量具有微小折射率变化或微小变形的透明体在 1\AA ~一个光波长范围的微小光程变化,并可给出程差变化过程或其分布。

242/8601927/19

北京市期刊登记证第1405号

权 利 要 求 书

1、一种微小光程差测量系统，是由双频激光源，共程光路、非共程光路、光混频器和信号处理系统组成。其特征在于：非共程光路采用双臂可调程平行光路结构；并在此光路中置入电光移相器和光程补偿器。

2、按权利要求1所述的测量系统，其特征在于：非共程光路由偏振分束器〔11〕，二平面反射镜组〔13〕、〔14〕和〔17〕、〔18〕以及合束器〔15〕组成。二不同频率光经偏振分束器〔11〕分离为成 90° 角的两个支臂光路，每一支臂光路中的平面反射镜组〔13〕、〔14〕或〔17〕、〔18〕的二反射面互相垂直，而且对二不同频率光均为 45° 入射，合束器〔15〕位于二不同频率光重新会合处，而且其分光面对二不同频率光也均呈 45° 入射。反射镜组〔13〕、〔14〕可以一起沿反射镜〔14〕反射光方向前后平移；反射镜〔18〕和合束器〔15〕也可以沿上述方向一起平移。

3、按权利要求1所述的测量系统，其特征在于所选用的双频激光源发出的双频激光具有如下性能参数：其光频稳定度可在 $1 \times 10^{-8} \sim 5 \times 10^{-11}$ 之间，频差值可在 $30 \text{ KHz} \sim 150 \text{ KHz}$ 之间，差频稳定度可在 $1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-6}$ 之间。

4、按权利要求1所述的测量系统，其特征在于，在非共程光路的任一支臂光路中插入电光移相器〔16〕，而在另一支臂光路中插入与电光移相器等光程的光程补偿器〔12〕。

5、按权利要求1所述的测量系统，其特征在于，共程光路中

和非共程光路后的两个光混频器〔10〕、〔23〕前面分别加入一适当焦距的会聚透镜〔8〕和〔12〕并使光混频器的光敏面与会聚透镜的后焦面重合。

6、一种微小光程差测量系统的用途，其特征在于：如果把一产生微小位移机构（如压电陶瓷、压电晶体、磁致伸缩体或微小变形体等）直接与非共程光路中的反射镜组〔13〕、〔14〕固联；或者把一微小角度变化量转化成为微小位移量后再与此反射镜组固联，并推动其沿反射镜〔14〕的反射光方向平移，则可测量其在 1 \AA ~一个光波长范围的微小位移；或相对应的微小角度量，并可记录其变化过程。如果在非共程光路中的任一支臂光路中插入透明体，则可测出该透明体由于各种物理效应所引起的微小折射率变化或微小变形产生的 1 \AA ~一个光波长范围内微小光程变化。如果沿垂直光行方向平移透明体，则可以 1 \AA 的程差灵敏度测出其在移动方向上的光程差分布。

一种微小光程差测量系统

属于物理学领域中一种光学计量测试装置〔G01J9/00〕。它是一种通过测量双稳频双频激光的光拍相位变化来测量 1 \AA ~一个光波长范围内微小光程差的光电系统。

本发明前，已有一种利用光频和差频均有一定稳定度的双频激光测量光滑表面粗糙度的装置〔App1. Opt., 1981, 20, No4 (Feb), 610〕其概要如图1所示。激光器〔1〕输出的二差频光经分束器〔2〕分为一参考光路〔I〕和一测量光路〔II〕。参考光路中二差频光共程，经光混频器〔4〕得参考差频信号，其相位可由参考光路中由波片组成的光学移相器〔3〕来调节。测量光路中，通过渥拉斯顿稜镜〔5〕将二差频光分开一小角度，经显微镜〔6〕将二差频光分别聚焦到其焦面上的可旋转被测表面〔7〕的两点上，其中一点与被测表面的旋转中心相重合。利用焦面上对称反射，二差频光返经显微物镜〔6〕和渥拉斯顿稜镜〔5〕重新会合，再经反射镜〔8〕投向光混频器〔9〕，得到测量差频信号。以上二差频信号通过鉴相器〔10〕，得二信号的相位差。当被测表面旋转时，即可测出表面的相对高度差——可得其表面粗糙度。该装置采用纵向塞曼效应稳频的双频激光，其光频稳定度为 2×10^{-8} ，差频稳定度为 5×10^{-7} ，差频值为 2 MHz ，其测量高度差灵敏度约为 1 \AA 。

上述装置作为测量表面粗糙度的装置是可取的，但其采用的激光光频稳定度较低，测量光路中二差频光分离后的程差允许值较小（约 0.1 mm ），加上光路布置狭限，故其用途十分局限。此外，

该装置还存在所用的双频激光频差较大，因而对差频稳定性和电子学系统的频响要求较高等问题。

本发明的目的是突破已有装置在方案和用途上的局限性，并克服其在技术上的某些缺欠，构成一种能测量 $1 \mu\text{m}$ ~ 一个光波长范围内微小光程差的、具有多种新用途功能的、技术上要求相对较低又使用方便的高精度测量系统。

本发明的构成，如图 2 所示。整个测量系统由双频激光源，共程光路，非共程光路，光混频器和信号处理系统组成。

双频激光源〔1〕选用双稳频双频激光器，由它发出的二不同频率光是共线传播的，但具有不同的偏振状态。其光频稳定度可在 $1 \times 10^{-8} \sim 5 \times 10^{-11}$ 之间。频差值可在 $30 \text{ KHz} \sim 150 \text{ KHz}$ 之间，差频稳定度可在 $1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-6}$ 之间。共程光路由分束器〔5〕到光混频器〔10〕组成，在光混频器〔10〕的前面放置一适当焦距的会聚透镜〔8〕，而光混频器〔10〕的光敏面与会聚透镜〔8〕的后焦面重合。非共程光路由偏振分束器〔11〕，二平面反射镜组〔13〕、〔14〕和〔17〕、〔18〕以及合束器〔15〕组成——构成一双臂可调程平行光路。具有一定频差和不同偏振态的二不同频率光经偏振分束器〔11〕分离为成 90° 角的两个支臂光路：每一支臂光路中的平面反射镜组〔13〕、〔14〕或〔17〕、〔18〕的二反射面互相垂直，且对二不同频率光均为 45° 入射，合束器〔15〕位于二差频光重新会合处，且其分光面对二不同频率光也都呈 45° 入射。这样，二不同频率光分别经过二支臂光路在合束器〔15〕上重新会合后，将沿反射镜〔14〕反射光的方

向再次共线传播。反射镜组〔13〕、〔14〕可以一起沿反射镜〔14〕的反射光方向前后平移；反射镜组〔18〕和合束器〔15〕也可以沿上述方向一起平移。此外，在二支臂光路中，又分别放置一电光移相器〔16〕和一光程补偿器〔12〕，此二者的光程值是相等的。

由双频激光源〔1〕发出的具有上述性能的双频激光，经分束器〔5〕分成具有适当强度比的两束光。由分束器〔5〕反射的一路，经上述共程光路，由光混频器〔10〕输出频率为双频激光频差值的共程拍频信号，经分束器〔5〕透过的一路，经上述非共程光路，在合束器〔15〕重新会合后，经过有适当焦距的会聚透镜〔21〕，会聚于光敏面与透镜〔21〕后焦面重合的光混频器〔23〕上，得到非共程拍频信号。非共程拍频信号与共程拍频信号具有相同的频率，而其初相位差可由电光移相器〔16〕调节。如果在非共程光路中任一支臂光路内引入被测的微小光程差，则此光程差引起的光相位变化将原本地转变为非共程拍频信号的相位变化。此二拍频信号分别经过放大滤波器〔24〕、〔25〕进行放大、滤波、整形，并送入相位计〔26〕比较其相位，即可测出欲测的微小光程差。根据实际需要，相位计〔26〕的输出信号即可以通过模—数转换器〔27〕，由数字显示器〔28〕给出数字结果；也可以由记录仪〔30〕直接记录；或者接入微型计算机〔29〕进行处理。以上从〔24〕到〔30〕均属信号处理系统。

上述系统正常工作的主要条件是：非共程光路中二支臂光路的光程差应与所选用的激光光频稳定度相适应；测量时的环境条件须适当稳定。

本发明的效果如下：

1、由于选用了较高光频稳定度的双频激光，因而增大了非共程光路中二支臂光路的程差允许值。在保证系统具有1 μ m程差灵敏度的前提下，对应 $1 \times 10^{-8} \sim 5 \times 10^{-11}$ 之间的光频稳定度，二支臂光路的程差允许值为0.4~80mm之间。这样，一方面降低了光学系统设计、加工要求，使光学系统的装调容易；同时，也允许在二支臂光路调到大体等程的情况下，在任一支臂光路中直接插入光程值为上述允许值以内的被测件。

2、由于选用了较小的双频激光的频差值，因而降低了稳定度的要求；也降低了处理拍频信号有关电子线路的频响要求；又放宽了共程光路程长与非共程光路平均程长之差的允许变化值，对应30KHZ~150KHZ之间的差频值，此程长差的允许变化值为30mm~6mm之间。

3、由于非共程光路采用双臂可调程平行光路结构，一是扩大了系统的用途（详见后），二是当光路中插入透明被测件时，可以通过沿平面反射镜【14】的反射光方向同步移动反射镜【13】和合束器【15】，来调整二支臂光路的光程差，使其小于由实际采用的激光光频稳定度所决定的允许值，以保证系统正常工作和给定的精度。而且，这种调程方法可以保证合束后光束传播方向不变，同时由于二支臂光程一增一减，因而调程效果显著，机械行程小。

4、由于在非共程光路的一个支臂中置入电光移相器，因此，在每次测量前，可用给它施加一定电压来检验光路调程是否合乎要求以及系统工作是否正常；也可根据需要，用它来方便而精确地调节二拍

频信号的初相位差。即光电移相器可作为系统工作的校验器，也可作为初相位差的调节器。此外，把二光混频器光敏面置于会聚透镜的焦面，是为减小高斯光束混频特有的附加相位的影响。

上述测量系统可具有1 Å的程差测量灵敏度，可测量1 Å~一个光波长范围内多种情况下的微小光程差。

本发明的最佳实例，如图2所示。

双频激光源〔1〕可选用利用横向塞曼效应稳频的H_α-N_α双频激光器，它由稳频器〔2〕实现双稳频的要求，该激光器输出的π、σ光为共线传播的二正交线偏振光，波长为6328 Å。其光频稳定度可为 1×10^{-9} ，频差值可取在60 KHz左右，差频稳定度可取 1×10^{-9} 。激光束经扩束镜〔3〕，小孔光阑〔4〕后，由分束器〔5〕分成一定强度比的两路光。由分束器〔5〕反射的一路，经过可变衰减片〔6〕与45°放置的偏振片〔7〕，由聚焦透镜〔8〕将光束会聚到其前面置有小孔光阑〔9〕的光混频器〔10〕上，以上为共程光路。由分束器〔5〕透射的一路，经前面叙述过的非共程光路，重新会合后，也经过一可变衰减片〔19〕，45°放置的偏振片〔20〕，由会聚透镜〔21〕投到其前面置有小孔光阑〔22〕的光混频器〔23〕上，由光混频器〔10〕和〔23〕输出的二拍频信号进入前面叙述过的信号处理系统，过程不再重述。

光学系统中，二可变衰减片〔6〕和〔19〕可用可变中性滤光片；二光混频器〔10〕、〔23〕可用低噪声光电倍增管；偏振分束器〔11〕可用一底面镀偏振分光膜的稜镜对；合束器〔15〕可用一底面镀半透析光膜的稜镜对；电光移相器〔16〕可用LiNbO₃X

轴加电场的横向结构。在机械结构上，平面反射镜组〔13〕〔14〕固联；反射镜〔18〕和合束器〔15〕固联，并均可沿反射镜〔14〕的反射光方向一起平移。移动时，应有小的摩擦力，而且应有锁紧机构可使其与底座固死。为保证系统有 1 \AA 的程差测量灵敏度，信号处理系统中的相位计应有 0.05° 的鉴相精度；输入相位计的二拍频信号的谐波成分与噪声之和对基波成分的比应小于 0.08% ，满足这两项要求的电子学装置可以自制也可以市购。

环境条件的不稳定性将影响系统的稳定性，因此，环境条件需严格稳定，包括恒温、恒湿、减震，气闭等，具体达到的稳定程度随测量对象不同而异，但均可由监测本系统的静态输出的稳定性决定之，如采用计算机快速取样，可大大减小环境不稳定性的影响。

本发明是一种具有多种用途功能的测量 1 \AA ~一个光波长范围内微小光程差的测量系统。如果把一产生微小位移的机构（如压电陶瓷，压电晶体，磁致伸缩体，或微小变形体等）直接与非共程光路中的反射镜组〔13〕、〔14〕固联；或者把一微小角度变化量转化成为微小位移量后再与此反射镜组固联，并推动其沿反射镜〔14〕的反射光方向平移，则可测量在 1 \AA ~一个光波长范围的微小位移；或相对应的微小角度量，并可记录其变化过程。如果在非共程光路的任一支臂光路中插入一透明体，则可测出该透明体由于各种物理效应所引起的微小折射率变化或微小变形产生的 1 \AA ~一个波长范围内微小光程变化。如果沿垂直光行方向平移该透明体，则可以 1 \AA 的程差灵敏度测出其在移动方向上的光程差分布。

本发明的用途最佳实施例，如图2所示。

1、压电陶瓷位移—电压曲线的测量：

将压电陶瓷〔31〕的一端与反射镜组〔13〕、〔14〕固联，另一端与基座固死。把压电陶瓷上施加的电压分接到X—Y记录仪〔30〕的X轴，相位计〔26〕的输出接X—Y记录仪的Y轴，则当连续改变压电陶瓷上所加电压时，X—Y记录仪可以 1 \AA 的位移灵敏度画出其位移—电压响应曲线；并可求其机电转换系数。

2、电光移相器程差—电压曲线的测量：

将电光移相器〔16〕和光程补偿器〔12〕分别放入二不同支臂光路中，调整二支臂光路的程差使其小于所用激光光频稳定度所决定的程差允许值。调整电光移相器的感应轴与所在光路中光场的振动方向一致。将电光移相器上施加的电压分接到X—Y记录仪〔30〕的X轴，将相位计〔26〕的输出接X—Y记录仪的Y轴，则当连续改变加到电光移相器上的电压时，记录仪可以 1 \AA 的程差灵敏度画出电光移相器的程差—电压曲线；并可精确求出其半波电压。

3、光学材料光学均匀性的高精度检测：

将欲测光学材料制成光学平行平板，经干涉仪检查，在欲测面积内光程不均匀性在一个光波长以内，然后将平行平板〔32〕置于一支臂光路内，调整二支臂光路的光程差，使其小于所用激光光频稳定度所决定的程差允许值。沿垂直光路方向直线移动平行平板，则可测出沿光移动路径上的光程不均匀性。如在垂直于上述移动方向上平移平行平板后，再沿上述移动方向移动平行平板，并如此多次移动测量，则可得到灵敏度为 1 \AA 的光学不均匀性分布图。

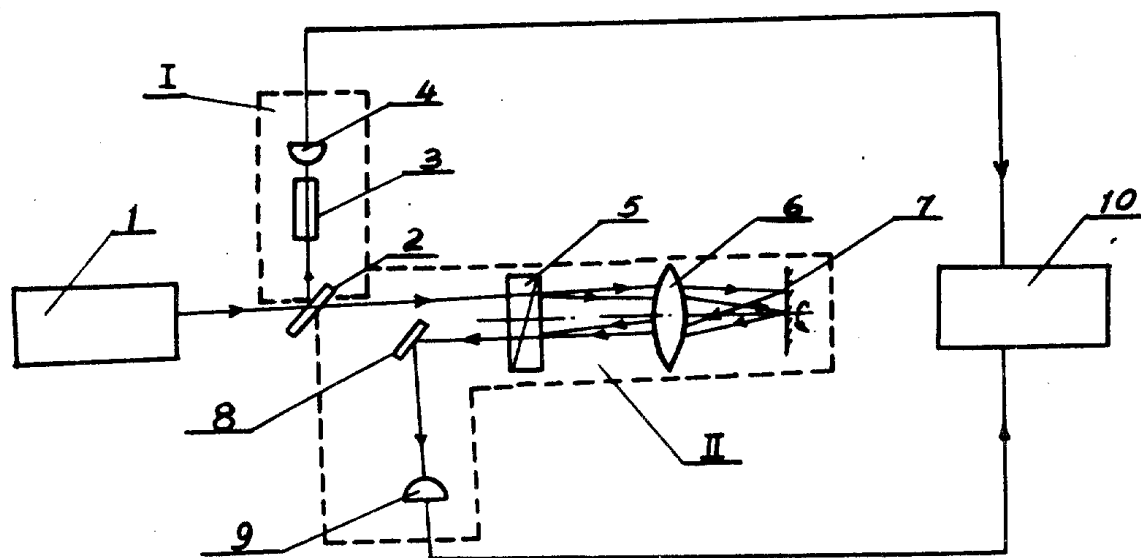


图 1

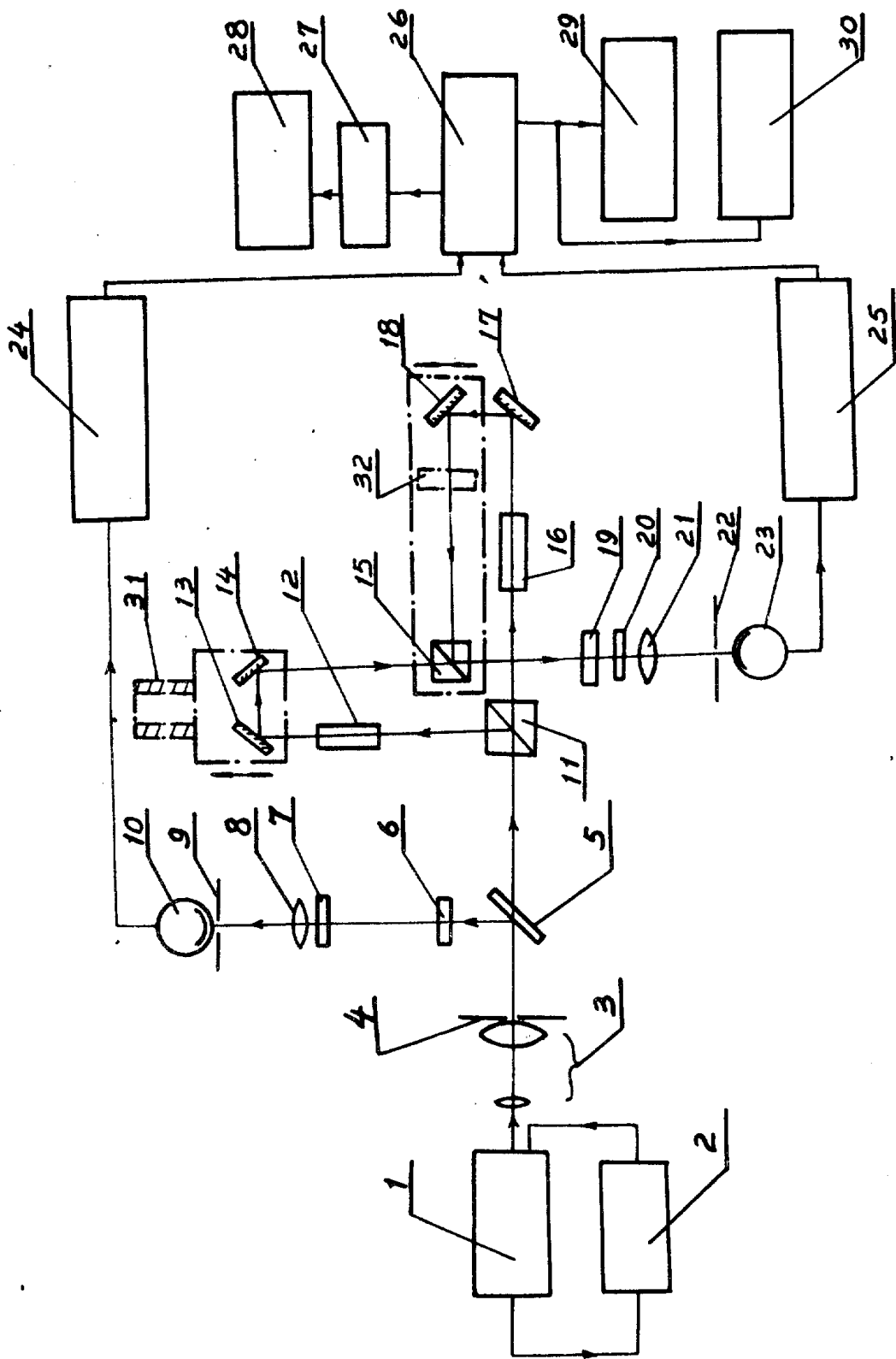


图 2