

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G01B 11/02

G01B 9/02

[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 95118298.6

[45] 授权公告日 2001 年 8 月 8 日

[11] 授权公告号 CN 1069401C

[22] 申请日 1995.11.22 [24] 颁证日 2001.5.2

[21] 申请号 95118298.6

[30] 优先权

[32] 1995.4.6 [33] US [31] 08/417,793

[73] 专利权人 载歌公司

地址 美国康涅狄格州

[72] 发明人 彼德·德·格鲁特

审查员 51 44

[74] 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责任公司

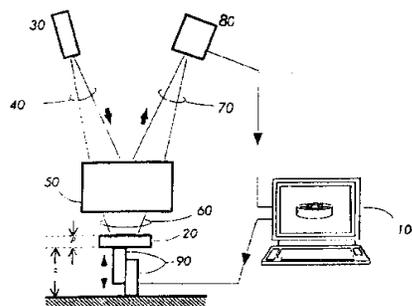
代理人 朱登河

权利要求书 6 页 说明书 19 页 附图页数 5 页

[54] 发明名称 利用大的等效波长测量物体表面轮廓的方法及系统

[57] 摘要

一种利用减感干涉装置的减感干涉条纹对位于合适距离处的物体表面测量轮廓的方法和系统,通过使物体相对于干涉装置位移而同时把数据记录在电子存储器内来产生干涉装置视场内的一个或多个图象点或象素的数据。强度随扫描位置而变化可以被描述为一个与等效波长有关的近似振荡信号,强度变化受到限制干涉效应在等效相干长度范围内的信号包络的调制。干涉图的阵列由计算机分析,测定相应于每个图象象素的表面高度。



ISSN 1008-4274



权利要求书

1. 一种利用减感干涉装置的减感干涉条纹对物体表面测量轮廓的方法,包括下述步骤:

利用具有相关波长的光源照明所述的减感干涉装置,提供所述的减感干涉条纹,所述的减感干涉装置其所具有的等效波长大于所述光源的相关波长并具有一个相关的等效相干长度;

在所述减感干涉装置的视场内产生至少一个图象象素的测量数据,这种产生数据是通过使所述的物体相对于减感干涉装置位移而提供一个随扫描位置变化的强度改变来实现的,所述强度改变构成一个与所述等效波长有关的信号,该强度改变受到一个使任何干涉效应限制在等效相干长度范围内的等效相干信号包络的调制;所述的信号相应于所述的干涉条纹,所述的等效相干包络相应于所述条纹的条纹反差;

分析所述的测量数据,以测定相当于每个所述图象象素的表面高度。

2. 根据权利要求1的方法,其特征是,测量数据产生步骤包括,对整个图象象素的阵列转变所述干涉图样的步骤。

3. 根据权利要求2的方法,其特征是,所述转换步骤包括利用包含光探测器阵列的相机来转换所述干涉图样的步骤。

4. 根据权利要求2的方法,其特征是,所述的分析步骤



包括,利用计算机分析所述测量数据的步骤。

5. 根据权利要求1的方法,其特征是,所述的分析步骤包括,利用计算机分析所述测量数据的步骤。

6. 根据权利要求1的方法,其特征是,所述的测量数据产生步骤包括,提供一个所述条纹反差是最大的已知扫描位置,以提供在所述物体表面上一个特征表面点的相对高度测量的步骤。

7. 根据权利要求1的方法,其特征是,所述的测量数据产生步骤还包括,把所述干涉图样变换成空间频率区域的步骤,所述的分析步骤包括,检查所述变换干涉图样是否为空间频率的函数,以提供在所述物体表面上每个点的表面高度的步骤。

8. 根据权利要求7的方法,其特征是,所述变换步骤包括,利用傅里叶分析变换所述干涉图样成为空间频率区域的步骤。

9. 根据权利要求1的方法,其特征是,所述的照明步骤包括,用一个激光光源光照所述减感干涉装置的步骤。

10. 根据权利要求1的方法,其特征是,所述的照明步骤包括,用一个白炽灯光源光照所述减感干涉装置的步骤。

11. 根据权利要求1的方法,其特征是,所述的照明步骤包括,用一个光发射二极管光源光照所述减感干涉装置的步骤。

12. 根据权利要求1的方法,其特征是,所述的照明步骤还包括,在所述等效相干长度的深度范围内提供高反差的减

感干涉条纹的步骤。

13. 根据权利要求 1 的方法,其特征是,所述的测量数据产生步骤包括,深度扫描所述物体,以提供所述强度变化作为所述扫描位置的函数的步骤。

14. 根据权利要求 13 的方法,其特征是,所述的深度扫描步骤包括,使物体在基本上垂直于由所述减感干涉装置光照的表面方向移位的步骤。

15. 根据权利要求 14 的方法,其特征是,所述的测量数据产生步骤还包括,在连续深度扫描物体时实现多次强度测量的步骤,提供干涉的阵列,其一是对所述图象象素的每点测量。

16. 根据权利要求 13 的方法,其特征是,所述的测量数据产生步骤还包括,在连续深度扫描物体时实现多次强度测量的步骤,提供干涉图的阵列,其一是对所述图象象素的每点测量。

17. 根据权利要求 1 的方法,其特征是,所述具有等效相干长度的范围包括,由式:

$|p+Z-Z_0| \leq L/2$ 的深度范围,其中 L 是所述等效相干长度,p 是在所述物体表面上的局部表面高度,Z 是扫描位置, Z_0 是一常数,由此 p 随着所述物体表面上的位置而改变,还包括测量物体表面的形貌。

18. 根据权利要求 1 的方法,其特征是,所述的测量数据产生步骤包括,使所述物体相对于所述减感干涉装置位移一个已知量的步骤,而几乎在同时把光探测数据记录在电子存

储器内。

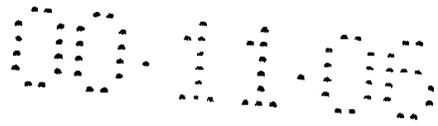
19. 根据权利要求 18 的方法,其特征是,所述的测量数据产生步骤还包括,对整个图象象素的阵列转换所述的干涉图样,以提供所述的光探测器数据。

20. 根据权利要求 1 的方法,其特征是,所述的合适工作距离大于所述物体表面上结构的深度。

21. 根据权利要求 1 的方法,其特征是,所述信号包括一个近似的振荡信号。

22. 根据权利要求 18 的方法,其特征是,所述的信号包括一个近似的振荡信号。

23. 一个用于测量物体的表面轮廓的光学测轮廓系统,所述的系统包括,照明装置,所述的照明装置具有一个相关的波长;减感干涉装置,相对于照明装置设置成受其照射,所述的干涉装置用多光束但是不同的入射角在基本上相同的地方对所述物体进行光照,所述的干涉装置其相关的等效波长大于所述照明装置相关的波长并具有一个相关的等效相干长度,所述的干涉装置在由所述干涉装置的等效相干长度限定的范围内能够产生高反差的干涉条纹;探测装置相对于所述干涉装置设置成可探测干涉条纹;扫描装置安置在所述物体的上方并设置成使所述物体相对于由所述干涉装置光照的表面位移,以提供对所述物体的深度扫描而产生一个随扫描位置变化的强度改变;所述的强度改变构成一个与所述等效波长有关的信号,所述强度改变受到一个使任何干涉效应限于所述范围内的等效相干信号包络的调制,所述信号相



应于所述干涉条纹,所述等效相干包络相应于所述条纹的条纹反差,所述的探测装置探测强度变化,以在所述轮廓测量仪的视场内提供至少一个图象象素的干涉图;以及一个用于提供在所述表面上至少相应于所述一个图象象素的表面高度的装置。

24. 根据权利要求 23 的光学测轮廓系统,其特征是,所述的探测装置包括,在所述视场内对每个图象象素提供干涉图的装置,所述的表面高度提供装置包括,对每个所述图象象素提供表面高度的装置。

25. 根据权利要求 23 的光学测轮廓系统,其特征是,所述的扫描装置包括,用于提供对所述物体进行连续深度扫描的装置,所述探测装置在对物体连续深度扫描时进行相应的多强度测量。

26. 根据权利要求 25 的光学测轮廓系统,其特征是,所述的探测装置还包括,存贮装置,用于存贮所述探测干涉图;所述的表面高度提供装置,用于从存贮的干涉图提供所述表面高度。

27. 根据权利要求 23 的光学测轮廓系统,其特征是,所述的范围由表式 $|p+Z-Z_0| \leq L/2$ 给出,其中 L 是等效相干波长,是局面表面高度, Z 是扫描位置, Z_0 是常数, p 随所述物体表面上的位置而改变,并包括对物体表面形貌的测量。

28. 根据权利要求 23 的光学测轮廓系统,其特征是,所述的照明装置包括一个空间非相干照明光源。

29. 根据权利要求 23 的光学测轮廓系统,其特征是,所

述的照明装置包括一个激光器。

30. 根据权利要求 23 的光学测轮廓系统,其特征是,所述照明装置包括一个白炽灯。

31. 根据权利要求 23 的光学测轮廓系统,其特征是,所述照明装置包括光发射二极管装置。

32. 根据权利要求 23 的光学测轮廓系统,其特征是,所述信号包括一个近似振荡信号。

33. 根据权利要求 23 的光学测轮廓系统,其特征是,所述探测装置包括光探测装置,所述扫描装置包括,使所述物体相对于所述干涉装置位移一定的量,而在位移同时用所述光探测装置探测所述强度变化的装置。

说明书

利用大的等效波长测量物体表面 轮廓的方法及系统

本发明通常涉及表面成象和分析的精密计量技术,尤其是涉及表面轮廓的光学非接触测量方法。

一个共同的制造问题是表面形貌的精密测量。许多加工项目需要计量的例子是,引擎的部件、磁性存贮器的部件,平面显示器,模制的和起纹理的塑料表面,机械泵表面和密封,和铸造的钱币。在工业生产环境中高效的生产需要高速,自动质量控制。

最常用的表面轮廓测量工具是机械触针,工作缓慢,只提供有限的信息,还可能对物体表面形成损伤。通常所指的坐标测量机械的自动系统是昂贵的,又是慢的,只用于非在线的而不是用于连续的在线质量控制。机械量规,例如测微器和卡规,精度低,不能提供表面外形的轮廓。所以,非常希望有一种高速,非接触的物体轮廓的光学测量装置用于非在线和在线的精密制造过程中。这样一种装置应适用各种物体大小、表面形状和纹理。这种装置也应该可以与工业环境中所用的自动部件配用,并且对振动是不敏感的。

现有技术提供几种依据几何光学的光学轮廓测量技术。一种具有代表性的例子是莫尔(Moire)条纹分析。这种技术

在“Optical Shop Testing”一书的第 16 章中有详细介绍 (Daniel Malacara (Wiley, New York, 1992)。莫尔方法包括投影和成象伦奇刻线 (ronchi ruling) 等周期结构, 并且是与几何三角形等效的。基于此原理的商业产品是检验平镜, 由 Speedfam—Spitfire 生产组制造 (Des plaines, IL)。虽然 Moire 方法能测量粗表面的轮廓, 但是相比于机械方式块规来说一般是精度低, 在某些情况下完全不能用于镜面表面的测量。另一困难是, Moire 方法必须对几何误差进行仔细的校准, 这种误差在物体表面具有大深度振动时是非常麻烦的。

现有技术也提供利用光学干涉仪的几种测量方法, 利用光的波动性质高精度地绘制表面高度内的变动。几种常用的干涉仪可参见“Optical Shop Testing”一书第 1 章, 第二版 (Daniel Malacara (Wiley, New York, 1992) 中的内容。大部分惯用的现有干涉装置不能对具有不连续的高度改变或超过源光 $\frac{1}{4}$ 波长的粗糙度的表面特性进行测量。在商用仪器中源光波长通常是 $0.63\mu\text{m}$ 。所以, 大于 $0.16\mu\text{m}$ 的不连续表面特性会造成干涉相位的双值性, 这对于进一步的说明将造成困难, 或是不可能的。还有一个困难是, 当表面斜度大到很难分辨或区别干涉条纹时所引起的。因此, 不认为干涉仪适用于解决大量的制造测量问题。

由于传统干涉仪的有限应用范围, 现有技术提供另外一些干涉方法和装置, 他们能适用于表面形貌中的粗表面和大的变化。一种显见的方法是, 使用非普通的光源来增加光的

波长。例如由“Rough surface interferometry using a Co₂ Laser Source”一文(C. R. Munneryn, M. Latta (Appl. opt. 7(9) 1858—1859(1968)))所公开的内容。然而,这些方法通常是昂贵和麻烦的,因为他们包含特殊的光源,光学和探测器。还有,这些费钱的长波长干涉仪也不能用在表面外形的不连续变化超过长波长的 $\frac{1}{4}$ 的情况下。

其它克服惯用干涉仪的受限范围的已有途径包括使用多波长,如由 R. René Benoit 在“Application des phénomènes d'interférence a des déterminations métrologiques”(J. de Phys. 3(7), 57—68(1898))一文首次介绍的。在二个或多个波长进行的一系列测量提供相当多的等效波长,他们能克服惯用单波长干涉仪的双值性问题。一种把这种技术用于表面测量的方法已由美国专利 U. S. No4, 355, 899, “Interferometric distance measurement method”(T. A. Nussmier(1982)公开。然而,这些多波长技术,在表面斜度或粗糙度大至分辨干涉条纹成为困难时,仍然不能正确地工作。多波长干涉仪对振动也相当敏感。

另一些由现有技术提供的干涉测量方法试图通过使用不同于一般的测量几何学来减低对表面粗糙度和表面斜度的敏感度。一种代表性的减感干涉仪采用倾斜角照明,例如在美国专利 U. S. P No. 4, 325, 637 “Phase modulation of grazing incidence interferometer”(R. C. Moore), 和文章“Oblique incidence and observation electronic speckle—pattern interferometry”(C. Joenathan, B. France, H. J.

Tizini (Applied Optics 33(31), 7307—7311, (1994)) 中所介绍的。在这些所谓掠入射干涉仪中, 倾斜角度的照明和观察, 相比于常用的干涉仪来说, 将减少物体表面上的条纹密度。这种减少的条纹密度相应于一个等效波长 Λ , 它可以比光的实际波长长许多倍。等效波长 Λ 越大, 可由仪器调节表面粗糙度的程度越大。然而, 敏感度的显著降低需要一个相对于垂直入射的大光照角。这种大的角度对物体的合适照明和成象将产生许多问题。也可能从表面特性, 譬如阶跃和条纹, 产生不希望的阴影。附加的复杂性是由于需要适当地平衡干涉仪的参考光和物光以补偿表面反射率的变化而产生。还有, 掠射干涉仪不适应于非连续的高度变化超过等效波长 Λ 的 $\frac{1}{4}$ 的表面特性。

其它用长等效波长产生干涉图样的几何方法是, 把源光分成二束光, 他们以不同入射角照射相同部分的表面。在这些光束复合时, 最后的干涉图样将显著地减低对表面形貌变化的敏感度。这种减低的条纹密度可用一个等效波长 Λ 来表征; 然而, 这种方法不需相当大的照明角, 其它的好处在于干涉光束其强度是平衡的。采用不同角度照明和观察, 以取得一个长等效波长的测量仪可参见本公开的减感干涉仪。

现有技术提供几种减感干涉仪的例子。在文章“Optical contour mapping of surface”(W. Jaerisch, G. Makosch) (Applied optics 12(7), 1552—1557(1973)) 中曾介绍过一种减感干涉仪, 它采用一块几乎与测试表面相接触的衍射光栅。用单色平面波照射光栅, 产生几个相应于不同衍射级的

光束。这些光束由物体表面反射,并由光栅再复合,形成相似于物体表面的表面外形的条纹图样。其它现有的包含不同照明角的光束的方法介绍在文章“Common-path interferometer for flatness testing”(P. Jacquot, X. Colonna de Lega, P. M. Boone, SPIE 2248, Optics for productivity in manufacturing, 18(1994))中。这种测量仪采用记录球面波前的全息照相的二个衍射级的相互作用来工作。

尽管 Jaerisch 和 Makosch 的方法和 Jacquot 等人的方法有某些优点,但他们不适用于自动光学检测,因为他们没有提供足够的工作距离。二种方法都要求尽可能靠近物体表面放置衍射光栅。这是因为,在二种方法中,由一个衍射元件把源光分成以不同方向传播的光束,并且不照明物体表面的相同部位。所以,这二束光没有合适的取向来产生所希望的干涉效应,尤其是在粗表面上。避免该问题的唯一方法是使物体非常靠近衍射元件的表面。通常,使工作距离,定义为物体至干涉仪的任何部件的距离小于 $100\mu\text{m}$ 。这对大部分生产检验需要来说是一个十分小的距离。

几种形式的采用二个照明角度的减感干涉仪不需要物体几乎与干涉仪的部件相接触。一个代表性例子是由美国专利 U. S. P No. 4,958,884(F. H. Smith)所公开。Smith 公开了几种使用折射和偏振部件的组合来分开和复合源光的方法,在这种方式中工作距离是大的。这些方法包括,利用一个 Jamin 干涉仪,一个双折射双束器,一个双折射双合棱镜,或一个 Savart 双束板。

另一个具有大工作距离的减感干涉仪的例子由美国专利 U. S. P No. 4,498,771 "Method and means for interferometric surface topography" (G. Makosch (3 : 37 — 4 : 16)) 提供。由 Makosch 公开的装置使用一个双折射晶体, 譬如一个 Wollaston 棱镜, 和一个平面镜系统把光束入射至物体。

在使用宽带或漫射照明时, 减感干涉仪的缺点是, 有用的测量深度受到光的相干性的限制。简单地说, “相干性”在此是指, 在使光分成二部分和合光时光源产生干涉条纹的能力。通常, 条纹的质量和反差是随着二束光行进的光程差而下降的。一个非相干光源, 在物体受到精确的定位以致干涉光束之间的光程差近似等于零时只产生高反差的条纹。采用非相干光源的减感干涉仪的特性相似于常用的白光干涉仪, 譬如一个 Miran 显微镜物镜, 其区别在于干涉效应的程度是加大了。此处“白光”是指任何照明, 它是由相比较于激光具有大的光谱分布来表征的, 可以是低压示灯等基本上单色辐射的光源。实用结果是, 光源是非相干的, 条纹只在沿着干涉仪光轴小深度范围内的物体部分上出现。这种深度范围非常小, 只是等效波长的几倍。所以这对于许多大的制造物体来说是太小了。

几个已有的采用二个角度照明的减感干涉仪的形式是对于光源的波长不敏感的, 所以它在用白光时能很好地工作。这样一种系统已由待批的美国专利申请“Method and apparatus for profiling surfaces using diffractive optics”

(U. S. Serial Nos. 08/334 939 和 08/365 589, 分别于 1994. 11. 7 和 1994. 12. 28 申请) 公开。利用二个或二个以上衍射元件的组合, 在前一个等批专利申请中所述的装置, 它的内容在本文中作为参考内容, 它是将测量面投射于一个合适的工作距离。由这些申请所述的优选实施例具有一个等效波长 λ , 它基本上独立于源波长 λ_0 。所以, 可以使用各种光源。然而, 如果光源被扩展, 即, 如果它有一个大的发射区和由此发出一个空间非相干的光束, 则条纹仅出现在位于沿干涉仪光轴小深度范围内的物体的部位上。这种深度范围也可以是非常小, 只是等效波长的几倍。所以这对于许多大的制造物体来说是太小了。

如果物体表面是粗糙的, 这对于用所有的采用不同入射光束角的减感干涉仪来说是一个常遇的困难。在入射到表面上的二束光位于基本上相同地方时才有可能在一个粗糙表面上获得优质的条纹, 即使源光完全是相干的也如此。所以当物体表面是粗糙时, 测量只可以在沿着干涉仪光轴的一个小深度范围内进行。这个所有几何上减感的干涉仪的特性严重地限制了它的有用性。

从这些观察可见, 已有的减感干涉仪对于某些便于用一个长等效波长的测量任务具有许多优点, 然而他们在用于表面形貌具有大的变化的制造部件测量上有许多限制。另, 没有一个上述介绍的减感干涉仪能测量具有不连续表面特征, 或者平均表面粗糙度越过等效波长 $\frac{1}{4}$ 的物体。

一个完全不同的用于表面形貌测量的干涉测量技术是

基于一个机械扫描机构和一个用白光工作的常用干涉仪,在本公开中,该技术被引用作为扫描白光干涉仪或 SWLI。利用 SWLI 的表面形貌三维测量的一个代表性方法公开在美国专利 U. S. P No. 4,340,306(N. Balasubramanian)中。该专利介绍一种白光干涉仪。它包括一个机械扫描参考镜,一个二维探测器阵列和计算机控制。所公开的方法包括,以分开的步骤或者对参考镜扫描,或者对物体扫描,对每个扫描位置的每个象素测量条纹反差,并用这种方法对每个表面点测定最大条纹反差的位置。反差最大的扫描位置是一个特殊表面点的相对高度的测量。如 Bala—Subramanian 所教导的 SWLI 方法适用于作为光学部件用的某些镜面的测量。

其它的已有 SWLI 技术已由于 1994 年 9 月 9 日提交的待批美国专利申请 No. 08/014 707“Method and apparatus for surface topography measurement by spatial—frequency analysis of interferograms”所提及。该申请公开的测量物体形貌的光学系统是由一个具有多色或白光光源的干涉仪,一个机械扫描装置,一个二维探测器阵列和用于从干涉数据测定表面高度的数字信号处理装置所组成。在视场内每个象点的干涉图是由在近似垂直于被干涉仪照明的表面方向内对物体进行扫描而同时产生的,在扫描的同时探测器的数据记录在数字存贮器内。然后,把这些干涉图利用 Fourier 分析被变换成空间频率区,通过测定作为空间频率函数的复相位来获得每点的表面高度。最后一步是,产生由高度数据和相应的象平面坐标所构成的一个完整的三维图象。

虽然各种已有的 SWLI 方法和装置对某种物体和表面的测量是有用的,但是他们均存在一些重要的和基本的缺点,即,小的视场,对物体反射率变化的高敏感性,相对于其它形式的光学表面测量而言的慢测量时间,以及对振动的高敏感性。这些限制是与光的波长和相应的条纹密度有关。

已有的 SWLI 方法的最重要的缺点之一是,通常视场比标准显微镜目镜的视场小。为弥补此,欲使电记录 SWLI 仪的干涉数据的探测器必须与干涉条纹密度相比具有足够高的分辨率。在已有 SWLI 仪的视场增大时,条纹密度很容易变得太高以致不能分辨,尤其是在处理粗糙表面时尤为如此。对于镜表面的斜度容限是线性地随视场大小而减小,同时如果物镜的数孔径(NA)随视场增加而线性地下降,则对粗表面测量所需要的斑纹效应是可以解决的。对于解决粗表面斑纹效应的需要是最不鼓励去做的事,因为聚集光的量随着 NA 的平方下降。光损失是指较大的表面需要一个较强的照明器。更糟的是,条纹反差现在是一个十分可变的参数,而测量的好坏主要取决于参考光束与物光束强度之间的平衡。

由于测量大的表面面积的困难,依据 SWLI 唯一可得的商业测量仪是显微镜,通常它有一个直径小于 5mm 的圆视场,例如 New view100 型(Zygo 公司),RST(WYKO 公司(Tucson, AZ),MICROXAM - EX(Phase - shift Technologie (Tucson, AZ)和 512 光学轮廓仪(MicroMap(Tucson, AZ)。所以,不管用于制造的测量工具基本要求如何,已有技术没有提供 SWLI 仪具有不同于显微镜部件的任何

东西。

已有 SWLI 技术的其它主要缺点是,数据采集非常慢,由 WYKO 公司制造的 RST,例如其数据采集速率为每秒 0.5μ 表面深度。一个具有 1mm 表面特征的表面需要用 30 分钟以上扫描。慢的速度是作为扫描位置函数的迅速变化的干涉效应的结果。精确的测量要求对这些变动详细记录,通常每扫描运动 75nm 对每象素进行一次测量。慢速度还会产生其它附带的问题,如进行测量时对振动的高敏感度,热形变和机械应变等问题。

SWLI 的其它主要缺点是,对振动的高敏感度,这部分是由于慢的数据采集速度,部分是由于干涉条纹图样的相当高的敏感度所致,这种振动很容易由非常小量的振动所招致。SWLI 测量仪一般要求整体安装和费钱的振动隔绝。纵然采用这些预防措施,SWLI 仪仍限于用到与正常生产环境相比相对平静的环境中。

由于对高速,大面积计测制造部件的迫切需要,已有多 种试图来扩展 SWLI 的应用范围。例如,由文章“Three-dimensional imaging by sub-Nyquist Sampling of white-light interferograms”(P. de Groot, L. Deck (opt. Lett. 18 (17), 1462-1464(1993))所述的方法,它包括,稀疏数据取样,以便提高数据采集速度,从而提高测量仪的深度范围。然而,即使采用稀疏数据取样,SWLI 方法仍旧慢,因为需要对高密度干涉条纹图样精确取样的缘故。其它已有技术对在一个 SWLI 显微镜中增加测量速度的努力已在美国专利 U.

S. P No. 5,402,234(1995.3.28 公布)名为“Method and Apparatus for the Rapid Acquisition of Data in Coherence Scanning interferometry”(L. Deck)中公开,由 Deck 所描述的系统利用一种专门的算法和数据缓冲器来选出和存贮干涉图的最有用部分用于每个象素。这种方法实质上减少产生一个三维图象所需的数据处理量。由 Deck 教导的原则已用在 New View--100 型产品上(由 Zygo 公司制造(Middlefield, CT))。然而,NewView 100 仍旧需要高密度干涉条纹图样的精确数据取样。由此,测量速度还是非常慢的,仍是以每秒 2μ 表面深度的速率采样。

其它增加 SWLI 有用应用的试图已由 T. Dresel, G. Haeusler, H. Venzke 所发表的文章“Three-dimensional sensing of rough surfaces by coherence rader”(Applied optics 31(7),919—925(1992))中介绍。所公开的光学系统有一个可调的 NA。可从大的,粗糙表面增加平均斑纹大小,和使二个机械致动器特殊的组合,一个致动器使参考镜在一个小范围内位移,另一个以不连续的步骤对物体进行扫描。文中的几个附图表示三维物体的图象,该物体的直径大于 5mm。然而,低光值用于大物体,处理大量数据的要求严重地限制了测量仪的实用价值。同样,数据采集步骤特别慢,不适用于快速的光学检测。

于是,把已有的增加 SWLI 有用性的试图归纳如下:机械触针用于测量某些表面特性,但是非常慢,只提供有限的信息,并可能损伤物体表面;已有的基于几何光学的光学仪

通常其精度小于机械触针的测量仪,并且不是对所有类型的表面均能工作;常用的干涉仪是用于对光学元件的非常高精度的测量,但是不适用于大量生产检验任务;多波长干涉仪可以解决由镜面上阶跃和纹理所引起的某些双值性问题,但是受到如同单波长干涉仪一样的表面斜度和粗糙度的相同限制;减感干涉仪用在最容易用一个大的等效波长观视的表面是有优点的,但是如果表面相比于等效波长具有一个大的深度振动,或者当表面其不连续特征大于等效波长的四分之一,则该干涉仪不能很好工作;SWLI方法具有小的视场,对表面反射的变动是敏感的,非常慢,对振动相当敏感。

所以,尽管精密制造对物体轮廓测量的非接触光学装置有迫切的需求,现有技术仍不能提供这样的装置。已知的光学表面测轮廓的方法不适合工业环境,在表面的大小,形式和纹理方面也不具有足够灵活性,并且不适合与自动的部件一起操作。由此不满足以精确,高速和灵活的方法和装置用于精密测量表面形貌的要求。

根据本发明所提供的光学轮廓测量仪由一个用光源照明的减感干涉仪,所用的光源例如可以是一个白炽灯,一个光发射二极管或一个激光器。减感干涉仪其特征是,具有一个大于源波长 λ 的等效波长 Λ ;一个至物体合适的工作距离(例如,大于1mm),以及在由等效相干长度限定的深度范围 L 内产生高反差干涉条纹的能力。一个具有光探测器阵列的相机把干涉条纹转换干涉图样,成为整个象素阵列的电信号。

在干涉仪的视场内,对于一个或多个象点,即象素的测量数据由使物体相对于干涉仪位移一定量来产生,而同时把光探测数据记录在电子存储器内。对于强度变化作为扫描位置的函数可以用与等效波长 λ 有关的近似振荡信号来描述,该信号受到把干涉效应限制在等效相干长度 L 范围的一个信号包络来调制。振荡信号相应于干涉条纹,振荡信号的包络是条纹的反差。

于是,由计算机来分析测量数据,测定相应于每个图象象素的表面高度。例如,在本发明方法中,对于条纹反差为最大的扫描位置是一个特殊表面点的相对高度的测量。而,在本发明另一方法中,用 Fourier 分析把干涉图变换成空间频率区域,利用测定作为空间频率函数复合相位来获取每点的表面高度。

本发明克服已有减感干涉仪的测量范围限制,同时提供一个比所有已有扫描白光干涉仪更大的视场和更高的扫描速度。

本发明的许多特征通过以下的说明和结合附图的详细描述特更为清楚。

图 1 表示本发明方法和系统的主要部件示意图。

图 2 表示测量强度作为视场内个象素的扫描位置的函数变化的曲线图。

图 3 表示本发明的一个选用实施例示图。

图 4 表示本发明另一个选用实施例示图。

图 5 表示本发明又一个选用实施例示图。

图 1 表示本发明光学轮廓测量系统的一个优选实施例，用于测量物体 20 的表面轮廓。由光源 30 提供照明，所用光源可以是，例如一个白炽灯，一个光发射二极管或多个二极管，一个带有漫射元件的激光器等空间不相干的照明光源。光束 40 射向干涉仪 50，最好选用一个减感干涉仪。干涉仪 50 用光束 60 照明物体，所述的光束 60 可以由二束或多束（未图示）光组成，他们在物体的基本上相同位置但以不同入射角照明物体。干涉仪 50 最好具有下述特性：等效波长 λ 大于源波长 λ_s ；一个至物体 20 的合适工作距离，例如大于 1mm；以及具有在由等效相干长度限定的范围 L 内产生高反差干涉条纹的能力。干涉仪 50 最好经由光束 70 将一个代表物体表面的干涉图样投射至电子探测器 80 上，所述电子探测器可以是，例如一个闭路电视摄象机，一种线性探测器阵列，或一个单元件探测器。

物体 20 最好安装在一个机械扫描工作台 90 上，可使物体 20 在基本上垂直于由干涉仪照明的表面方向上位移。由工作台 90 使物体 20 的位移在此被引用为深度扫描。工作台 90 最好受到计算机 100 的控制，在本发明的一个优选方法中，在对物体 20 作连续的深度扫描时，由电子探测器 80 进行许多强度的测量。这些测量的结果最好贮存在计算机 100 的动态存储器（未图示）中。由此所采集的数据以数字格式作为干涉图的阵列予以贮存，在干涉仪的视场内，对每个象点或象素之一均表示强度作为扫描位置函数的变化。

一个典型的测量强度作为单个象素深度函数的变化见

图 2 所示。周期性振荡,通常引用为干涉条纹,最好限于由下式给出的深度范围内,

$$|p+Z-Z_0| \leq L/2 \quad (1)$$

其中, L 是等效相干长度, p 是局部表面高度, Z 是扫描位置, Z_0 是常数。通常 p 值随着物体表面上的位置不同而变化,它是物体表面形貌的一种测量。通过对物体在一个大范围内进行扫描,就可以收集所有表面点的干涉图。

如图 2 所示的几种分析干涉图的方法在过去是已知的。最简单方法包括,在干涉图中测量作为扫描点位置函数的振荡信号强度。在 $p=Z_0-Z$ 时信号最强。所以,信号强度是对每个象素的表面高度 p 的一个指示。这种方法有可能测量物体表面形貌的非常大的变化,甚至这些变化不在有效相干长度 L 的范围内。另,该分析可通过频域分析进行,即根据美国特批专利申请“Method and Apparatus for surface Topography Measurement by Spatial-Frequency, Analysis of interferograms”所教导(U.S. 申请号 No. 08/014,707, 1994. 9. 9 提交),所述内容作为本引用的参考。

所以,本发明数据采集和分析方类似于已有 SMLI 系统所采用的。然而,由于本发明装置的干涉图其特征在于,等效波长 Λ 不同于源波长 λ ,所以对于一个给定的扫描长度所需的数据点数相比于已有技术将下降一个因子 λ/Λ 。另,电子探测装置能够比用光学波长 λ 表征的干涉图样更容易分辨相干条纹。所以,相比于已有技术,测量面积在实质上可得到增加。

虽然在本文公开的各种实施例其操作是用一个非相干光源,但是用空间相干光也可能取得本发明的目的,只要物体表面粗糙到足以基本上递降反射光的空间相干性就可。基本要求是,干涉仪其特征在于等效相干长度 L 不是过分的长。就目前所知的数据分析方法而言,有用的等效相干长度的一般范围由下式给出:

$$3\lambda \leq L \leq 30\lambda \quad (2)$$

虽然其它的 L 值也可能不偏离本发明的精神。

参见图 3,它表示本发明的一个实施例,所述选用的实施例中加入一个特殊形式的减感干涉仪,它是依据我们共同占有的待批美国专利申请"Method and Apparatus of profiling surface using Diffractive optics"(U. S. 系列号 No. 08/334 939,1994,11,7 提交,以及 U. S. 系列号 No. 08/365 589,1994,12,28 提交)的教导。根据本发明采用这种装置的方法,光源 30 的光由透镜 35 准直成为照明光束 140,光束 140 首先入射至光栅 120,由光栅 120 把光束 140 分成光束 150 和光束 160。下一步,光束 150 和 160 由第二衍射光栅 130 衍射,基本上射在物体 20 上。由物体上反射,光束朝光栅 130 后向传播,由光栅 13 以这种方式将光束衍射,即使他们在光栅 120 的表面上合光,然后经复合的光被衍射成一束共同的出射光束 180,并使该光束聚集到相机 50 上,由相机探测相应于光束 150 和 160 光程差的干涉图样。

由于光束 150 和 160 的不同入射角,物体 20 的垂直位移将导致测量强度作为深度函数的变化。

该用于测量图象中的象素作为扫描位置函数的强度变化基本上与图 2 中所示的相同,所以可以采用等效波长 Λ 和等效相干长度 L 来表征。等效波长可以从下式计算:

$$\Lambda = \frac{\lambda}{\cos(\theta) - \cos(\varphi)} \quad (3)$$

其中, θ 是光束 160 相对于物体 20 的表面 170 的入射角, φ 是光束相对于物体 20 的表面 170 的入射角。可见,原则上任何有效波长 $\Lambda \geq \lambda$ 均可以通过合适选择角度 φ 来产生。例如,如果, $\varphi = 20^\circ$, $\theta = 0^\circ$, 则 $\Lambda \approx 16.6\lambda$ 。

对图 3 所示实施例的等效相干长度 L 取决于许多因素,但是主要与物体 20 的表面粗糙度和光源 30 的光发射区的大小有关。所以,如果光发射区的大小是可调的,或者如果光源的空间相干度是可变的,则可以调节等效相干长度 L 的大小至适宜于应用。

参见图 4,表示本发明采用另一种形式的减感干涉仪的实施例。在图 4 所示的实施例中,光源 230 发出的光用透镜 235 准直成光束 200,光束 200 由折光镜 205 反射,分束器 210 把光分成光束 240 和光束 245,光束 240 由镜 250 反射,并以入射角 φ 入射至物体 20,光束 245 由镜 255 反射,并以入射角 θ 射至物体 20。光束从物体 20 反射以后,光束 245 和光束 255 分别从镜 260 和 265 反射,然后由分束器 270 合光成光束 275,透镜 285 将物体 20 成象在相机 290 上。在进行适当地调节时,图 4 所示实施例中不同光束的行程将引起一个干涉图样,但是这是在由等式(3)所给出的简化等效波

长 λ 情况下。在适当调节时,干涉仪将作为一个非相干光源的函数。然而,在使用一个非相干光源到本实施例中时,高条纹反差区域被限制至等效相干长度 L 内。等效相干长度与光源的谱宽和大小均有关系。图 4 所示实施例的其它特征,譬如,数据采集和分析步骤,基本上相同于本发明先前描述的实施例。

参见图 5,它表示本发明采用另一形式的减感干涉仪的又一实施例。在图 5 所示的实施例中,光源 330 发出的光由透镜 335 准直成为光束 300,光束 300 由双折射元部被分成二束互相正交偏振的光束 340 和 345,所用的双折射元件可以是一个 Wollaston 棱镜等用于把光束空间分成二束偏振光的元件。透镜 350 把光束 340 和 345 一起聚焦到物体 20 上。经物体 20 反射后,光束 340 和 345 发散直到他们被透镜 360 汇焦,透镜 360 再次将后向光束一起聚焦。双折射元件 370 将光束 340 和 345 合光成光束 375。偏振器 380 予以取向,使得偏振光束 340 和 345 的投影合成为一个共偏振,导致一种干涉效应。之后,透镜 385 使物体成象至相机 390 上。在适当调节时,图 5 所示实施例中的不同光程将形成表示物体形貌的干涉图样,但是这是在由等式(3)所给出的简化等效波长 λ 的情况下。在适当调节情况下,干涉仪也将作为非相干光源的函数。然而,当本实施例使用一个非相干光源时,高条纹反差区域被限制至等效相干长度 L 内。等效相干长度与光源的谱宽和大小均有关系。图 5 所示实施例最适合于物体 20 的单点或线性图象。在单点或线性图象的

情况下,可以证明把横向扫描机构(未图示)加入工作台中是有益的,从而可以简化一个完整的物体 20 的三维外形轮廓的构成。图 5 所示实施例的其它特征,譬如数据采集和分析步骤基本上相同于先前描述的本发明实施例。

本领域熟练的技术人员将明白,附加的替换、省略和形式上改变,或所公开方法的装置的细节可以在不偏离本发明精神的情况下予以作出。

总之,本发明干涉轮廓测量仪和方法和某些优点归纳如下:能测量粗表面和镜表面;能测量具有大形变和大斜度的表面;潜在的视场大于已有的 SWLI 技术;相比已有 SWLI 技术具有较高的测量速度;相比已有减感干涉仪具有大的深度范围;相比大部分已有减感干涉仪具有较大的工作距离;相比于大部分已有干涉仪对振动的敏感度降低;由于二束相干光束从物体表面反射所带来的极好条纹反差。

说明书附图

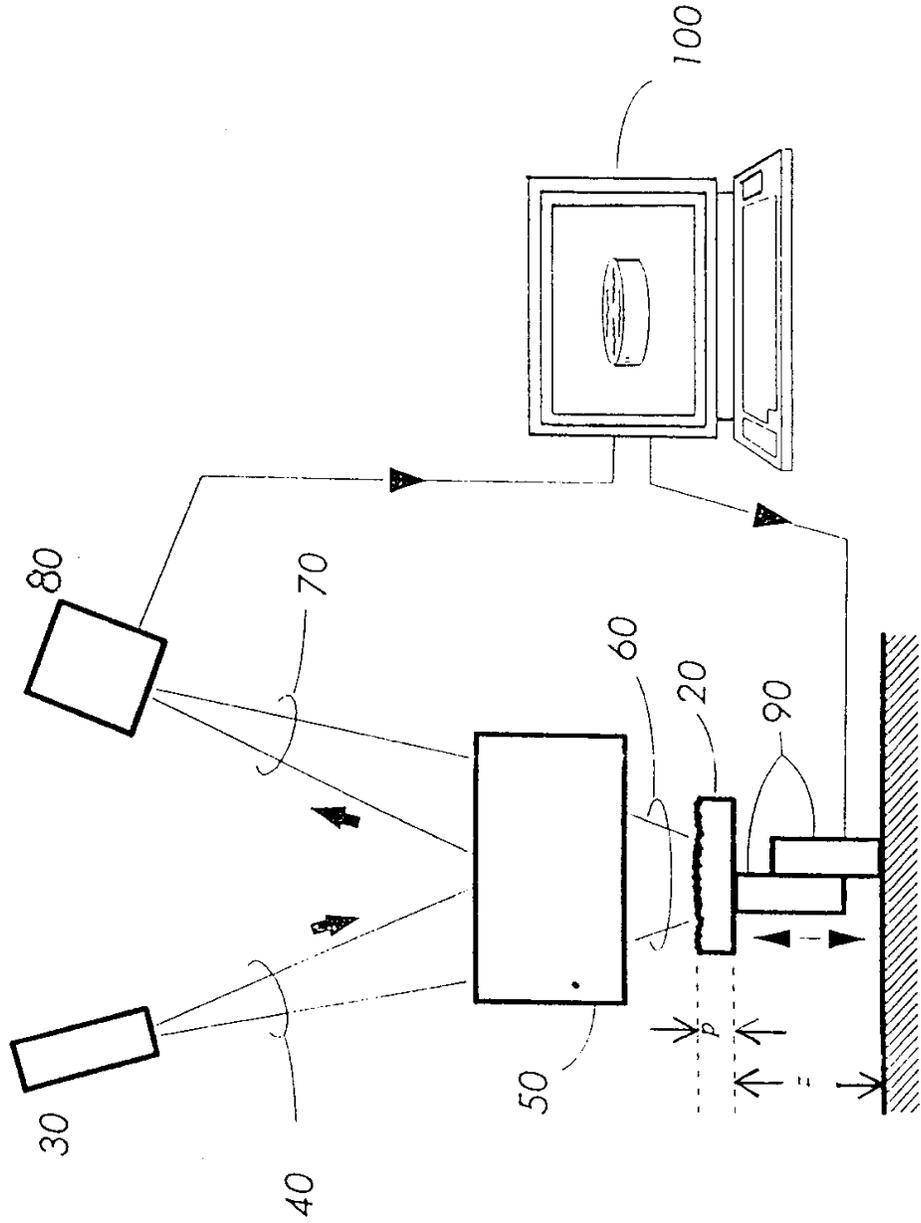


图 1

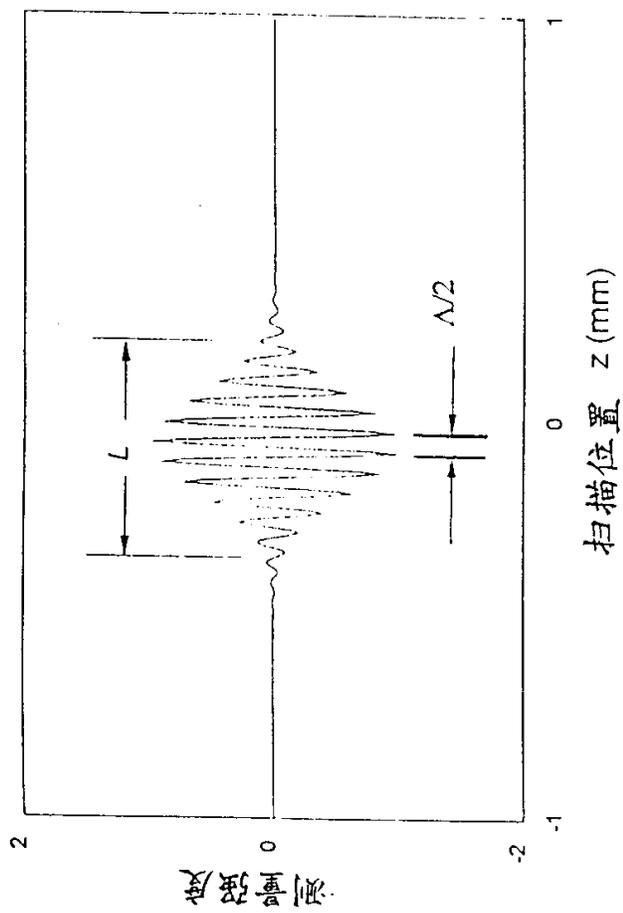


图 2

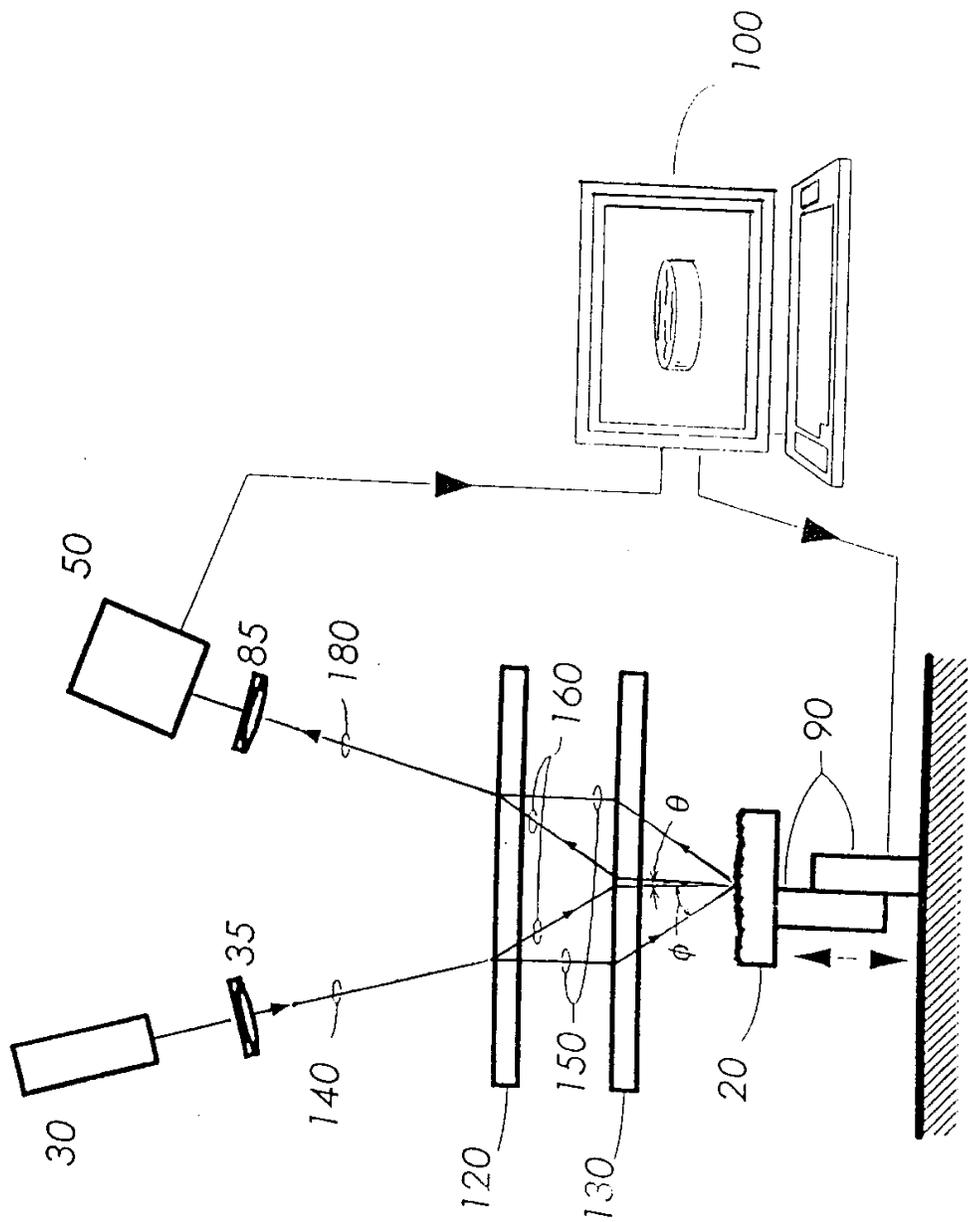


图 3

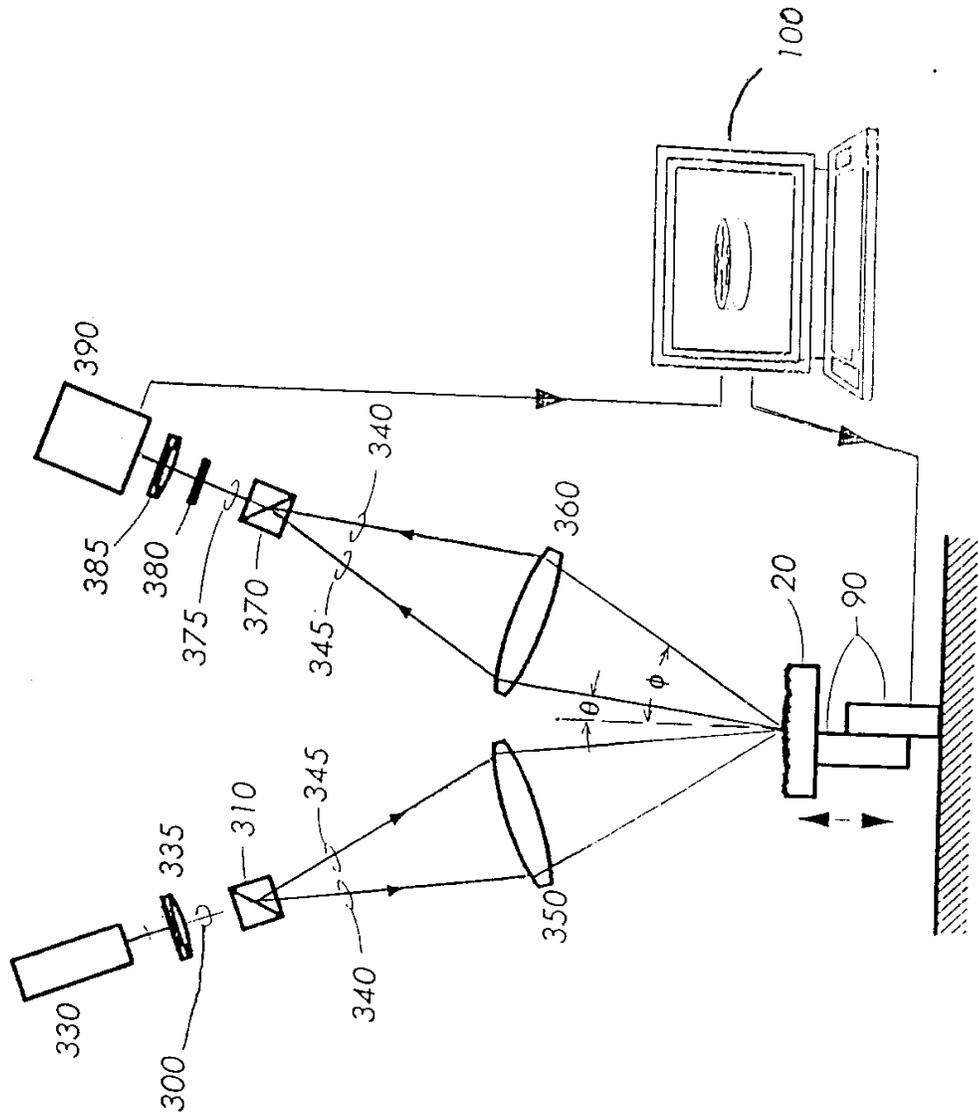


图 5