

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2012 年 11 月 22 日 (22.11.2012)



(10) 国际公布号
WO 2012/155688 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01B 11/25 (2006.01) *G01B 9/02* (2006.01)
G01B 11/24 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2012/073019
- (22) 国际申请日: 2012 年 3 月 26 日 (26.03.2012)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201110129637.7 2011 年 5 月 18 日 (18.05.2011) CN
- (71) 申请人 (对除美国外的所有指定国): 天津大学 (TIANJIN UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国天津市南开区卫津路 92 号, Tianjin 300072 (CN)。
- (72) 发明人: 及
- (75) 发明人/申请人 (仅对美国): 张宏伟 (ZHANG, Hongwei) [CN/CN]; 中国天津市南开区卫津路 92 号, Tianjin 300072 (CN)。 李绍辉 (LI, Shaohui) [CN/CN]; 中国天津市南开区卫津路 92 号, Tianjin

300072 (CN)。 刘书桂 (LIU, Shugui) [CN/CN]; 中国天津市南开区卫津路 92 号, Tianjin 300072 (CN)。

(74) 代理人: 天津市北洋有限责任专利代理事务所 (BEI & OCEAN); 中国天津市南开区鞍山西道时代公寓 A 座 603, Tianjin 300193 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,

[见续页]

(54) Title: OPTICAL FREE SURFACE 3D PROFILE HIGH-PRECISION NON-CONTACT MEASUREMENT METHOD AND DEVICE

(54) 发明名称: 光学自由曲面三维形貌高精度非接触测量方法及装置

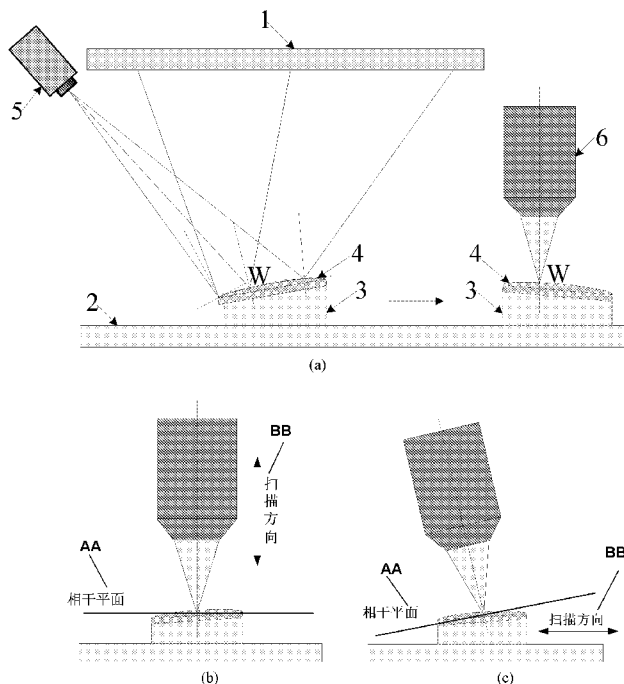


图 1 /FIG. 1

AA COHERENT PLANE
BB SCANNING DIRECTION

(57) Abstract: An optical free surface 3D profile high-precision non-contact measurement method comprises the following steps: projecting a sinusoidal grating stripe on the surface of an object under test (4) by using a grating projection device (1), an image collection device (5) acquiring a deformed stripe pattern after modulation of the surface of the object under test (4), and sending the deformed stripe pattern into a computer (7) to recover a surface 3D profile of the object under test (4); a white-light scanning interference probe (6) performing nano-scale precision scanning and measurement on local attributes of the object under test (4), a white-light scanning image collection device acquiring an interference stripe pattern, and entering the interference stripe pattern into the computer (7) to obtain 3D profile data of the measured area; and performing a multi-sensor massive data fusion algorithm and corresponding error separation and compensation measures on the data obtained from grating projection visual detection and white-light scanning interference measurement to obtain a result. Further an optical free surface 3D profile high-precision non-contact measurement device is provided. The measurement method and device are mainly applicable to high-precision in-place inspection of a component with a complex surface.

[见续页]



IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, **本国际公布:**

RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG,
CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD,
TG)。

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

(57) 摘要:

一种光学自由曲面三维形貌高精度非接触测量方法, 包括以下步骤: 使用光栅投影装置(1)对被测物体(4)表面投影正弦光栅条纹, 由图像采集装置(5)获取经被测物体(4)表面调制的变形条纹图, 送入计算机(7)恢复出被测物体(4)表面三维形貌; 用白光扫描干涉测头(6)对被测物体(4)局部特性进行纳米级精度扫描测量, 由白光扫描图像采集装置获取干涉条纹图, 送入计算机(7)得到测量区域的三维形貌数据; 将光栅投影视觉检测和白光扫描干涉测量得到的数据通过多传感器海量数据融合算法和相应的误差分离与补偿措施得到结果。还提供了一种光学自由曲面三维形貌高精度非接触测量装置。该测量方法和装置主要应用于复杂曲面零件的高精度原位检测。

光学自由曲面三维形貌高精度非接触测量方法及装置

技术领域

5 本发明涉及大曲率面形的复杂曲面零件的高精度原位检测，具体讲涉及光学自由曲面三维形貌高精度非接触测量方法及装置。

背景技术

精密/超精密加工技术已经成为先进加工制造技术的主要发展方向和重要研究领域，特别是诸如光学自由曲面等复杂曲面零件的超精密切削加工技术在航空航天、国防、生物
10 医学、通讯、微电子等高科技领域中的应用越来越广泛。作为复杂曲面超精密加工的一个重要组成部分，高精度原位检测及补偿控制技术是提高超精密加工零件尺寸、形状精度及表面粗糙度的基础，也是实现复杂曲面零件表面完整性控制和评价的关键技术。国内外研究人员开发了多种不同类型的超精密原位测量系统，但目前的研究主要基于接触式测量原理，测量速度慢，不利于快速获取被测物体的三维形貌数据。

15 光学自由曲面等复杂曲面零件对面形精度要求很高，而且要求表面及表层无损伤。光学测量方法如光学显微测量法、光学干涉测量法、条纹投影法等以其快速、高精度、非接触等优点在微纳级精度尺寸测量领域获得了广泛应用。其中，白光扫描干涉测量具有纳米级甚至亚纳米级的测量分辨力，重复性好，然而，受到光学系统的数值孔径和视场范围的限制，不适合进行具有大曲率面形的复杂曲面的测量。而且在无辅助扫描装置的条件下，
20 其测量范围远不能达到毫米量级。条纹投影法以其测量范围大、测量速度快等优异性能，已经在尺寸测量领域得到广泛应用，可用于复杂曲面零件的三维形貌测量。然而，条纹投影方法的测量精度无法达到纳米级的精度要求。

如何实现光学自由曲面等复杂曲面零件三维形貌的高精度非接触原位测量成为精密测量领域的一个重点研究方向。针对单一测量方法难以完成复杂曲面零件超精密加工原位
25 测量问题，研究开发一种能够满足测量范围、分辨力、精度和测量效率等多重要求的多光学传感器融合测量方法，成为当前超精密测量领域的研究焦点。

发明内容

为克服现有技术的不足，提供用于光学自由曲面等具有大曲率面形的复杂曲面零件的
30 高精度原位检测过程的方法及装置，非接触，对零件表面及表层无损伤。为达上述目的，本发明采取的技术方案是，光学自由曲面三维形貌高精度非接触测量方法，包括以下步骤：

借助于高精度定位运动控制系统实现被测物体三自由度运动；

使用光栅投影装置对被测物体表面投影光栅条纹，由光栅投影视觉检测图像采集装置
35 获取经被测物体表面调制的变形条纹图，送入计算机中经后续处理后，恢复出被测物体表面三维形貌；

根据恢复出的被测物体表面三维形貌，进行被测物体位姿自动识别，规划白光扫描干

涉测量路径，自动引导更精密的白光扫描干涉测头对被测物体局部特征进行纳米级精度扫描测量，由白光扫描图像采集装置获取干涉条纹图，送入计算机中经后续处理，得到测量区域的三维形貌数据；

5 将光栅投影视觉检测和白光扫描干涉测量得到的数据通过多传感器海量数据融合算法和相应的误差分离与补偿措施，精确测量出光学自由曲面等复杂曲面零件的三维形貌特征。

高精度定位运动控制系统由高精度电动位移平台、高精度电动旋转平台和高精度电动角位台组成，借助于该平台控制被测物体实现三自由度运动。

10 光栅投影视觉检测图像采集装置为两个科学级数字 CCD 摄像机，两个科学级数字 CCD 摄像机沿高精度定位运动控制系统的高精度电动位移平台轴线方向以光栅投影装置中心对称放置。

光栅投影装置对被测物体表面投影的光栅条纹，是幅值、相位和投射方向可调的正弦光栅条纹、余弦光栅条纹、频率和方向不同的两种光栅条纹组合形成的复合光栅条纹、莫尔条纹、灰度编码光栅条纹及彩色光栅条纹中的一种。

15 白光扫描干涉测头采用显微干涉物镜，扫描时采用白光光源照射，将显微干涉物镜和光学成像系统间通过转接器连接，通过一个高精度压电陶瓷定位器带动显微干涉物镜完成垂直扫描，将显微干涉物镜光轴倾斜、高精度定位运动控制系统带动被测物体沿水平方向按一定步长运动的方式完成水平扫描，由白光扫描图像采集装置通过光学成像系统接收干涉条纹图。

20 一种光学自由曲面三维形貌高精度非接触测量装置，由高精度定位运动控制系统、光栅投影视觉检测单元、白光扫描干涉测量单元和计算机构成；

高精度定位运动控制系统由高精度电动位移平台、高精度电动旋转平台和高精度电动角位台组成，借助于该平台控制被测物体实现三自由度运动；

25 光栅投影视觉检测单元由光栅投影装置、图像采集装置组成，由计算机产生的光栅条纹通过光栅投影装置投影到被测物体表面形成变形条纹，被测物体沿高精度位移平台运动到图像采集装置的视场范围内，被测物体在高精度角位台和高精度旋转平台作用下进行运动，使被测物体旋转一定的角度，以使经被测物体表面调制的变形条纹图被图像采集装置以最佳方式接收；

30 白光扫描干涉测量单元由显微干涉物镜、光学成像系统、白光光源和图像采集装置组成，显微干涉物镜用于：通过一个高精度压电陶瓷定位器带动显微干涉物镜完成垂直扫描，将显微干涉物镜光轴倾斜、高精度定位运动控制系统带动被测物体沿水平方向按一定步长运动的方式完成水平扫描，和光学成像系统间通过转接器连接；

35 计算机用于：产生光栅条纹；由收到的变形条纹图恢复出被测物体表面三维形貌；针对需要更精密测量的被测物体局部区域信息，选择合适的白光扫描干涉测量方式，规划白光扫描干涉测量路径，自动引导白光扫描干涉测头对被测物体局部特征进行纳米级精度扫描测量；将光栅投影视觉检测单元和白光扫描干涉测量单元测量得到的数据通过多传感器

海量数据融合算法和相应的误差分离与补偿措施，精确测量出光学自由曲面复杂曲面零件的三维形貌特征。

光栅投影视觉检测单元的图像采集装置为两个科学级数字 CCD 摄像机，两个科学级数字 CCD 摄像机沿高精度电动位移平台轴线方向以光栅投影视觉检测单元的光栅投影装置中心对称放置。

光栅投影装置为 LCD 液晶显示屏，LCD 液晶显示屏采用水平向下投射方式。

本发明具有以下技术效果：

由于本发明采用在同一运动控制系统框架内融合光栅投影视觉检测单元和白光扫描干涉测量单元的方式，使用光栅投影视觉检测单元获得大视场全局轮廓数据，使用白光扫描干涉测量单元对零件局部细节特征进行纳米级精度扫描测量，因而本发明能显著提高光学自由曲面等具有大曲率面形的复杂曲面零件在加工检测过程中的检测精度和分辨力，测量速度快，非接触，对零件表面及表层无损伤。

附图说明

图 1 为基于多传感器融合技术的光学自由曲面三维形貌高精度非接触测量基本原理图。图中：1 为用于正弦光栅投影的 LCD 液晶屏，2 为高精度位移平台，3 为高精度角位台和高精度旋转平台组合，4 为被测物体，5 为用于接收变形条纹图的科学级数字 CCD 摄像机，6 为白光扫描干涉测头。

图 2 为光栅投影测量原理图。图中：7 为计算机，8 为微控制器，9 为电机。

图 3 为白光扫描干涉测量原理图。图中：21 为高品质白光 LED 光源，31 为分光镜，41 为压电驱动器，10 为用于接收白光扫描干涉条纹图的科学级数字 CCD 摄像机。

图 4 为本发明一实施例实物图。

具体实施方式

一种基于多传感器融合技术的光学自由曲面三维形貌高精度非接触测量方法：在同一高精度定位运动控制系统框架内构建光栅投影视觉检测单元和白光扫描干涉测量单元，使用光栅投影装置对被测物体表面投影正弦光栅条纹，由图像采集装置获取经被测物体表面调制的变形条纹图，送入计算机中经后续处理后，恢复出被测物体表面三维形貌。根据光栅投影视觉检测单元测量得到的被测物体表面三维形貌数据，进行零件位姿自动识别，规划白光扫描干涉测量路径，自动引导更精密的白光扫描干涉测头对被测物体局部特征进行纳米级精度扫描测量，由图像采集装置获取干涉条纹图，送入计算机中经后续处理，得到测量区域的三维形貌数据。将光栅投影视觉检测单元和白光扫描干涉测量单元测量得到的数据通过多传感器海量数据融合算法和相应的误差分离与补偿措施，精确测量出光学自由曲面等复杂曲面零件的三维形貌特征。

在上述基于多传感器融合技术的光学自由曲面三维形貌高精度非接触测量方法中，其特征是：其中的高精度定位运动控制系统由高精度电动位移平台、高精度电动旋转平台和

高精度电动角位台组成，可控制被测物体实现三自由度运动。

在上述基于多传感器融合技术的光学自由曲面三维形貌高精度非接触测量方法中，其特征是：其中光栅投影视觉检测单元的光栅投影装置为 LCD 液晶显示屏。

在上述基于多传感器融合技术的光学自由曲面三维形貌高精度非接触测量方法中，其特征是：其中光栅投影视觉检测单元的用于投影光栅条纹的 LCD 液晶显示屏采用水平向下投射方式。

在上述基于多传感器融合技术的光学自由曲面三维形貌高精度非接触测量方法中，其特征是：其中光栅投影视觉检测单元的图像采集装置为两个科学级数字 CCD 摄像机。

在上述基于多传感器融合技术的光学自由曲面三维形貌高精度非接触测量方法中，其特征是：其中光栅投影视觉检测单元的两个科学级数字 CCD 摄像机沿高精度电动位移平台轴线方向以 LCD 液晶屏中心对称放置。

在上述基于多传感器融合技术的光学自由曲面三维形貌高精度非接触测量方法中，其特征是：其中光栅投影视觉检测单元投射的是由软件编程实现的幅值、相位和投射方向可调的正弦光栅条纹。

在上述基于多传感器融合技术的光学自由曲面三维形貌高精度非接触测量方法中，其特征是：其中光栅投影视觉检测单元的两个科学级数字 CCD 摄像机在各自视场范围内分别接收经被测物体表面调制的正弦光栅条纹。

在上述基于多传感器融合技术的光学自由曲面三维形貌高精度非接触测量方法中，其特征是：其中白光扫描干涉测量单元由显微干涉物镜、光学成像系统、白光光源和图像采集装置组成。

在上述基于多传感器融合技术的光学自由曲面三维形貌高精度非接触测量方法中，其特征是：其中白光扫描干涉测量单元的显微干涉物镜和光学成像系统间通过转接器连接。

在上述基于多传感器融合技术的光学自由曲面三维形貌高精度非接触测量方法中，其特征是：其中白光扫描干涉测量单元的扫描方式为垂直扫描和水平扫描。

在上述基于多传感器融合技术的光学自由曲面三维形貌高精度非接触测量方法中，其特征是：其中白光扫描干涉测量单元中的显微干涉物镜通过一个高精度压电陶瓷定位器带动它完成垂直扫描。

在上述基于多传感器融合技术的光学自由曲面三维形貌高精度非接触测量方法中，其特征是：其中白光扫描干涉测量单元中的水平扫描方式采用光学系统光轴倾斜、高精度定位运动控制系统带动被测物体沿水平方向按一定步长运动的方式。

综上所述，本发明提出的测量方法进而能够精确解算出被测物体表面各点的空间坐标位置，实现对光学自由曲面等复杂曲面零件的三维形貌特征的高精度非接触测量。

下面结合附图进一步详细说明本发明。

图 1 为基于多传感器融合技术的光学自由曲面三维形貌高精度非接触测量基本原理图。(a) 图中 1 为用于正弦光栅投影的 LCD 液晶屏，2 为高精度位移平台，3 为高精度角位台和高精度旋转平台组合，4 为被测物体，5 为用于接收变形条纹图的科学级数字 CCD

摄像机。首先光栅投影视觉检测单元开始工作，由计算机产生的正弦光栅条纹通过 LCD 液晶屏投影到被测物体表面，被测物体沿高精度位移平台运动到 CCD 摄像机的视场范围内，受 LCD 液晶屏尺寸的限制并参照被测物体表面形貌的复杂程度，控制高精度角位台和高精度旋转平台运动，使被测物体旋转一定的角度，以使经被测物体表面调制的变形条纹图被 CCD 摄像机以最佳方式接收。相交于被测物体表面各点的入射光线和反射光线均遵守反射定律，如点 W 处所示。从采集得到的变形条纹图中解调出被测物体表面各点的高度信息，采用三维重建技术恢复被测物体的三维形貌特征。光栅投影视觉检测可实现被测物体表面三维形貌的微米级测量。如需对点 W 附近区域进行更高精度检测，可根据光栅投影视觉检测单元的测量结果重新规划测量路径，使被测物体沿高精度位移平台运动到 6 所代表的白光扫描干涉测头的视场范围内，控制高精度角位台和高精度旋转平台运动，调整被测物体的角度以获得最佳测量结果。从采集得到的干涉条纹图中解调出测量区域各点的高度信息，采用三维重建技术恢复测量区域的三维形貌特征。白光扫描干涉测量可实现对被测物体局部区域的纳米级高精度检测。针对光栅投影视觉检测和白光扫描干涉测量各自得到的测量数据，采用多传感器海量数据融合算法，精确恢复出被测物体表面三维形貌特征。白光扫描干涉测量有两种测量方式，如图 (b) 和图 (c) 所示。图 (b) 为垂直扫描测量方式，被测物体表面上各点根据其自身相对工作台平面的高度，在白光扫描干涉测量装置移动到一定位置时与相干平面相交达到最佳干涉，由各点到达最佳干涉时对应工作台的位置（或相对移动距离）可推导出各点相对高度信息。白光垂直扫描干涉测量范围受视场限制，引入图像拼接会造成测量误差，若白光扫描干涉测头需要测量的被测物体表面区域较大，则采用图 (c) 所示的白光水平扫描干涉测量装置，光轴相对水平面倾斜，工作台带动被测样品沿水平方向按一定步长完成干涉条纹的扫描，根据被测物体表面各点的最佳干涉在图像中的位置可确定各点的相对高度信息。

图 2 为光栅投影测量原理图。1 为 LCD 液晶屏，用于投影由软件编程产生的正弦光栅条纹。对余弦光栅、复合光栅（频率、方向不同的两种光栅条纹的组合）、莫尔条纹及灰度编码光栅条纹（如格雷码光栅）、彩色光栅条纹等也进行了测试，效果大致相同，不再分别赘述。5 为科学级数字 CCD 摄像机，用于接收经被测物体表调制的变形条纹图，4 为被测物体，3 为高精度角位台和高精度旋转平台组合，2 为高精度位移平台，2 和 3 组成高精度定位运动控制系统。7 为计算机，8 为微控制器，9 为电机。受 LCD 液晶屏尺寸限制，考虑被测物体表面曲率变化较大时，用单一 CCD 摄像机无法获得被测物体表面全局三维形貌，因此采用双 CCD 摄像机进行测量。首先被测物体 4（实线所示）在高精度定位运动系统控制下运动到 5 所代表的 CCD 摄像机视场范围内，旋转适当的角度，完成测量，然后被测物体 4（虚线所示）运动到 5 所代表的另一 CCD 摄像机视场范围内，旋转适当的角度，完成测量。将两 CCD 摄像机分别测量得到的被测物体表面三维形貌数据通过图像拼接技术恢复出被测物体完整三维形貌。

图 3 为白光扫描干涉测量原理图。21 为高品质白光 LED 光源，31 为分光镜，41 为压电驱动器。由高品质白光 LED 光源产生的白光经透镜组到达分光镜，分成参考光束和测量

光束,通过压电陶瓷驱动参考镜进给实现对被测物体表面的扫描,CCD 摄像机接收干涉图像,从干涉图样中提取出最佳干涉点所在位置得到各点的相对高度,描绘出被测物体表面的三维形貌。

5 在同一高精度定位运动控制系统框架内构建光栅投影视觉检测单元和白光扫描干涉测量单元,整套测量装置安放在高精度光学隔振平台上。

所述的高精度定位运动控制系统由高精度电动位移平台、高精度电动旋转平台和高精度电动角位台组成,可控制被测物体实现三自由度运动。其中高精度电动位移平台行程为 300mm,高精度电动旋转台可实现 360° 旋转,高精度电动角位台可实现 $\pm 45^{\circ}$ 角度调整。

10 所述的光栅投影视觉检测单元由正弦光栅投影装置和图像采集装置组成,其中光栅投影装置可选用屏幕尺寸为 $478\text{mm}\times 300\text{mm}$ 的 LCD 液晶屏,水平向下投影由计算机编程产生的正弦光栅条纹,该正弦光栅条纹的幅值、相位和投射方向可通过软件进行调整,LCD 液晶屏相对于载物面可进行 400mm 高度调整。图像采集装置选用两个分辨率为 2456×2058 像素的高分辨力数字 CCD 摄像机,两 CCD 摄像机沿高精度电动位移平台轴线方向以 LCD 液晶屏中心对称放置,其高度和角度均可调整。

15 所述的白光扫描干涉测量单元由显微干涉物镜、光学成像系统、高品质白光 LED 光源和科学级数字 CCD 摄像机组成。其中显微干涉物镜可选用 Mirau 型显微干涉物镜(10X, 20X, 50X),通过一个高精度压电陶瓷定位器(PI P-721.CL,电容传感器反馈闭环控制,最小分辨力 0.7nm,范围 100um)带动物镜完成垂直扫描。光学成像系统可选用 Ultra-Zoom 系列镜头。Ultra-Zoom 系列镜头提供了非常高的分辨率和突出的对比度,可选用它的微调对焦功能和/或同轴照明功能,选用同轴照明功能,可在高放大倍率应用场合中提供均匀照明,20 在使用高分辨率摄像机时,提供清晰的分辨率。在本实施例中,Ultra-Zoom 放在最下方,然后上面是迷你型转接器和 C-型连接器,以实现与科学级 CCD 摄像机相连。最上面是用作图像采集装置的 CCD 摄像机。白光光源也要通过转接器连入以提供照明。照明装置选用中心波长为 580nm 的高品质白光 LED 光源。图像采集装置可选用分辨力为 1534×1024 像素的科学级 CCD 摄像机,进行采集后由采集卡传输给计算机进行后续处理。

25 计算机从采集得到的变形条纹图中解调出被测物体表面各点的梯度信息,通过波前重构算法可恢复被测物体三维形貌特征,获得被测物体大视场全局三维轮廓后,提取被测物体的几何特征信息,与 CAD 加工模型进行匹配处理,实现无显式参考基准的零件位姿自动识别,为后续的局部高精度扫描测量的整体路径规划提供依据。基于得到的零件位姿信30 息和测量系统各单元的空间布局结果,针对需要更精密测量的被测物体局部区域信息,选择合适的白光扫描干涉测量方式,规划白光扫描干涉测量路径,自动引导白光扫描干涉测头对被测物体局部特征进行纳米级精度扫描测量。白光扫描图像采集装置获得白光扫描干涉条纹图,通过采集卡传输到计算机中进行后续处理,从干涉条纹图中解调出测量区域的相对高度信息,得到测量区域的三维形貌数据。针对光栅投影视觉检测单元和白光扫描干35 涉测量单元测量得到的海量数据,采用最小平方估计算法进行不等精度不等密度的数据对齐,实现异类光学传感器海量数据的空间配准,基于数据层和特征层融合原则,建立海量

数据融合结构模型，利用贝叶斯方法完成多传感器海量数据的融合，并进行多向运动误差的检测与补偿，精确测量出光学自由曲面的三维形貌特征。

可实现对 $200\text{mm} \times 200\text{mm} \times 20\text{mm}$ 测量范围内的光学自由曲面等复杂曲面零件三维形貌的高精度非接触测量。首先，正弦光栅条纹通过 LCD 液晶屏投射到被测物体表面，被测物体在高精度定位运动控制系统控制下运动到某一 CCD 摄像机的视场范围内，调整被测物体的角度以获得最佳测量结果，CCD 摄像机采集经被测物体表面调制的正弦光栅条纹，送入计算机中进行后续处理，然后被测物体在高精度定位运动控制系统控制下运动到另一 CCD 摄像机的视场范围内，进行相同操作。从采集得到的变形条纹图中解调出被测物体表面各点的高度信息，采用三维重建技术恢复被测物体的三维形貌特征。根据光栅投影视觉检测单元对被测物体的重建结果，对被测物体位姿进行自动识别，规划白光扫描干涉测量路径，自动引导更精密的白光扫描干涉测头对工件局部细节特征进行纳米级精度扫描测量，图像采集装置获得干涉条纹图，进行采集后由采集卡传输给计算机中进行后续处理，从干涉条纹图中解调出测量区域的相对高度信息，得到测量区域的三维形貌数据。将光栅投影视觉检测单元和白光扫描干涉测量单元测得的数据通过多传感器海量数据融合算法和相应的误差分离与补偿措施，精确测量出光学自由曲面的三维形貌特征。

权 利 要 求

- 1、一种光学自由曲面三维形貌高精度非接触测量方法，其特征是，包括以下步骤：

借助于高精度定位运动控制系统实现被测物体三自由度运动；

- 5 使用光栅投影装置对被测物体表面投影光栅条纹，由光栅投影视觉检测图像采集装置获取经被测物体表面调制的变形条纹图，送入计算机中经后续处理后，恢复出被测物体表面三维形貌；

- 10 根据恢复出的被测物体表面三维形貌，进行被测物体位姿自动识别，规划白光扫描干涉测量路径，自动引导更精密的白光扫描干涉测头对被测物体局部特征进行纳米级精度扫描测量，由白光扫描图像采集装置获取干涉条纹图，送入计算机中经后续处理，得到测量区域的三维形貌数据；

将光栅投影视觉检测和白光扫描干涉测量得到的数据通过多传感器海量数据融合算法和相应的误差分离与补偿措施，精确测量出光学自由曲面等复杂曲面零件的三维形貌特征。

- 15 2、如权利要求 1 所述的方法，其特征是，高精度定位运动控制系统由高精度电动位移平台、高精度电动旋转平台和高精度电动角位台组成，借助于该平台控制被测物体实现三自由度运动。

- 3、如权利要求 1 所述的方法，其特征是，光栅投影视觉检测图像采集装置为两个科学级数字 CCD 摄像机，两个科学级数字 CCD 摄像机沿高精度定位运动控制系统的高精度电动位移平台轴线方向以光栅投影装置中心对称放置。

- 20 4、如权利要求 1 所述的方法，其特征是，光栅投影装置对被测物体表面投影光栅条纹，是幅值、相位和投射方向可调的正弦光栅条纹、余弦光栅条纹、频率和方向不同的两种光栅条纹组合形成的复合光栅条纹、莫尔条纹、灰度编码光栅条纹及彩色光栅条纹中的一种。

- 25 5、如权利要求 1 所述的方法，其特征是，白光扫描干涉测头采用显微干涉物镜，扫描时采用白光光源照射，将显微干涉物镜和光学成像系统间通过转接器连接，通过一个高精度压电陶瓷定位器带动显微干涉物镜完成垂直扫描，将显微干涉物镜光轴倾斜、高精度定位运动控制系统带动被测物体沿水平方向按一定步长运动的方式完成水平扫描，由白光扫描图像采集装置通过光学成像系统接收干涉条纹图。

- 30 6、一种光学自由曲面三维形貌高精度非接触测量装置，其特征是，由高精度定位运动控制系统、光栅投影视觉检测单元、白光扫描干涉测量单元和计算机构成；

高精度定位运动控制系统由高精度电动位移平台、高精度电动旋转平台和高精度

电动角位台组成，借助于该平台控制被测物体实现三自由度运动；

光栅投影视觉检测单元由光栅投影装置、图像采集装置组成，由计算机产生的光栅条纹通过光栅投影装置投影到被测物体表面形成变形条纹，被测物体沿高精度位移平台运动到图像采集装置的视场范围内，被测物体在高精度角位台和高精度旋转平台作用下进行运动，使被测物体旋转一定的角度，以使经被测物体表面调制的变形条纹图被图像采集装置以最佳方式接收；

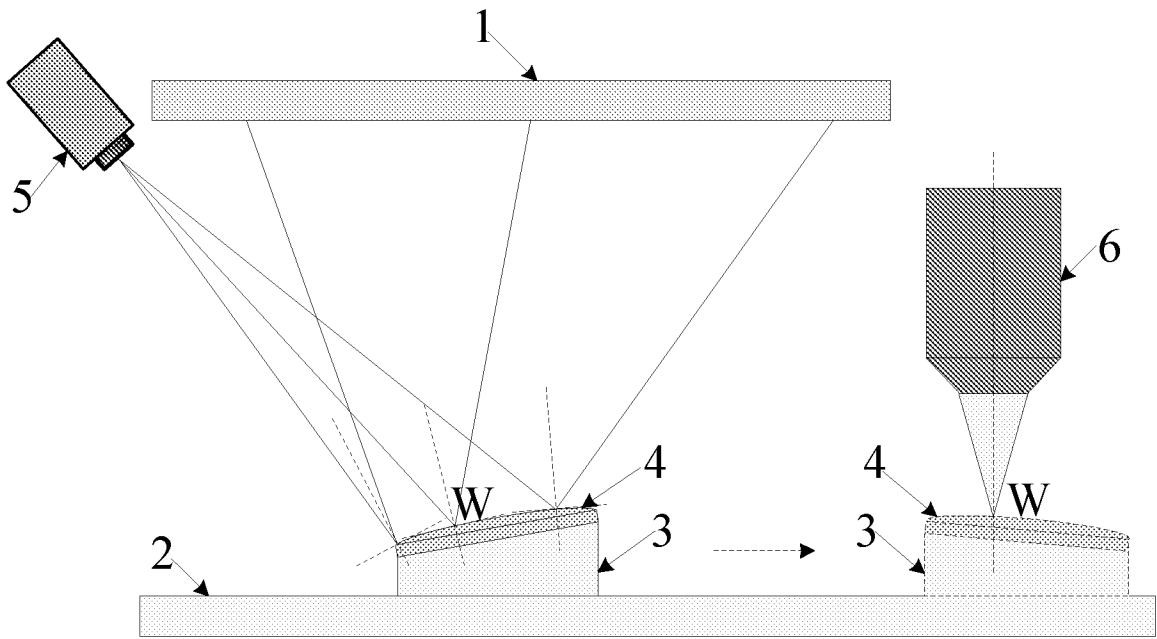
白光扫描干涉测量单元由显微干涉物镜、光学成像系统、白光光源和图像采集装置组成，显微干涉物镜用于：通过一个高精度压电陶瓷定位器带动显微干涉物镜完成垂直扫描，将显微干涉物镜光轴倾斜、高精度定位运动控制系统带动被测物体沿水平方向按一定步长运动的方式完成水平扫描，和光学成像系统间通过转接器连接；

计算机用于：产生光栅条纹；由收到的变形条纹图恢复出被测物体表面三维形貌；针对需要更精密测量的被测物体局部区域信息，选择合适的白光扫描干涉测量方式，规划白光扫描干涉测量路径，自动引导白光扫描干涉测头对被测物体局部特征进行纳米级精度扫描测量；将光栅投影视觉检测单元和白光扫描干涉测量单元测量得到的数据通过多传感器海量数据融合算法和相应的误差分离与补偿措施，精确测量出光学自由曲面复杂曲面零件的三维形貌特征。

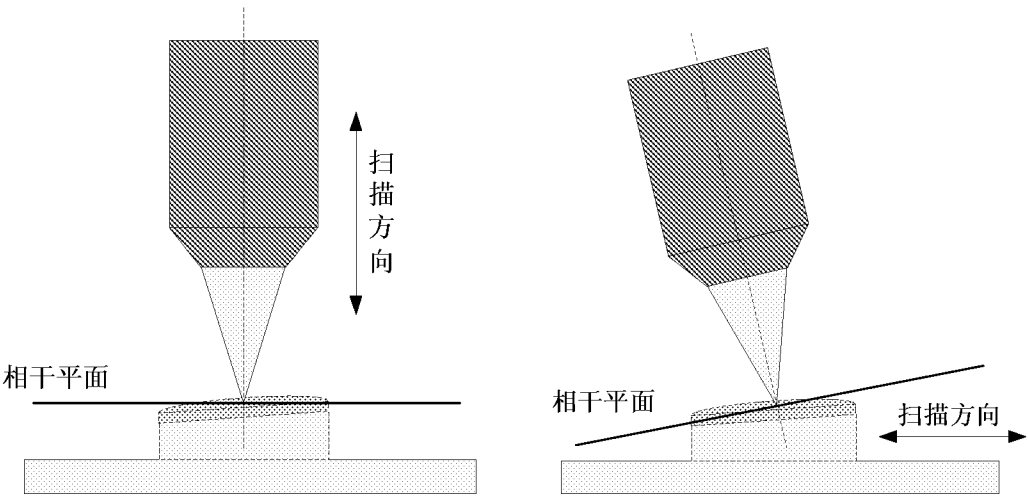
7、如权利要求 6 所述的装置，其特征是，光栅投影视觉检测单元的图像采集装置为两个科学级数字 CCD 摄像机，两个科学级数字 CCD 摄像机沿高精度电动位移平台轴线方向以光栅投影视觉检测单元的光栅投影装置中心对称放置。

8、如权利要求 6 所述的装置，其特征是，光栅投影装置为 LCD 液晶显示屏，LCD 液晶显示屏采用水平向下投射方式。

附图



(a)



(b)

(c)

图 1

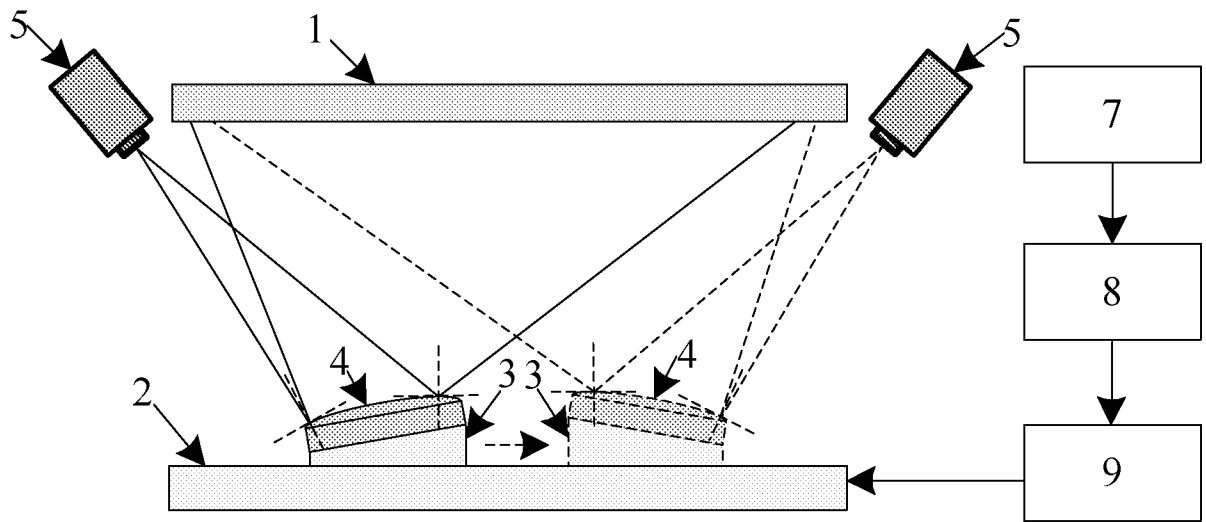


图 2

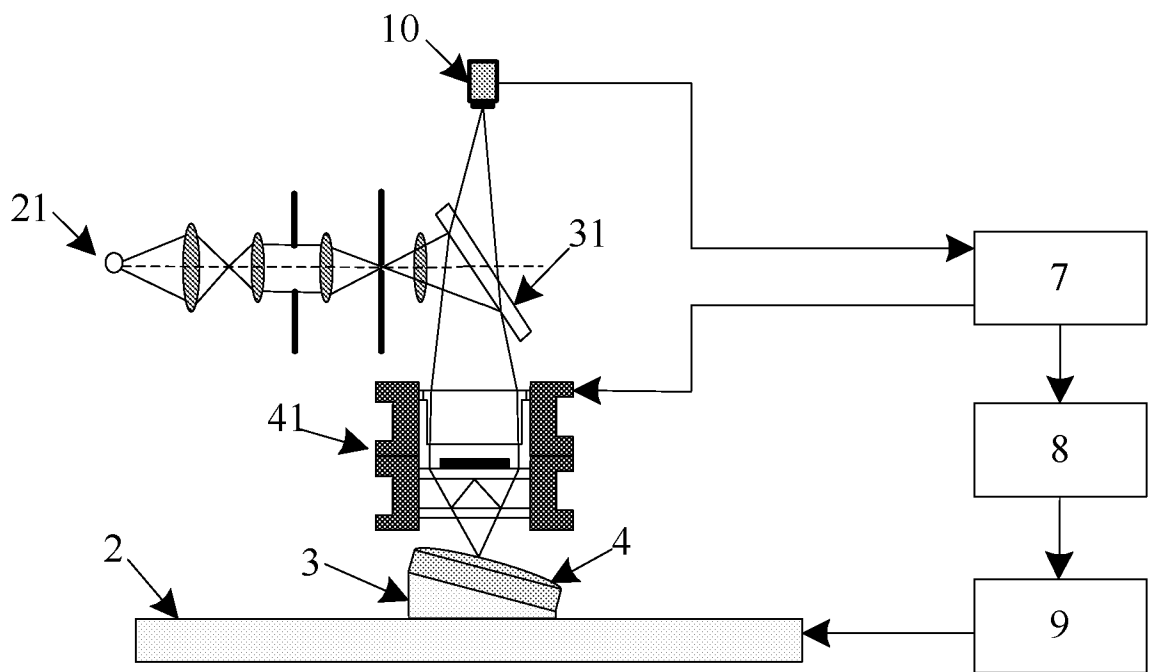


图 3

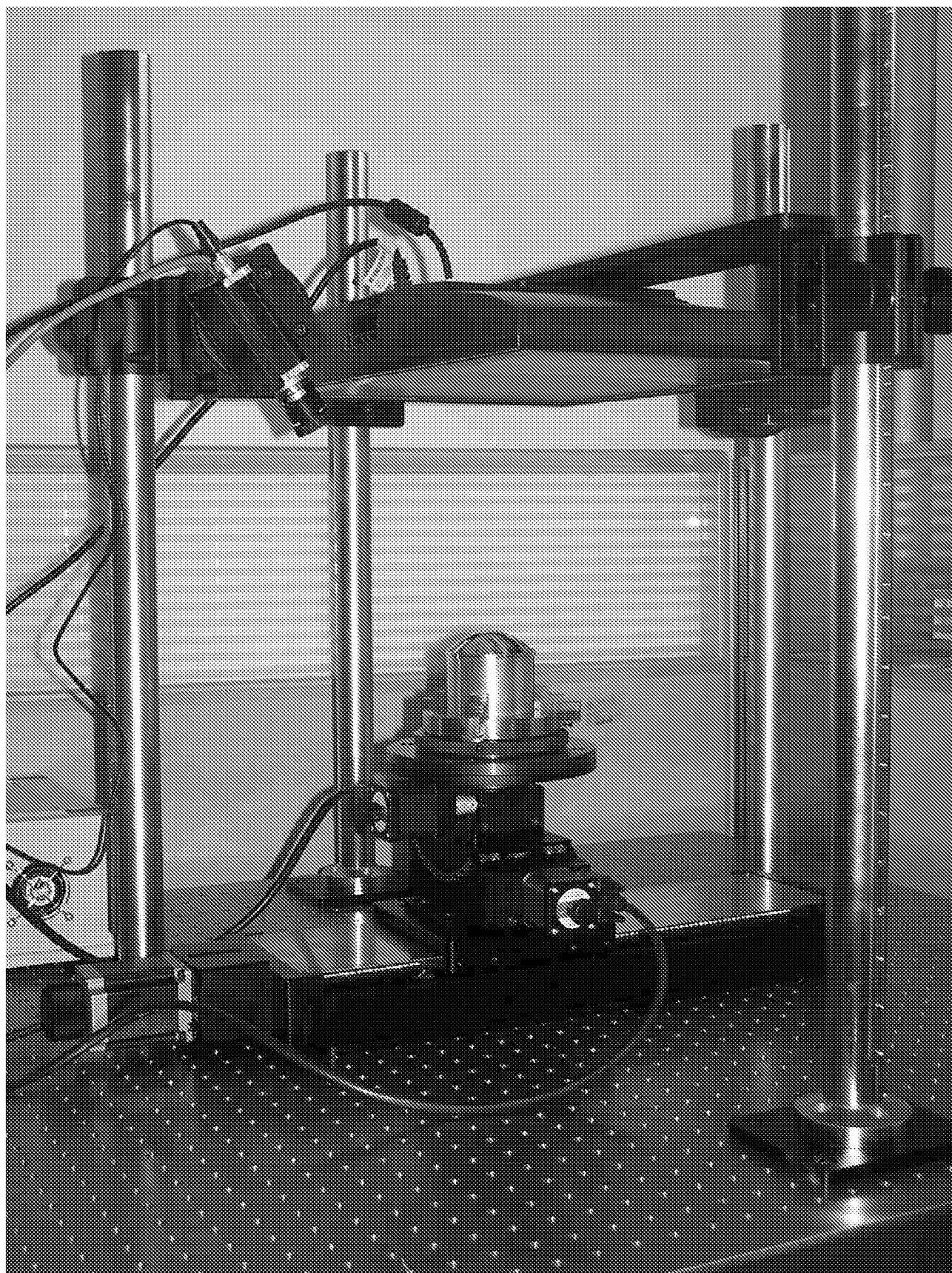


图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2012/073019

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

See the extra sheet

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: G01B 11, G01B 9

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS, CNTXT, VEN, CNKI: free form surface, three dimensional, three degrees of freedom, raster stripe, curve, curved, three, dimensional, freedom, grating, fringe, stripe, white light, interference

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, X	CN 102305601 A (TIANJIN UNIVERSITY), 04 January 2012 (04.01.2012), claims 1-8	1-8
A	CN 2589935 Y (XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY), 03 December 2003 (03.12.2003), the whole document	1-8
A	CN 101625231 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY), 13 January 2010 (13.01.2010), the whole document	1-8
A	CN 201476761 U (SUZHOU HZS-NANOSURF NANOTECHNOLOGY CO., LTD.), 19 May 2010 (19.05.2010), the whole document	1-8
A	CN 201561742 U (YAO, Zhengyuan), 25 August 2010 (25.08.2010), the whole document	1-8
A	CN 101799273 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY), 11 August 2010 (11.08.2010), the whole document	1-8
A	CN 101893428 A (KOH YOUNG TECHNOLOGY INC.), 24 November 2010 (24.11.2010), the whole document	1-8

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 13 June 2012 (13.06.2012)	Date of mailing of the international search report 28 June 2012 (28.06.2012)
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer HU, Yuelan Telephone No.: (86-10) 62085736

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2012/073019

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 102305601 A	04.01.2012	None	
CN 2589935 Y	03.12.2003	None	
CN 101625231 A	13.01.2010	CN 101625231 B	08.12.2010
CN 201476761 U	19.05.2010	None	
CN 201561742 U	25.08.2010	None	
CN 101799273 A	11.08.2010	CN 101799273 B	24.08.2011
CN 101893428 A	24.11.2010	US 2010295941 A	25.11.2010
		KR 20100125622 A	01.12.2010
		JP 2010271316 A	02.12.2010
		DE 102010029091 A	13.01.2011
		TW 201105924 A	16.02.2011
		KR 20110087551 A	03.08.2011
		KR 20110090865 A	10.08.2011
		KR 100088497 B	30.11.2011

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2012/073019

CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER:

G01B 11/25 (2006.01) i

G01B 11/24 (2006.01) i

G01B 9/02 (2006.01) i

A. 主题的分类		
参见附加页		
按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类		
B. 检索领域		
检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)		
IPC: G01B11,G01B9		
包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献		
在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))		
CNABS, CNTXT, VEN, CNKI,		
自由曲面, 三维, 三自由度, 光栅条纹, 白光, 干涉, curve, curved, three, dimensional, freedom, grating, fringe, stripe, white light, interference		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
P, X	CN102305601A (天津大学) 04.1 月 2012 (04.01.2012) 权利要求 1-8	1-8
A	CN2589935Y (西安交通大学) 03.12 月 2003 (03.12.2003) 全文	1-8
A	CN101625231A (华中科技大学) 13.1 月 2010 (13.01.2010) 全文	1-8
A	CN201476761U (苏州海兹思纳米科技有限公司) 19.5 月 2010 (19.05.2010) 全文	1-8
A	CN201561742U (姚征远) 25.8 月 2010 (25.08.2010) 全文	1-8
A	CN101799273A (华中科技大学) 11.8 月 2010 (11.08.2010) 全文	1-8
A	CN101893428A (株式会社高永科技) 24.11 月 2010 (24.11.2010) 全文	1-8
☐ 其余文件在 C 栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。		
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件		“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件
国际检索实际完成的日期 13.6 月 2012 (13.06.2012)		国际检索报告邮寄日期 28.6 月 2012 (28.06.2012)
ISA/CN 的名称和邮寄地址: 中华人民共和国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 100088 传真号: (86-10)62019451		授权官员 胡跃澜 电话号码: (86-10) 62085736

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2012/073019

检索报告中引用的 专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
CN102305601A	04.01.2012	无	
CN2589935Y	03.12.2003	无	
CN101625231A	13.01.2010	CN101625231B	08.12.2010
CN201476761U	19.05.2010	无	
CN201561742U	25.08.2010	无	
CN101799273A	11.08.2010	CN101799273B	24.08.2011
CN101893428A	24.11.2010	US2010295941A	25.11.2010
		KR20100125622A	01.12.2010
		JP2010271316A	02.12.2010
		DE102010029091A	13.01.2011
		TW201105924A	16.02.2011
		KR20110087551A	03.08.2011
		KR20110090865A	10.08.2011
		KR100088497B	30.11.2011

主题的分类:

G01B11/25 (2006.01) i

G01B11/24 (2006.01) i

G01B9/02 (2006.01) i