



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 106289048 A

(43) 申请公布日 2017. 01. 04

(21) 申请号 201510309193. 3

(22) 申请日 2015. 06. 08

(71) 申请人 中国科学院沈阳自动化研究所  
地址 110016 辽宁省沈阳市南塔街 114 号

(72) 发明人 刘连庆 王飞飞 李文荣 刘柱  
于鹏 于海波

(74) 专利代理机构 沈阳科苑专利商标代理有限公司 21002  
代理人 徐丽 周秀梅

(51) Int. Cl.  
G01B 9/02(2006. 01)

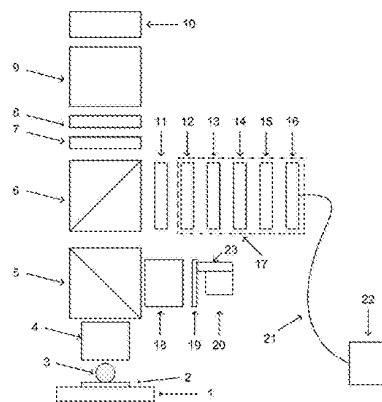
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

## (54) 发明名称

基于微透镜的三维超分辨率干涉仪

## (57) 摘要

本发明涉及一种基于微透镜的三维超分辨率干涉仪,包括干涉仪和微透镜。在干涉仪的物镜与样品间加入微透镜。在工作时将光学显微镜的工作平面聚焦到微透镜的像平面上,调节两个物镜的位置从而在微透镜区域产生干涉条纹,沿光轴扫描参考反射镜,并用相机记录下在扫描过程中所产生的包含干涉条纹的图像并发送至计算机保存、处理构建三维超分辨率图像。由于本发明在成像时对环境无特殊要求,无需对样品进行复杂的处理、标记,并且可以实现快速、非侵入、无损的三维超分辨率成像,因此在纳米成像领域具有重要的潜在应用,如集成电路(IC)的制造与检测。



1. 一种基于微透镜的三维超分辨率干涉仪,其特征在于,包括干涉仪和微透镜(3);所述微透镜(3)设置在第一物镜(4)与样品(2)之间,所述微透镜(3)置于样品表面或者使微透镜(3)靠近样品的顶端与样品表面的距离小于1微米;干涉仪在微透镜(3)的成像区域内产生干涉条纹。

2. 根据权利要求1所述的基于微透镜的三维超分辨率干涉仪,其特征在于,所述干涉仪是白光干涉仪。

3. 根据权利要求2所述的基于微透镜的三维超分辨率干涉仪,其特征在于,所述白光干涉仪采用基于偏振原理的Linnik光路结构。

4. 根据权利要求1所述的基于微透镜的三维超分辨率干涉仪,其特征在于,所述物镜(4)的放大倍数不小于10倍。

5. 根据权利要求1所述的基于微透镜的三维超分辨率干涉仪,其特征在于,所述微透镜(3)为微球或者其他能够实现水平方向超分辨率成像的微透镜。

6. 根据权利要求2或3所述的基于微透镜的三维超分辨率干涉仪,其特征在于,所述白光干涉仪的白光光源(22)输出的白光经光纤(21)导入Köhler照明系统(17),经起偏器(11)、由分束器(6)反射,经偏振分束器(5)分成两束,一束经物镜(18)打在固定在纳米移动台(20)的反射镜(19)上,一束经第一物镜(4)和微透镜(3)照射在样品(2)表面。经反射镜(19)和样品(2)反射后的两光束经过四分之一波片(7)和检偏器(8)后通过镜筒(9)汇聚到相机(10)。

## 基于微透镜的三维超分辨率干涉仪

### 技术领域

[0001] 本发明涉及三维纳米成像领域,具体的说是一种基于微透镜的三维超分辨率干涉仪。

### 背景技术

[0002] 人眼所能分辨的最小颗粒的直径大约为 100 微米,为了拓宽人类的观察能力,一系列显微成像技术被提出,其中基于光学的、电子的和扫描探针类的显微镜获得了广泛的应用。

[0003] 在正常环境下能够实现三维形貌测量的显微成像技术主要包括光学的和扫描探针类显微镜。光学显微镜相对于其他成像方式表现出一些独特的优势,比如:它是一种真正的彩色成像方式、可以实现非侵入无损成像、可以探测物体内部信息、成本维护费用较低并且可以实现实时成像。然而光学衍射极限在很长一段时间内将光学显微镜在横向的分辨率限制在 $\sim 250$  纳米,在竖直方向分辨率限制在 $\sim 500$  纳米,束缚了其在纳米成像领域的应用。近些年来,通过巧妙利用荧光探针技术,一系列超分辨率荧光显微镜被提出,使得荧光显微镜在三个维度上实现了高达几十纳米的超分辨能力。然而这些超分辨率荧光显微镜都依赖于荧光染剂,需要对样品进行荧光染色,这就限制了其在非荧光成像领域的应用,比如集成电路(IC)制造过程中的检测。因此目前能够在正常环境、白光条件下实现三维超分辨成像的方法只有扫描探针类显微镜。扫描探针类显微镜的分辨率来源于纳米尺度的针尖,然而对探针的依赖性,也带来固有的缺陷,其中最主要的是探针效应(如:展宽效应),并且扫描探针类显微镜的成像速度慢也限制了该技术的应用。因此从基本原理上开发新型三维超分辨率显微镜在实现不同技术优势互补拓展研究与观测能力方面具有重要作用。

### 发明内容

[0004] 针对现有技术中存在的上述不足之处,本发明要解决的技术问题是提供一种基于微透镜的三维超分辨率干涉仪,用于从基本原理上提出新型的三维超分辨率显微镜,实现与现有技术的优势互补,推动相关学科与产业的快速发展。

[0005] 本发明为实现上述目的所采用的技术方案是:一种基于微透镜的三维超分辨率干涉仪,包括干涉仪和微透镜;所述微透镜设置在第一物镜与样品之间,所述微透镜置于样品表面或者使微透镜靠近样品的顶端与样品表面的距离小于 1 微米;干涉仪在微透镜的成像区域内产生干涉条纹。

[0006] 所述干涉仪是白光干涉仪。

[0007] 所述白光干涉仪采用基于偏振原理的 Linnik 光路结构。

[0008] 所述物镜的放大倍数不小于 10 倍。

[0009] 所述微透镜为微球或者其他能够实现水平方向超分辨率成像的微透镜。

[0010] 所述白光干涉仪的白光光源输出的白光经光纤导入 Köhler 照明系统,经起偏器、由分束器反射,经偏振分束器分成两束,一束经物镜打在固定在纳米移动台的反射镜上,一

束经第一物镜和微透镜照射在样品表面。经反射镜和样品反射后的两光束经过四分之一波片和检偏器后通过镜筒汇聚到相机。

[0011] 本发明具有以下优点及有益效果：

[0012] 1、本发明采用微透镜打破了光学衍射极限对光学显微镜横向分辨率的限制，并利用白光干涉的原理获得高度信息，采用完全基于光学的原理实现三维超分辨率成像。

[0013] 2、由于本发明在成像时对环境无特殊要求，无需对样品进行复杂的处理、标记，并且可以实现快速、非侵入、无损的三维超分辨率成像，因此在纳米成像领域具有重要的潜在应用，如集成电路（IC）制造与检测。

## 附图说明

[0014] 图 1 为本发明的系统结构原理示意图；

[0015] 其中 1 是六轴载物台，2 是样品，3 是微透镜，4 是第一物镜，5 是偏振分束器，6 是分束器，7 是四分之一波片；8 检偏器，9 是镜筒，10 是相机，11 是起偏器，12 是凸透镜，13 是光阑，14 是凸透镜，15 是光阑，16 是准直器，17 是 Köhler 照明系统，18 是第二物镜，19 是反射镜，20 是纳米移动台，21 是光纤，22 是白光光源，23 是两轴偏摆台；

[0016] 图 2 为利用本发明对纳米栅格（宽 200nm，间距 100nm，高度为 15nm）实现的三维超分辨率成像；

[0017] 其中图 2(a) 为电子扫描显微镜对纳米栅格的二维成像；图 2(b) 为使用本发明对纳米栅格实现的三维超分辨率成像；图 2(c) 是使用本发明和原子力显微镜所获得的三维超分辨率成像横截面曲线的对比图；

[0018] 图 3 为利用本发明对 CPU 内部纳米点阵列实现的三维超分辨率成像图；

[0019] 其中，图 3(a) 为电子扫描显微镜对纳米栅格的二维成像；图 3(b) 为使用本发明对纳米栅格实现的三维超分辨率成像；图 3(c) 是使用本发明和原子力显微镜所获得的三维超分辨率成像横截面曲线的对比图；

[0020] 图 4 为利用本发明对 CPU 内部纳米栅格实现的三维超分辨率成像图；

[0021] 其中，图 4(a) 为电子扫描显微镜对纳米栅格的二维成像；图 4(b) 为使用本发明对纳米栅格实现的三维超分辨率成像；图 4(c) 是使用本发明和原子力显微镜所获得的三维超分辨率成像横截面曲线的对比图；

[0022] 图 5 为利用本发明对商业化纳米栅格实现的三维超分辨率成像图；

[0023] 其中，图 5(a) 为使用本发明对纳米栅格实现的三维超分辨率成像；图 5(b) 是使用本发明和原子力显微镜所获得的三维超分辨率成像横截面曲线的对比图。

## 具体实施方式

[0024] 下面结合附图及实施例对本发明做进一步的详细说明。

[0025] 本发明在干涉仪的第一物镜 4 与样品 2 间加入微透镜 3，白光干涉仪的第一物镜 4 位于微透镜 3 及样品 2 的正上方。在工作时将白光干涉仪的工作平面聚焦到微透镜 3 的像平面上，调节两个物镜的位置从而在微透镜区域产生干涉条纹，沿光轴扫描参考反射镜，并用相机记录下在扫描过程中所产生的包含干涉条纹的图像并发送至计算机保存、处理构建三维超分辨率图像。

[0026] 如附图 1 所示白光光源 22 输出的白光经光纤 21 导入 Köhler 照明系统 17, 经起偏器 11、由分束器 6 反射, 经偏振分束器 5 分成两束, 一束经第二物镜 18 打在固定在纳米移动台 20 的反射镜 19 上, 一束经第一物镜 4 和微透镜 3 照射在样品 2 表面。经反射镜 19 和样品 2 反射后的两光束经过四分之一波片 7 和检偏器 8 后通过镜筒 9 汇聚到相机 10。

[0027] 调节第一物镜 4 和第二物镜 18 相对于偏振分束器 5 的位置以及反射镜 19 与第二物镜 18 的距离, 使得干涉条纹在微透镜 3 成像区域内产生并且第一物镜 4 的工作平面聚焦到微透镜虚像平面。

[0028] 通过调节起偏器 11、四分之一波片 7 和检偏器 8 获得最清晰的干涉条纹。

[0029] 通过调节六轴载物台 1 中的沿水平方向的偏摆和两轴偏摆台 23 控制在微透镜成像区域内产生的白光干涉条纹出现在微透镜中央区域。

[0030] 对纳米移动台 20 进行控制, 实现沿光轴方向的扫描, 在扫描过程中干涉条纹会出现变化, 利用相机记录下在扫描过程中所产生的包含干涉条纹的图像并发送至计算机保存。对所获得的图像进行数据处理构建出三维超分辨率图像, 如附图 2、附图 3、附图 4、附图 5 所示。

[0031] 实施例一

[0032] 1) 取一蓝光光盘, 用剪刀剪取部分区域, 将厚约 100 微米的透明保护膜去除, 露出宽为 100nm, 间距为 200nm, 高度为 15nm 的平行条带作为实验样品, 如图 2 所示。取 CPU, 除去封装后, 漏出的内部结构作为实验样品如图 3、图 4 所示。

[0033] 2) 取适量 5-200 微米左右的钛酸钡玻璃球微透镜并均匀分散在图 2、图 3、图 4 所示样品表面, 在有钛酸钡微透镜区域滴加适量的去离子水并用盖玻片密封。将此盖玻片密封的样品放于六轴载物台 1 上。取适量 5-200 微米左右的聚苯乙烯微球分散在图 5 所示样品表面。

[0034] 3) 首先调节六轴载物台 1 的 z 轴, 使得样品 2 表面处于成像光路中物镜的工作平面处, 实现样品 2 表面的清晰成像。调节参考光路中的第一物镜 4 距偏振分束器 5 的距离以及反射镜 19 距第二物镜 18 的距离, 使得干涉条纹产生。

[0035] 4) 光源产生的白光通过光纤经过准直器 16 (OSL2COL, Thorlabs) 导入到白光干涉仪。

[0036] 5) 旋转起偏器 11 调整入射光的偏振方向, 控制入射光进入两光路中的光强。调节四分之一波片 7 使两束正交的线偏正光转换成相反的圆偏振光。经过检偏器两束圆偏振光中沿起检偏器偏振轴的光分量通过, 并发生干涉。通过旋转调节起偏器 11、四分之一波片 7 和检偏器 8 的角度可以对不同偏振态的光分量的强度进行调节从而实现干涉条纹的最清晰化。

[0037] 6) 将成像光路中第一物镜 4 聚焦到微透镜 3 的虚像平面, 此时处于样品表面的干涉条纹消失。调节成像光路中第一物镜 4 与偏振分束器 5 的间距并同时调节六轴载物台 1 的 z 轴保持第一物镜 4 的工作平面聚焦于微透镜 3 的虚像平面直至在微透镜 3 成像区域内观察到干涉条纹。

[0038] 7) 重新调节参考光路中第一物镜 4 相对于偏振分束器 5 的距离以及反射镜 19 相对于第二物镜 18 的距离, 细微调节起偏器 11、检偏器 8、四分之一波片 7 的角度直至实现干涉条纹的最清晰化

[0039] 8) 控制纳米载物台 1 (NPX25-105, nPoint) 沿光轴带动反射镜 19 进行扫描 (行程 : 300nm, 速度 : 37.8nm/s)。在扫描的同时使用相机 10 (PCO. Edge 5.5) 以 ~ 400fps 的帧速率进行图像采集, 此时两相邻帧所对应的纳米载物台 1 移动的移动距离为 0.0945nm。

[0040] 9) 提取所获取的图像中每个像素出现最大光强时对应的帧数, 利用两相邻帧所对应的纳米载物台 1 移动的距离进行标定处理从而获得样品的高度信息。

[0041] 10) 直接通过微透镜 3 实现的超分辨率成像在水平方向为放大的虚像, 因此需要对获得结果进行标定, 该过程可以通过具有标准尺寸的样品, 或者经过扫描电子显微镜、原子力显微镜标定的样品进行标定。

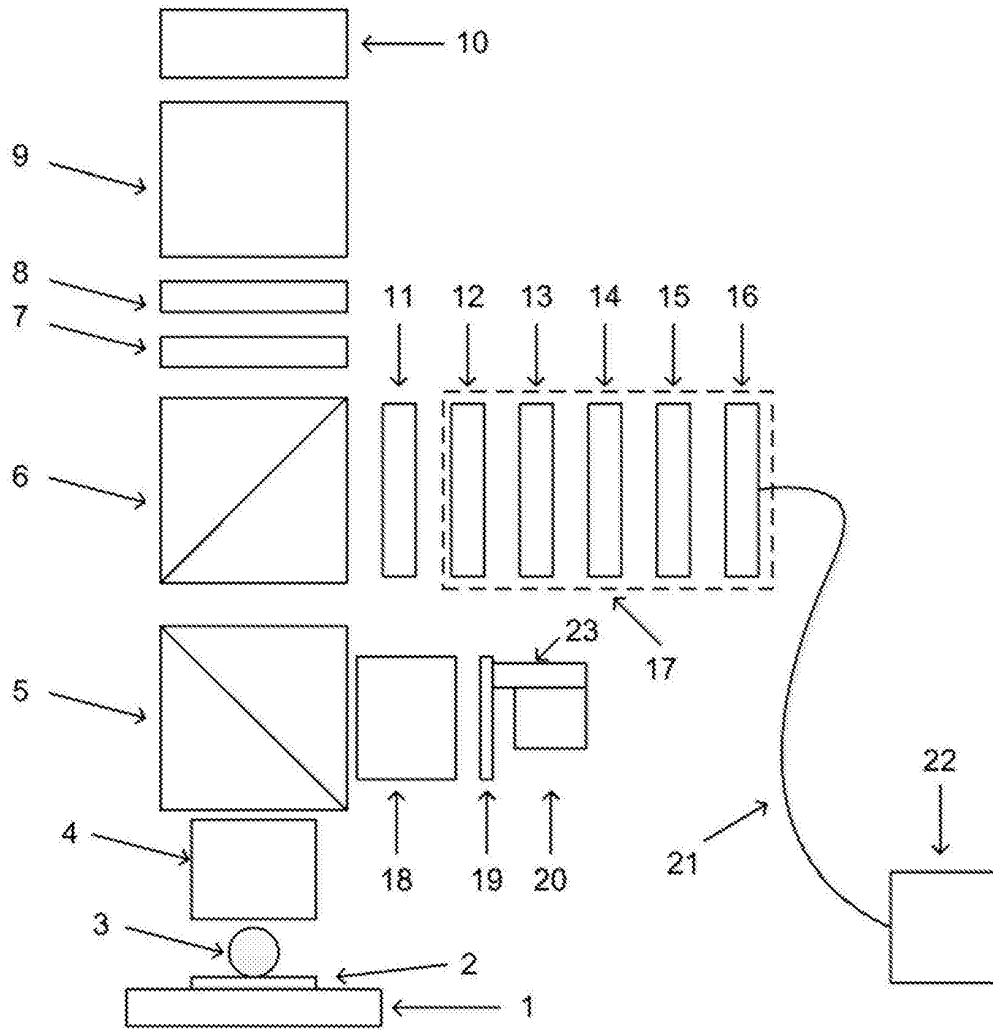
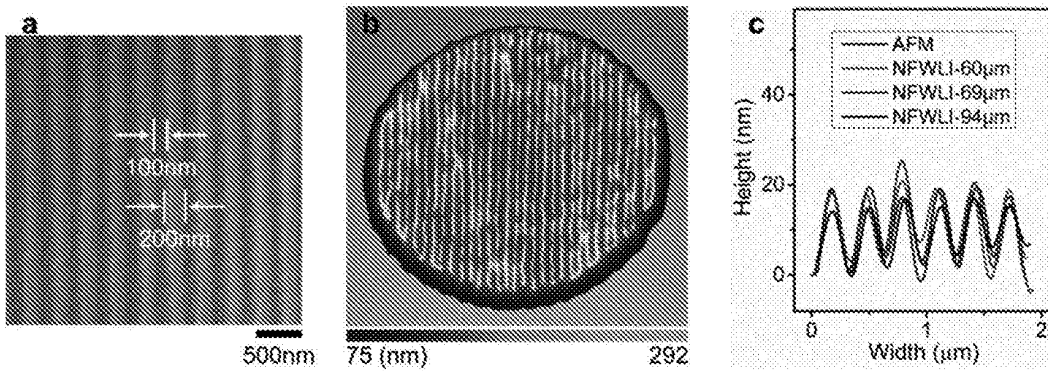


图 1



(a)

(b)

(c)

图 2

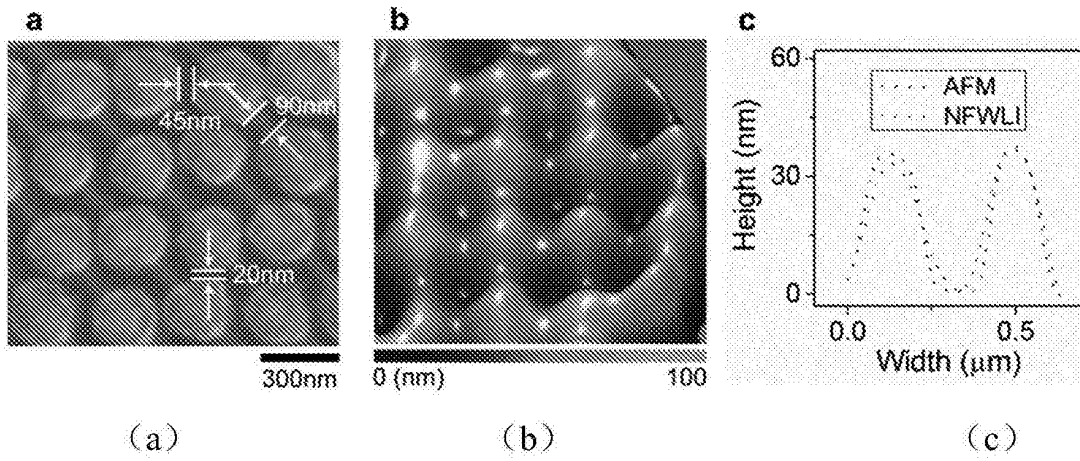


图 3

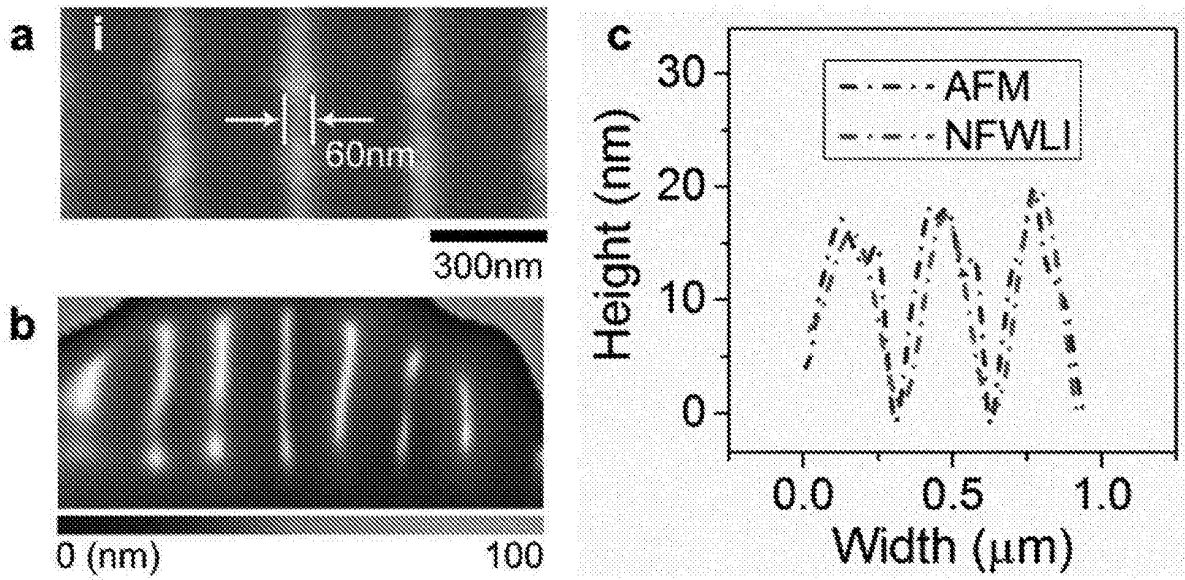


图 4



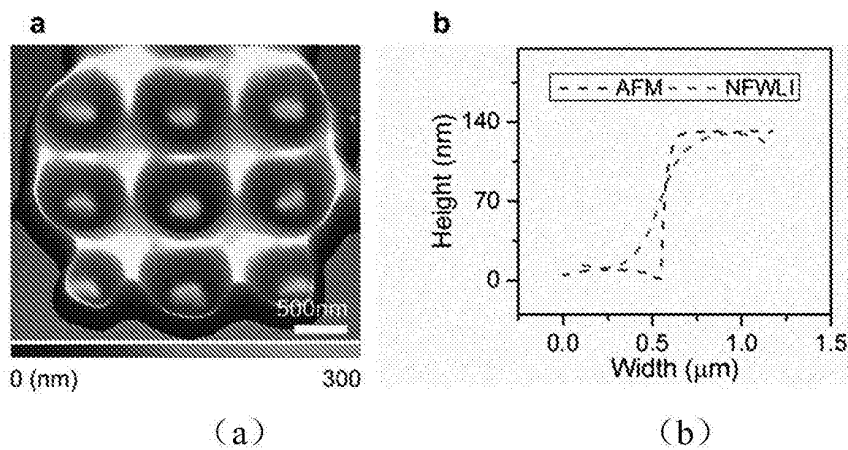


图 5