(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 112859542 A
(43)申请公布日 2021.05.28

(21)申请号 202110100983.6

(22)申请日 2016.05.19

(30)优先权数据
62/163,783 2015.05.19 US
62/222,724 2015.09.23 US

(62)分案原申请数据
201680028226.X 2016.05.19

(71)申请人 科磊股份有限公司
地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 V·莱温斯基 Y·帕斯卡维尔
A·玛纳森 Y·沙利波

(74)专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限责任公司 11287
代理人 张世俊

(51)Int.Cl.
G03F 7/20(2006.01)
G02B 27/32(2006.01)
H04N 5/232(2006.01)
G02B 7/38(2021.01)
G06T 7/80(2017.01)

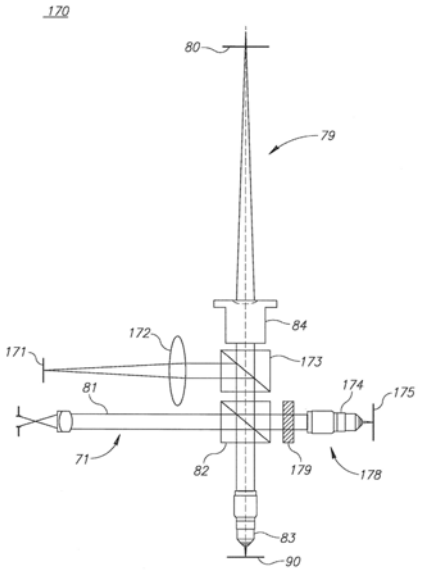
权利要求书1页 说明书20页 附图15页

(54)发明名称

成像计量工具中的光学系统及成像叠加计量工具中的光学系统

(57)摘要

本申请实施例涉及成像计量工具中的光学系统及成像叠加计量工具中的光学系统。本发明提供计量工具及方法，其估计对应于从周期性目标上的光散射产生的不同衍射级的形貌相位的效应，及调整测量条件以改进测量准确度。在成像中，可通过基于对比函数行为的分析选择适当测量条件、改变照明条件(减小光谱宽度及照明NA)、使用偏光目标及/或光学系统、使用多个散焦位置等而减小叠加误差放大。可使用额外测量或额外目标单元在成像或散射测量中执行测量结果的实时校准。



CN 112859542 A

1.一种成像计量工具中的光学系统,所述光学系统包括:

第一光束分离器;

照明源,其将光投射在所述第一光束分离器处;

物镜;

第二光束分离器,其沿着所述光在所述第一光束分离器与所述物镜之间的路径;

收集路径,其使所述第一光束分离器与所述第二光束分离器及所述物镜相对;以及

可调整参考路径,其具有集成在所述光学系统的所述收集路径中的参考信号,其中所述参考路径经配置以提供所述参考信号的可调整相位,且所述光学系统经配置以调整所述参考信号的所述相位以将成像计量目标的形貌相位修改为π的整数倍数,其中所述可调整参考路径直接从所述第二光束分离器接收光。

2.根据权利要求1所述的光学系统,其中所述可调整参考路径包含林尼克(Linnik)干涉仪,所述林尼克干涉仪具有等同于所述成像计量光学系统的物镜的参考物镜及可调整镜。

3.根据权利要求2所述的光学系统,其进一步包括照明路径及光束分离器,其中所述照明路径及所述收集路径经由所述光束分离器而与所述物镜相关联。

4.根据权利要求1所述的光学系统,其进一步包括经配置以控制所述参考信号的振幅的中性密度滤光器及/或镜。

5.一种成像叠加计量工具中的光学系统,所述光学系统包括:

第一光束分离器;

照明源,其将光投射在所述第一光束分离器处;

照明路径;

主物镜;

第二光束分离器,其沿着所述光在所述第一光束分离器与所述主物镜之间的路径;

收集路径,其使所述第一光束分离器与所述第二光束分离器及所述主物镜相对;以及

参考路径,其具有带可控制振幅及相位的参考信号,所述可控制振幅及相位经配置以最小化来自至少两个目标层的零级衍射信号与一级衍射信号之间的形貌相位差,其中所述参考路径直接从所述第二光束分离器接收光。

6.根据权利要求5所述的光学系统,其中所述参考路径以林尼克(Linnik)干涉仪配置并入所述光学系统中。

7.根据权利要求5所述的光学系统,其中所述最小化根据

$$min\left\{\left[\frac{A.\sin\alpha + C.\sin\gamma}{A.\cos\alpha + C.\cos\gamma} - tg(\varphi_1)\right]^2 + \left[\frac{B.\sin\beta + C.\sin\gamma}{B.\cos\beta + C.\cos\gamma} - tg(\varphi_2)\right]^2\right\}$$执行,

其中α是所述照明源的噪声性质;β是检测器的噪声性质;φ_1是第一光栅的第一衍射级的形貌相位;φ_2是第二光栅的第一衍射级的形貌相位;g是光瞳坐标;A是从所述晶片的第一层反射的零衍射级的相干总和;B是从所述晶片的第二层反射的零衍射级的相干总和;且C是从参考镜反射的零衍射级。

成像计量工具中的光学系统及成像叠加计量工具中的光学系统

[0001] 本申请是申请日为2016年5月19日,申请号为“201680028226.X”,而发明名称为“用于叠加测量的形貌相位控制”的发明专利申请的分案申请。

[0002] 相关申请案的交叉参考

[0003] 本申请案主张2015年5月19日申请的第62/163,783号美国临时专利申请案及2015年9月23日申请的第62/222,724号美国临时专利申请案的权利,所述申请案的全文以引用的方式并入本文中。

技术领域

[0004] 本发明涉及计量领域,且更特定来说,涉及叠加计量。

背景技术

[0005] 用于光学叠加测量的当前方法依赖于两种主要技术:成像及散射测量。在成像中,在光学系统的视域中测量周期性目标的位置且从在不同层中印刷的目标的位置推断叠加(OVL)。散射测量利用通过印刷于不同层处的周期性叠加标记(具有周期性结构的目标)散射的电磁(EM)波之间的干涉以推断所述层的相对位移。在两种情况中,对散射EM波的衍射级的振幅及相位的控制可提供对叠加测量的准确度及精确度的关键影响。

发明内容

[0006] 下文是提供对本发明的初步理解的简化概述。所述概述未必识别关键元素,也不限制本发明的范围,而仅充当下列描述的介绍。

[0007] 本发明的一个方面提供计量工具及方法,其估计对应于从周期性目标上的光散射产生的不同衍射级的形貌相位的效应,及调整测量条件以改进测量准确度。在成像中,可通过基于对比函数行为的分析选择适当测量条件、改变照明条件(减小光谱宽度及照明NA)、使用偏光目标及/或光学系统、使用多个散焦位置等而减小叠加误差放大。可使用额外测量或额外目标单元在成像或散射测量中执行测量结果的实时校准。

[0008] 本发明的这些、额外及/或其它方面及/或优点在下列实施方式中阐述;可能可从实施方式推导;及/或可通过本发明的实践而学习。

附图说明

[0009] 为更好理解本发明的实施例且展示可如何实行所述实施例,现将纯粹通过实例参考附图,其中贯穿全文相似数字指定对应元件或区段。

[0010] 在附图中:

[0011] 图1是根据本发明的一些实施例的典型基于成像叠加(IBO)计量中的衍射级的高级示意图。

[0012] 图2A是根据本发明的一些实施例的通过作为具有不同中心的对称矩形区域的总

和的结构近似在右侧上具有小侧壁角的不对称光栅的高级示意图。

[0013] 图2B及2C示意性说明根据本发明的一些实施例的图2A中的模型的示范性模拟结果，其将叠加误差与散焦相关联。

[0014] 图2D示意性说明根据本发明的一些实施例的使用小照明数值孔径的示范性模拟结果，其将叠加误差与对比函数相关联。

[0015] 图3A到3C是根据本发明的一些实施例的对应光学系统的高级示意图。

[0016] 图4A到4C是根据本发明的一些实施例的用于同时测量多个焦点位置的光学系统的高级示意图。

[0017] 图5A是根据本发明的一些实施例的偏光控制目标的高级示意图。

[0018] 图5B是根据本发明的一些实施例的光学系统的高级示意图。

[0019] 图6是根据本发明的一些实施例的光学系统的高级示意图。

[0020] 图7是根据本发明的一些实施例的作为形貌相位控制的准则的对比函数的高级示意图。

[0021] 图8是根据本发明的一些实施例的典型基于衍射叠加(DBO)计量中的衍射级的高级示意图。

[0022] 图9是根据本发明的一些实施例的通过计量工具测量的具有辅助单元的SCOL目标的高级示意图。

[0023] 图10A、图10B、图10C和图10D示出了说明根据本发明的一些实施例的用于光学系统的方法的高级流程图，其中图10B接续图10A中的阶段250、图10C接续图10B中的阶段322，图10D接续图10C中的阶段370。

具体实施方式

[0024] 在下列描述中，描述本发明的各种方面。出于解释的目的，阐述特定配置及细节以便提供对本发明的透彻理解。然而，所属领域的技术人员还将明白，可在无本文呈现的特定细节的情况下实践本发明。此外，可能已省略或简化众所周知的特征以不致使本发明模糊。具体参考图式，强调所展示的细节仅是作为实例且仅出于本发明的说明性论述的目的，且是为提供据信为本发明的原理及概念性方面的最有用且容易理解的描述的目的而呈现。就此来说，未尝试比基本理解本发明所需更详细地展示本发明的结构细节，结合图式进行的描述使所属领域的技术人员了解本发明的若干形式可如何在实践中体现。

[0025] 在详细解释本发明的至少一个实施例之前，应理解本发明在其应用方面并不限制于在下列描述中阐述或在图式中说明的构造细节及组件布置。本发明可应用于可以各种方式实践或执行的其它实施例以及所揭示的实施例的组合。同样地，应理解在本文采用的短语及术语是出于描述的目的且不应被视为限制性的。

[0026] 除非另外具体指出，否则如从以下论述将明白，应了解，贯穿说明书论述，利用例如“处理”、“运算”、“计算”、“确定”、“增强”或类似术语的术语是指计算机或运算系统或类似电子运算装置的行动及/或过程，其将表示为所述运算系统的寄存器及/或存储器内的物理(例如电子)量的数据操纵及/或转换为类似地表示为所述运算系统的存储器、寄存器或其它此类信息存储、传输或显示装置内的物理量的其它数据。

[0027] 提供计量工具及方法，其估计对应于从周期性目标上的光散射产生的不同衍射级

的形貌相位的效应，及调整测量条件以改进测量准确度。在成像中，可通过以下方式减小叠加误差放大：基于对比函数行为的分析选择适当测量条件、改变照明条件(减小光谱宽度及照明NA)、使用偏光目标及/或光学系统、使用多个散焦位置等。可使用额外测量或额外目标单元在成像或散射测量中执行测量结果的实时校准。

[0028] 本发明的实施例提供用于以更好准确度执行成像及/或散射测量计量测量的高效率且经济的方法及机构。在具有大于数百纳米的典型尺度(节距)的经特殊设计的“代理”计量目标上执行计量叠加(OVL)测量。装置设计规则节距未通过成像且散射测量叠加光学工具分辨，且装置节距(<90nm)与计量目标节距之间的间隙随时间增加。由于依据装置尺度优化光刻处理步骤，因此所述计量目标并非完全是过程兼容的，这导致所有类型的目标不对称性出现在OVL目标中。在大多数情况中，几何不对称性(如目标边缘的侧壁角(SWA)中的不对称性)不大(约1nm)且导致OVL的界定中在允许公差内的一些模糊性。然而，在不成功的测量条件下的成像及散射测量OVL方法两者可将目标不对称性的效应放大达导致OVL测量中的显著误差的数量级。视为用于改进OVL测量的准确度的方法包括：(i)在无需任何充分的测量工具修改的情况下，寻求最佳测量条件的配方优化；(ii)提供工具修改，其允许在排除目标不对称效应的任何放大外的条件下的OVL测量；(iii)使用双光束成像方案，其解决目标不对称性放大的问题，但需要在收集光瞳平面中使用阻挡器；及(iv)在下文中论述的特殊照明条件下执行测量。

[0029] 控制基于衍射叠加(DBO)及基于成像叠加(IBO)两者的光学叠加计量的灵敏度及准确度两者的主要参数是干扰产生测量信号的EM场之间的相位差。图8及1分别是根据本发明的一些实施例的典型DBO及IBO计量中的衍射级的高级示意图。DBO中的形貌相位(图8，在下文中论述)经定义为通过SCOL目标90A的上光栅及下光栅(分别为91B(U)及91A(L))衍射到相同衍射级(-1、+1)的电磁(EM)场之间的平均相位差。在IBO情况(图1)中，控制测量质量的形貌相位是从成像目标90衍射的零级与对称(例如，第±1级)衍射级(DO)之间的平均相位。

[0030] 两种技术遭受与对目标的不对称性的灵敏度类似的不准确度机制。主要由于大节距叠加目标对针对较小节距装置的生产优化的过程的不兼容性造成的此类不对称性表现为衍射级的相位及振幅两者的不平衡。相位不平衡无法与光栅位移(叠加)区分，但相位不平衡的效应受限于简单的几何模糊性。然而，振幅不平衡的效应可经极度放大，且仅通过构成信号的场的干扰控制。目标不对称性放大的机制在第PCT/US15/62523号WIPO专利公开案中详细描述，所述专利公开案的全部内容以引用的方式并入本文及下文中。在两种技术中，当形貌相位表现造成成像OVL的显著信号对比减小或散射测量OVL的差分信号减小时，目标不对称性的效应增大。因此，形貌相位表现的控制可在改进OVL测量的准确度中起关键作用。在下文中，针对形貌相位控制揭示若干可能性，包含修改测量硬件及专用目标设计，以及用于建立改进OVL测量准确度所需的最佳测量条件的各种方法。

[0031] 举例来说，在IBO情况(图1)中，针对具有小NA(数值孔径，NA<0.2)照明条件(表示为I的照明射线)的成像工具提供零衍射级与第一衍射级之间的相位差对OVL测量的准确度的效应的估计。在图1中展示光瞳中的衍射级的位置，其中θ_0表示照明角度且θ_1表示通过具有周期P的周期性结构(成像目标90)上的散射提供的第一衍射级的角度，两个角度都相对于目标平面的法线。θ_1及θ_0在方程式1中相关，其中λ表示照明波长。

[0032] $$\sin\theta_1 = -\sin\theta_0 + \frac{\lambda}{P} \Rightarrow \sin\theta_1 \cong -\theta_0 + \frac{\lambda}{P};\ \cos\theta_1 = \sqrt{1-(-\theta_0+\frac{\lambda}{P})^2} \cong \sqrt{1-(\frac{\lambda}{P})^2} + \frac{\theta_0\frac{\lambda}{P}}{\sqrt{1-(\frac{\lambda}{P})^2}}$$

[0033] **方程式 1**

[0034] 将第一衍射级及零衍射级之间的形貌相位差表示为Ψ，方程式2定义补偿形貌相位Ψ所需的对应散焦ΔF及在光瞳中的对应形貌相位展开(phase spread)(针对λ/P＝1/2且Ψ～π/2的情况(最坏情况)估计)。

[0035] $$\frac{2\pi}{\lambda}\Delta F\cdot\left(1-\sqrt{1-(\frac{\lambda}{P})^2}\right) = \Psi \Rightarrow \Delta F = \frac{\lambda\Psi}{2\pi\left(1-\sqrt{1-(\frac{\lambda}{P})^2}\right)}$$ **方程式2**

[0036] $$\frac{2\pi}{\lambda}\Delta F\frac{\theta_0\frac{\lambda}{P}}{\sqrt{1-(\frac{\lambda}{P})^2}} = \frac{\theta_0\frac{\lambda}{P}\Psi}{\left(1-\sqrt{1-(\frac{\lambda}{P})^2}\right)\cdot\sqrt{1-(\frac{\lambda}{P})^2}} \cong \frac{2\theta_0\Psi}{(1-\frac{\sqrt{3}}{2})\sqrt{3}} \sim 4\pi\cdot NA$$

[0037] 甚至对于小照明NA～0.2，～π的大形貌相位展开意味着，当照明点的中心部分处于最佳对比位置中时，周边照明点在零对比位置周围，这导致目标不对称性对OVL测量的准确度的效应的大幅放大且无法控制散射光的形貌相位可造成不准确的OVL测量。此效应随着较大照明NA而显著增大。

[0038] 有利地，所揭示系统及方法克服标准成像工具及散射测量工具的主要缺点，即，当使用不适当测量条件时存在的目标不对称性效应的不可控制放大。

[0039] 在下文中，详细分析目标不对称性对精确度预算的贡献。对于图像平面中的电场的振幅的表达式可如在方程式4所写，其中f，g是光瞳坐标，其与实际尺寸光瞳坐标ξ，η相关为 $f=\frac{\xi}{R}\frac{NA}{\lambda}, g=\frac{\eta}{R}\frac{NA}{\lambda}$，其中R是透镜半径，E(f，g)是光瞳平面中的电场的振幅且$e^{2\pi i(1-\cos\theta)\Delta z/\lambda}$描述散焦Δz对光瞳平面中的电场的振幅的效应。

[0040] $$E(x,y) = \iint_{\sqrt{f^2+g^2}\le\frac{NA}{\lambda}} E(f,g)\cdot e^{2\pi i(1-\cos\theta)\cdot\Delta z/\lambda}\cdot e^{-2\pi i(fx+gy)}dfdg$$

方程式 4

[0041] 在最简单、非限制性、光学配置中(其中通过透镜仅捕获±1及0衍射级)，方程式4可简化为方程式5，其中P表示X方向上的目标节距，其中a_0、a_1及a_{-1}是衍射级的复合振幅(取决于过程变化及目标不对称性)，GP表示光栅位置且ΔF表示散焦。

[0042] $$E(x) = a_0 e^{i\frac{2\pi\Delta F}{\lambda}[1-\cos(\theta_0)]} + a_1 e^{i\frac{2\pi}{P}(x-GP)+i\frac{2\pi\Delta F}{\lambda}[1-\cos(\theta_1)]} + a_{-1}e^{-i\frac{2\pi}{P}(x-GP)+i\frac{2\pi\Delta F}{\lambda}[1-\cos(\theta_{-1})]}$$

[0043] **方程式 5**

[0044] 图2A是根据本发明的一些实施例的通过作为具有不同中心的对称矩形区域94A的总和的结构94近似在右侧上具有小侧壁角的不对称光栅92的高级示意图。不对称光栅92的散射近似为来自结构94中的区域94A的散射的总和。

[0045] 每一衍射级的振幅是对应于来自不同矩形区域94A的散射的平面波的总和。举例来说，方程式6表示针对±1第一衍射级的振幅$A^{(1)}$、$A^{(-1)}$，其中$A_0^{(1)}$表示无目标不对称性的第一衍射级的振幅，$A_n^{(1)}$表示来自区域94A的振幅，及$\delta_{\mathrm{Re}}^{(1)}+i\delta_{\mathrm{Im}}^{(1)}$表示目标不对称性对第一衍射级的振幅的效应。Δn表示第n个区域相对于对应于无对称性的光栅的标称区域长度的延伸，及Ψ_n表示第n个区域的形貌相位。

$$A^{(1)}=\sum_n A_n^{(1)}\cdot e^{i\psi_n+2\pi i\frac{x+\Delta_n/2}{P}}\cong\sum_n A_n^{(1)}\cdot e^{i\psi_n+2\pi i\frac{x}{P}}\left(1+\pi i\frac{\Delta_n}{P}\right)=A_0^{(1)}e^{i\psi^{(1)}+2\pi i\frac{x}{P}}\left(1+\delta_{\mathrm{Re}}^{(1)}+i\delta_{\mathrm{Im}}^{(1)}\right)$$

[0046]

$$A^{(-1)}=A_0^{(-1)}e^{i\psi^{(-1)}-2\pi i\frac{x}{P}}\left(1-\delta_{\mathrm{Re}}^{(-1)}-i\delta_{\mathrm{Im}}^{(-1)}\right)$$

方程式 6

[0047] 在法线照明条件下，方程式7表达方程式5及6的简化，其中$\sin\theta_1=\frac{\lambda}{P}$及Δ Ψ＝$\Psi^{(1)}-\Psi^{(0)}-2\pi(1-\cos\theta 1)\,\Delta z/\lambda$，且假设$A^{(1)}=A^{(-1)},\ \psi^{(1)}=\psi^{(-1)},\ \delta_{\mathrm{Re}}^{(1)}=\delta_{\mathrm{Re}}^{(-1)},\ \delta_{\mathrm{Im}}^{(1)}=\delta_{\mathrm{Im}}^{(-1)}$，及对应场强度(近似于领头级(为简化而忽略第一衍射级振幅的平方))：

$$\begin{aligned}E(x)&\sim A^{(0)}e^{i\psi^{(0)}}+A_0^{(1)}e^{i\psi^{(1)}-2\pi i(1-\cos\theta_1)\Delta z/\lambda}\left[(1+\delta_{\mathrm{Re}}+i\delta_{\mathrm{Im}})e^{2\pi i\frac{x}{P}}+(1-\delta_{\mathrm{Re}}-i\delta_{\mathrm{Im}})e^{-2\pi i\frac{x}{P}}\right]=\\&=A^{(0)}e^{i\psi^{(0)}}+2A_0^{(1)}e^{i\psi^{(1)}-2\pi i(1-\cos\theta_1)\Delta z/\lambda}\left[\cos\left(2\pi\frac{x}{P}\right)+i\cdot(\delta_{\mathrm{Re}}+i\delta_{\mathrm{Im}})\sin\left(2\pi\frac{x}{P}\right)\right]\sim\\&\sim A^{(0)}+2A_0^{(1)}e^{i\Delta\psi}\left[\cos\left(2\pi\frac{x}{P}-\delta_{\mathrm{Im}}\right)+i\cdot\delta_{\mathrm{Re}}\sin\left(2\pi\frac{x}{P}\right)\right]\end{aligned}$$

[0048]

$$\begin{aligned}I(x)\cong\ &\text{常数}\quad+2A^{(0)}A_0^{(1)}\cos(\psi^{(1)}-\psi^{(0)}-2\pi(1-\cos\theta_1)\Delta z/\lambda)\cdot\\&\cos\left[\frac{2\pi}{P}x-\delta_{\mathrm{Im}}-\delta_{\mathrm{Re}}\cdot\tan\left(\psi^{(1)}-\psi^{(0)}-2\pi(1-\cos\theta_1)\Delta z/\lambda\right)\right]\end{aligned}$$

方程式 7

[0049] 有关方程式7，归因于目标不对称性，在目标中心的位置中存在数量级$\Theta\left(\frac{P}{2\pi}\{\delta_{\mathrm{Re}},\delta_{\mathrm{Im}}\}\right)$的自然模糊性。然而，错误的工具测量条件可将此目标几何模糊性放大达tan($\psi^{(1)}-\Psi^{(0)}-2\pi(1-\cos\theta_1)\,\Delta z/\lambda$)倍。此倍数在最佳对比位置中几乎为零，但在零对比位置中趋近无穷。此倍数的值可通过测量焦点位置的正确选择而控制，然而，遇到下列问题：(i)每一照明光瞳位置及每一波长提供其自身的形貌相位，且因此提供其自身的最佳对比焦点位置。由于场图像是对应于不同照明点及波长的图像的总和，因此其可收集大幅放大目标不

对称性效应的图像。此第一问题几乎无法通过改变测量焦点位置而解决，这是因为针对相对大照明NA，对应于不同照明角度的最佳对比位置的展开可大到微米。由于经测量焦点位置与照明角的部分的最佳对比位置之间的距离可大到半微米，因此任何经选择的测量焦点位置中存在目标准确度放大。(ii)最佳对比位置随着过程变化而变化。如果焦点获取程序提供与最佳对比位置非强相关的测量焦点位置，那么其变为劣化OVL测量准确度的额外因素。

[0050] 在模拟中例示这些问题，假设SWA＝88°(对应于针对＜100nm的层高度的<±1nm的OVL模糊性)，从而导致在图2B中展示的关系，其中对于特定测量条件(例如，λ)及测量焦点位置，在特定模拟条件下，成像工具提供在±5nm的范围内的OVL误差，即，成像工具将源自SWA的OVL误差增强达5倍。图2C说明另一模拟实例，其展示甚至更大的放大倍数。

[0051] 提出的解决方案包括下列方法中的任何者：(i)最佳对比焦点位置与光栅位置重合的测量条件的适当选择；(ii)光谱范围及照明NA的减小；(iii)采集在每一位点上的不同焦点位置中的若干图像且找到最佳焦点位置；(iv)使用大照明波长；且(y)同时采集在不同焦点位置中的若干图像。在下文中详细论述这些方法。

[0052] 大幅减小光谱范围(例如，低于10nm)及照明NA(例如，低于NA～0.1)(方法(ii))将最佳对比位置的展开减小到200到300nm。图2D说明使用0.1的小照明NA的模拟结果，其中点105经识别为具有低OVL误差放大的最佳对比位置且点95经识别为零对比位置。如在图2D中说明，OVL误差是小的且随绕最佳对比位置(105)的焦点改变而缓慢改变，而OVL误差随绕零对比位置(95)的焦点改变而更大幅地变化。位置105及95表示不同类型的零OVL误差测量点，在零对比位置95中，零OVL误差因第一谐波的振幅恰为零且使用通常比第一谐波的振幅小得多的第二谐波测量OVL的事实而产生。零对比位置95处的测量在下文论述，且需要计量工具的硬件(HW)修改(例如，收集路径中的零级阻挡器，如在图3A中说明)。

[0053] 图3A是根据本发明的一些实施例的理论模型及光学系统110的高级示意图。照明81(在照明路径71中)进入系统110且经由光学件82(例如，光束分离器)及物镜83被引导到目标90上，衍射信号从所述目标90被收集且经由光束分离器82及光学件84(例如，镜筒透镜)(在收集路径79中，也称为检测路径)被引导到检测器80(例如，CCD-电荷耦合式装置)。可引入空间滤光器115以理想地在傅里叶平面(光瞳平面120)处阻挡零级衍射信号。以非限制性方式，仅说明第一衍射级。

[0054] 系统110可根据下列规范配置以减小或消除准确度误差放大：低NA源(例如激光)可用来提供对光均匀性的宽松要求；可仅传递一级衍射以提供清楚的两光束干涉及大焦点深度；过程及抗蚀剂信号两者(即，来自不同目标层的衍射信号)可被传递穿过光瞳平面120的相同部分以消除像差；及可实时执行聚焦，注意，良好的图像对比允许测量而不实施适应性噪声减小算法(ANRA)以实现短MAM(移动获取测量)时间，例如，低于200msec。

[0055] 特定来说，下列所揭示演算方法克服与不透明零级阻挡器115的引入相关及收集光瞳中衍射级的良好分离的要求中所涉及的困难，从而避免零级泄漏到像中或更高DO的急剧截断。发明者注意到，此要求将最小目标尺寸限制到大于10到15um以提供小衍射尾巴(tail)。另一方面，零级阻挡器115的非常有限的尺寸需要非常小的照明NA从而造成光预算问题。特定来说，照明NA超出特定阈值的减小(凡瑟特-册尼克(van Cittert-Zernike)定理)导致空间延伸的相干效应(振铃(ringing))使图像失真。然而，发明者已发现，下列算法

在维持图3A中说明的光学方案中固有的优点的同时通过不使用零级阻挡器115(可能要求较小的硬件修改)而克服上文列出的限制,从而实现成像OVL测量中的优异准确度、改进工具性能且减小过程变化的效应。特定来说,发明者已发现,仅针对OVL测量选择偶数谐波及/或使用穿过焦点平均化以减小偶数衍射级对偶数信号谐波的贡献提供这些优势,如下文解释。

[0056] 图3B及3C分别是根据本发明的一些实施例的计量工具85及光学系统110的高级示意图。计量工具85示意性说明为包括带具有对应照明及收集数值孔径(分别为NA_{IL}及NA_C)的照明路径71及收集路径79的光学系统110、检测器80及与处理器88相关联的计量模块87。光学系统110如在图3A中那样示意性说明,但无零级阻挡器115,且经配置用于执行高形貌堆叠测量,其中选择其收集及照明数值孔径以具有小于2λ/P的总和,及/或光学系统110经配置以集成在其多个焦点位置上由其捕获的多个图像,以平均化不对称贡献,如下文解释。在此类配置下,计量工具85及光学系统110仿真模拟本文在上文及下文揭示的两光束配置,而通过仅包含具有如下文解释的特定λ/P比的第二谐波而避免零级阻挡。

[0057] 所揭示的光学方案的主要要求是(i)可调整照明光谱范围及收集NA(NA_C)以确保对于任何经选择目标节距,物镜83仅收集零衍射级及±1(第一)衍射级;及(ii)相对小的照明NA以提供大DOF(焦点深度)。具体来说,可选择NA_C及NA_{IL}以满足条件$2\lambda/P > NA_C+NA_{IL}$,其中λ表示照明波长且P表示(目标90)的光栅节距。在此类条件下,测量信号的第二谐波仅因±1衍射级之间的干涉形成,且在此意义上,其完全等效于使用零级阻挡器115测量的信号(除应通过其它硬件构件解决的精确度问题外)。

[0058] 有关DOF,在目标$_{90}$上散射后,斜平面波是按通过$\sin(\theta_{1,-1}) = -\sin(\theta_0) \pm \lambda/P$界定的角度传播的±1衍射级,其中$\theta_0$表示照明角度。在零照明NA($NA_{IL}=0$)及法线照明条件($\theta_0 \equiv 0$)的精确履行的情况中,其遵循$\cos(\theta_1) \equiv \cos(\theta_{-1})$及两个平面波之间的相对相位不随焦点改变,即,对应于无穷大的DOF。归因于照明环的有限尺寸,仅可近似满足法线照明条件。然而,由于在此情况中,DOF通过照明NA(NA_{IL})而非如在一般情况中通过收集NA(NA_C)确定,因此可展示小照明NA的DOF的值可近似为 $DOF \cong \frac{P\sqrt{1-(\lambda/P)^2}}{2.5 \cdot NA_{IL}}$。举例来说,对于P=1800nm,λ/P~0.5及NAIL=0.2产生DOF>3μm,其允许用单个采集测量高形貌堆叠。

[0059] 替代地或补充地,可集成在多个焦点位置上的多个图像以平均化不对称贡献。可使用第±1级(或任何其它对称级对)之间的干扰图案的大DOF实施深堆叠单个采集测量。随着物体(目标90)移动穿过焦点,平均化利用任何不对称DO对之间的干扰的对比反转,而对称级之间的干扰不改变对比正负号。可通过软件及/或通过硬件实施集成,从而允许曝光期间的焦点测量。如此,单个采集深堆叠测量可在忽略波长对节距比及收集NA的情况下进行。

[0060] 有关准确度,如上文及下文展示,目标不对称性放大的机制(OVL测量不准确度的主要来源)经连接到形成所述图像的衍射级之间的形貌相位差的值。当对应于法线照明条件的衍射级之间的相位差几乎为零时最准确测量完成。此条件针对通过±1衍射级之间的干涉形成的图像自动满足,从而提供高准确度。

[0061] 返回上文呈现的五种方法,采集在每一位点上的不同焦点位置中的若干图像(例如,作为非限制性实例的三个图像)(方法(iii))可用来使用(例如)针对每一采集图像计算的对比值的抛物线近似来实时(见方法(ii)中的最后点)找到最佳对比位置。由于不准确度

放大倍数绕最佳对比位置(图2D中的点105、95处)改变其正负号,因此可使用适当权重将针对图像计算的OVL值与在相对于最佳对比位置的不同侧上的焦点位置组合而获得准确OVL测量。此方法提供位点间过程变化的解决方案。

[0062] 使用大照明波长(方法(iv))允许光谱范围及照明NA的延伸,这是因为形貌相位随着波长及照明角度的改变速率大幅减小。此方法需要大节距,例如,约2000nm。

[0063] 同时采集在不同焦点位置中的若干图像(方法(v))可用来克服因以下事实产生的困难:由于在具有不同最佳对比位置的两个层之间测量OVL,因此可在每一层的对称位置的中心在其本身的最佳对比位置中被测量到的情况下实现最准确测量。在此情况中,合成核(或由于内插到对应于此层的最佳焦点位置的焦点位置的合成OVL值)是对应于采集图像中的每一者的信号的不同组合。因此,所得OVL包含在图像采集期间可影响OVL测量的精确度的载台运动的效应。为从OVL测量方法消除此效应,可改变成像工具光学配置以允许在不同焦点位置中同时采集若干图像。下文中描述方法(v)的一个可能实施方案的细节。

[0064] 所关注的层中的每一者处印刷的目标在其本身最佳对比焦点中的采集(方法(v))有利地提供多层目标的过程稳健测量,这确保在足够小的照明NA及足够窄的照明频带的条件下消除测量是过程变化的敏感性起因的形貌相位。

[0065] 图4A到4C是根据本发明的一些实施例的用于同时测量多个焦点位置的光学系统110的高级示意图。图4A是成像计量工具85的高级示意图,其具有光学系统110及与其相关联且可能通过一或多个处理器操作的校准模块112(见图9)。

[0066] 校准模块112可经配置以导出叠加误差放大对散焦的水平的相依性,且光学系统110可经配置以以窄光谱范围($\Delta\lambda \leq 10nm$)、以窄照明数值孔径(NA≤0.1)且在根据导出的相依性对应于零叠加误差放大的焦点位置处操作(见上文的方法(ii))。

[0067] 光学系统110可替代地或补充地经配置以采集在对应多个焦点位置处的多个计量目标图像,且校准模块112可经配置以估计采集图像的不准确度放大倍数且通过识别不准确度放大倍数相对于焦点位置的正负号改变而确定最佳对比位置,其中成像计量工具85经重新配置以在经确定最佳对比位置处操作(见上文的方法(iii))。校准模块112可经配置以在定期计量工具操作期间实时操作。

[0068] 光学系统110可经配置以在多个de-foci(焦点位置)中实现目标90的同时测量,而计量工具85中的校准模块112(图4A)可经配置以提供特定每层采集定中心(per-layer grab centering)而无妥协精确度的风险(见上文的方法(iv))。

[0069] 光学系统110可具有计量工具85中的收集路径79(通过物镜83及光学件84示意性说明)的第一检测焦点位置131C且包括沿着收集路径79的至少两个光束分离元件132、134,所述至少两个光束分离元件132、134经定位以提供具有不同于第一检测焦点位置131C的收集路径长度的至少两个对应额外焦点位置131A、131B。

[0070] 举例来说,光学系统110可包括(图4B)光学组合件130,所述光学组合件130包括光束分离器132、134(例如,分别为BS 30/70及BS 50/50),其后紧随镜136,所述镜136经配置以提供近似在检测平面89处的三个相应焦点位置(foci)131A到C。光学组合件130的示范性配置提供具有相等功率且对应于可通过相同检测器80检测而无任何机械漂移的三个不同焦点位置的三个图像。因此,光学系统110可经设计以具有静态多次采集架构。光学系统110中的参数的量化(将ΔZ_o定义为物体的纵向位移,ΔZ_i定义为图像的纵向位移,M定义为成像

系统的放大且n_o及n_i定义为相应在物体及像介质中的折射率)通过方程式8提供且经例示用于计量目标90的典型尺寸(即,L＝30μm的侧向尺寸及125的放大)(图像之间无叠加)以提供可在图4B中说明的光学系统110中测量的最小ΔZ_o。

[0071] $$\frac{\Delta Z_i}{\Delta Z_o} = \frac{n_i}{n_o} M^2 ; \quad \frac{L}{M} = \Delta Z_o = 240nm$$ 方程式8

[0072] 在另一实例中,光学系统110可包括(图4C)光学组合件130,所述光学组合件130包括在场光阑(例如,等效于检测器平面89的平面89A)处的光罩140、光学件133及经配置以提供(例如)通过三个对应检测器80A到C检测的三个相应焦点位置(foci)131A到C的光束分离器132、134。检测器80A到C可为单独的且以不同轴向位移捕获图像或可至少部分系统的且实现来自不同晶片层的目标的同时成像(双重或更多次采集)。

[0073] 主要通过来自晶片(目标90)的照明光81的镜面反射照明光罩140,使得光罩140的照明NA($NA_{reticle}$)可使用场深的已知估计$\Delta Z = \lambda / NA^2_{reticle}$依据照明NA($NA_{ill}$)及可使用在图4C中说明的光学系统110覆盖的foci的范围(ΔZ_o)估计,如在方程式9中表达。

[0074] $$NA_{reticle} = \frac{NA_{ill}}{M} \quad ; \quad \Delta Z_o = \frac{\Delta Z_i}{M^2} = \frac{\lambda}{NA^2_{ill}}$$ 方程式9

[0075] 举例来说,使用示范性数据λ＝700nm及NA_{ill}＝0.2产生ΔZ_0＝17.5μ的散焦范围,其对于覆盖若干层的目标之间的焦点差异是令人满意的。(例如)在图4C中说明的光学系统110克服对可为例如100nm的检测器的侧向位置的机械稳健性的要求,以在使用单独图像来检测单独目标层中的每一者的位移的同时,维持可允许的精确度(1nm)。场光阑中的光罩140充当用于确定图像中的层中的每一者的位移的相互参考中心。

[0076] 有利地,所提出的多次采集穿过焦点测量架构的配置克服先前技术自动聚焦技术中的缺点:例如(i)以从干涉焦点的恒定偏移测量跨晶片的所有位点及(ii)循序多次采集获取穿过焦点的多个图像,接着单独确定当前及过程层的目标位置,以用于稍后计算所述位置之间的叠加。这两种方法遭受明显缺点。方法(i)依赖跨晶片的所有过程参数的一致性且已表明与最佳对比焦点位置相差达数百纳米,这又导致叠加确定中的多个纳米的不准确度。归因于载台在图像获取之间的不自主漂移(达到几纳米),方法(ii)遭受明显的精确度挑战。

[0077] 新的光学配置允许在成像OVL测量中实现优异准确度、改进工具性能且减小过程变化的效应。特定来说,成像配置具有小照明NA及窄光谱范围,基于在不同焦点位置中采集的数个同时图像使用新的实时OVL测量算法,及/或引入允许对应于不同焦点位置的图像的实时对准的光学配置中的改变。本发明可实施在任何现有计量平台中用于OVL控制。

[0078] 参考图1,揭示用于获得成像OVL中的形貌相位控制的额外方式:(i)偏光目标;(ii)波长控制;及(iii)干涉控制。

[0079] 图5A是根据本发明的一些实施例的偏光控制目标150的高级示意图。特定实施例包括成像计量目标150,其包括具有沿着测量方向(X)以节距p(p_x)的元件151的至少一个周期性结构,其中元件151沿着垂直于测量方向(X)的方向(Y)按未分辨节距(py)分段。选择未分辨节距(p_y)以提供是π的整数倍数的目标150的形貌相位,如下文解释。

[0080] 偏光控制目标150(i)可经设计以(例如)使用通过测量工具次分辨的小分段节距Py来提供对磁场的水平及垂直偏光(相对于目标周期性方向表示为X及Y)的不同响应。

[0081] 举例来说,如果入射平面的轴与目标150的主轴重合,那么使用未分辨节距P_y分段的线(或沟渠)151的有效介电常数可使用有效介质近似法描述为有效地等效于具有在方程式10中表达的方向介电常数向量的各向异性薄膜,其中ε_1是一种材料的介电常数,ε_2是另一材料的介电常数,η是y方向上的分段的作用时间循环且$\varepsilon_x \neq \varepsilon_y$。

[0082] $$\varepsilon_x = \varepsilon_z = \frac{\varepsilon_1 + \eta\varepsilon_2}{1+\eta};\ \varepsilon_y = \frac{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2(1+\eta)}{\varepsilon_2 + \eta\varepsilon_1} \quad \text{方程式10}$$

[0083] 可选择提供对于电场的垂直及水平偏光的不同响应的多个可能目标设计中的任何者。可基于具有不同参数的测试晶片目标上的形貌相位的模拟及/或测量而选择实际分段节距。图5B是根据本发明的一些实施例的光学系统160的高级示意图。在计量工具的光学系统160中,线性偏光的方向可用于改变从目标150散射的光的衍射级之间的相位。光学系统160还可包括:在照明路径71中的偏光器161(例如,(例如)使用具有不同角度及迟滞参数的波板提供圆形偏光);及收集路径79中的分析器169,以在目标不同地响应于照明光81的不同偏光条件的情况中通过改变分析器169的角度而提供散射光的形貌相位的更有效控制。

[0084] 替代地或补充地,(ii)可修改照明波长以控制形貌相位。发明者已发现针对大多数堆叠改变大约50nm的波长提供等效于形貌相位中的π的改变的对比反转。因此,甚至大约±10nm的照明光谱的小偏移可用于提供形貌相位的明显改变,使光谱控制成为可用来改进OVL测量条件的额外因子。此外,由于抗蚀剂及过程层可使用不同波长测量(如上文展示的实例的双重采集),因此可针对抗蚀剂及过程层独立执行形貌相位校正。

[0085] 图6是根据本发明的一些实施例的光学系统170的高级示意图。光学系统170可用于成像计量工具中以用于OVL测量。光学系统170包括可调整参考路径178,其具有集成在光学系统170的收集路径79中的参考信号。参考路径178经配置以提供参考信号的可调整相位,光学系统170经配置以调整参考信号的相位以修改成像计量目标的形貌相位而使所述形貌相位为π的整数倍数。可调整参考路径178可经集成作为林尼克(Linnik)干涉仪,其具有等同于成像计量光学系统170的主物镜83的参考物镜174及可调整镜175,如在下文中详细解释。

[0086] 光学系统170包括照明路径71、主物镜83及收集路径79,且进一步包括具有带可控制振幅及相位的参考信号的参考路径178,所述可控制振幅及相位经配置以最小化来自目标90的至少两个目标层的零级衍射信号与一级衍射信号之间的形貌相位差。照明路径71及收集路径79可经由光束分离器82而与物镜83相关联,且参考路径178可经由光束分离器82集成于光学系统170中。在林尼克干涉仪配置中的示范性实施例中,参考路径178可包括具有镜175的物镜174(物镜174等同于主物镜83),以及相关联的照明源171及光学件172、173(例如,聚焦透镜172及光束分离器173)。参考信号的振幅可受控于衰减器179(例如,通过中性密度(ND)滤光器),及物镜174及/或镜175可移动以控制参考信号的相位。所得零衍射级场表现为从晶片的第一层及第二层(目标90的光栅)反射的零衍射级(表示为$A \cdot e^{i\alpha}$及$B \cdot e^{i\beta}$);及从参考镜175反射的零衍射级(表示为$C \cdot e^{i\gamma}$)的相干总和。因此,可如在方程式11中表

达那样描述零级场。

[0087]
$$A \cdot e^{i\alpha} + C \cdot e^{i\gamma} = \sqrt{A^2 + C^2 + 2AC\cos(\alpha - \gamma)} \cdot e^{iarctg\left[\frac{A\cdot\sin\alpha + C\cdot\sin\gamma}{A\cdot\cos\alpha + C\cdot\cos\gamma}\right]}$$
$$B \cdot e^{i\beta} + C \cdot e^{i\gamma} = \sqrt{B^2 + C^2 + 2BC\cos(\beta - \gamma)} \cdot e^{iarctg\left[\frac{B\cdot\sin\beta + C\cdot\sin\gamma}{B\cdot\cos\beta + C\cdot\cos\gamma}\right]}$$

方程式 11

[0088] 分别将第一光栅及第二光栅的第一衍射级的形貌相位表示为φ_1及φ_2，参考信号的振幅及相位可经配置以最小化来自目标90的至少两个目标层的零级衍射信号与一级衍射信号之间的形貌相位差。从方程式11可得，可通过最小化方程式12的表达式而找到最佳操作条件。

[0089]
$$\min\left\{\left[\frac{A\cdot\sin\alpha + C\cdot\sin\gamma}{A\cdot\cos\alpha + C\cdot\cos\gamma} - tg(\varphi_1)\right]^2 + \left[\frac{B\cdot\sin\beta + C\cdot\sin\gamma}{B\cdot\cos\beta + C\cdot\cos\gamma} - tg(\varphi_2)\right]^2\right\}$$

方程式 12

[0090] 同时针对两个光栅减小级与零级之间的形貌相位差，将两个层的最佳对比位置提供到靠近彼此，以允许在相同焦点位置中测量两个层。

[0091] 补充方法将暗场成像计量设置为出发点。虽然亮场成像使用收集路径中的零衍射级及第一衍射级，但暗场成像阻挡零级且仅使用更高衍射级(通常将第一衍射级用于图像形成)，从而实现叠加测量的优异精确度及准确度。亮场及暗场成像的共同限制为低衍射效率，即，当通过目标90衍射到第一衍射级中的EM波的振幅非常低时。亮场(BF)及暗场(DF)成像强度在方程式13中表达，其中$I_{BF}(x)$表示在检测器80处观测到的强度，a_0、a_1及a_{-1}分别是第0、第+1及第-1衍射级的振幅；Ψ是光瞳平面处在第0与第±1衍射级之间的平均相位，δa_1是正阶及负阶的振幅的差，且δφ是相位差。

[0092]
$$I_{BF}(x) = |a_0|^2 + |a_1|^2 + |a_{-1}|^2 + 4a_0\overline{a_1}\cos[\Psi]\cos\left[\frac{2\pi(x - x_0)}{P} + \delta\phi + \delta a_1 \tan\Psi\right] + a_1 a_{-1}\cos\left[\frac{4\pi(x - x_0)}{P} + 2\delta\phi\right]$$
$$I_{DF}(x) = |a_1|^2 + |a_{-1}|^2 + 2a_1 a_{-1}\cos\left[2\frac{2\pi(x - x_0)}{P} + 2\delta\phi\right]$$

方程式 13

[0093] 在亮场成像中，展示相位干扰引入受目标本身的几何模糊性限制的误差，而项$8a_1\tan\Psi$可引入超过几纳米的误差(如果在不当条件($\Psi \to \pm\frac{\pi}{2}$，见上文的求导)中测量)。虽然暗场成像解决不准确度问题，但暗场成像通常遭受显著缺光以及光学系统的杂散光及重像的效应，这是因为暗场成像的信号仅由高衍射级构成。

[0094] 在低衍射效率的情况中，在任一类型的成像中的光栅位置测量的精确度可如在方

程式14中表达，其中α及β分别是光源及检测器的噪声性质，且A_0及A_{signal}分别是零级调变频率及基频谐波(pitch harmonic)的振幅。一般表达式近似表示亮场成像(假设零级处的强度主导检测器噪声)及暗场成像。

[0095] $$\Delta x \propto \frac{PixelSize}{P}\frac{\sqrt{\alpha A_0+\beta}}{A_{Signal}}$$

[0096] $$\Delta x_{BF} \propto \frac{PixelSize}{P}\frac{\sqrt{\alpha a_0^2+\beta}}{a_0\overline{a_1}} \approx \frac{PixelSize}{P}\frac{\sqrt{\alpha}}{\overline{a_1}}$$

[0097] $$\Delta x_{DF} \propto \frac{PixelSize}{P}\frac{\sqrt{\alpha \overline{a_1}^2+\beta}}{\overline{a_1}^2} \approx \frac{PixelSize}{P}\frac{\sqrt{\beta}}{\overline{a_1}^2}$$

方程式 14

[0098] 因此，一旦目标的衍射效率下降到由检测器噪声主导信号的水平，那么亮场测量变得比暗场成像有利。然而，总信号受检测器的动态范围限制，使得摄像机的不饱和度需要履行方程式15中表达的条件，其中Γ表示摄像机(检测器)的饱和水平。

[0099] $$|a_0|^2 + 4a_0\overline{a_1} < \Gamma \quad \text{方程式15}$$

[0100] 方程式16在振幅及强度方面表达以收集光瞳为路径的零级EM场的振幅的所得限制。

[0101] $$a_0^2 < a_1^2\left[\sqrt{\frac{\Gamma}{a_1^2}+4}-2\right]^2;\ \frac{I_0}{I_1} < \left(\sqrt{\frac{\Gamma}{I_1}+4}-2\right)^2 \quad \text{方程式16}$$

[0102] 此求导暗示若干实施方案：(i)参考图3A，空间滤光器115可实施为泄漏阻挡器(例如)以使用可调整ND滤光器作为空间滤光器115来控制零级的振幅，同时使用窄照明NA以确保零衍射级与更高衍射级之间的分离。由于测量准确度需要零衍射级与第一衍射级之间的特定相位关系，因此可在收集光瞳区域120处通过带状相位板实施相位控制。(ii)参考图3A，空间滤光器115可实施为经配置以提供同时相位及振幅控制的适应性光学元件，例如，DLP(数字光处理装置，例如经个别致动的微镜的阵列或可变形镜膜)，其通过表面调整(例如，镜角度及装置形貌)提供相位及振幅控制。(iii)参考图6，衰减器179可能是可变化的，且根据下列求导实施。

[0103] 方程式17将零级信号表达为从目标90及从镜175反射的信号的总和，其中a_w表示从晶片(目标90)反射的零级的振幅，且a_r表示从参考镜175反射的EM场的振幅；且其中Ψ表示相对于第一衍射级的零级的形貌相位，及Φ_r表示在光瞳平面处的参考EM场的相位。有效零级信号使用a_0'及Ψ_0'表达。

[0104] $$E_0 = a_w e^{i\Psi} + a_r e^{i\Phi_r} = a_0' e^{i\Psi'};$$
$$a_0' = \sqrt{a_w^2 + a_r^2 + 2a_w a_r \cos(\Psi-\Phi)};\ \Psi' = \tan^{-1}\frac{a_w \sin\Psi + a_r \sin\Phi}{a_w \cos\Psi + a_r \cos\Phi}$$

[0105] **方程式 17**

[0106] 因此，使用衰减器179来控制参考臂178的振幅a_r及相位Φ_r提供将在检测器80处收集的任何任意零级场且根据上文揭示的原理，借此在基于成像叠加(IBO)测量中提供优异的准确度及精确度以及经改进的对比及信号强度。

[0107] 图7是根据本发明的一些实施例的作为形貌相位控制的准则的对比函数的高级示意图。经定义为依据透镜焦点位置的光栅对比的对比函数呈现为成像中的形貌相位控制的实用成功准则。如上文展示(见(例如)方程式2)，焦点透镜位置从光栅位置的任何偏差导致不同照明角度的相位展开的增大，从而导致对比减小(偏差越大，对比减小程度越大)。成像中的最佳测量条件对应于零衍射级与第一衍射级之间的相位差，其为π的整数倍数。在此情况中，光栅焦点位置与测量信号的最佳对比位置重合，且不同光瞳照明点之间不存在形貌相位展开(由散焦引发)。在这些条件下，对比函数(在图7中通过“π”标记)是具有一个精确区分的峰值的对称函数。在相反的最差测量条件中，零衍射级与第一衍射级之间的相位差为π/2，且在对应于π/2的相位差的对比反转位置中实现等效对比。对比函数的对应行为具有两个相等的峰值(在图7中通过“π/2”标记)。任何中间条件提供不对称对比函数(在图7中通过“中间”标记)。对比函数可因此用于优化成像测量条件。

[0108] 包括光学系统110及校准模块112的计量工具85(见图4A)可经配置以通过光学系统110导出成像目标的对比函数，及调整光学系统110的测量条件，以修改经导出的对比函数以具有单个峰值(如在图7中)。计量工具85可经配置以在经调整测量条件下执行成像计量测量。

[0109] 在散射测量叠加(SCOL)计量中，与上文呈现类似的考虑适用于成像计量。特定来说，结合波长及偏光的选择的类似目标设计考虑是同样适用的。此外，由于在光瞳坐标中测量SCOL信号(在光瞳平面120处的入射角多路复用)，因此恰当AOI(光瞳像素)的测量后选择可达到最准确测量条件。

[0110] 针对对于叠加及准确度的最佳敏感性(对不对称性及垫间变化的稳健性)，场之间的优选相位为$\pm\frac{\pi}{2}$，如在下列求导中展示。图8是根据本发明的一些实施例的散射测量光栅叠置目标90的高级示意图。SCOL目标90包括至少两个单元90A(“+单元”)、90B(“-单元”)，其分别具有顶部光栅91B相对于底部光栅91A的相反偏移$+f_0$及$-f_0$(通过Δ标记光栅节距)。针对以相同衍射级(-1、+1)通过SCOL目标单元的上光栅及下光栅(分别为91B(U)及91A(L))衍射的经衍射电磁(EM)场呈现单元模型90C。DBO(基于衍射叠加计量)中的形貌相位定义为通过上光栅及下光栅衍射的电磁(EM)场之间的平均相位差。衍射级近似表示于方程式18中。$U_{\pm1}^{+}$及$U_{\pm1}^{-}$分别表示通过第一(正偏移)单元90A及第二(负偏移)单元90B的上光栅91B散射的总场。上标中的正负号指示单元的偏移，下标指示散射级。$L_{\pm1}^{+}$及$L_{\pm1}^{-}$表示通过下(过程)光栅91A衍射的场。$u_{\pm1}^{\pm}$及$l_{\pm1}^{\pm}$表示场的振幅，$\psi_{\pm1}^{+}$表示通过上光栅91B衍射的场的形貌相位(如通过对应上标及下标指示的单元及级)，及$\phi_{\pm1}^{+}$表示通过下光栅91A衍射的场的总相位(相对于上光栅91B的形貌+光学路径差(OPD))。$I_{\pm1}^{+}$及$I_{\pm1}^{-}$表示对应信号强度。星号(*)将复共轭性表示为运算，及c.c.代表额外复共轭项。

[0111] $$U_{\pm1}^{+}\approx u_{\pm1}^{+}e^{i\left(\pm\frac{2\pi(\Delta+f_0)}{P}+\psi_{\pm1}^{+}\right)};\ L_{\pm1}^{+}=l_{\pm1}^{+}e^{i\phi_{\pm1}^{+}};$$

[0112] $$U_{\pm1}^{-} \approx u_{\pm1}^{-} e^{i\left(\pm\frac{2\pi(\Delta-f_0)}{P}+\psi_{\pm1}^{-}\right)};\ L_{\pm1}^{-} = l_{\pm1}^{-} e^{i\phi_{\pm1}^{-}}$$

[0113] $$I_{\pm1}^{+} = \left|u_{\pm1}^{+}\right|^2 + \left|l_{\pm1}^{+}\right|^2 + U_{\pm1}^{+} \times L_{\pm1}^{+\,*} + c.c.$$
$$= u_{\pm1}^{+} l_{\pm1}^{+} \cos\left(\pm\frac{2\pi(\Delta+f_0)}{P} + \psi_{\pm1}^{+} - \phi_{\pm1}^{+}\right)$$

[0114] $$I_{\pm1}^{-} = \left|u_{\pm1}^{-}\right|^2 + \left|l_{\pm1}^{-}\right|^2 + U_{\pm1}^{-} \times L_{\pm1}^{-\,*} + c.c. = u_{\pm1}^{-} l_{\pm1}^{-} \cos\left(\pm\frac{2\pi(\Delta-f_0)}{P} + \psi_{\pm1}^{-} - \phi_{\pm1}^{-}\right)$$

方程式 18

[0115] 方程式19引入且定义四个物理变量。在下列求导中，为简化起见省略恒定项 $\left|u_{\pm1}^{\pm}\right|^2 + \left|l_{\pm1}^{\pm}\right|^2$，假设单元与光栅的对称性之间存在足够相似性。

[0116] $\mathcal{A}^{\pm}$-对应单元的平均干扰项振幅。

[0117] $$\mathcal{A}^{\pm} = \frac{u_{+1}^{\pm} l_{+1}^{\pm} + u_{-1}^{\pm} l_{-1}^{\pm}}{2}$$

[0118] $\mathcal{B}^{\pm}$-散射到所述级中的每一者的光的振幅之间的不对称性。

[0119] $$\mathcal{B}^{\pm} = \frac{u_{+1}^{\pm} l_{+1}^{\pm} - u_{-1}^{\pm} l_{-1}^{\pm}}{2}$$

[0120] $\alpha^{\pm}$-在上光栅及下光栅处散射后到达检测器的EM波之间的平均相位差。

[0121] $$\alpha^{\pm} = \frac{\left(\psi_{+1}^{\pm} - \phi_{+1}^{\pm}\right) + \left(\psi_{-1}^{\pm} - \phi_{-1}^{\pm}\right)}{2}$$

[0122] $\beta^{\pm}$-通过光栅散射到第+1或-1级的EM波的相位差的不对称性。

[0123] $$\beta^{\pm} = \frac{\left(\psi_{+1}^{\pm} - \phi_{+1}^{\pm}\right) - \left(\psi_{-1}^{\pm} - \phi_{-1}^{\pm}\right)}{2}$$

方程式 19

[0124] 使用 $\mathcal{A}^{\pm}$、$\mathcal{B}^{\pm}$、$\alpha^{\pm}$、$\beta^{\pm}$，在方程式20中表达单元90A、90B的差分信号。差分信号以一般形式表达，忽略来源于多次再散射且不同地取决于光栅之间的相对位移的项，这是因为这些项的相对强度取决于实际上不超过几个百分比的光栅的衍射效率(DE)的高次幂。

[0125] $$D^{\pm} = I_{+1}^{\pm} - I_{-1}^{\pm} = \mathcal{A}^{\pm} \sin\left[\frac{2\pi(\Delta\pm f_0)}{P} + \beta^{\pm}\right] \sin\alpha^{\pm} + \mathcal{B}^{\pm} \cos\left[\frac{2\pi(\Delta\pm f_0)}{P} + \beta^{\pm}\right] \cos\alpha^{\pm} =$$
$$D^{\pm} = \mathcal{A}^{\pm} \sin\alpha^{\pm} \left\{\sin\left[\frac{2\pi(\Delta\pm f_0)}{P} + \beta^{\pm}\right] + \frac{\mathcal{B}^{\pm}}{\mathcal{A}^{\pm}\tan\alpha^{\pm}} \cos\left[\frac{2\pi(\Delta\pm f_0)}{P} + \beta^{\pm}\right]\right\}$$

[0126] 替代形式1：

[0127] $$D^{\pm} = \sqrt{(\mathcal{A}^{\pm}\sin\alpha^{\pm})^2 + (\mathcal{B}^{\pm}\cos\alpha^{\pm})^2}$$
$$\times \sin\left\{\pm\frac{2\pi f_0}{P} + \frac{2\pi}{P}\left[\Delta + \frac{P}{2\pi}\left(\beta^{\pm} + \tan^{-1}\left[\frac{\mathcal{B}^{\pm}}{\mathcal{A}^{\pm}\tan\alpha^{\pm}}\right]\right)\right]\right\}$$

[0128] 替代形式2：

$$D^{\pm} = \mathcal{A}^{\pm}\sin\alpha^{\pm}\sqrt{1+\left(\frac{\mathcal{B}^{\pm}}{\mathcal{A}^{\pm}\tan\alpha^{\pm}}\right)^2}$$

[0129]
$$\times\sin\left\{\pm\frac{2\pi f_0}{P}+\frac{2\pi}{P}\left[\Delta+\frac{P}{2\pi}\left(\beta^{\pm}+\tan^{-1}\left[\frac{\mathcal{B}^{\pm}}{\mathcal{A}^{\pm}\tan\alpha^{\pm}}\right]\right)\right]\right\}$$

方程式 20

[0130] 由于单元($D^{\pm}$)中的每一者处的差分信号充当级SCOL中的主要可观测项，因此方程式20提供敏感性及误差分析的基础。

[0131] 项$\frac{P}{2\pi}\left(\beta^{\pm}+\tan^{-1}\left[\frac{\mathcal{B}^{\pm}}{\mathcal{A}^{\pm}\tan\alpha^{\pm}}\right]\right)$归因于目标不对称性可经测量作为叠加的相加项。以类似于成像中的情形的方式(见方程式7)，相位不对称性(β±)表现为恰当叠加的线性相加项，而振幅不对称性$(\frac{\mathcal{B}^{\pm}}{\mathcal{A}^{\pm}})$的效应通过由上下光栅及下光栅散射的级的形貌相位及OPD的组合$(\frac{1}{\tan\alpha})$放大。在→nπ(tanα→0)的最坏的可能情况中，通过振幅不对称性引入的误差可达到$\pm\frac{P}{2}$。另一方面，在$\alpha\rightarrow\pm\frac{\pi}{2}$的最佳情形中；放大误差消失，这是因为tanα→∞。应注意，产生最佳及最坏结果的形貌相位在散射测量中相对于成像是相反的，这是因为在SCOL中，测量差分信号(干扰项的差)，而在成像中，测量干扰项的总和。

[0132] 方程式21估计差分信号的量值d及其一阶导数及二阶导数。

[0133]
$$d = (\mathcal{A}\sin\alpha)^2+(\mathcal{B}\cos\alpha)^2 = \frac{1}{2}(\mathcal{A}^2+\mathcal{B}^2)-\frac{1}{2}(\mathcal{A}^2-\mathcal{B}^2)\cos 2\alpha\,;$$

$$d' = \frac{d}{d\alpha}[(\mathcal{A}\sin\alpha)^2+(\mathcal{B}\cos\alpha)^2] = (\mathcal{A}^2-\mathcal{B}^2)\sin 2\alpha = 0 \Rightarrow \alpha = \frac{n\pi}{2}\,;$$

$$d'' = \frac{d^2}{d\alpha^2}[(\mathcal{A}\sin\alpha)^2+(\mathcal{B}\cos\alpha)^2]$$

$$= 2(\mathcal{A}^2-\mathcal{B}^2)\cos 2\alpha; \qquad \text{假设 } \mathcal{B}<\mathcal{A}$$

$$\Rightarrow \begin{matrix} for:\alpha = 0,\pi\ldots; d''>0 \Rightarrow \text{D处于最小值;} \\ for:\alpha = \pm\frac{\pi}{2}\ldots; d''<0 \Rightarrow \text{D处于最大值。}\end{matrix}$$

方程式 21

[0134] 类似于成像中的情形，应在对于测量最佳的相位关系下获得最强信号。然而，难以使光栅的散射效率与通过上光栅91B及下光栅91A衍射的EM场之间的相对相位脱离。由于$\mathcal{A}$或$\mathcal{B}$都非先验已知的，且由于对α无所知；因此无法公式化可测量的量(例如，具有α的量值$D^{\pm}$)的清楚行为。

[0135] 当前SCOL算法使用表达式$S=\frac{D^{+}+D^{-}}{D^{+}-D^{-}}$来计算每一像素处的信号。通常做出两个假

设，光栅是对称的且照明几乎是法线的，且目标单元90A、90B除偏移外是相同的。在方程式22中表达这些假设的模型隐含式。

[0136] $$u_{+1}^{\pm} = u_{-1}^{\pm} \wedge l_{+1}^{\pm} = l_{-1}^{\pm} \Longrightarrow \mathcal{B}^{\pm} = 0$$

[0137] $$\psi_{+1}^{\pm} = \psi_{-1}^{\pm} \wedge \phi_{+1}^{\pm} = \phi_{-1}^{\pm} \Longrightarrow \beta^{\pm} = 0$$

[0138] $$\mathrm{D}^{\pm} = I_{+1}^{\pm} - I_{-1}^{\pm} = \mathcal{A}^{\pm} \sin\left[\frac{2\pi(\Delta \pm f_0)}{P}\right] \sin\alpha^{\pm}$$

[0139] $$\mathcal{A}^{+} = \mathcal{A}^{-} \equiv \mathcal{A};\ \ \alpha^{+} = \alpha^{-} \equiv \alpha$$

[0140] $$\mathrm{D}^{\pm} = I_{+1}^{\pm} - I_{-1}^{\pm} = \mathcal{A} \sin\left[\frac{2\pi(\Delta \pm f_0)}{P}\right] \sin\alpha$$

[0141] $$S = \frac{D^{+} + D^{-}}{D^{+} - D^{-}} = \tan\left(\frac{2\pi\Delta}{P}\right) \cot\left(\frac{2\pi f_0}{P}\right)$$

方程式 22

[0142] 然而，如果光栅具有相同形状但其光学厚度不同，那么方程式23表达模型隐含式。

[0143] $$u_{+1}^{\pm} = u_{-1}^{\pm} \wedge l_{+1}^{\pm} = l_{-1}^{\pm} \Longrightarrow \mathcal{B}^{\pm} = 0;\ \Rightarrow \mathcal{A}^{+} = \mathcal{A}^{-} \equiv \mathcal{A};$$

[0144] $$\psi_{+1}^{+} = \psi_{-1}^{+} \neq \psi_{+1}^{-} = \psi_{-1}^{-};\ \ \phi_{+1}^{+} = \phi_{-1}^{+} \neq \phi_{+1}^{-} = \phi_{-1}^{-};\ \ \Longrightarrow \beta^{\pm} = 0;\ \alpha^{+} \neq \alpha^{-};$$

[0145] $$\mathrm{D}^{\pm} = I_{+1}^{\pm} - I_{-1}^{\pm} = \mathcal{A}^{\pm} \sin\left[\frac{2\pi(\Delta \pm f_0)}{P}\right] \sin\alpha^{\pm}$$

$$S = \frac{D^{+} + D^{-}}{D^{+} - D^{-}} = \frac{\sin\left[\frac{2\pi(\Delta + f_0)}{P}\right] \sin\alpha^{+} + \sin\left[\frac{2\pi(\Delta - f_0)}{P}\right] \sin\alpha^{-}}{\sin\left[\frac{2\pi(\Delta + f_0)}{P}\right] \sin\alpha^{+} - \sin\left[\frac{2\pi(\Delta - f_0)}{P}\right] \sin\alpha^{-}}$$

$$\sin\left[\frac{2\pi(\Delta \pm f_0)}{P}\right] = \sin\left[\frac{2\pi}{P}\Delta\right] \cos\left[\frac{2\pi}{P}f_0\right] \pm \cos\left[\frac{2\pi}{P}\Delta\right] \sin\left[\frac{2\pi}{P}f_0\right] \Rightarrow$$

[0146]

$$S = \frac{D^{+} + D^{-}}{D^{+} - D^{-}}$$

$$= \frac{\sin\left[\frac{2\pi}{P}\Delta\right] \cos\left[\frac{2\pi}{P}f_0\right] \{\sin\alpha^{+} + \sin\alpha^{-}\} + \cos\left[\frac{2\pi}{P}\Delta\right] \sin\left[\frac{2\pi}{P}f_0\right] \{\sin\alpha^{+} - \sin\alpha^{-}\}}{\sin\left[\frac{2\pi}{P}\Delta\right] \cos\left[\frac{2\pi}{P}f_0\right] \{\sin\alpha^{+} - \sin\alpha^{-}\} + \cos\left[\frac{2\pi}{P}\Delta\right] \sin\left[\frac{2\pi}{P}f_0\right] \{\sin\alpha^{+} + \sin\alpha^{-}\}}$$

方程式 23

[0147] 使用表示法$\alpha = \frac{\alpha^{+}+\alpha^{-}}{2}; \gamma = \frac{\alpha^{+}-\alpha^{-}}{2} \Rightarrow \alpha^{\pm} = \alpha \pm \gamma$；且记住参数的物理含义：Δ是两个光栅之间的叠加，$f_0$是两个单元之间的刻意偏移，α是通过上光栅及下光栅散射到相同衍射级的级之间的相位(包含OPD)，及γ主要是单元之间的OPD差(归因于额外假设)，所述信号可如在方程式24中表达进一步求导，从而导致下列简化的表达式

$$S=\frac{D^{+}+D^{-}}{D^{+}-D^{-}}=\frac{\sin\left[\frac{2\pi}{P}\Delta\right]\cos\left[\frac{2\pi}{P}f_0\right]\sin\alpha\cos\gamma+\cos\left[\frac{2\pi}{P}\Delta\right]\sin\left[\frac{2\pi}{P}f_0\right]\cos\alpha\sin\gamma}{\sin\left[\frac{2\pi}{P}\Delta\right]\cos\left[\frac{2\pi}{P}f_0\right]\cos\alpha\sin\gamma+\cos\left[\frac{2\pi}{P}\Delta\right]\sin\left[\frac{2\pi}{P}f_0\right]\sin\alpha\cos\gamma}$$

[0148]

$$=\frac{\tan\left[\frac{2\pi}{P}\Delta\right]\tan\alpha+\tan\left[\frac{2\pi}{P}f_0\right]\tan\gamma}{\tan\left[\frac{2\pi}{P}\Delta\right]\tan\gamma+\tan\left[\frac{2\pi}{P}f_0\right]\tan\alpha}$$

方程式 24

[0149] 假设光栅之间的不同光学厚度的隐含式导致$\tan\gamma\neq0$，否则返回到方程式22。虽然如果$|\tan\alpha|>>|\tan\gamma|$，那么维持类似近似(例如，当$\tan\alpha\rightarrow\pm\infty$时，这是因为$\alpha\rightarrow\pm\frac{\pi}{2}$)，但是针对几乎任何$\gamma\neq\pm\frac{\pi}{2}$的此近似清楚导致忽略来自标准模型的错误项。此外，如果$\tan\alpha\rightarrow0$(下文称为谐振条件)，那么针对任γ(其中$\tan\gamma\neq0$)的测量信号完全表现为预期信号S的S^{-1}。

[0150] 结果是可通过找到$\alpha\cong\pm\frac{\pi}{2}$的条件而实现减小光学厚度(垫间)灵敏度及光栅不对称性放大效应(见上文针对方程式20的论述)。然而，$\alpha=\pm\frac{\pi}{2}$的期望条件与产生来自上光栅及下光栅的级之间的建设性或破坏性干扰的$\alpha=\pm n\pi$的非所要条件相比未在光瞳图像中或差分信号中展示特殊特征，且通常通过光瞳图像处的清晰条纹(亮或暗)及对叠加的大幅减小的敏感性(差分信号中的暗条纹)指示。

[0151] 图9是根据本发明的一些实施例的通过计量工具85测量的具有辅助单元185的SCOL目标180的高级示意图。计量工具85包括光学系统110以及与一或多个处理器88相关联的计量模块87(适用于所揭示实施例中的任何者)，其可能具有光学系统110及计量模块87的所揭示配置。计量目标90可包括至少两个单元，其各自具有带周期性结构的至少两个目标层，所述周期性结构具有节距p且在至少两个单元中相对于彼此移位达相反偏移。除SCOL目标单元90外，至少两个辅助、特殊设计的测量单元185还可被引入目标180中以基于逐个像素的基础确定形貌相位。举例来说，可引入分别具有四分的节距$\pm\frac{P}{4}$的刻意偏移的两个辅助单元185A、185B，使得辅助单元具有在相应辅助单元处相对于彼此移位达$\pm p/4$的目标90的周期性结构。辅助单元185的光瞳图像可用来执行方程式25中表达的W的计算，其中α表示形貌相位，$I_{+1}^{\frac{1}{4}}$及$I_{-1}^{\frac{1}{4}}$表示针对在正叠加方向上具有$\frac{P}{4}$的偏移的辅助单元185A的级及第负一级(如通过下标指示)测量的光瞳图像的强度。$I_{+1}^{-\frac{1}{4}}$及$I_{-1}^{-\frac{1}{4}}$表示在负叠加方向上具有偏移$\frac{P}{4}$的辅助单元185B的相应强度，I_{+1}^{0}及I_{-1}^{0}表示无特殊位移(即，具有带标准$\pm f_0$的标准设计的偏移)的标准SCOL单元90的相应强度。

[0152]

$$W=\frac{\left(I_{+1}^{\frac{1}{4}}+I_{-1}^{\frac{1}{4}}\right)-\left(I_{+1}^{-\frac{1}{4}}+I_{-1}^{-\frac{1}{4}}\right)}{\left(I_{+1}^{0}-I_{-1}^{0}\right)}=\frac{\cos\alpha}{\sin\alpha}\cong\cot\alpha$$

方程式 25

[0153] 应注意，在W＝0的像素中$\alpha = \pm\frac{\pi}{2}$。因此，选择检测器80的像素或区(对应于照明角度θ)及/或对应于小W值(例如，$W \cong 0$)的波长λ通过抑制目标对相邻单元之间的层的厚度变化的敏感性以及光栅不对称性的效应而提供准确度的显著改进。

[0154] 图10A、图10B、图10C和图10D示出了说明根据本发明的一些实施例的方法200的高级流程图，其中图10B接续图10A中的阶段250、图10C接续图10B中的阶段322，图10D接续图10C中的阶段370。可相对于上文描述的系统及工具执行方法阶段，所述系统及工具可任选地经配置以实施方法200。方法200可至少部分通过至少一个计算机处理器(例如，在计量模块中)实施。特定实施例包括计算机程序产品，其包括计算机可读存储媒体，所述计算机可读存储媒体具有与其一起体现且经配置以实施方法200的相关阶段的计算机可读程序。特定实施例包括通过方法200的实施例设计的相应目标的目标设计文件。

[0155] 这些方法阶段相对于上文描述的系统及工具更详细描述且任选地经配置以实施方法200。可根据指定要求组合本发明的不同方面的方法阶段。

[0156] 方法200可包括在成像计量工具的光学系统中导出叠加误差放大对散焦的水平的相依性(阶段210)，及使所述光学系统以窄光谱范围(Δλ≤10nm)、以窄照明数值孔径(NA≤0.1)且在根据导出的相依性对应于零叠加误差放大的焦点位置处操作(阶段220)。

[0157] 方法200可包括采集在对应多个焦点位置处的多个计量目标图像(阶段230)，估计采集图像的不准确度放大倍数(阶段250)，通过识别不准确度放大倍数相对于焦点位置的正负号改变而确定最佳对比位置(阶段260)，及使计量工具在经确定最佳对比位置处操作(阶段270)。可同时执行采集230(阶段240)且可通过将至少两个光束分离元件沿着计量工具的收集路径定位而执行同时采集240(阶段242)，以提供具有不同收集路径长度的多个焦点位置(阶段244)。在特定实施例中，方法200进一步包括在计量工具的场平面处使用光罩，其经配置作为焦点位置处的目标图像的参考(阶段246)。

[0158] 方法200可包括导出成像计量目标的形貌相位对测量波长的相依性(阶段280)，调整测量波长以使形貌相位成为π的整数倍数(阶段290)(例如，在±10nm的范围中)，且以经调整测量波长执行成像计量目标的成像计量测量(阶段300)。

[0159] 方法200可包括在成像计量光学系统的收集路径中集成包括参考信号的可调整参考路径(阶段320)及调整参考信号的相位以修改成像计量目标的形貌相位而使所述形貌相位为π的整数倍数(330)。可调整参考路径可在光学系统中配置为林尼克干涉仪，其具有等同于成像计量光学系统的物镜的参考物镜及可调整镜(阶段322)。方法200可包括(例如)根据方程式12最小化来自至少两个目标层的零级衍射信号与一级衍射信号之间的形貌相位的差(阶段332)。

[0160] 方法200可包括：将至少两个辅助单元加到散射测量目标，所述至少两个辅助单元的周期性结构与散射测量目标中的周期性结构具有相同的节距p，相对于彼此移位达±p/4的周期性结构(阶段340)；且根据方程式25通过测量来自至少两个辅助单元的衍射信号而测量散射测量目标的形貌相位(阶段350)。

[0161] 方法200可包括导出成像目标的对比函数(阶段360)，调整测量条件以修改导出的对比函数以具有单个峰值(阶段370)且以经调整测量条件执行成像计量测量(阶段375)。

[0162] 方法200可包括通过以下方式执行高形貌堆叠测量(阶段380)：选择收集及照明数

值孔径(NA)以具有小于2λ/P的总和(阶段382),可能最小化照明NA以增大场深(DOF)(阶段384);及/或集成多个焦点位置上的多个图像以平均化不对称贡献(阶段386)。

[0163] 可通过至少一个计算机处理器(例如处理器88)执行方法200的数据处理阶段中的任何者(阶段390)。

[0164] 在上文参考根据本发明的实施例的方法、设备(系统)及计算机程序产品的流程图说明及/或部分图描述本发明的方面。将理解,可通过计算机程序指令实施流程图说明及/或部分图的每一部分及流程图说明及/或部分图中的部分的组合。这些计算机程序指令可经提供到通用计算机、专用计算机或其它可编程数据处理设备的处理器以产生机器,使得经由计算机或其它可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实施流程图及/或部分图或其部分中指定的功能/行为的构件。

[0165] 这些计算机程序指令还可存储于计算机可读媒体中,所述计算机程序指令可引导计算机、其它可编程数据处理设备或其它装置以特定方式作用,使得存储于计算机可读媒体中的指令产生包含实施流程图及/或部分图或其部分中指定的功能/动作的指令的制品。

[0166] 计算机程序指令还可加载到计算机、其它可编程数据处理设备或其它装置上以使一系列操作步骤在计算机、其它可编程设备或其它装置上执行以产生计算机实施过程,使得在计算机或其它可编程设备上执行的指令提供用于实施流程图及/或部分图或其部分中指定的功能/动作的过程。

[0167] 前述流程图及图式说明根据本发明的各种实施例的系统、方法及计算机程序产品的可能实施方案的架构、功能性及操作。就此来说,流程图或部分图中的每一部分可表示代码的模块、区段或部分,其包括用于实施指定逻辑功能的一或多个可执行指令。还应注意,在一些替代实施方案中,部分中提及的功能可不按图中提及的顺序发生。举例来说,事实上,取决于所涉及的功能性,依序展示的两个部分可大体上同时执行或所述部分有时可按相反顺序执行。还将注意,可通过执行指定功能或行为的基于专用硬件的系统或专用硬件及计算机指令的组合实施部分图及/或流程图说明的每一部分及部分图及/或流程图说明中的部分的组合。

[0168] 在上文描述中,实施例是本发明的实例或实施方案。“一个实施例”、“实施例”、“特定实施例”或“一些实施例”的各种出现并未必都是指相同实施例。尽管本发明的各种特征可在单个实施例的背景内容中描述,但所述特征还可单独提供或以任何适当组合提供。相反地,尽管为简明起见,在本文中本发明可在单独实施例的背景内容中描述,但本发明还可在单个实施例中实施。本发明的特定实施例可包含来自上文所揭示的不同实施例的特征,且特定实施例可并入来自上文所揭示的其它实施例的元件。在特定实施例的背景内容中的本发明的元件的揭示内容并不被视为限制其单独用于特定实施例中。此外,应理解,可以各种方式实行或实践本发明且可在除在以上描述中概述的实施例外的特定实施例中实施本发明。

[0169] 本发明不限于所述图或对应描述。举例来说,流程不必移动穿过每一说明的框或状态,或不必完全按如所说明且描述的相同顺序移动。除非另定义,否则本文使用的技术及科学术语的含义将被本发明所属领域的一般技术者普遍理解。虽然本发明已相对于有限数目的实施例描述,但这些实施例不应被解释为对本发明的范围的限制,而应被解释为一些优选实施例的例示。其它可能的变化、修改及应用也在本发明的范围内。因此,本发明的范

围不应为目前为止已描述的内容所限制,而应为所附权利要求书及其合法等效物所限制。

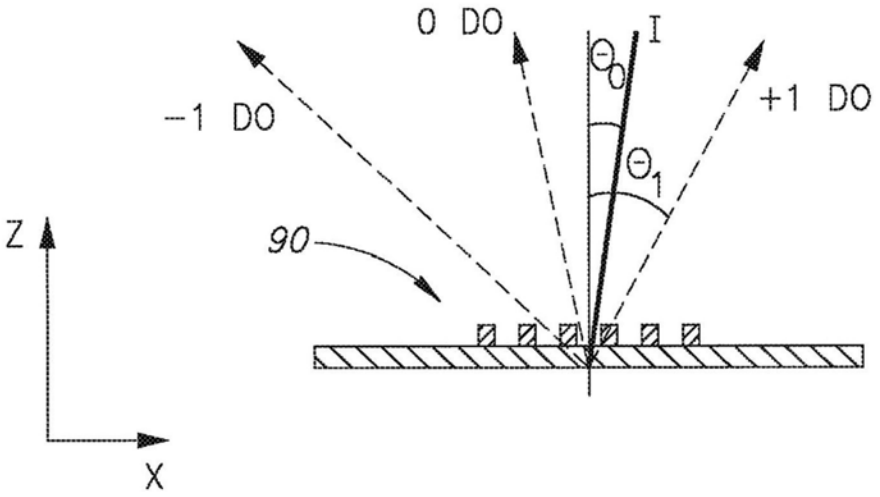


图1

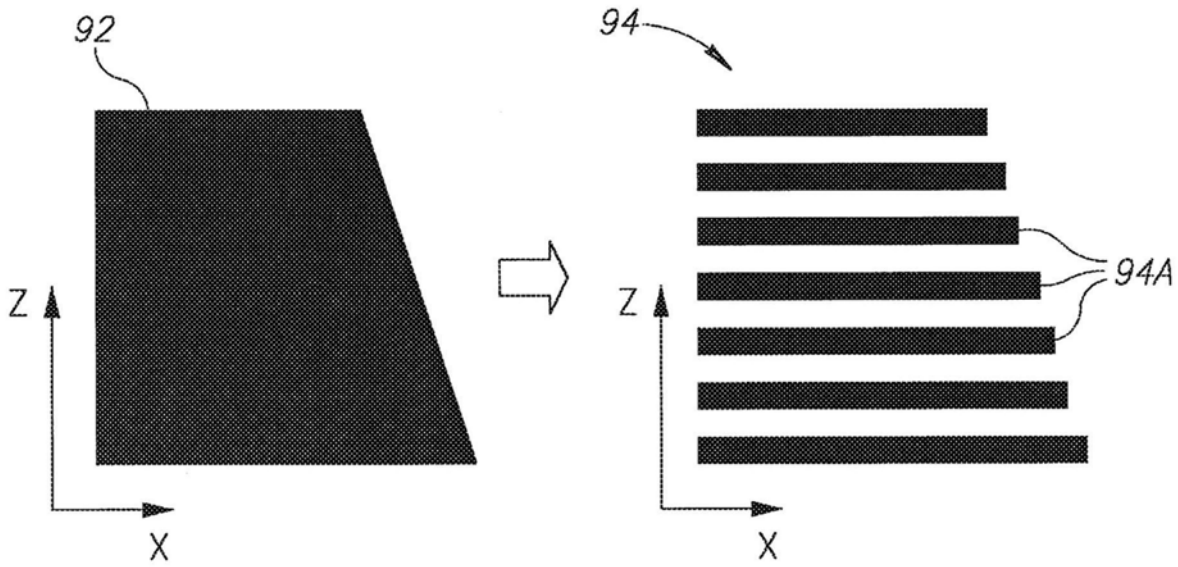


图2A

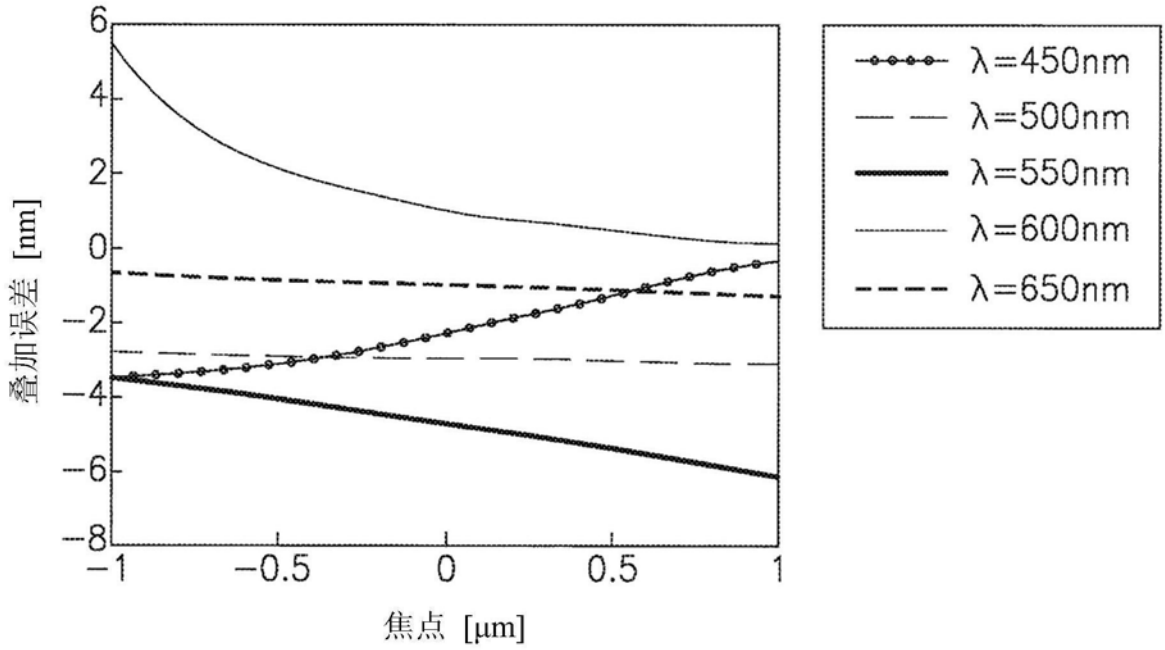

λ=450nm
λ=500nm
λ=550nm
λ=600nm
λ=650nm
叠加误差 [nm]
焦点 [μm]
6
4
2
0
−2
−4
−6
−8
−1
−0.5
0
0.5
1

图2B

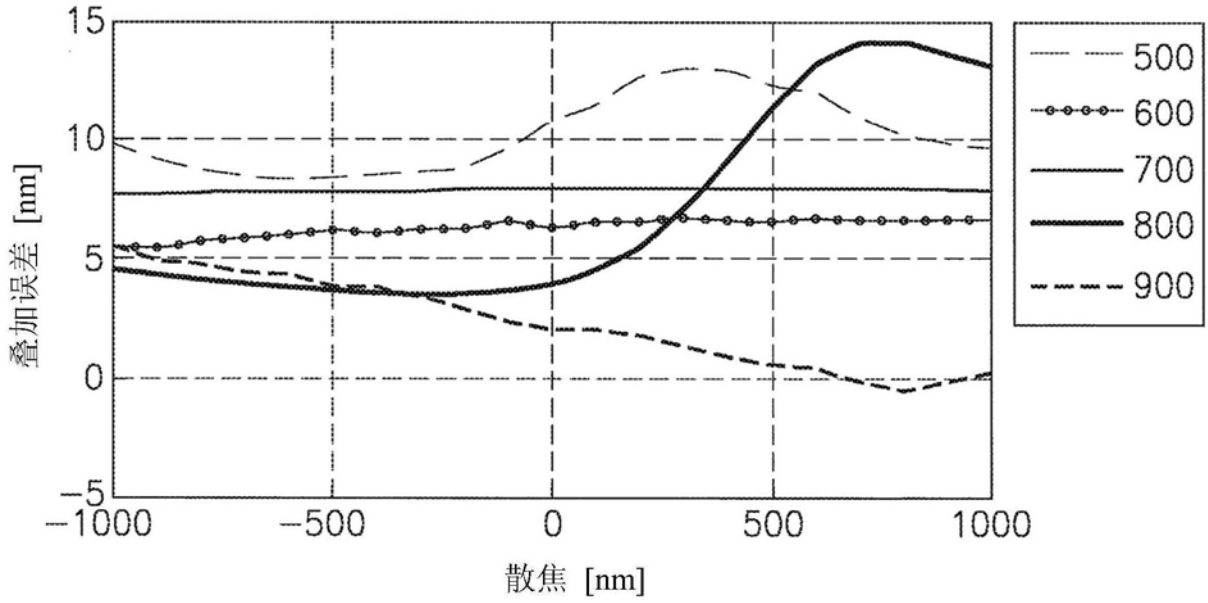

500
600
700
800
900
叠加误差 [nm]
散焦 [nm]
15
10
5
0
−5
−1000
−500
0
500
1000

图2C

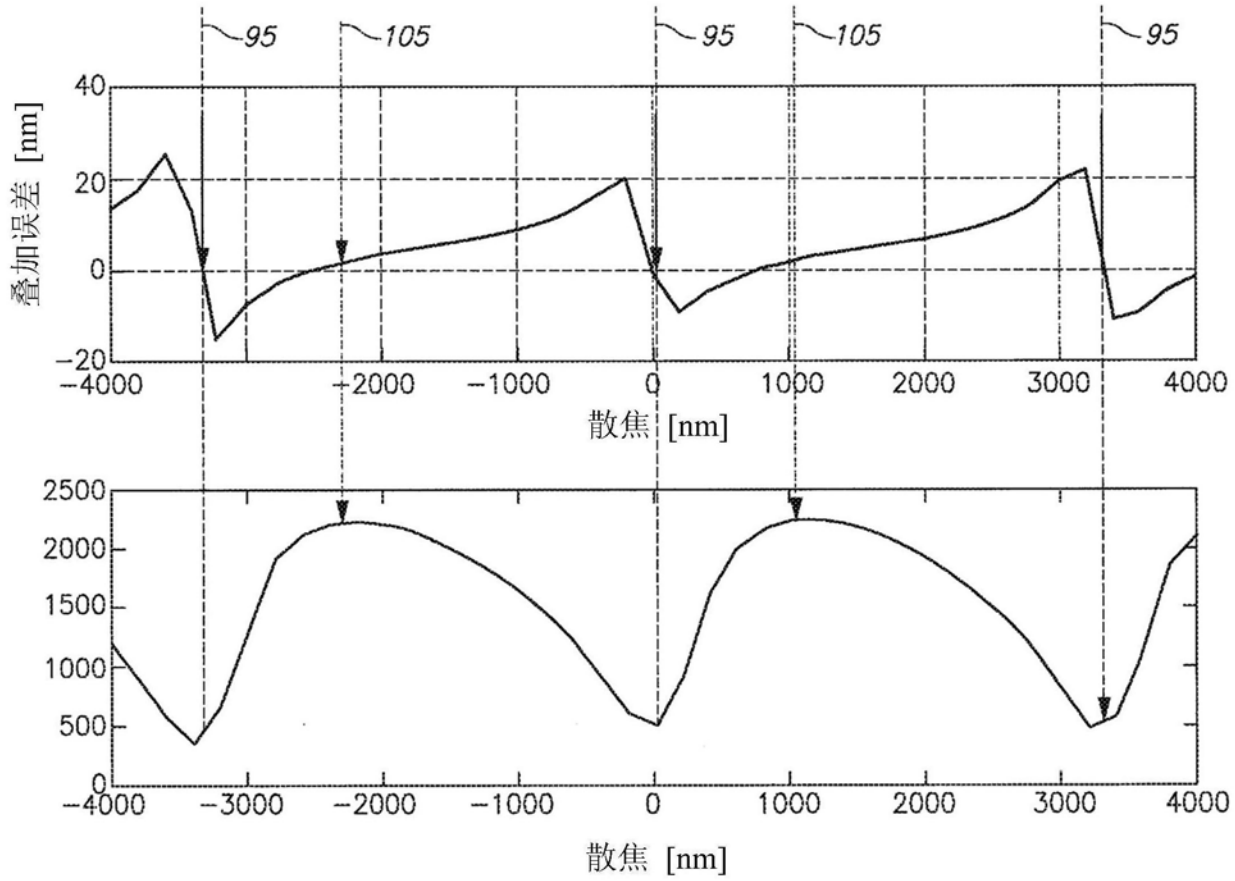

95
105
95
105
95
40
20
0
-20
叠加误差 [nm]
-4000
-2000
-1000
0
1000
2000
3000
4000
散焦 [nm]
2500
2000
1500
1000
500
0
-4000
-3000
-2000
-1000
0
1000
2000
3000
4000
散焦 [nm]

图2D

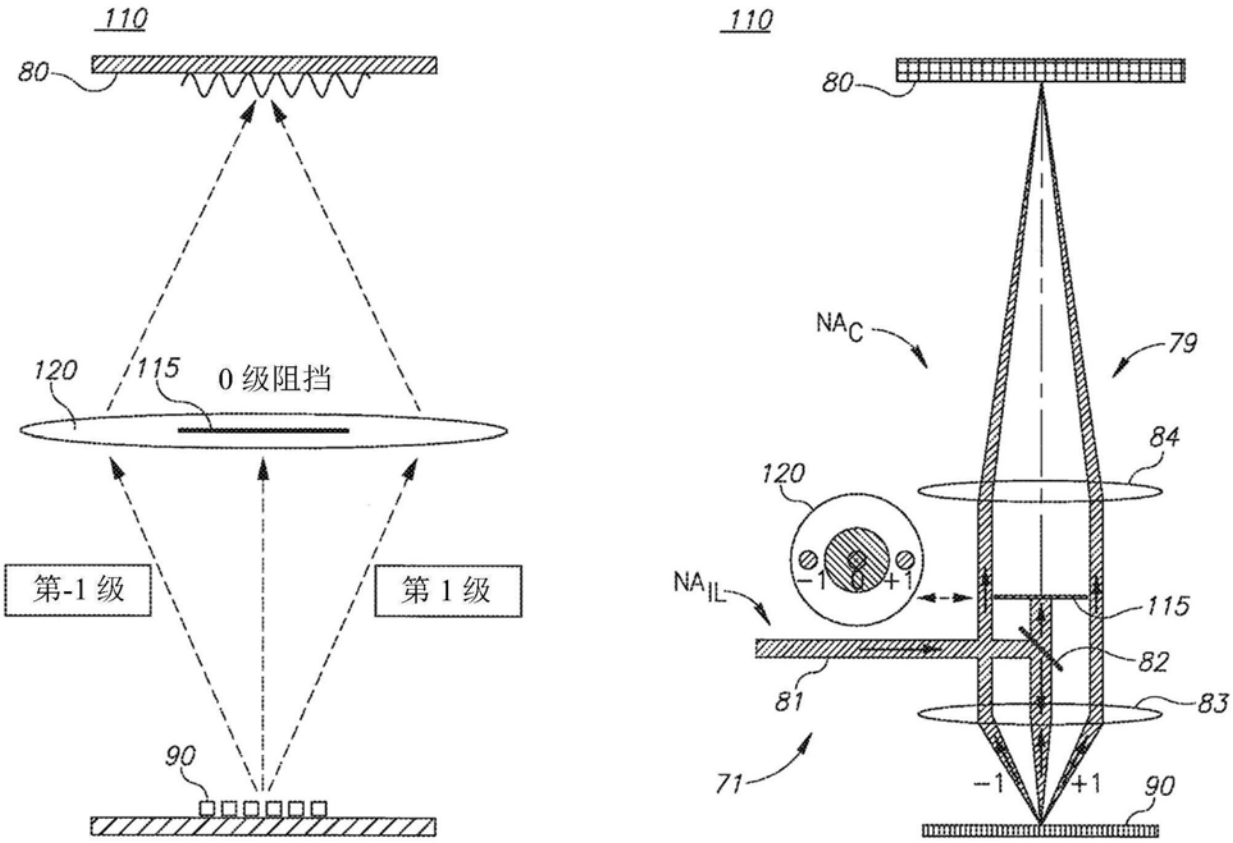

110
80
120
115
0 级阻挡
第-1 级
第 1 级
90
110
80
NA_C
79
84
120
NA_IL
−1
0
+1
115
82
81
83
71
−1
+1
90

图3A

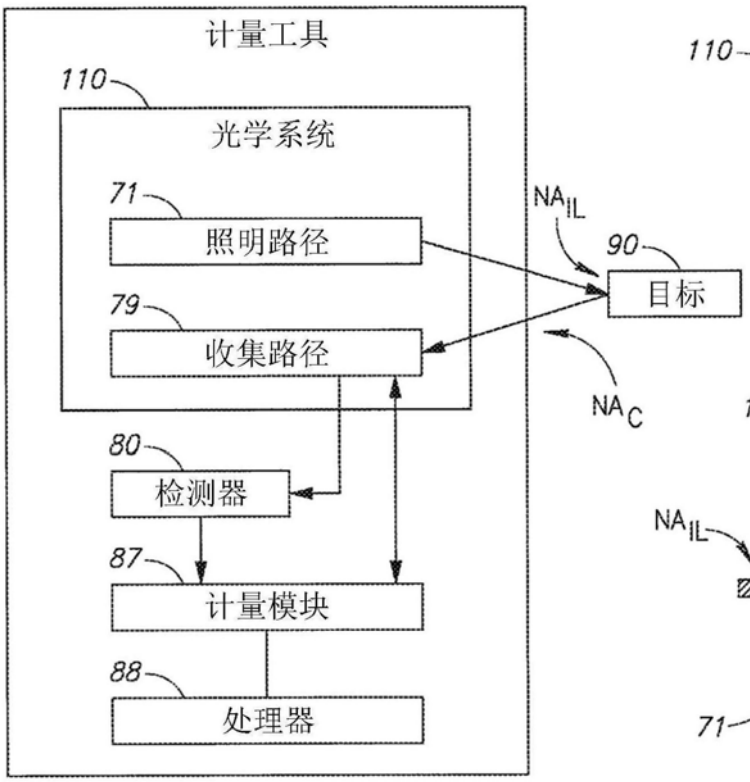

计量工具
110
光学系统
71
照明路径
79
收集路径
80
检测器
87
计量模块
88
处理器
NA_IL
90
目标
NA_C

图 3B

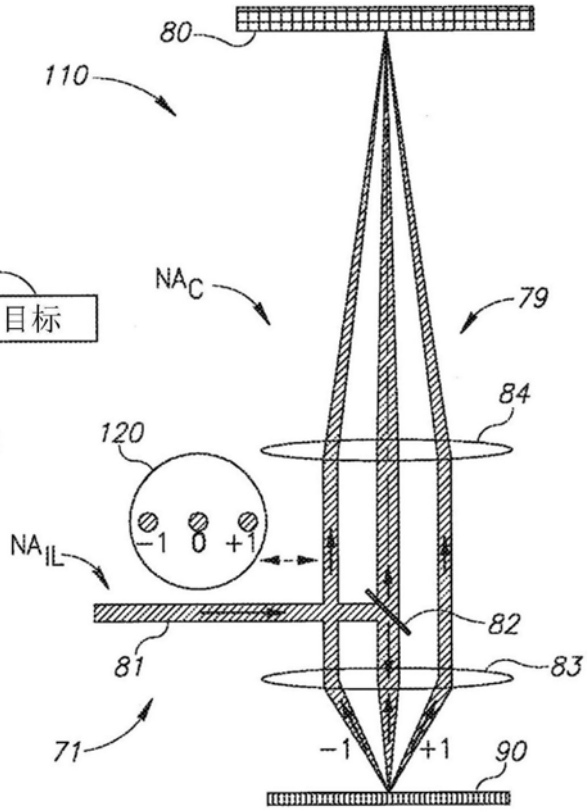

80
110
NA_C
79
84
120
−1 0 +1
NA_IL
82
81
83
71
−1 +1
90

图 3C

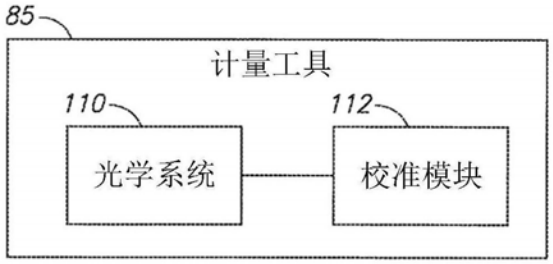

85
计量工具
110
光学系统
112
校准模块

图 4A

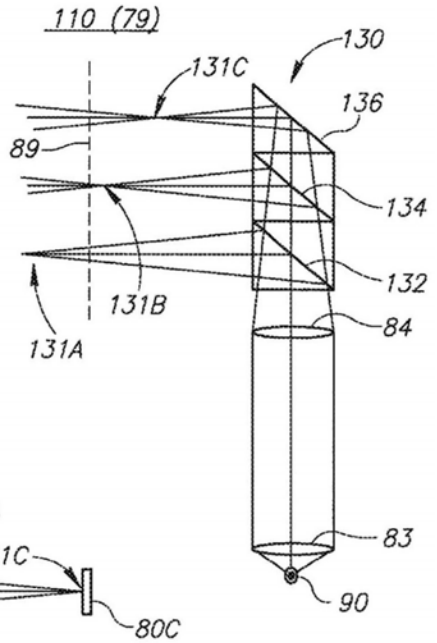

110 (79)
130
131C
136
89
134
132
131B
84
131A
83
90

图 4B

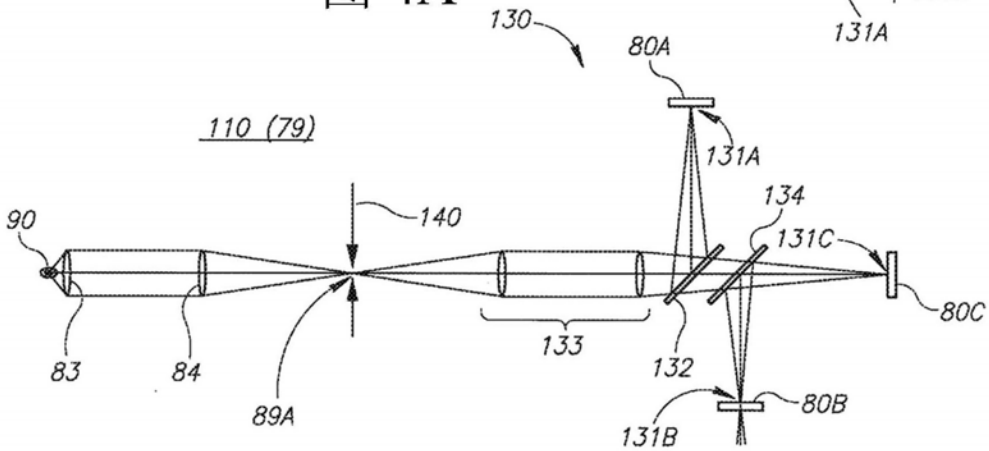

130
80A
110 (79)
131A
134
140
131C
90
80C
83
84
133
132
89A
80B
131B

图 4C

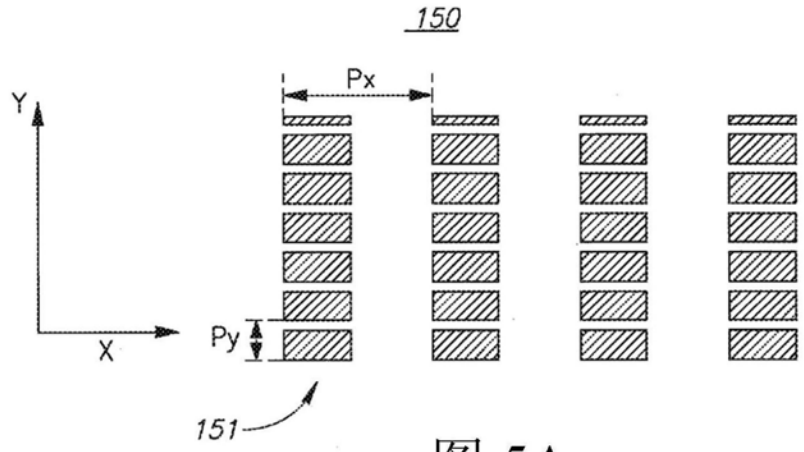


图 5A

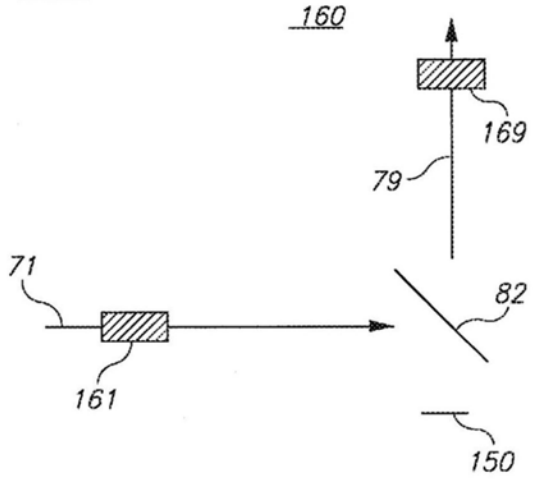


图 5B

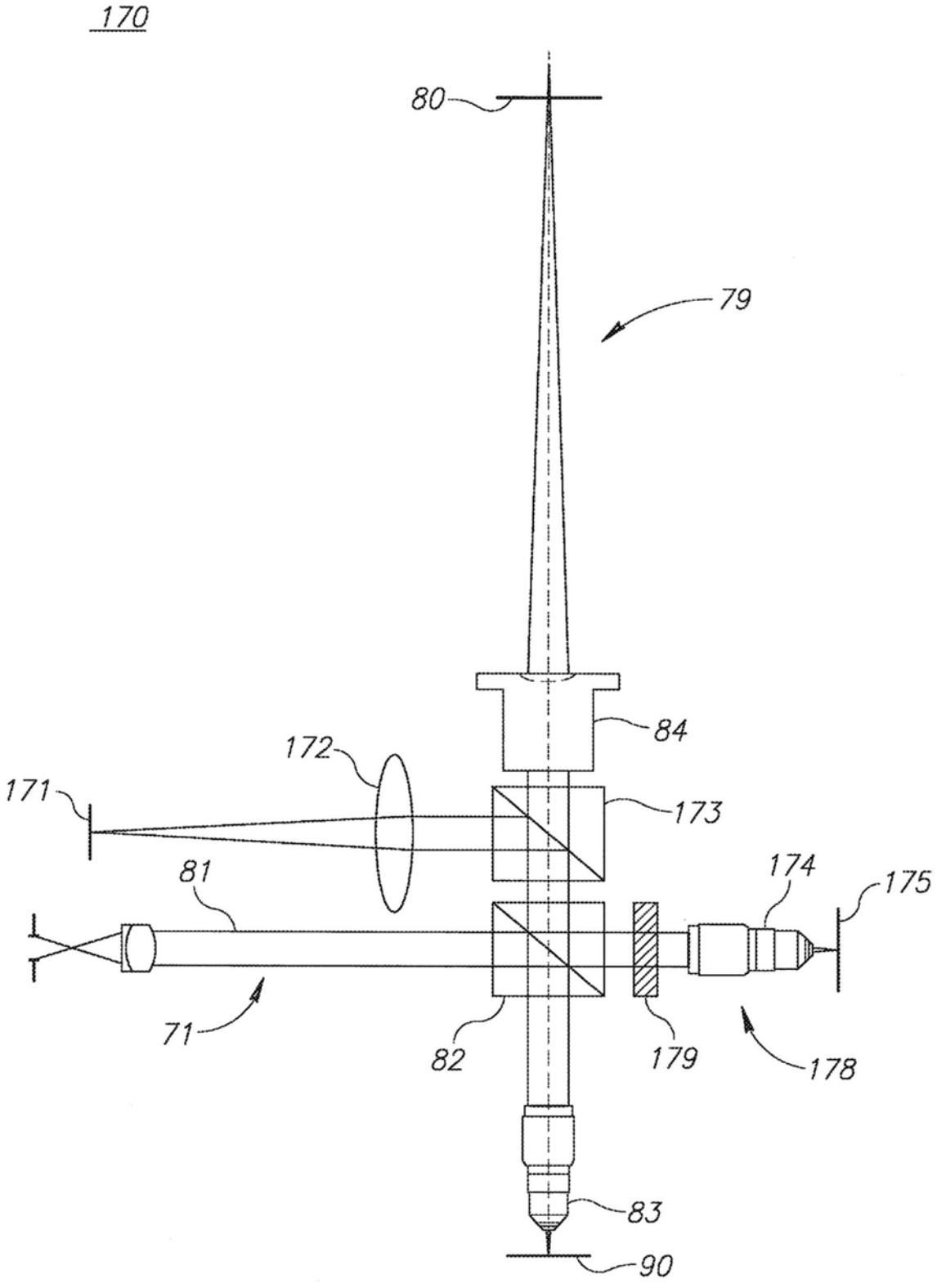


图6

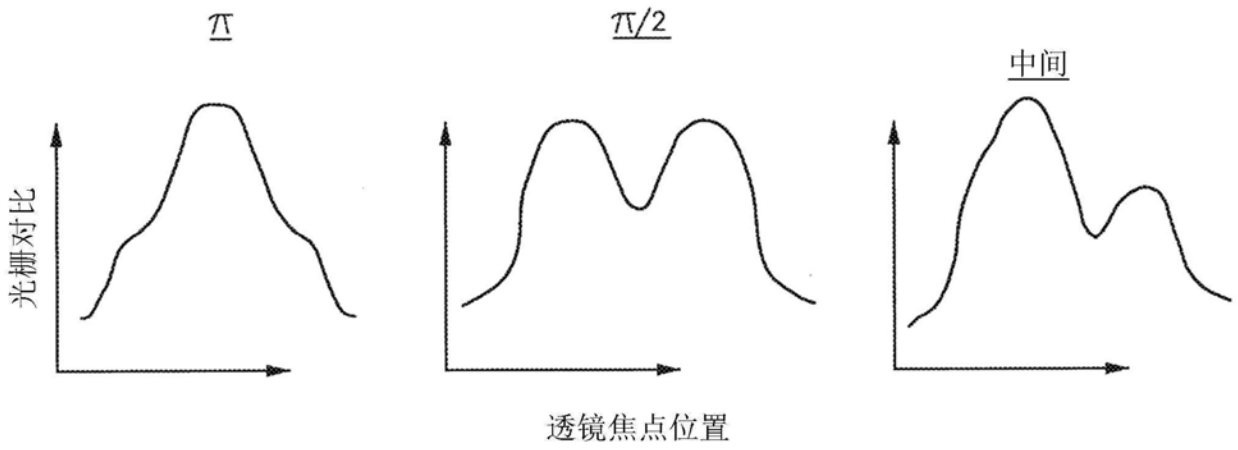
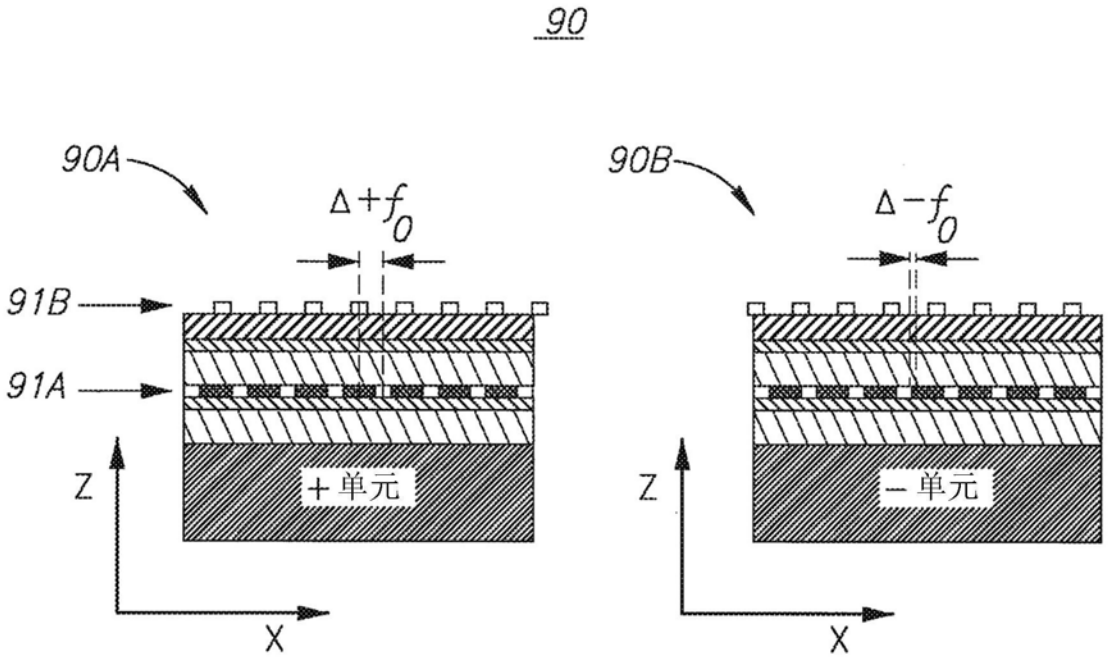


图7


90
90A
Δ+f0
91B
91A
+单元
Z
X
90B
Δ−f0
−单元
Z
X

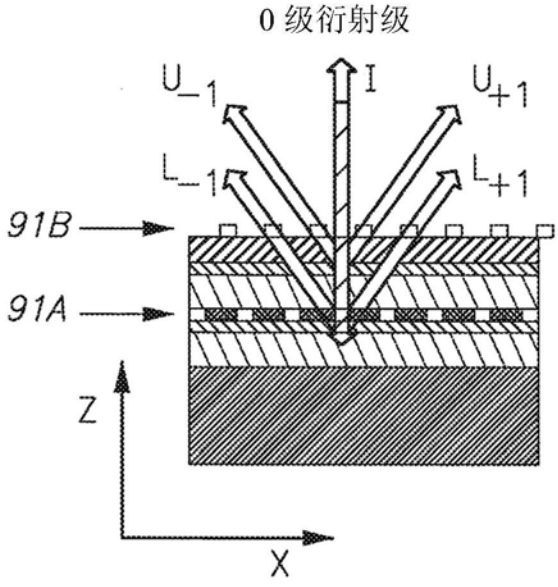

0级衍射级
U−1
I
U+1
L−1
L+1
91B
91A
Z
X

图8

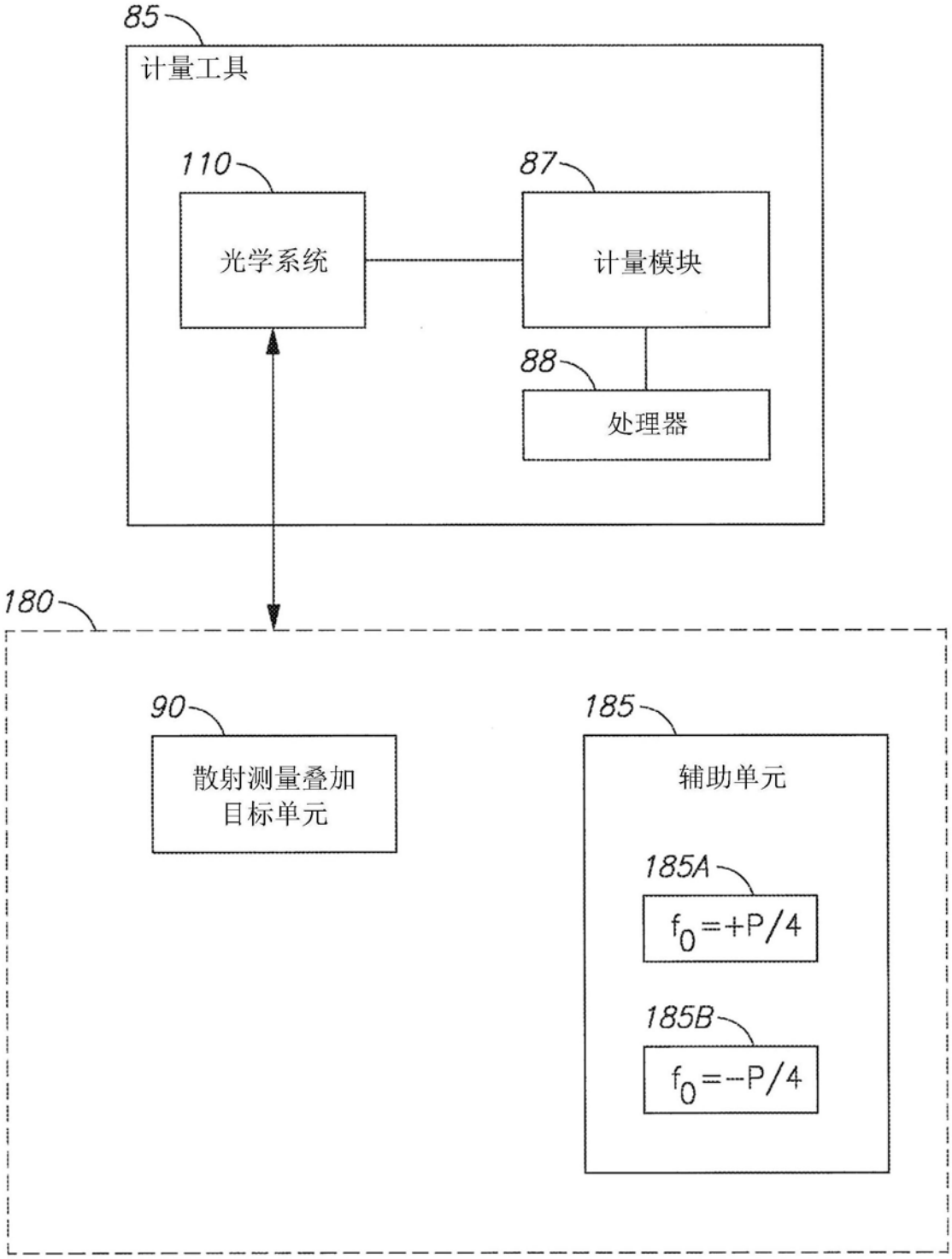

85
计量工具
110
光学系统
87
计量模块
88
处理器
180
90
散射测量叠加
目标单元
185
辅助单元
185A
$f_0=+P/4$
185B
$f_0=-P/4$

图9

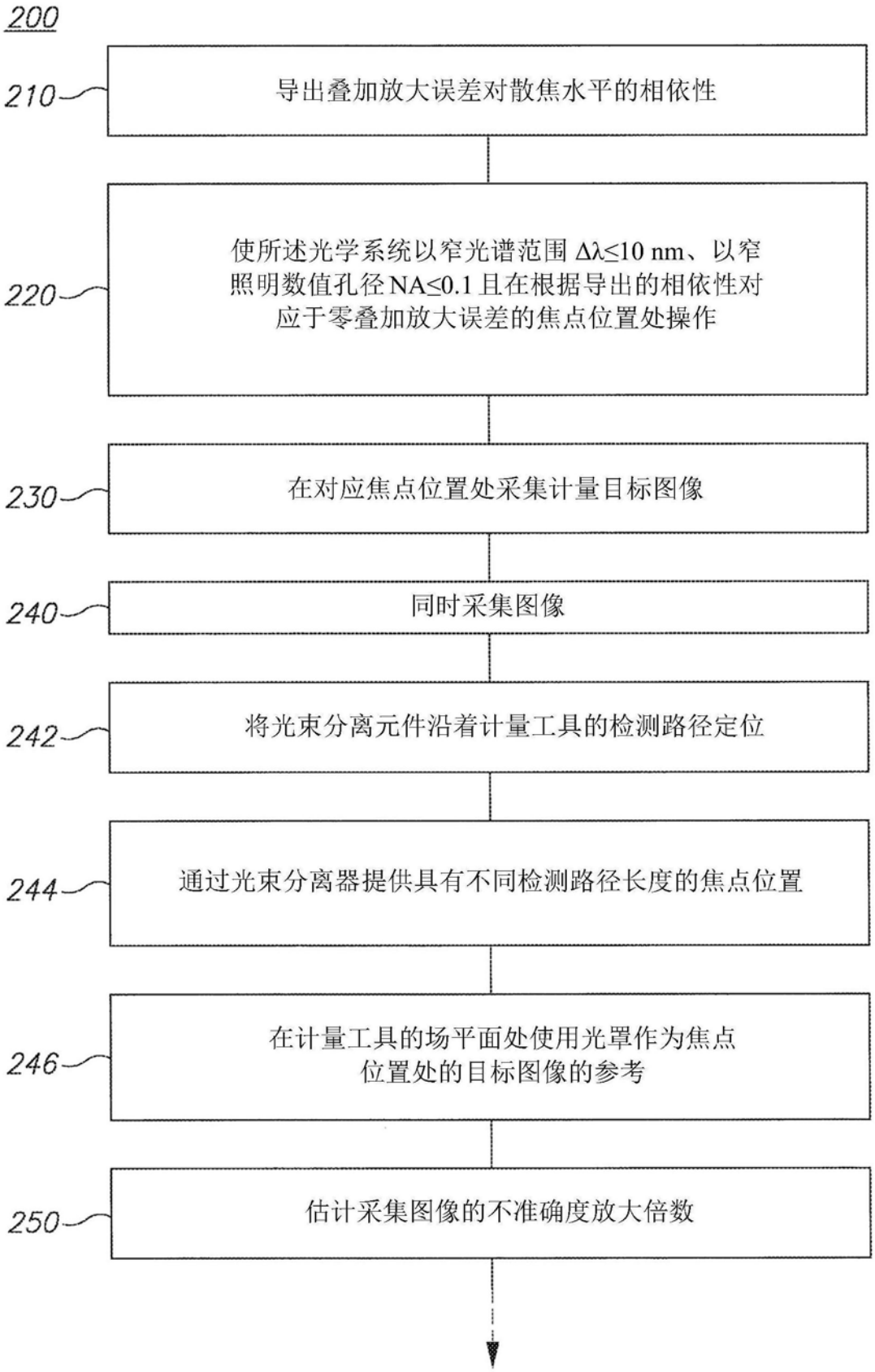

200
210
导出叠加放大误差对散焦水平的相依性
220
使所述光学系统以窄光谱范围 Δλ≤10 nm、以窄照明数值孔径 NA≤0.1 且在根据导出的相依性对应于零叠加放大误差的焦点位置处操作
230
在对应焦点位置处采集计量目标图像
240
同时采集图像
242
将光束分离元件沿着计量工具的检测路径定位
244
通过光束分离器提供具有不同检测路径长度的焦点位置
246
在计量工具的场平面处使用光罩作为焦点位置处的目标图像的参考
250
估计采集图像的不准确度放大倍数

图10A

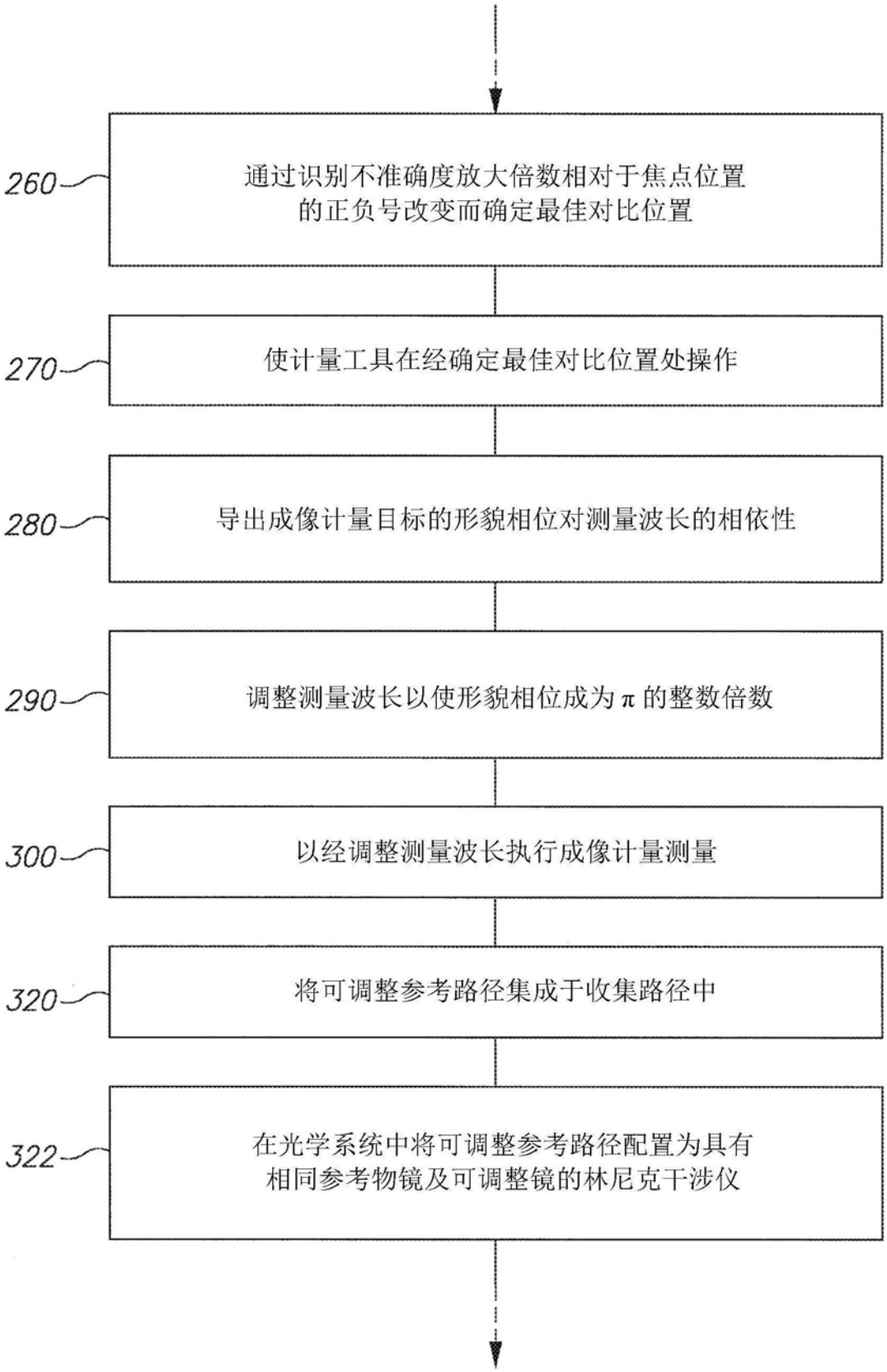

260
通过识别不准确度放大倍数相对于焦点位置的正负号改变而确定最佳对比位置
270
使计量工具在经确定最佳对比位置处操作
280
导出成像计量目标的形貌相位对测量波长的相依性
290
调整测量波长以使形貌相位成为π的整数倍数
300
以经调整测量波长执行成像计量测量
320
将可调整参考路径集成于收集路径中
322
在光学系统中将可调整参考路径配置为具有相同参考物镜及可调整镜的林尼克干涉仪

图10B

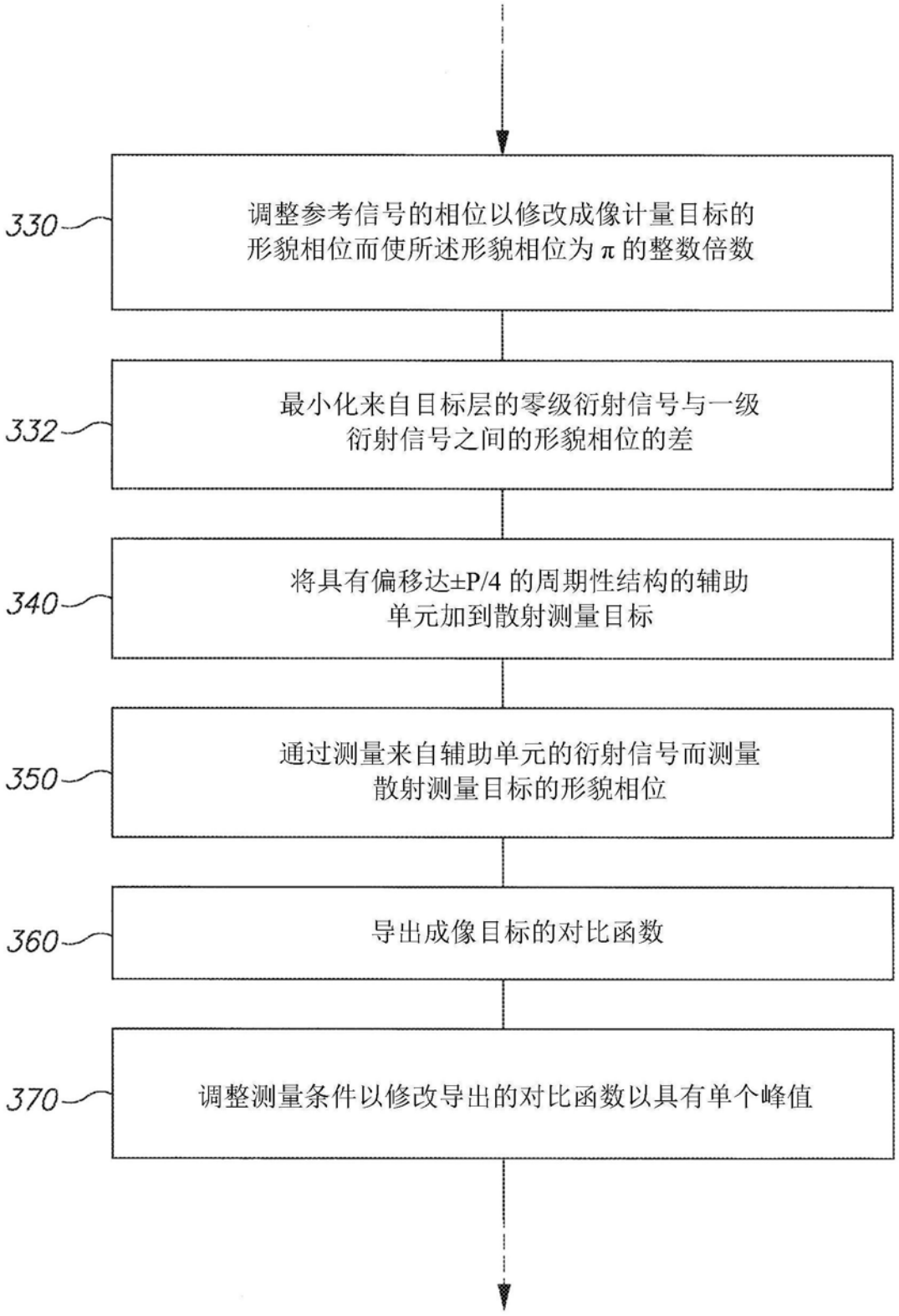

330
调整参考信号的相位以修改成像计量目标的形貌相位而使所述形貌相位为π的整数倍数
332
最小化来自目标层的零级衍射信号与一级衍射信号之间的形貌相位的差
340
将具有偏移达±P/4的周期性结构的辅助单元加到散射测量目标
350
通过测量来自辅助单元的衍射信号而测量散射测量目标的形貌相位
360
导出成像目标的对比函数
370
调整测量条件以修改导出的对比函数以具有单个峰值

图10C

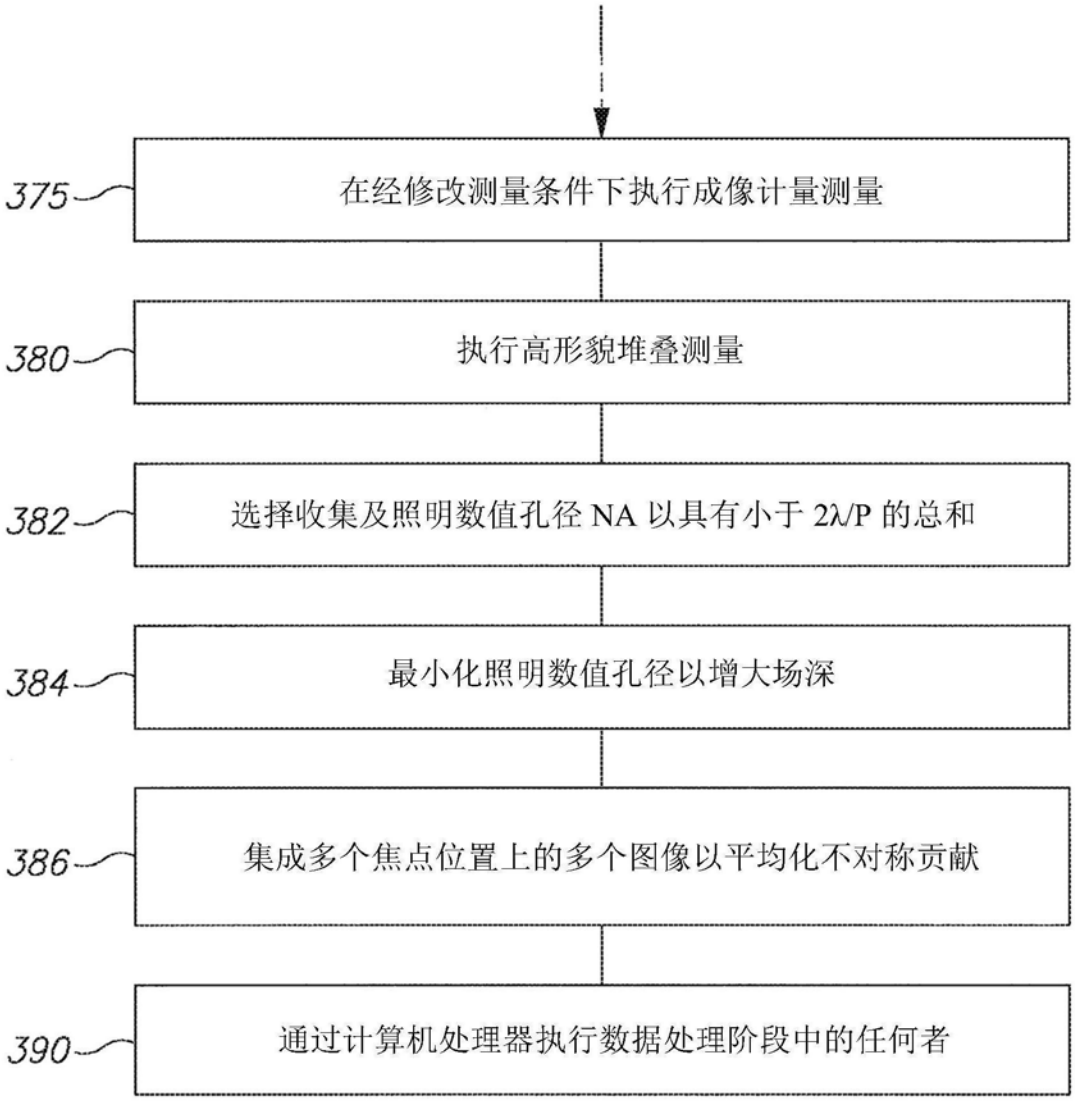

375
在经修改测量条件下执行成像计量测量
380
执行高形貌堆叠测量
382
选择收集及照明数值孔径 NA 以具有小于 2λ/P 的总和
384
最小化照明数值孔径以增大场深
386
集成多个焦点位置上的多个图像以平均化不对称贡献
390
通过计算机处理器执行数据处理阶段中的任何者

图10D