(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 115060730 B
(45)授权公告日 2024.10.18

(21)申请号 202210656064.1
(22)申请日 2019.11.13
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 115060730 A
(43)申请公布日 2022.09.16
(30)优先权数据
62/767,246 2018.11.14 US
16/577,089 2019.09.20 US
(62)分案原申请数据
201980072825.5 2019.11.13
(73)专利权人 科磊股份有限公司
地址 美国加利福尼亚州
(72)发明人 J-K·龙 D·卡瓦德杰夫
国衡·赵
(74)专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限责任公司 11287
专利代理师 刘丽楠
(51)Int.Cl.
G01N 21/88(2006.01)
G01N 21/94(2006.01)
G01N 21/95(2006.01)
H01L 21/66(2006.01)
(56)对比文件
CN 116783469 A,2023.09.19
审查员 张鸿淋

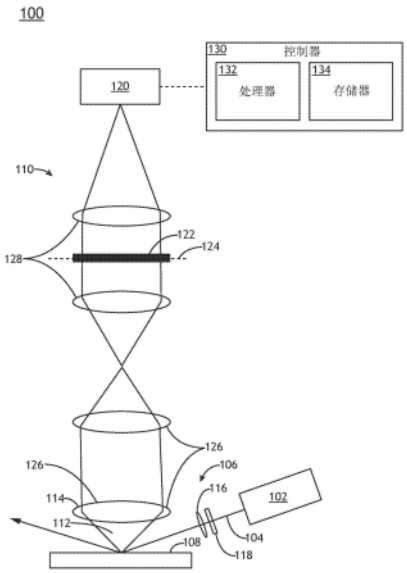
权利要求书1页 说明书12页 附图12页

(54)发明名称

用于粒子检测的系统和方法

(57)摘要

本揭露实施例涉及一种用于粒子检测的系统和方法。一种暗场检验系统,其可包含:照明源,其用于产生照明光束;一或多个照明光学器件,其用于将所述照明光束沿着照明方向按离轴角引导到样本;检测器;一或多个集光光学器件,其用于基于响应于所述照明光束从所述样本收集的光在所述检测器上产生所述样本的暗场图像;及径向偏振器,其定位于所述一或多个集光光学器件的光瞳平面处,其中所述径向偏振器排斥相对于所述光瞳平面中对应于所述照明光束从所述样本的镜面反射的参考点具有径向偏振的光。



CN 115060730 B

1.一种用于粒子检测的系统,其包括:

照明源,其经配置以产生照明光束;

一或多个照明光学器件,其经配置以将所述照明光束沿着照明方向按离轴角引导到样本;

检测器;

一或多个集光光学器件,其经配置以基于响应于所述照明光束从所述样本收集的光在所述检测器上产生所述样本的暗场图像;及

相位掩模,其经定位于所述一或多个集光光学器件的光瞳平面处,所述相位掩模经配置以在所述光瞳平面的集光区域的两个或两个以上区中提供光的不同相移以重塑从所述样本上的一或多个粒子散射的光的点散布函数,其中所述集光区域对应于所述一或多个集光光学器件的数值孔径,其中所述相位掩模包括:

第一半波板,其覆盖所述集光区域的第一四分体及与所述第一四分体相邻的所述集光区域的第二四分体,所述第一半波板经定向以沿着所述光瞳平面中对应于所述样本上的所述照明光束的入射平面中的角度的方向提供π

延迟;及

第二半波板,其覆盖所述集光区域的所述第二四分体及与所述第二四分体相邻的所述集光区域的第三四分体,所述第二半波板经定向以沿着所述光瞳平面中对应于与所述入射平面正交的角度的方向提供π延迟。

2.根据权利要求1所述的系统,其中所述照明光束在所述样本处p偏振。

3.根据权利要求2所述的系统,其中所述相位掩模的第二区段包括:

孔隙,其覆盖所述集光区域的第四四分体。

4.根据权利要求1所述的系统,其中所述集光的所述两个或两个以上区包括:

沿着所述照明方向划分的所述集光区域的第一半体及所述集光区域的第二半体。

5.根据权利要求1所述的系统,其中所述第一半波板的光轴沿着所述照明方向定向。

6.根据权利要求1所述的系统,其中所述第一半波板或所述第二半波板中的至少一者经倾斜以至少部分补偿行进通过所述集光区域的所述第一半波板及所述第二半波板的光之间的光学路径差。

7.根据权利要求1所述的系统,其中所述相位掩模进一步包括:

补偿器板,其沿着传播方向由光学均质材料形成以覆盖所述集光区域的第四四分体。

用于粒子检测的系统和方法

[0001] 本申请是申请日为2019年11月13日,申请号为“201980072825.5”,而发明名称为“用于粒子检测的系统和方法”的发明专利申请的分案申请。

[0002] 相关申请案的交叉参考

[0003] 本申请案根据35U.S.C.§119(e)规定主张名叫梁仁坤(Jenn-Kuen Leong)、丹尼尔·卡瓦尔德吉耶夫(Daniel Kavaldjiev)、约翰·菲尔登(John Fielden)及赵国恒(Guoheng Zhao)的发明者在2018年11月14日申请的的标题为“晶片检验系统中分辨率改进的粒子检测(PARTICLE DETECTION WITH IMPROVED RESOLUTION ON WAFER INSPECTION SYSTEM)”的序列号为62/767,246的美国临时申请案的权益,所述案的全部内容以引用的方式并入本文中。

技术领域

[0004] 本发明大体涉及粒子检验,且更特定来说,涉及暗场粒子检验。

背景技术

[0005] 粒子检测系统通常用于半导体处理线中以识别晶片(例如(但不限于)未图案化晶片)上的缺陷或微粒。随着半导体装置不断缩小,粒子检测系统需要敏感度及分辨率的对应增大。可限制测量敏感度的明显噪声源是晶片上的表面散射,其可甚至对于光学抛光表面存在。虽然已提出各种方法来相对于来自粒子的散射抑制表面散射,但此类方法可无法实现合意的敏感度级及/或可能以劣化的图像质量为代价实现敏感度。因此,需要开发缓解上文所述的缺陷的系统及方法。

发明内容

[0006] 根据本发明的一或多个说明性实施例揭示一种系统。在一个说明性实施例中,所述系统包含产生照明光束的照明源。在另一说明性实施例中,所述系统包含将所述照明光束沿着照明方向按离轴角引导到样本的一或多个照明光学器件。在另一说明性实施例中,所述系统包含检测器。在另一说明性实施例中,所述系统包含基于响应于所述照明光束从所述样本收集的光在所述检测器上产生所述样本的暗场图像的一或多个集光光学器件。在另一说明性实施例中,所述系统包含径向偏振器,所述径向偏振器定位于所述一或多个集光光学器件的光瞳平面处,其中所述径向偏振器经配置以排斥相对于所述光瞳平面中的顶点具有径向偏振的光,所述顶点对应于所述照明光束从所述样本的镜面反射在所述光瞳平面中的位置。

[0007] 根据本发明的一或多个说明性实施例揭示一种系统。在一个说明性实施例中,所述系统包含产生照明光束的照明源。在另一说明性实施例中,所述系统包含将所述照明光束沿着照明方向按离轴角引导到样本的一或多个照明光学器件。在另一说明性实施例中,所述系统包含检测器。在另一说明性实施例中,所述系统包含基于响应于所述照明光束从所述样本收集的光在所述检测器上产生所述样本的暗场图像的一或多个集光光学器件。在

另一说明性实施例中,所述系统包含相位掩模,所述相位掩模经定位于所述一或多个集光光学器件的光瞳平面处,所述相位掩模经配置以在所述光瞳平面的集光区域的两个或两个以上区中提供光的不同相移以重塑从所述样本上的一或多个粒子散射的光的点散布函数,其中所述集光区域对应于所述一或多个集光光学器件的数值孔径。

[0008] 根据本发明的一或多个说明性实施例揭示一种方法。在一个说明性实施例中,所述方法包含使用p偏振照明光束沿着照明方向按倾斜角照明样本。在另一说明性实施例中,所述方法包含使用一或多个集光光学器件在暗场模式中响应于所述照明光束从所述样本收集光。在另一说明性实施例中,所述方法包含通过定位于所述一或多个集光光学器件的光瞳平面处的径向偏振器传播来自所述样本的所述光,其中所述径向偏振器经配置以排斥相对于所述光瞳平面中的顶点具有径向偏振的光,所述顶点对应于所述照明光束从所述样本的镜面反射在所述光瞳平面中的位置。在另一说明性实施例中,所述方法包含通过相位掩模传播来自所述样本的所述光,所述相位掩模经定位于所述光瞳平面处,所述相位掩模经配置以在所述光瞳平面的集光区域的两个或两个以上区中提供光的不同相移以重塑从所述样本上的一或多个粒子散射的光的点散布函数,其中所述集光区域对应于所述一或多个集光光学器件的数值孔径。在另一说明性实施例中,所述方法包含响应于所述照明光束基于通过所述径向偏振器及所述相位掩模传播的光产生所述样本的暗场图像,其中所述样本的所述暗场图像是基于由所述样本的表面上的一或多个粒子散射的光。

[0009] 应理解,前述概述及下列实施方式两者仅是示范性的及解释性的且未必要限制如主张的本发明。并入本说明书中且构成本说明书的一部分的附图说明本发明的实施例且与概述一起用于说明本发明的原理。

附图说明

[0010] 所属领域的技术人员可通过参考附图而更佳理解本发明的数种优势,在图式中:

[0011] 图1是根据本发明的一或多个实施例的粒子检测系统的概念图;

[0012] 图2A是根据本发明的一或多个实施例的响应于倾斜入射的p偏振光的表面散射的光瞳平面散射图;

[0013] 图2B是根据本发明的一或多个实施例的响应于倾斜入射的p偏振光的由小粒子散射的光的光瞳平面散射图;

[0014] 图3A是根据本发明的一或多个实施例的连续雾度排斥偏振器的俯视图;

[0015] 图3B是根据本发明的一或多个实施例的分段雾度排斥偏振器的俯视图;

[0016] 图4A是根据本发明的一或多个实施例的覆盖于图2A的散射图上的雾度排斥偏振器的概念图;

[0017] 图4B是根据本发明的一或多个实施例的覆盖于图2B的散射图上的雾度排斥偏振器的概念图;

[0018] 图5包含根据本发明的一或多个实施例的由子分辨率粒子的p偏振光的电场分布及子分辨率粒子的对应图像;

[0019] 图6A包含根据本发明的一或多个实施例的具有将光瞳划分为四个区的四个区段的相位掩模的概念俯视图、与由子分辨率粒子散射的p偏振光相关联的电场分布、基于相位掩模的经修改电场分布及粒子的对应重塑图像;

[0020] 图6B是根据本发明的一或多个实施例的包含将光瞳划分为两个区段的两个区段的相位掩模的概念俯视图；

[0021] 图7A包含根据本发明的一或多个实施例的未使用相位掩模取得的具有亚40nm硅石粒子的硅晶片的图像、包含粒子中的一者的展开图像的插图及说明展开图像的横截面的标绘图；

[0022] 图7B包含根据本发明的一或多个实施例的使用相位掩模取得的图7A中展示的具有亚40nm硅石粒子的硅晶片的图像、包含粒子中的一者的展开图像的插图及说明展开图像的横截面的标绘图；

[0023] 图8A包含根据本发明的一或多个实施例的未使用雾度排斥偏振器或相位掩模取得的具有亚40nm硅石粒子的硅晶片的图像，及说明粒子的横截面的标绘图；

[0024] 图8B包含根据本发明的一或多个实施例的使用雾度排斥偏振器及相位掩模两者取得的图8A中展示的具有亚40nm硅石粒子的硅晶片的图像，及说明粒子的横截面的标绘图；及

[0025] 图9是说明根据本发明的一或多个实施例的在用于粒子检测的方法中执行的步骤的流程图。

具体实施方式

[0026] 现在将详细参考随附图式中说明的所揭示标的物。已关于特定实施例及其特定特征特别展示且描述本发明。本文陈述的实施例被视为说明性而非限制性的。如本文使用，方向性术语(例如“左”、“右”、“顶部”、“底部”、“上方”、“下方”、“上”、“朝上”、“下”、“向下”及“朝下”)希望为描述的目的提供相对位置，且不希望指定绝对参考系。所属领域的一般技术人员应容易明白，可在不脱离本发明的精神及范围的情况下对形式及细节进行各种改变及修改。

[0027] 本发明的实施例涉及用于基于利用光瞳平面中的雾度排斥偏振器以选择性地过滤表面散射(例如，表面雾度)以促进从表面上的粒子散射的光的检测的暗场成像的粒子检测的系统及方法。特定来说，雾度排斥偏振器可具有对应于跨光瞳平面的表面雾度的预期偏振分布的空间上变化排斥方向。出于本发明的目的，粒子可包含受关注样本上的任何表面缺陷，包含(但不限于)外来粒子、刮擦、坑、孔、凸块或类似物。

[0028] 来自样本的光的散射或发射角经映射到光瞳平面中的空间位置。因此，放置于光瞳平面中的偏振器可基于散射角及偏振选择性地过滤光。本文中应认识到，从粒子散射的光及从表面散射的光可依据散射角变化展现不同电场分布(例如，偏振及场强度)。此外，电场分布差(例如，散射图)可对于倾斜入射的p偏振光是尤其明显的。例如，来自倾斜入射的p偏振光的表面雾度可相对于镜面反射的角近似径向偏振，而来自粒子的散射可相对于表面法线近似径向偏振。

[0029] 在一些实施例中，暗场粒子检测系统包含径向雾度排斥偏振器，所述径向雾度排斥偏振器在光瞳平面中经定向，使得径向雾度排斥偏振器的顶角放置于与倾斜入射的p偏振光的镜面反射相关联的位置处以选择性排斥表面雾度。

[0030] 本发明的额外实施例涉及重塑由粒子散射的光的点散布函数(PSF)。

[0031] 小于成像分辨率(例如，远小于照明波长)的对象(例如，粒子)的图像大体上受成

像系统的PSF限制。然而,光瞳平面中的电场的特定分布(例如,经收集光的角及偏振)可使此对象的图像更大及/或具有不同于系统PSF的形状。特定来说,小于在使用倾斜p偏振光照明时的成像分辨率的粒子的暗场图像(例如,使用散射或绕射光形成的粒子的图像)可为散布到大于系统PSF的面积的环,此负面影响粒子检测敏感度。粒子的此环形状及PSF或成像点的大小增加可与检测器上的成像点的中心处的收集光的相消干涉(destructive interference)相关联。

[0032] 在一些实施例中,暗场粒子检测系统包含在光瞳平面处的相位掩模以促进与粒子散射相关联的成像点的中心处的收集光的相长干涉(constructive interference)。就此而言,成像粒子的PSF可收紧且可更靠近系统PSF。

[0033] 相位掩模可具有适用于重塑成像粒子的PSF的各种配置。在一些实施例中,相位掩模包含分段光学器件以为光瞳平面的不同区中的光提供不同相移,其中至少一个区段由半波板形成。

[0034] 本发明的额外实施例涉及并入径向雾度排斥偏振器及相位板两者以用于重塑光瞳平面中的成像粒子的PSF的暗场粒子检测系统。在以下专利中大体描述晶片检验:2018年1月1日发布的第9,874,526号美国专利;2016年3月22日发布的第9,291,575号美国专利;2014年11月18日发布的第8,891,079号美国专利;及2018年2月13日发布的第9,891,177号美国专利,所有所述案的全部内容并入本文中。

[0035] 现参考图1到9,将更详细地描述用于敏感粒子检测的系统及方法。

[0036] 图1是根据本发明的一或多个实施例的粒子检测系统100的概念图。在一个实施例中,粒子检测系统100包含:照明源102,其用于产生照明光束104;照明路径106,其包含用于将照明光束104引导到样本108的一或多个照明光学器件;及集光路径110,其包含用于收集发源于样本108的光(例如,样本光112)的一或多个集光光学器件。例如,集光路径110可包含物镜114以收集样本光112的至少一部分。样本光112可包含响应于照明光束104发源于样本108的任何类型的光(包含(但不限于)散射光、反射光、绕射光或荧光)。

[0037] 照明光束104可包含一或多个所选择的波长的光(包含(但不限于)紫外线(UV)辐射、可见光辐射或红外线(IR)辐射)。例如,照明源102可提供(但不要求提供)具有比约350nm更短的波长的照明光束104。通过另一实例,照明光束104可提供约266nm的波长。通过另一实例,照明光束104可提供约213nm的波长。本文中应认识到,成像分辨率及由小粒子(相对于照明光束104的波长)散射的光两者大体与波长成比例,使得减小照明光束104的波长可大体增加成像分辨率及来自小粒子的散射信号。因此,照明光束104可包含短波长光,包含(但不限于)极紫外线(EUV)光、深紫外线(DUV)光或真空紫外线(VUV)光。

[0038] 照明源102可包含所属领域中已知的任何类型的光源。此外,照明源102可提供具有任何所选择的空间或时间相干特性的照明光束104。在一个实施例中,照明源102包含一或多个激光源,例如(但不限于)一或多个窄带激光源、一或多个宽带激光源、一或多个超连续能谱激光源或一或多个白光激光源。在另一实施例中,照明源102包含激光驱动光源(LDLS),例如(但不限于)激光维持等离子体(LSP)源。例如,照明源102可包含(但不限于)LSP灯、LSP灯泡或适用于容纳一或多个元件的LSP腔室,所述一或多个元件在由激光源激发为等离子体状态时可发射宽带照明。在另一实施例中,照明源102包含灯源,例如(但不限于)弧光灯、放电灯或无电极灯。

[0039] 在另一实施例中,照明源102提供可调谐照明光束104。例如,照明源102可包含可调谐照明源(例如,一或多个可调谐激光及类似者)。通过另一实例,照明源102可包含经耦合到固定或可调谐滤波器的任何组合的宽带照明源。

[0040] 照明源102可进一步提供具有任何时间轮廓的照明光束104。例如,照明光束104可具有连续时间轮廓、经调制时间轮廓、脉冲时间轮廓及类似者。

[0041] 本文中应认识到,表面雾度的强度可取决于多个因素,包含(但不限于)照明光束104的入射角或偏振。例如,表面雾度的强度可针对接近垂直的入射角是相对高的且可针对更高的入射角降低。在一个实施例中,照明路径106可包含一或多个照明光学器件(例如(但不限于)透镜116、镜及类似者)以按倾斜入射角将照明光束104引导到样本108以降低表面雾度的产生。倾斜入射角可大体包含任何所选择的入射角。例如,入射角相对于表面法线可(但不要求)大于60度。

[0042] 在另一实施例中,照明路径106包含适合于修改及/或调节照明光束104的一或多个照明光束调节组件118。例如,一或多个照明光束调节组件118可包含(但不限于)一或多个偏振器、一或多个波板、一或多个滤波器、一或多个光束分离器、一或多个漫射体、一或多个均质器、一或多个变迹器或一或多个光束塑形器。在一个实施例中,一或多个照明光束调节组件118包含经定向以在样本108上提供p偏振照明光束104的偏振器或波板。

[0043] 在另一实施例中,粒子检测系统100包含经配置以捕获由集光路径110收集的样本光112的至少一部分的检测器120。检测器120可包含所属领域中已知的适用于测量从样本108接收的照明的任何类型的光学检测器。例如,检测器120可包含适用于捕获样本108的图像的多像素检测器(例如(但不限于)电荷耦合装置(CCD)检测器、互补性金属氧化物半导体(CMOS)检测器、延时积分(TDI)检测器、光电倍增管(PMT)阵列、突崩光二极管(APD)阵列或类似者)。在另一实施例中,检测器120包含适合于识别样本光112的波长的光谱检测器。

[0044] 集光路径110可包含任何数目个光束调节元件122来引导及/或修改样本光112,包含(但不限于)一或多个透镜、一或多个滤波器、一或多个孔隙、一或多个偏振器或一或多个相位板。

[0045] 在一个实施例中,如在图1中说明,集光路径110包含定位于光瞳平面124处或附近的一或多个光束调节元件122。例如,如将在下文更详细论述,集光路径110可包含光束调节元件122,例如(但不限于)在光瞳平面124处或附近的雾度排斥偏振器(例如,径向偏振器或类似者)或相位掩模。就此而言,粒子检测系统100可控制且调整用于在检测器120上产生图像的样本光112的所选择的方面,包含(但不限于)依据散射角及/或样本上的位置变化的样本光112的强度、相位及偏振。

[0046] 此外,集光路径110可具有任何数目个光瞳平面124。例如,如在图1中说明,集光路径110可包含产生光瞳平面124的图像的一或多个透镜126及在检测器120上产生样本108的表面的图像的一或多个透镜128。然而,本文应认识到,有限数目个光束调节元件122可被放置于特定光瞳平面124处或足够靠近特定光瞳平面124以提供所需效果。因此,出于本发明的目的,对光瞳平面124处的一或多个元件的参考可大体描述在光瞳平面124处或足够靠近光瞳平面124以产生所需效果的一或多个元件。在一些实施例中,虽然未展示,但集光路径110可包含产生一或多个额外光瞳平面124,使得任何数目个光束调节元件122可被放置于光瞳平面124处或其附近的额外透镜。

[0047] 在另一实施例中,粒子检测系统100包含控制器130,所述控制器130包含经配置以执行维持于存储器媒体134(例如,存储器)上的程序指令的一或多个处理器132。此外,控制器130可通信地耦合到粒子检测系统100的任何组件。在此方面,控制器130的一或多个处理器132可执行本发明通篇描述的各种过程步骤的任一者。例如,控制器130可接收、分析及/或处理来自检测器120的数据(例如,与样本108的图像相关联)。通过另一实例,控制器130可使用控制信号来控制或以其它方式引导粒子检测系统100的任何组件。

[0048] 控制器130的一或多个处理器132可包含所属领域中已知的任何处理元件。在此意义上,一或多个处理器132可包含经配置以执行算法及/或指令的任何微处理器型装置。在一个实施例中,一或多个处理器132可包括以下项:桌面计算机、主计算机系统、工作站、图像计算机、平行处理器,或经配置以执行如在本发明通篇描述的经配置以操作粒子检测系统100的程序的任何其它计算机系统(例如,联网计算机)。进一步应认识到,术语“处理器”可被广泛地定义为涵盖具有执行来自非暂时性存储器媒体134的程序指令的一或多个处理元件的任何装置。此外,可由单个控制器130或替代地多个控制器执行在本发明通篇描述的步骤。另外,控制器130可包含容置于共同外壳中或多个外壳内的一或多个控制器。以此方式,任何控制器或控制器组合可单独地封装为适于集成到粒子检测系统100中的模块。

[0049] 存储器媒体134可包含所属领域中已知的适于存储可由相关联的一或多个处理器132执行的程序指令的任何存储媒体。例如,存储器媒体134可包含非暂时性存储器媒体。通过另一实例,存储器媒体134可包含(但不限于)只读存储器(ROM)、随机存取存储器(RAM)、磁性或光学存储器装置(例如,磁盘)、磁带、固态硬盘及类似者。进一步应注意,存储器媒体134可与一或多个处理器132容置于共同控制器外壳中。在一个实施例中,存储器媒体134可相对于一或多个处理器132及控制器130的物理位置远程定位。例如,控制器130的一或多个处理器132可存取可通过网络(例如,因特网、内部网络及类似者)存取的远程存储器(例如,服务器)。因此,上文描述不应被解释为对本发明的限制,而是仅为说明。

[0050] 本文中预期,粒子检测系统100可经配置为所属领域中已知的任何类型的基于图像的粒子检测系统。在一个实施例中,如在图1中说明,粒子检测系统100系排除镜面反射光的暗场成像系统。就此而言,粒子检测系统100可主要基于散射光使样本108成像。暗场成像可进一步使用所属领域中已知的任何技术实施。在一个实施例中,可选择物镜114的定向及/或数值孔径(NA),使得物镜114不收集镜面反射光。例如,如在图1中说明,物镜114大致垂直于样本108定向,且具有不包含照明光束104的镜面反射部分的NA。此外,物镜114可具有(但不要求具有)大约0.9或更大的NA。在另一实施例中,粒子检测系统100可包含阻止镜面反射到达检测器120的一或多个组件。

[0051] 现参考图2A到4B,更详细描述光瞳平面偏振滤波。

[0052] 在一个实施例中,粒子检测系统100包含集光路径110(例如,集光光学器件)的光瞳平面中的雾度排斥偏振器以优先排斥从样本108的表面散射的光(例如,表面雾度),其可被视为粒子检测应用中的噪声。就此而言,样本108的图像可主要由从一或多个粒子(或表面中的其它缺陷)散射的光形成。

[0053] 图2A是根据本发明的一或多个实施例的响应于倾斜入射的p偏振光的表面散射(例如,表面雾度)的光瞳平面散射图202。图2B是根据本发明的一或多个实施例的响应于倾斜入射的p偏振光的由小粒子(例如,相对于粒子检测系统100的成像分辨率或照明光束104

的波长较小)散射的光的光瞳平面散射图204。

[0054] 特定来说,散射图202、204包含由阴影指示的电场强度,其中白色作为最高强度且黑色作为最低强度。此外,散射图202、204包含依据由上覆椭圆指示的光瞳平面124中的收集角(例如,散射角)变化的光的偏振定向。散射图202、204由光瞳平面124中的集光区域206定界,所述集光区域206与由粒子检测系统100收集样本光112的角度范围相关联。例如,集光区域206可对应于物镜114的数值孔径(NA)。

[0055] 散射图202、204是基于图1中说明的粒子检测系统100的配置。因此,镜面反射角208沿着照明方向210定位于集光区域206外侧(例如,在图2A中的圆形集光区域206的右侧上的集光区域206外侧)。

[0056] 另外,散射图202、204可表示来自许多各种材料(包含(但不限于)硅、外延及多晶硅晶片)的散射。然而,应理解,散射图202、204仅出于说明性目的而提供,且不应被解释为限制本发明。

[0057] 如在图2A及2B中说明,由粒子散射的光的电场分布(例如,电场强度及偏振定向)可基本上不同于由表面散射的光的电场分布,尤其在照明光束104经p偏振时。例如,与表面雾度相关联的样本光112大体展现相对于如图2A中说明的集光区域206中的镜面反射角208的近似径向偏振分布。相比而言,与粒子散射相关联的样本光112大体展现相对于如图2B中说明的表面法线的近似径向偏振分布。此外,散射样本光112的偏振为大体椭圆形的。如从图2A及2B可见,在光瞳平面124中的大多数位置处,椭圆形是非常长形的,意味着一个线性偏振分量远强于另一分量。针对从小粒子(例如,图2B)散射的样本光112,偏振可在光瞳中心附近更椭圆,意味着两个线性偏振分量可在量值上大致相当。然而,光瞳的此区中的光的强度是相对低的且几乎不促成来自小粒子的总散射信号。

[0058] 在一个实施例中,粒子检测系统100包含定位于光瞳平面124处或附近以优先排斥表面雾度的偏振器。在一般意义上,定位于光瞳平面124处或附近的偏振器可经设计以提供对应于光的任何已知、经测量、经模拟或以其它方式预期的偏振的空间上变化的偏振滤波。在本发明的上下文中,定位于光瞳平面124处或附近的偏振器可基于光瞳平面124中的已知电场分布优先过滤表面雾度。因此,在一些实施例中,粒子检测系统100包含定位于光瞳平面124处或附近以优先排斥图2A中说明的近似径向偏振表面的径向雾度排斥偏振器。

[0059] 现参考图3A及3B,更详细描述径向雾度排斥偏振器302的各种实施例。图3A是根据本发明的一或多个实施例的连续雾度排斥偏振器302的俯视图。图3B是根据本发明的一或多个实施例的分段雾度排斥偏振器302的俯视图。

[0060] 在一个实施例中,径向雾度排斥偏振器302具有相对于顶点306径向定向的空间上变化的排斥方向304及相切于顶点306定向的对应空间上变化的通过方向308。因此,针对光瞳平面124中的任何特定点,径向雾度排斥偏振器302可排斥(例如,吸收或反射)相对于顶点306径向偏振的样本光112且使相切于顶点306(例如,正交于径向排斥方向304)偏振的样本光112通过。

[0061] 顶点306可对应于雾度排斥偏振器302的平面中的任何点。例如,顶点306可定位于如图3A及3B中说明的雾度排斥偏振器302上。通过另一实例,虽然未展示,但顶点306可对应于雾度排斥偏振器302的边界310外侧的点。

[0062] 在另一实施例中,雾度排斥偏振器302在光瞳平面124中对准,使得顶点306与镜面

反射角208(例如,对应于来自样本108的镜面反射的角度的光瞳平面124中的参考位置)重合。

[0063] 径向雾度排斥偏振器302可使用所属领域中已知的任何技术制造以实现径向偏振排斥。例如,如在图3A中说明,雾度排斥偏振器302可经形成以具有连续变化的偏振排斥角。就此而言,图3A中说明的雾度排斥偏振器302可作为连续雾度排斥偏振器302操作。

[0064] 通过另一实例,如在图3B中说明,雾度排斥偏振器302可由跨光瞳平面124分布的任何数目个楔形区段312形成,其中每一区段312是线性偏振器。例如,每一区段312的排斥方向304可经定向以近似于图3A中的连续径向雾度排斥偏振器302。分段雾度排斥偏振器302可具有经布置以覆盖所选择的角度范围(例如(但不限于)每5°、每10°或每15°)的任何数目个线性偏振器。

[0065] 雾度排斥偏振器302可由适用于过滤照明光束104的所属领域中已知的任何材料形成。例如,归因于由小粒子的更短波长的相对强的散射,UV波长可尤其有助于检测小粒子。因此,雾度排斥偏振器302可由在短波长下具有高透射的材料(例如(但不限于)氧化铝、石英、熔融硅石、氟化钙或氟化镁)制造。

[0066] 图4A及4B分别是根据本发明的一或多个实施例的覆盖于图2A及2B的散射图上的雾度排斥偏振器302的概念图。如由图4A说明,光瞳平面124中的表面雾度的偏振跨光瞳平面124大体径向于雾度排斥偏振器302的顶点306,使得雾度排斥偏振器302基本上排斥表面雾度。相比而言,图4B说明粒子散射的偏振在跨光瞳平面124的许多位置处至少部分相切于顶点306,使得雾度排斥偏振器302通过粒子散射的大部分。

[0067] 本文中进一步认识到,虽然雾度排斥偏振器302可不通过由小粒子散射的光的全部,但雾度排斥偏振器302可提供排斥非所需表面雾度与通过所需粒子散射之间良好平衡以提供高信噪比,此可促进敏感粒子检测。此外,通过针对广泛散射角范围使至少一些光通过,使用如本文描述的雾度排斥偏振器302的基于偏振的光瞳平面滤波可具有对系统PSF的有限影响,此与基于孔隙的滤波技术形成对比。特定来说,系统PSF通过傅里叶变换计算与光瞳平面124中的光的电场分布大体相关,使得阻挡光瞳平面的大部分(例如,使用孔隙)可扩宽系统PSF且劣化总性能。

[0068] 现参考图5到8B,本文中更详细描述用于由子分辨率粒子塑形或收紧与p偏振光的散射相关联的PSF的相位掩模。

[0069] 图5包含根据本发明的一或多个实施例的由子分辨率粒子的p偏振光的电场分布502及子分辨率粒子的对应图像504。如本文之前描述,小于系统的成像分辨率的粒子的图像大体受系统PSF限制,所述PSF在图像由镜面反射光形成时通常为艾瑞(Airy)函数。然而,与粒子(例如,粒子PSF)及因此粒子的实际图像相关联的实际PSF与来自光瞳平面124中的粒子的光的特定电场分布相关且可具有不同于系统PSF的大小或形状,尤其在图像由散射光形成时。

[0070] 如由图5说明,基于p偏振散射光的粒子的图像504是环形的而非艾瑞函数,此至少部分是与光瞳平面124中的光的特定偏振分布相关联的干涉图案的结果。特定来说,与图5中的电场分布502相关联的图像504的中心点506处的相消干涉导致中心点506处的减小强度及强度的径向向外偏移。因此,与粒子的图像相关联的信号强度及因此信噪比受负面影响。

[0071] 在一些实施例中,粒子检测系统100包含定位于光瞳平面124处或附近的相位掩模以重塑由子分辨率粒子散射的p偏振光的PSF。相位掩模可包含任何数目个组件以基于光瞳平面124中的位置修改光的相位。

[0072] 例如,相位掩模可包含或可经特性化为具有跨光瞳平面124分布的两个或两个以上区段,使得每一区段调整光瞳平面124的不同区中的光的相位。每一区段可接着包含所属领域中已知的任何类型的光学组件,包含(但不限于)相位板(例如,双折射板或类似者)、补偿板(例如,光学均质板)或孔隙。例如,相位板可包含由单轴晶体截片形成的波板,所述波板具有垂直于通过晶体的传播方向定向的光轴及任何所选择的厚度以提供正交偏振分量之间的任何所选择的相位延迟(例如,半波板的π相移、四分之一波板的π/2相移或类似者)。

[0073] 图6A包含根据本发明的一或多个实施例的具有将光瞳划分为四个区(例如,象限)的四个区段的相位掩模602的概念俯视图、与由子分辨率粒子散射的p偏振光相关联的电场分布502、基于相位掩模602的经修改电场分布604及粒子的对应重塑图像606。特定来说,粒子的重塑图像606包含强中心瓣608,此与不使用相位掩模602产生的图5中的图像504的中心点506中的弱信号形成对比。

[0074] 在一个实施例中,相位掩模602包含经塑形且布置为在垂直方向上具有相应光轴的两个重叠半波板。就此而言,每一半波板可基于光轴的定向旋转光瞳平面124的相应区内的光的偏振。例如,如在图6A中说明,相位掩模602可包含:区段610,其由半波板形成,所述半波板具有沿着Y方向的光轴(例如,垂直于照明光束104的入射平面)以相对于正交偏振对沿着X方向偏振的光引入相移π(表示为$e^{i\pi}E_x$);及区段612,其由半波板形成,所述半波板具有沿着X方向的光轴(例如,平行于照明光束104的入射平面)以相对于正交偏振对沿着y方向偏振的光引入相移π(表示为$e^{i\pi}E_y$)。此外,相位掩模602可包含由两个重叠波板形成的区段614,一个重叠波板经定向以对沿着X方向偏振的光引入相移π及一个重叠波板经定向以对沿着Y方向偏振的光引入相移π,其中组合效果表示为$e^{i\pi}E_{x,y}$。

[0075] 相位掩模602还可包含不旋转光的偏振的区段616。例如,区段616可包含补偿板,所述补偿板沿着传播方向由光学均质材料形成,使得通过区段616的光沿着与光瞳平面124的其它象限中的光相同(或基本上相同)的光学路径长度传播。在一个实施例中,补偿板由具有与光瞳平面124的其它象限的任一者中的半波板大致相同之厚度及折射率之一材料形成,但不具有沿着传播方向之双折射。在另一实施例中,补偿板由与半波板相同的材料形成,但沿着不同轴切割,使得传播通过补偿板的光不经历双折射。例如,沿着单轴晶体的光轴传播的光可不经历双折射,使得晶体可针对沿着光轴传播的光是光学均质的。通过另一实例,区段616可包含孔隙。

[0076] 此外,在一些实施例中,相位掩模602可从光瞳平面124倾斜以至少部分补偿区段616与其它区段(例如,区段602到606)之间的光学路径长度差。

[0077] 分段相位掩模602可使用所属领域中已知的任何技术形成。在一个实施例中,各种区段(例如,图6A的区段602到608)形成为其中各种区段被放置于单个平面中的单个组件。

[0078] 在另一实施例中,各种区段由多个堆叠组件形成,使得穿过堆叠组件的组合路径提供所需PSF重塑。此外,堆叠组件可定位于相同或不同光瞳平面124中。例如,粒子检测系统100可包含一或多个中继光学器件以提供多个共轭光瞳平面。就此而言,与相位掩模602相关联的各种组件可分布于多个共轭光瞳平面之间。通过另一实例,情况可为相位掩模602

的组件可经制造为具有几毫米或更小的厚度。因此,可能可在单个光瞳平面124附近将多个组件放置为靠近在一起。即使一或多个组件可从光瞳平面124稍微位移(例如,达几mm),然而其仍可操作以在重塑图像606中产生强中心瓣608。

[0079] 在一个实施例中,图6A中说明的相位掩模602由切割成相对于彼此旋转的两个部分(例如,两个半体半波板)的半波板形成。例如,半波板可沿着光轴切割,其中第一部分经定向为具有沿着Y方向的光轴(例如,以覆盖图6A中的集光区域206的左半体)且第二部分经定向为具有沿着X方向的光轴(例如,以覆盖图6A中的集光区域206的上半体)。因此,区段614可由具有相交光轴的半波板的两个重叠部分形成。

[0080] 此外,由于来自小粒子的散射样本光112的偏振的定向相对于光瞳的中心基本上对称定向(例如,如在图2B中说明),但相位掩模602可使用波板的不同放置以各种方式配置以实现包含强中心瓣608的粒子的重塑图像606。例如,在图6A中的集光区域206的顶部部分中描绘的半波板可替代地被放置于集光区域206的底部部分中。类似地,在图6A中的集光区域206的左侧部分中描绘的半波板可替代地被放置于集光区域206的右侧部分中。

[0081] 然而,应理解图6A及相关联描述仅出于说明性目的提供,且不应被解释为是限制性的。确切来说,相位掩模602可包含任何数目个区段,其由跨光瞳平面124的任何图案的材料的任何组合散布式形成以重塑从粒子散射的光的PSF。例如,给定与受关注对象相关联的光瞳平面124中的光的已知电场分布(例如,经测量、经模拟或类似者)的情况下,如本文描述的分段相位掩模602可经形成以选择性调整光瞳平面124中的光的各种区的相位以重塑受关注对象的图像的PSF。特定来说,可选择相位掩模602的各种区段以促进检测器120处的相长干涉以提供接近系统PSF的紧密PSF(例如,在所选择的容限内)。

[0082] 图6B是根据本发明的一或多个实施例的包含将光瞳划分为两个区段(例如,半体)的两个区段的相位掩模602的概念俯视图。例如,如在图6B中说明,相位掩模602可包含区段618,所述区段618由具有沿着X方向的光轴的半波板形成以相对于正交偏振对沿着Y方向偏振的光引入相移π(表示为$e^{i\pi}E_y$)。此外,相位掩模602可包含不旋转光的偏振的区段620。例如,区段620可包含上文关于图6A描述的补偿板。通过另一实例,区段620可包含孔隙。此外,如本文之前描述,相位掩模602可从光瞳平面124倾斜以至少部分补偿区段618与区段620之间的光学路径长度差。

[0083] 然而,应理解,图6B及相关联描述仅出于说明性目的而提供,且不应被解释为是限制性的。例如,具有两个区段的相位掩模602可包含被放置于集光区域206的底部部分中而非如图6A中说明的顶部部分中的半波板。

[0084] 本文进一步认识到,相位掩模602的设计可表示基于与受关注粒子相关联的已知电场分布的“理想”相位掩模(例如,如在图2A中说明,或类似者)与实际设计及/或制造考虑之间的取舍。例如,情况可为理想或以其它方式合意的相位掩模602是不合理地昂贵或难以制造。然而,情况可为相位掩模602的特定设计可满足制造及性能规格两者(例如,具有所选择的形状的粒子PSF,或类似者)。因此,图6A及6B中说明的相位掩模602的设计可表示提供性能与可制造性之间的不同取舍的两个非限制性实例。

[0085] 例如,图6B中展示的相位掩模602的设计与雾度排斥偏振器302(例如图3A及3B中说明的一者)组合可为有用的。如从图4A及4B可了解,从表面(例如,表面雾度)且从粒子散射的样本光112的偏振方向在光瞳的左侧中是近似平行的。经配置以基本上阻挡雾度的雾

度排斥偏振器302因此还可阻挡由小粒子散射的光的大分率进入光瞳的左侧。由于光瞳的左侧中的样本光112的此相对低强度,情况可为由图6A中展示的相位掩模602的相对更复杂的设计提供的光瞳的左侧中的相位校正可对由小粒子散射的样本光112的PSF提供相对小的影响。因此,在一些应用中,图6B中展示的相位掩模602可提供性能与可制造性及/或成本考虑之间的适当平衡。

[0086] 现参考图7A及7B,描述说明使用相位掩模602的PSF重塑的实验测量。图7A包含根据本发明的一或多个实施例的未使用相位掩模602取得的具有亚40nm硅石粒子的硅晶片的图像702、包含粒子中的一者的展开图像704的插图及说明展开图像704的横截面的标绘图706。图7B包含根据本发明的一或多个实施例的使用相位掩模602取得的图7A中展示的具有亚40nm硅石粒子的硅晶片的图像708、包含粒子中的一者的展开图像710的插图及说明展开图像710的横截面的标绘图712。特定来说,相位掩模602包含基本上根据图6A中说明的配置布置的两个半波板。

[0087] 如在图7A及7B中说明,未使用如本文描述的相位掩模602产生的粒子的图像具有环形形状,其在中心具有强度下降。然而,并入如本文描述的相位掩模602收紧PSF,使得粒子的图像具有中心峰值及围绕中心峰值的强度的更紧密分布。

[0088] 在一些实施例中,雾度排斥偏振器302及相位掩模602可经组合以提供增强的粒子检测敏感度。因此,粒子检测系统100可包含定位于一或多个共轭光瞳平面中的雾度排斥偏振器302及相位掩模602两者。

[0089] 图8A包含根据本发明的一或多个实施例的未使用雾度排斥偏振器302或相位掩模602取得的具有亚40nm硅石粒子的硅晶片的图像802,及说明粒子的横截面的标绘图804。图8B包含根据本发明的一或多个实施例的使用雾度排斥偏振器302及相位掩模602两者取得的图8A中展示的具有亚40nm硅石粒子的硅晶片的图像806,及说明粒子的横截面的标绘图808。特定来说,用于产生图像806的相位掩模602基本上根据图6B中说明的配置布置。

[0090] 如在图8A及8B中说明,用于选择性排斥表面雾度的雾度排斥偏振器302与重塑由粒子散射的光的PSF的相位掩模602的组合提供与粒子相关联的图像中的尖峰值及相对于表面的粒子的高信噪比。

[0091] 图9是说明根据本发明的一或多个实施例的在用于粒子检测的方法900中执行的步骤的流程图。申请人提及,本文中先前在粒子检测系统100的上下文中描述的实施例及实现技术应被解释为扩展到方法900。然而,进一步应注意,方法900不限于粒子检测系统100的架构。

[0092] 在一个实施例中,方法900包含使用p偏振照明光束沿着照明方向按倾斜角照明样本的步骤902。在另一实施例中,方法900包含使用一或多个集光光学器件在暗场模式中响应于所述照明光束从样本收集光的步骤904。在另一实施例中,方法900包含通过定位于一或多个集光光学器件的光瞳平面处的连续偏振器传播来自样本的光(例如,经由集光光学器件)的步骤906,其中连续偏振器经配置以排斥相对于对应于来自样本的照明光束的镜面反射(例如,镜面反射角)的光瞳平面中的参考点具有径向偏振的光。在另一实施例中,方法900包含通过相位掩模传播来自样本的光的步骤908,所述相位掩模经定位于光瞳平面处,所述相位掩模经配置以在光瞳平面的集光区域的两个或两个以上区中提供光的不同相移以重塑从样本上的一或多个粒子散射的光的点散布函数,其中集光区域对应于一或多个集

光光学器件的数值孔径。在另一实施例中，方法900包含响应于照明基于通过连续偏振器及相位掩模传播的光产生样本的暗场图像的步骤910。

[0093] 在本文中描述的标的物有时说明包含于其它组件内或与其它组件连接的不同组件。应理解，此类所描绘的架构仅为示范性的，且事实上可实施实现相同功能性的许多其它架构。在概念意义上，实现相同功能性的组件的任何布置经有效“相关联”，使得实现所要功能性。因此，本文中经组合以实现特定功能性的任何两个组件可被视为彼此“相关联”，使得实现所要功能性，而与架构或中间组件无关。同样地，如此相关联的任何两个组件还可被视为彼此“连接”或“耦合”以实现所要功能性，且能够如此相关联的任何两个组件还可被视为彼此“可耦合”以实现所要功能性。可耦合的特定实例包含(但不限于)可物理互动及/或物理互动的组件、及/或可无线互动及/或无线互动的组件，及/或可逻辑互动及/或逻辑互动的组件。

[0094] 据信，通过前文描述将理解本发明及本发明的许多伴随优点，且将明白，可在不背离所揭示标的物或不牺牲全部其重大优点的情况下对组件的形式、构造及布置进行各种改变。所描述的形式仅为说明性的，且随附权利要求书希望涵盖且包含此类改变。此外，应理解，本发明是由随附权利要求书定义。

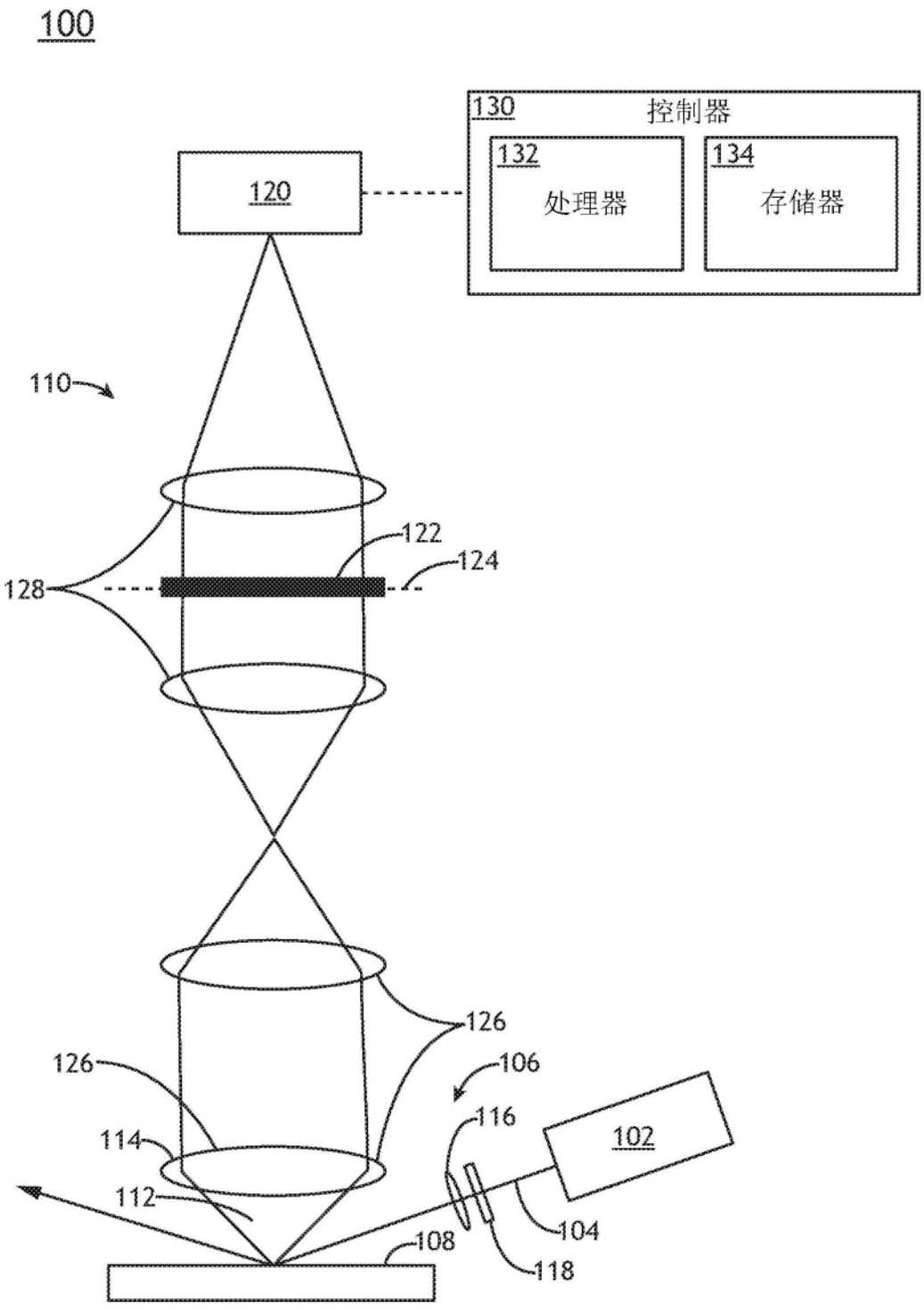

100
130
控制器
132
处理器
134
存储器
120
110
122
124
128
126
126
106
116
102
114
112
104
108
118

图1

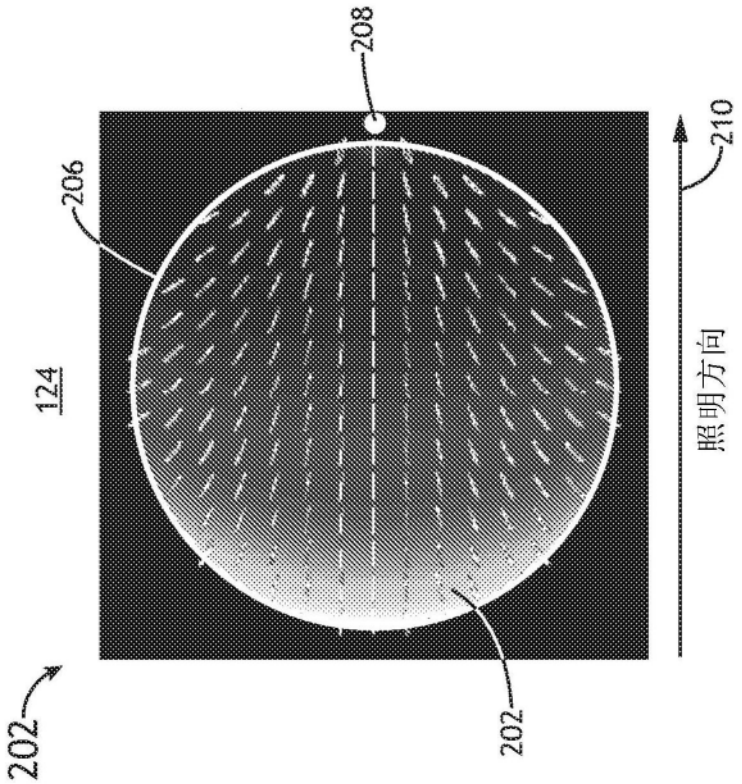


图2A

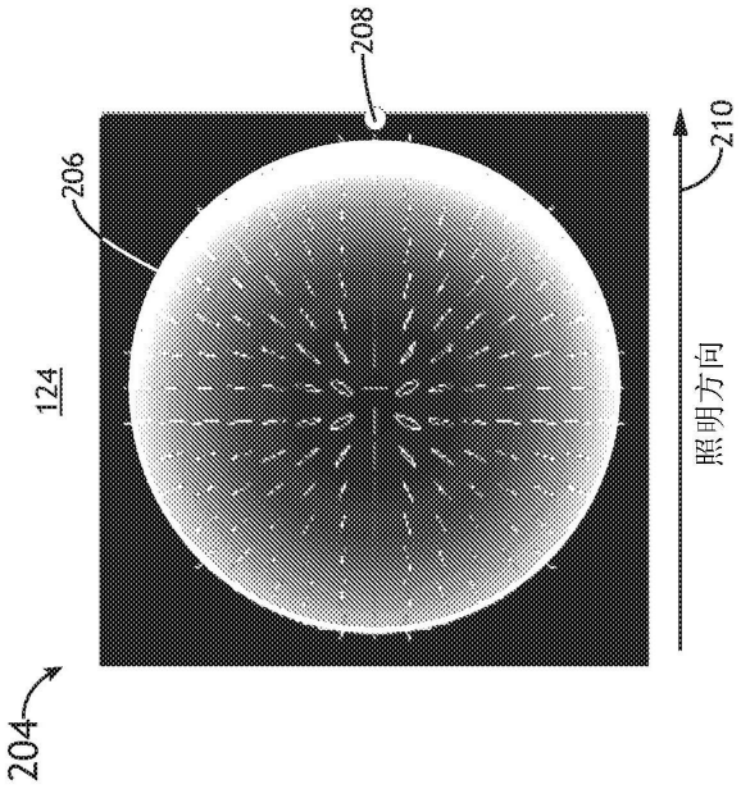


图2B

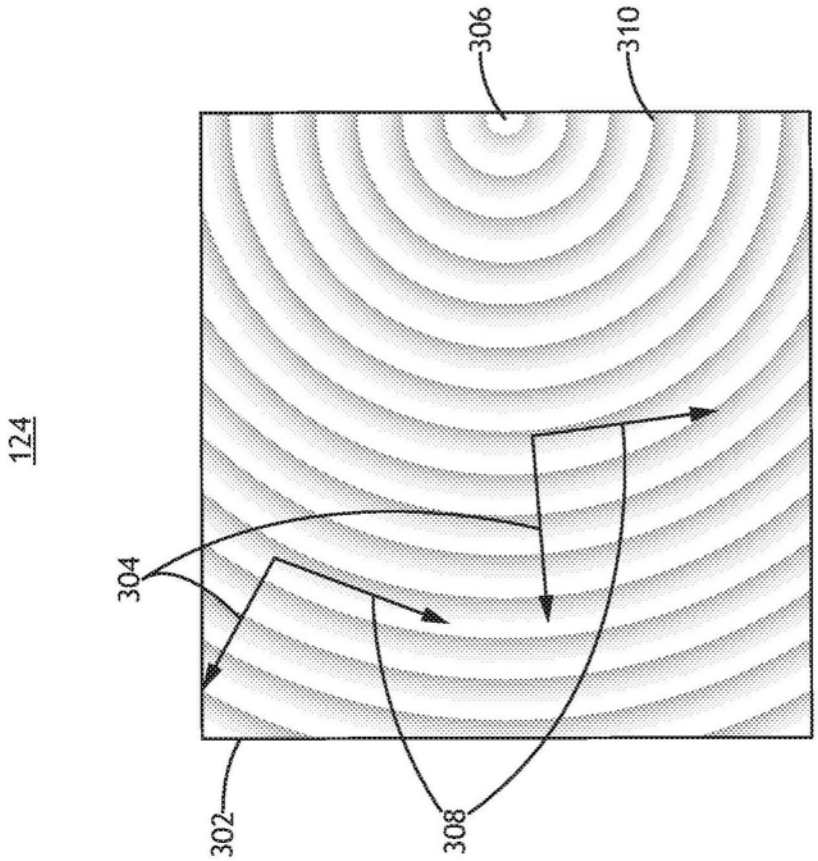


图3A

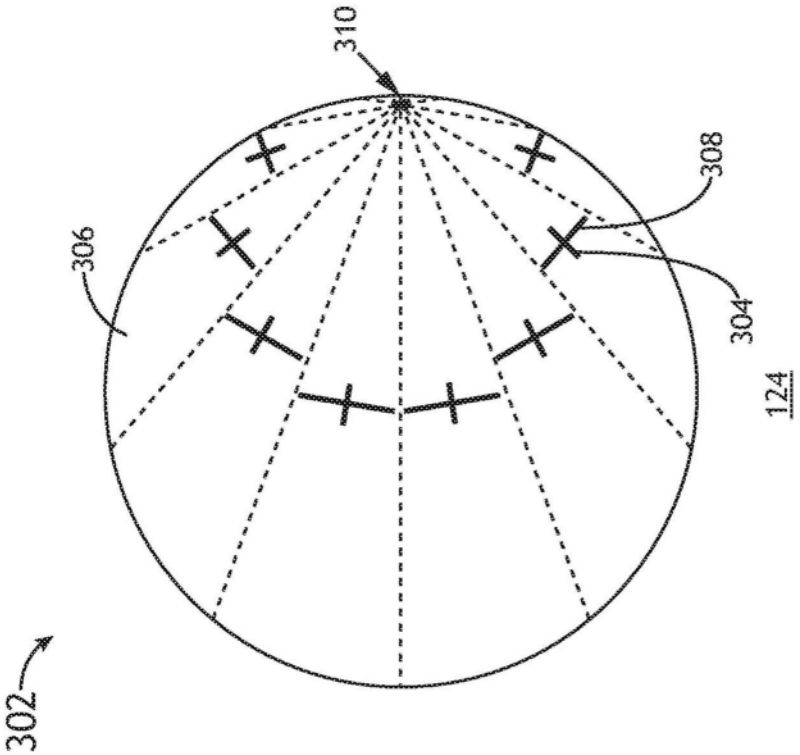


图3B

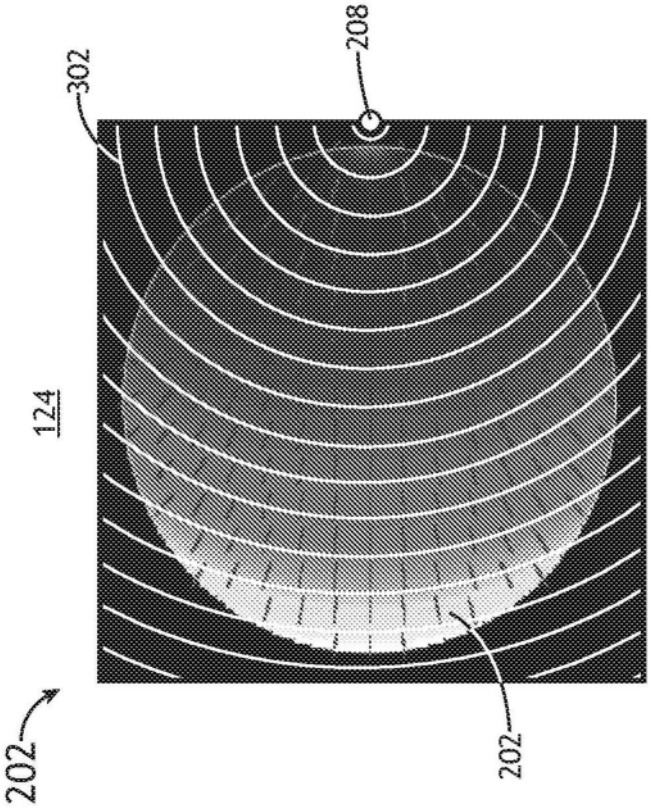


图4A

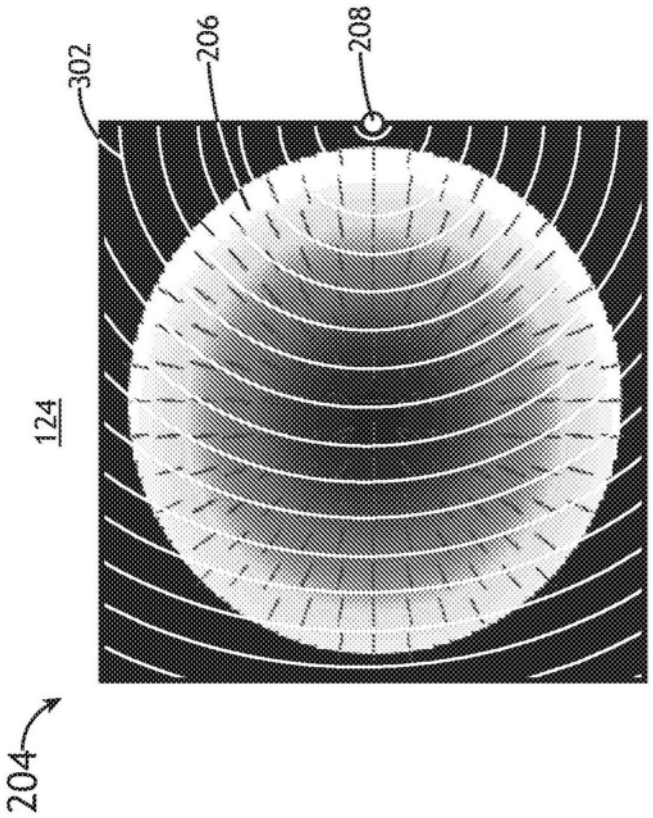


图4B

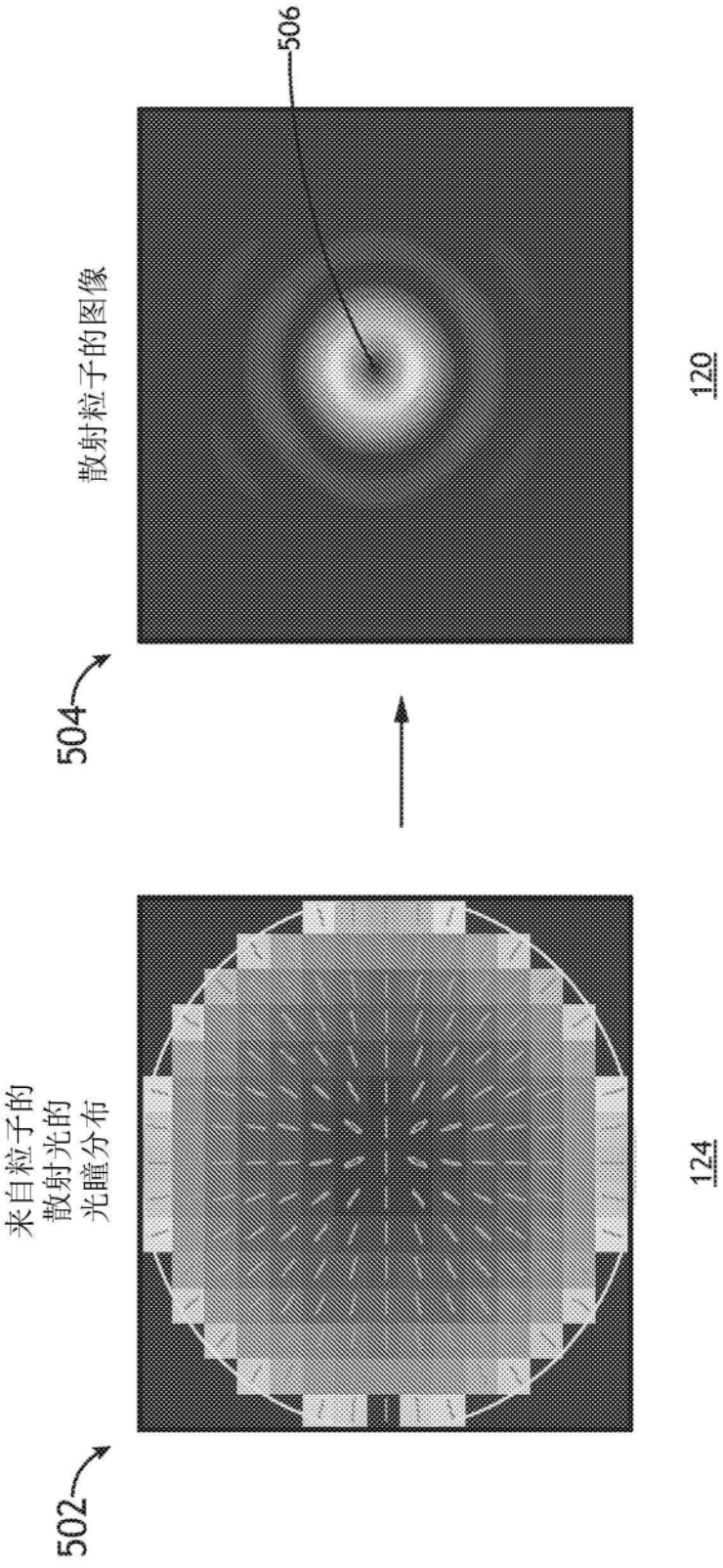


图5

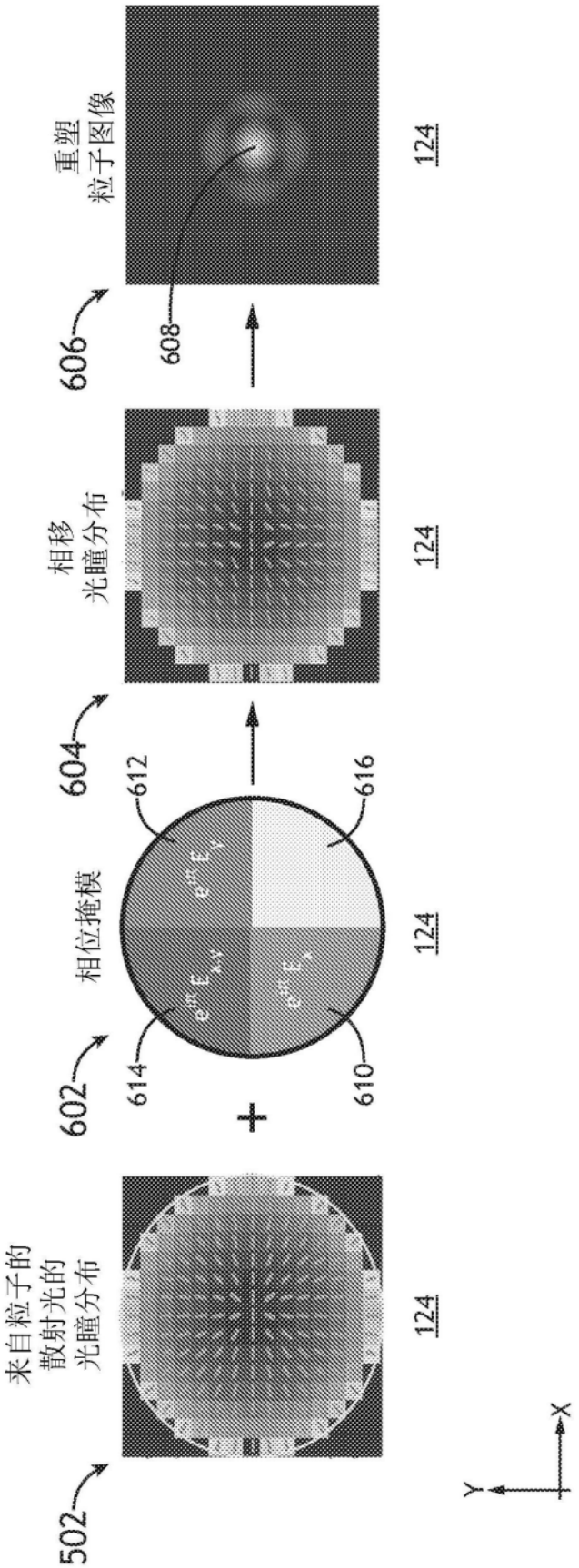

来自粒子的
散射光的
光瞳分布
502
124
602
相位掩模
614
612
616
610
124
+
604
相移
光瞳分布
124
606
重塑
粒子图像
608
124
Y
X

图6A

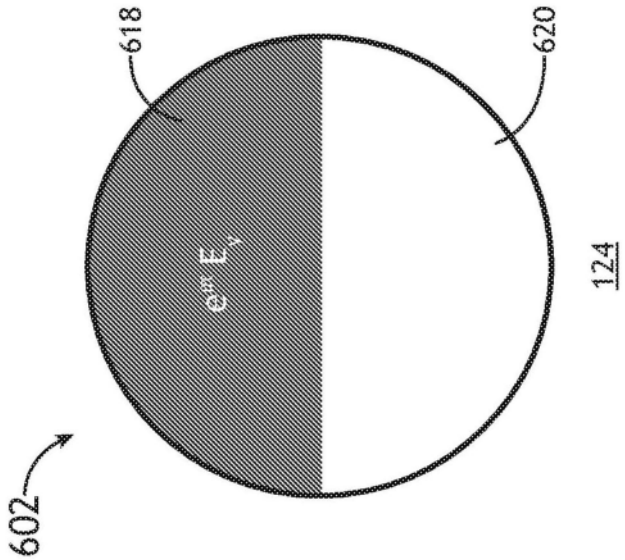


图6B

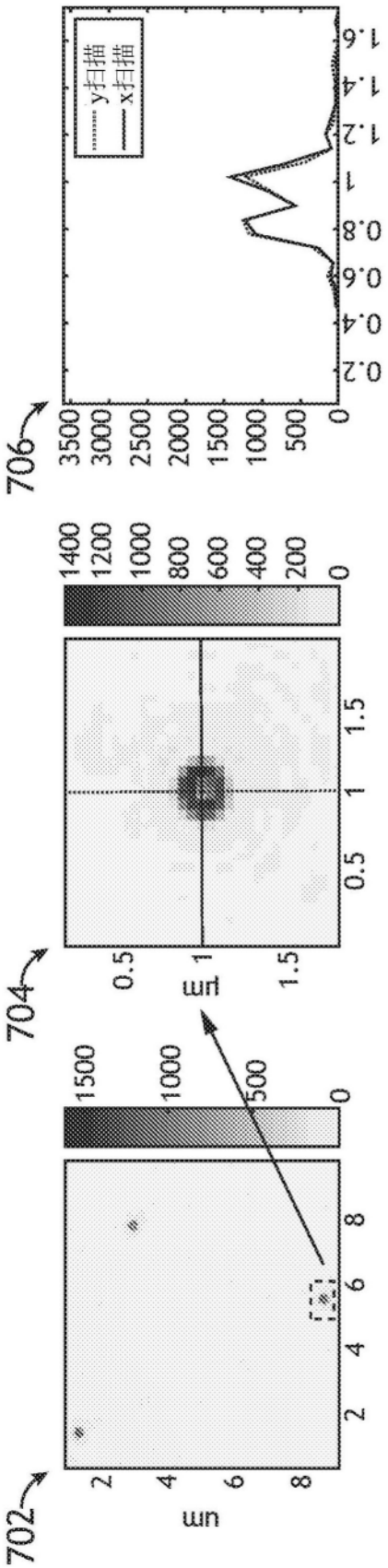


图7A

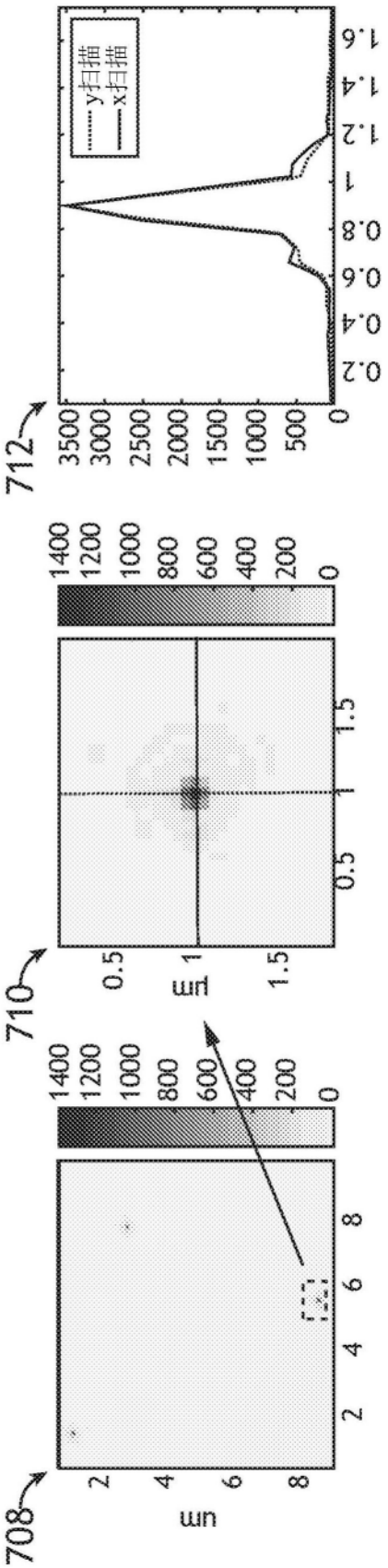


图7B

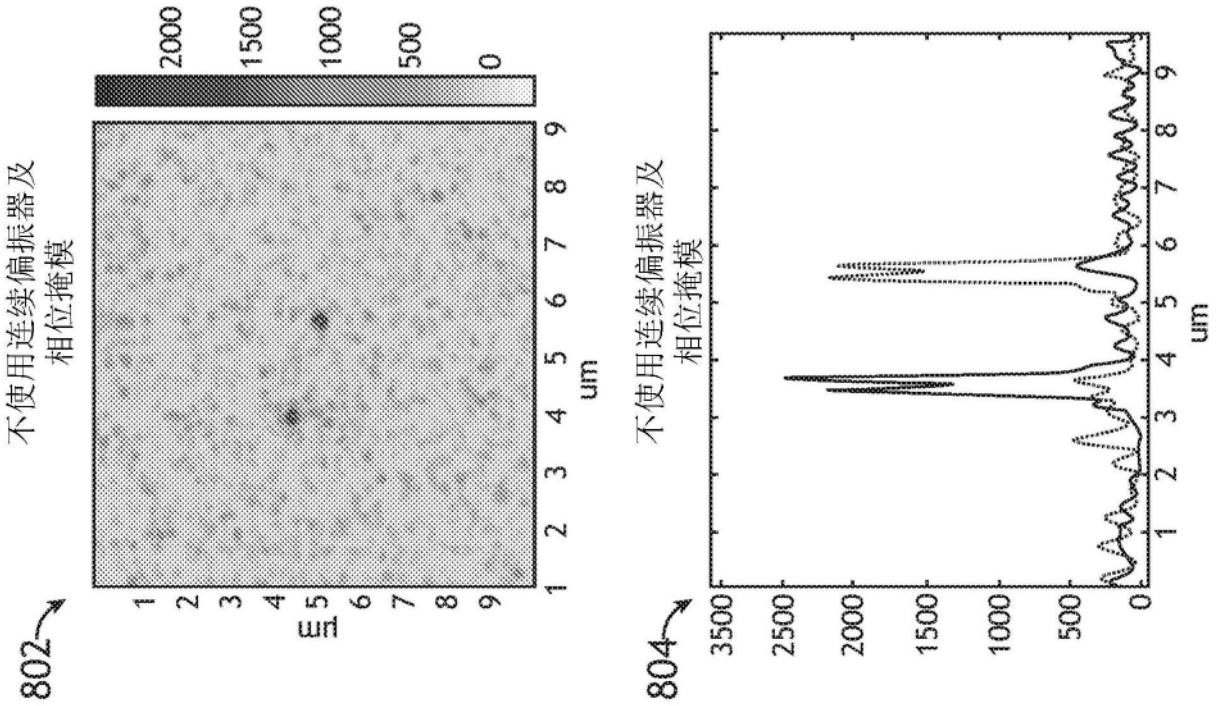

不使用连续偏振器及
相位掩模
802
um
um
2000
1500
1000
500
0
不使用连续偏振器及
相位掩模
804
um
3500
2500
2000
1500
1000
500
0

图8A

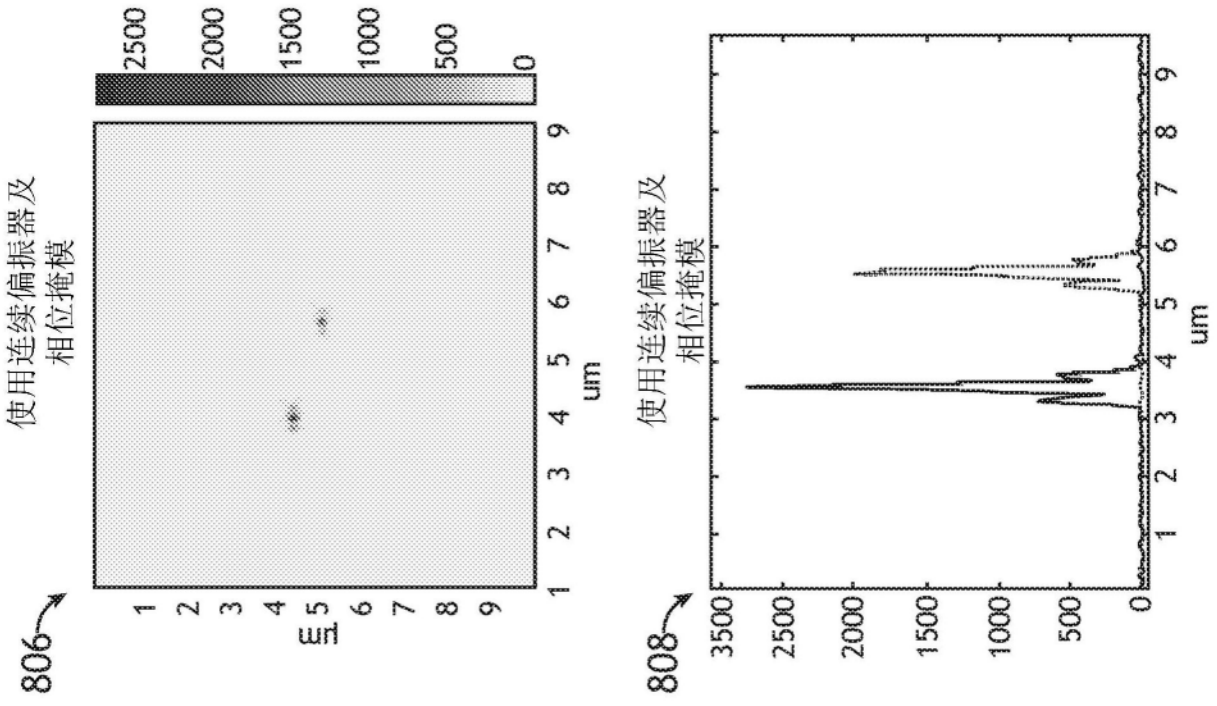

使用连续偏振器及
相位掩模
806
um
um
2500
2000
1500
1000
500
0
使用连续偏振器及
相位掩模
808
um
3500
2500
2000
1500
1000
500
0

图8B

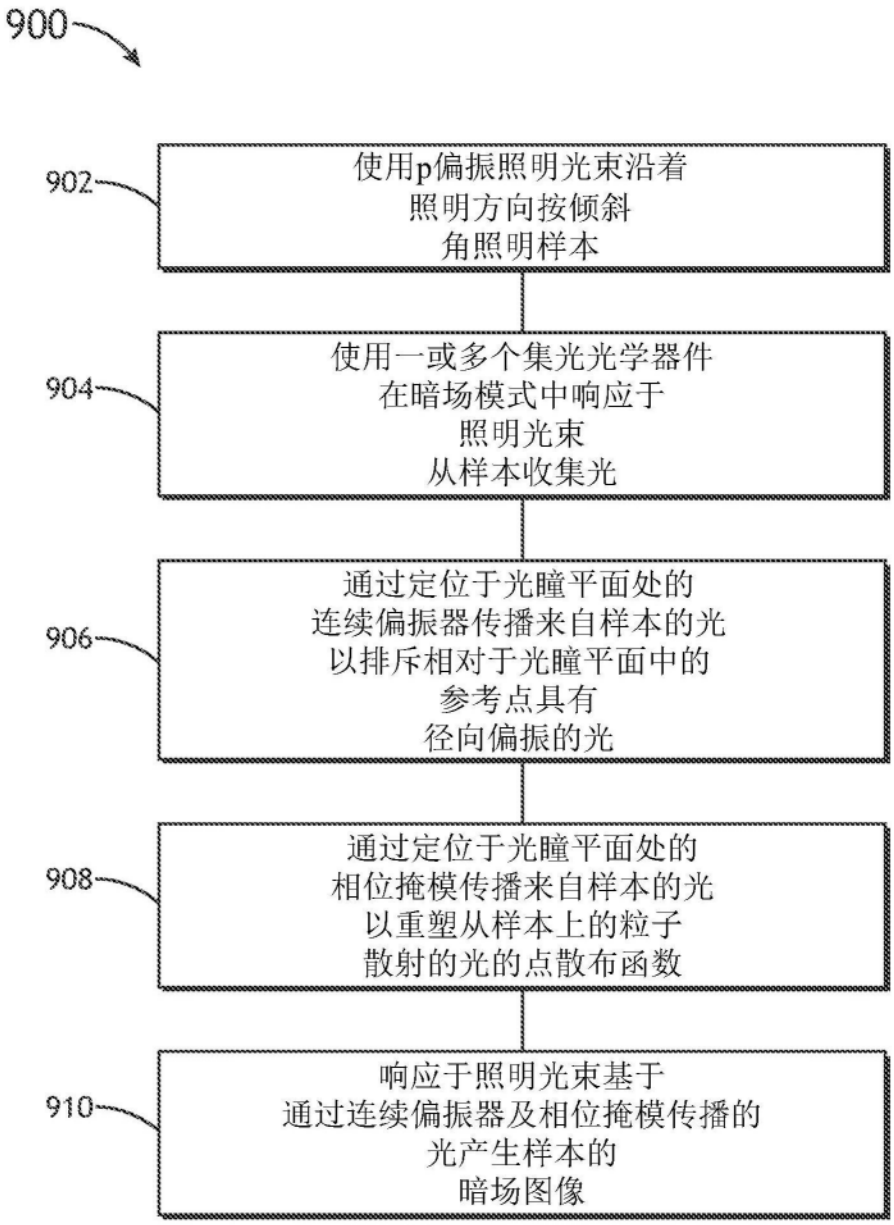

900
902
使用p偏振照明光束沿着
照明方向按倾斜
角照明样本
904
使用一或多个集光光学器件
在暗场模式中响应于
照明光束
从样本收集光
906
通过定位于光瞳平面处的
连续偏振器传播来自样本的光
以排斥相对于光瞳平面中的
参考点具有
径向偏振的光
908
通过定位于光瞳平面处的
相位掩模传播来自样本的光
以重塑从样本上的粒子
散射的光的点散布函数
910
响应于照明光束基于
通过连续偏振器及相位掩模传播的
光产生样本的
暗场图像

图9