



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I809209 B

(45)公告日：中華民國 112 (2023) 年 07 月 21 日

(21)申請案號：108136518

(22)申請日：中華民國 108 (2019) 年 10 月 09 日

(51)Int. Cl. : **G01N15/02 (2006.01)****G01N21/21 (2006.01)****H01L21/67 (2006.01)**

(30)優先權：2018/11/14 美國

62/767,246

2019/09/20 美國

16/577,089

(71)申請人：美商科磊股份有限公司 (美國) KLA CORPORATION (US)

美國

(72)發明人：廖 振坤 LEONG, JENN-KUEN (US)；卡瓦德傑夫 丹尼爾 KAVALDJIEV,

DANIEL (US)；趙 國衡 ZHAO, GUOHENG (US)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

TW 201423087A

JP 2012-78802A

JP 2014-222239A

WO 2018/128995A1

審查人員：陳勇志

申請專利範圍項數：23 項 圖式數：9 共 46 頁

(54)名稱

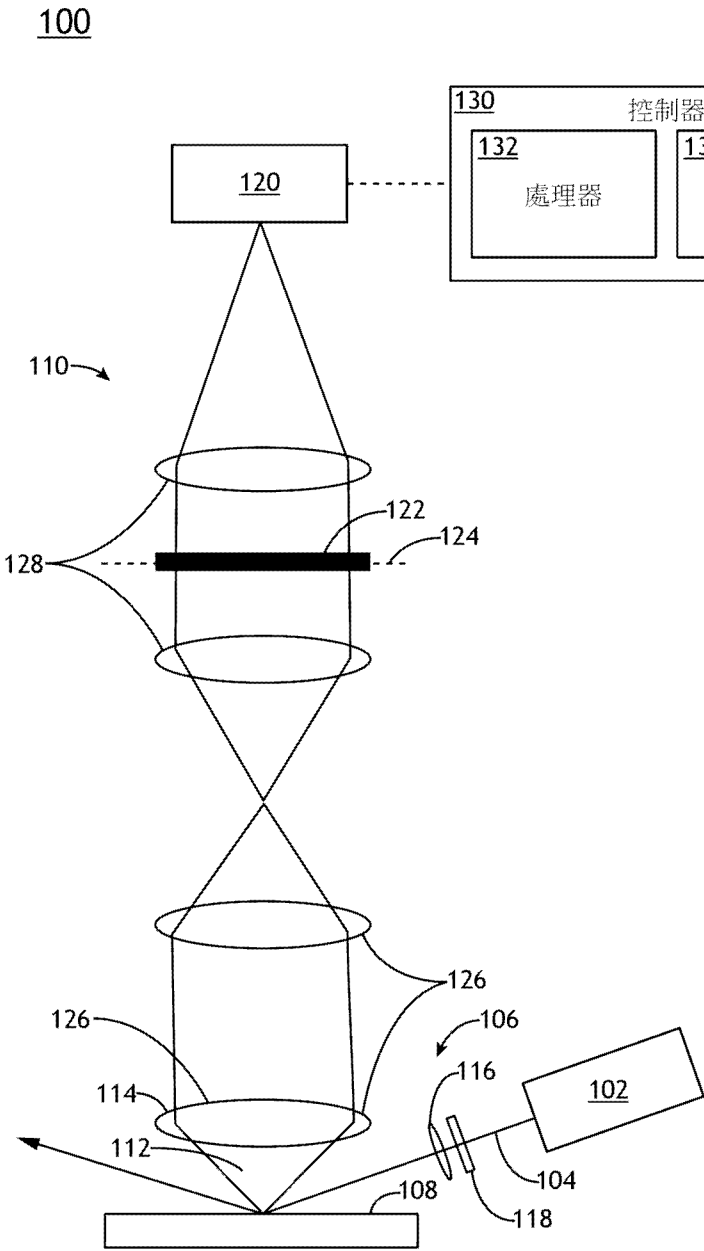
用於粒子偵測之徑向偏振器

(57)摘要

本發明揭示一種暗場檢測系統，其可包含一照明源，其用以產生一照明光束；一或多個照明光學器件，其或其等用於將該照明光束沿著一照明方向按一離軸角引導至一樣本；一偵測器；一或多個收集光學器件，其或其等用於基於回應於該照明光束自該樣本收集之光在該偵測器上產生該樣本之一暗場影像；及一徑向偏振器，其定位於該一或多個收集光學器件之一光瞳平面處，其中該徑向偏振器排斥相對於對應於來自該樣本之該照明光束之鏡面反射之該光瞳平面中之一參考點具有徑向偏振之光。

A dark field inspection system may include an illumination source to generate an illumination beam, one or more illumination optics to direct the illumination beam to a sample at an off-axis angle along an illumination direction, a detector, one or more collection optics to generate a dark-field image of the sample on the detector based on light collected from the sample in response to the illumination beam, and a radial polarizer located at a pupil plane of the one or more collection optics, where the radial polarizer rejects light with radial polarization with respect to a reference point in the pupil plane corresponding to specular reflection of the illumination beam from the sample.

指定代表圖：



【圖1】

符號簡單說明：

- 100:粒子偵測系統
- 102:照明源
- 104:照明光束
- 106:照明路徑
- 108:樣本
- 110:收集路徑
- 112:樣本光
- 114:物鏡
- 116:透鏡
- 118:照明光束調節組件
- 120:偵測器
- 122:光束調節元件
- 124:光瞳平面
- 126:透鏡
- 128:透鏡
- 130:控制器
- 132:處理器
- 134:記憶體媒體



I809209

【發明摘要】

【中文發明名稱】

用於粒子偵測之徑向偏振器

【英文發明名稱】

RADIAL POLARIZER FOR PARTICLE DETECTION

【中文】

本發明揭示一種暗場檢測系統，其可包含一照明源，其用以產生一照明光束；一或多個照明光學器件，其或其等用於將該照明光束沿著一照明方向按一離軸角引導至一樣本；一偵測器；一或多個收集光學器件，其或其等用於基於回應於該照明光束自該樣本收集之光在該偵測器上產生該樣本之一暗場影像；及一徑向偏振器，其定位於該一或多個收集光學器件之一光瞳平面處，其中該徑向偏振器排斥相對於對應於來自該樣本之該照明光束之鏡面反射之該光瞳平面中之一參考點具有徑向偏振之光。

【英文】

A dark field inspection system may include an illumination source to generate an illumination beam, one or more illumination optics to direct the illumination beam to a sample at an off-axis angle along an illumination direction, a detector, one or more collection optics to generate a dark-field image of the sample on the detector based on light collected from the sample in response to the illumination beam, and a radial polarizer located at a pupil plane of the one or more collection optics, where the radial polarizer rejects light with radial polarization with respect to a reference point in the pupil plane corresponding to

specular reflection of the illumination beam from the sample.

【指定代表圖】

圖1

【代表圖之符號簡單說明】

- 100 粒子偵測系統
- 102 照明源
- 104 照明光束
- 106 照明路徑
- 108 樣本
- 110 收集路徑
- 112 樣本光
- 114 物鏡
- 116 透鏡
- 118 照明光束調節組件
- 120 偵測器
- 122 光束調節元件
- 124 光瞳平面
- 126 透鏡
- 128 透鏡
- 130 控制器
- 132 處理器
- 134 記憶體媒體

【發明說明書】

【中文發明名稱】

用於粒子偵測之徑向偏振器

【英文發明名稱】

RADIAL POLARIZER FOR PARTICLE DETECTION

【技術領域】

【0001】 本發明大體係關於粒子檢測，且更特定言之係關於暗場粒子檢測。

【先前技術】

【0002】 粒子偵測系統通常用於半導體處理線中以識別晶圓(諸如但不限於未圖案化晶圓)上之缺陷或微粒。隨著半導體裝置不斷縮小，粒子偵測系統需要敏感度及解析度的對應增大。可限制量測敏感度之一明顯雜訊源係一晶圓上之表面散射，其可甚至對於光學拋光表面存在。雖然已提出各種方法來相對於來自粒子之散射抑制表面散射，但此等方法可無法達成合意之敏感度位準及/或可能以劣化之影像品質為代價達成敏感度。因此，需要開發緩解上文所述之缺陷之系統及方法。

【發明內容】

【0003】 根據本發明之一或多個繪示性實施例揭示一種系統。在一項繪示性實施例中，該系統包含產生一照明光束之一照明源。在另一繪示性實施例中，該系統包含將該照明光束沿著一照明方向按一離軸角引導至一樣本之一或多個照明光學器件。在另一繪示性實施例中，該系統包含一偵測器。在另一繪示性實施例中，該系統包含基於回應於該照明光束自該樣本收集之光在該偵測器上產生該樣本之一暗場影像之一或多個收集光學

器件。在另一繪示性實施例中，該系統包含一徑向偏振器，該徑向偏振器定位於該一或多個收集光學器件之一光瞳平面處，其中該徑向偏振器經組態以排斥相對於對應於來自該樣本之該照明光束之鏡面反射之該光瞳平面中之一參考點具有徑向偏振之光。

【0004】 根據本發明之一或多個繪示性實施例揭示一種系統。在一項繪示性實施例中，該系統包含產生一照明光束之一照明源。在另一繪示性實施例中，該系統包含將該照明光束沿著一照明方向按一離軸角引導至一樣本之一或多個照明光學器件。在另一繪示性實施例中，該系統包含一偵測器。在另一繪示性實施例中，該系統包含基於回應於該照明光束自該樣本收集之光在該偵測器上產生該樣本之一暗場影像之一或多個收集光學器件。在另一繪示性實施例中，該系統包含一相位遮罩，該相位遮罩經定位於該一或多個收集光學器件之一光瞳平面處，該相位遮罩經組態以在該光瞳平面之一收集區域之兩個或兩個以上區中提供光之不同相移以重塑自該樣本上之一或多個粒子散射之光之一點散佈函數，其中該收集區域對應於該一或多個收集光學器件之一數值孔徑。

【0005】 根據本發明之一或多個繪示性實施例揭示一種方法。在一項繪示性實施例中，該方法包含使用一p偏振照明光束沿著一照明方向按一傾斜角照明一樣本。在另一繪示性實施例中，該方法包含使用一或多個收集光學器件在一暗場模式中回應於該照明光束自該樣本收集光。在另一繪示性實施例中，該方法包含透過定位於該一或多個收集光學器件之一光瞳平面處之一徑向偏振器傳播來自該樣本之該光，其中該徑向偏振器經組態以排斥相對於對應於來自該樣本之該照明光束之鏡面反射之該光瞳平面中之一參考點具有徑向偏振之光。在另一繪示性實施例中，該方法包含透

過一相位遮罩傳播來自該樣本之該光，該相位遮罩經定位於該光瞳平面處，該相位遮罩經組態以在該光瞳平面之一收集區域之兩個或兩個以上區中提供光之不同相移以重塑自該樣本上之一或多個粒子散射之光之一點散佈函數，其中該收集區域對應於該一或多個收集光學器件之一數值孔徑。在另一繪示性實施例中，該方法包含回應於該照明光束基於透過該徑向偏振器及該相位遮罩傳播之光產生該樣本之一暗場影像，其中該樣本之該暗場影像係基於藉由該樣本之一表面上之一或多個粒子散射之光。

【0006】 應理解，前述概述及下列實施方式兩者僅係例示性的及說明性的且未必要限制如主張之本發明。併入本說明書中且構成本說明書之一部分之附圖繪示本發明之實施例且與概述一起用於說明本發明之原理。

【圖式簡單說明】

【0007】 熟習此項技術者可藉由參考附圖而更佳理解本發明之數種優勢，在圖式中：

圖1係根據本發明之一或多項實施例之一粒子偵測系統之一概念圖；

圖2A係根據本發明之一或多項實施例之回應於傾斜入射之p偏振光之表面散射之一光瞳平面散射圖；

圖2B係根據本發明之一或多項實施例之回應於傾斜入射之p偏振光之藉由一小粒子散射之光之一光瞳平面散射圖；

圖3A係根據本發明之一或多項實施例之一連續霧度排斥偏振器之一俯視圖；

圖3B係根據本發明之一或多項實施例之一分段霧度排斥偏振器之一俯視圖；

圖4A係根據本發明之一或多項實施例之覆蓋於圖2A之散射圖上之霧

度排斥偏振器之一概念圖；

圖4B係根據本發明之一或多項實施例之覆蓋於圖2B之散射圖上之霧度排斥偏振器之一概念圖；

圖5包含根據本發明之一或多項實施例之藉由一子解析度粒子之p偏振光之一電場分佈及子解析度粒子之一對應影像；

圖6A包含根據本發明之一或多項實施例之具有將光瞳劃分為四個區之四個區段之一相位遮罩之一概念俯視圖、與藉由一子解析度粒子散射之p偏振光相關聯之電場分佈、基於相位遮罩之一經修改電場分佈及粒子之對應重塑影像；

圖6B係根據本發明之一或多項實施例之包含將光瞳劃分為兩個區段之兩個區段之一相位遮罩之一概念俯視圖；

圖7A包含根據本發明之一或多項實施例之未使用相位遮罩取得之具有亞40 nm矽石粒子之一矽晶圓之一影像、包含粒子之一者之一展開影像之一插圖及繪示展開影像之一橫截面之一標繪圖；

圖7B包含根據本發明之一或多項實施例之使用一相位遮罩取得之圖7A中展示之具有亞40 nm矽石粒子之矽晶圓之一影像、包含粒子之一者之一展開影像之一插圖及繪示展開影像之一橫截面之一標繪圖；

圖8A包含根據本發明之一或多項實施例之未使用霧度排斥偏振器或相位遮罩取得之具有亞40 nm矽石粒子之一矽晶圓之一影像，及繪示粒子之一橫截面之一標繪圖；

圖8B包含根據本發明之一或多項實施例之使用一霧度排斥偏振器及一相位遮罩兩者取得之圖8A中展示之具有亞40 nm矽石粒子之矽晶圓之一影像，及繪示粒子之一橫截面之一標繪圖；及

圖9係繪示根據本發明之一或多項實施例之在用於粒子偵測之一方法中執行之步驟之一流程圖。

【實施方式】

相關申請案之交叉參考

【0008】 本申請案根據35 U.S.C. § 119(e)規定主張2018年11月14日申請之將Jenn-Kuen Leong、Daniel Kavaldjiev、John Fielden及Guoheng Zhao指定為發明者之標題為PARTICLE DETECTION WITH IMPROVED RESOLUTION ON WAFER INSPECTION SYSTEM之美國臨時申請案第62/767,246號之權利，該案之全部內容以引用的方式併入本文中。

【0009】 現在將詳細參考隨附圖式中繪示之所揭示標的物。已關於特定實施例及其等之特定特徵特別展示且描述本發明。本文闡述之實施例被視為繪示性而非限制性的。如本文使用，方向性術語(諸如「左」、「右」、「頂部」、「底部」、「上方」、「下方」、「上」、「朝上」、「下」、「向下」及「朝下」)意在為描述之目的提供相對位置，且不意在指定一絕對參考系。一般技術者應容易明白，可在不脫離本發明之精神及範疇之情況下對形式及細節進行各種改變及修改。

【0010】 本發明之實施例係關於用於基於利用一光瞳平面中之一霧度排斥偏振器以選擇性地過濾表面散射(例如，表面霧度)以促進自一表面上之粒子散射之光之偵測之暗場成像之粒子偵測之系統及方法。特定言之，一霧度排斥偏振器可具有對應於跨光瞳平面之表面霧度之一預期偏振分佈之空間上變化排斥方向。出於本發明之目的，一粒子可包含一受關注樣本上之任何表面缺陷，包含但不限於一外來粒子、一刮擦、一坑、一

孔、一凸塊或類似物。

【0011】 來自樣本之光之散射或發射角經映射至光瞳平面中之空間位置。因此，放置於光瞳平面中之一偏振器可基於散射角及偏振選擇性地過濾光。本文中應辨識，自一粒子散射之光及自一表面散射之光可依據散射角變化展現不同電場分佈(例如，偏振及場強度)。此外，電場分佈差(例如，散射圖)可對於傾斜入射之 p 偏振光係尤其明顯的。例如，來自傾斜入射之 p 偏振光之表面霧度可相對於鏡面反射之一角近似徑向偏振，而來自一粒子之散射可相對於一表面法線近似徑向偏振。

【0012】 在一些實施例中，一暗場粒子偵測系統包含一徑向霧度排斥偏振器，該徑向霧度排斥偏振器在光瞳平面中經定向，使得徑向霧度排斥偏振器之一頂角放置於與傾斜入射之 p 偏振光之鏡面反射相關聯之一位置處以選擇性排斥表面霧度。

【0013】 本發明之額外實施例係關於重塑藉由粒子散射之光之一點散佈函數(PSF)。

【0014】 小於一成像解析度(例如，遠小於照明波長)之一物件(例如，一粒子)之一影像大體上受成像系統之PSF限制。然而，光瞳平面中之電場之特定分佈(例如，經收集光之角及偏振)可使此一物件之影像更大及/或具有不同於系統PSF之一形狀。特定言之，小於在使用傾斜 p 偏振光照明時之成像解析度之一粒子之一暗場影像(例如，使用散射或繞射光形成之一粒子之一影像)可為散佈至大於系統PSF之一面積之一環，此負面影響粒子偵測敏感度。一粒子之此環形狀及PSF或成像點之大小增加可與一偵測器上之成像點之一中心處之收集光之相消干涉(destructive interference)相關聯。

【0015】 在一些實施例中，一暗場粒子偵測系統包含在光瞳平面處之一相位遮罩以促進與粒子散射相關聯之成像點之中心處之收集光之相長干涉(constructive interference)。就此而言，成像粒子之PSF可收緊且可更靠近系統PSF。

【0016】 一相位遮罩可具有適用於重塑成像粒子之PSF之各種組態。在一些實施例中，相位遮罩包含一分段光學器件以為光瞳平面之不同區中之光提供不同相移，其中至少一個區段自一半波板形成。

【0017】 本發明之額外實施例係關於併入一徑向霧度排斥偏振器及一相位板兩者以用於重塑一光瞳平面中之成像粒子之PSF之一暗場粒子偵測系統。在以下專利中大體描述晶圓檢測：2018年1月1日發佈之美國專利第9,874,526號；2016年3月22日發佈之美國專利第9,291,575號；2014年11月18日發佈之美國專利第8,891,079號；及2018年2月13日發佈之美國專利第9,891,177號，所有該等案之全部內容併入本文中。

【0018】 現參考圖1至圖9，將更詳細地描述用於敏感粒子偵測之系統及方法。

【0019】 圖1係根據本發明之一或多項實施例之一粒子偵測系統100之一概念圖。在一項實施例中，粒子偵測系統100包含：一照明源102，其用於產生一照明光束104；一照明路徑106，其包含用於將照明光束104引導至一樣本108之一或多個照明光學器件；及一收集路徑110，其包含用於收集發源於樣本108之光(例如，樣本光112)之一或多個收集光學器件。例如，收集路徑110可包含一物鏡114以收集樣本光112之至少一部分。樣本光112可包含回應於照明光束104發源於樣本108之任何類型之光(包含但不限於散射光、反射光、繞射光或螢光)。

【0020】 照明光束104可包含一或多個選定波長之光(包含但不限於紫外線(UV)輻射、可見光輻射或紅外線(IR)輻射)。例如，照明源102可提供(但不要求提供)具有比約350 nm更短之波長之一照明光束104。藉由另一實例，照明光束104可提供約266 nm之波長。藉由另一實例，照明光束104可提供約213 nm之波長。本文中應辨識，成像解析度及藉由小粒子(相對於照明光束104之波長)散射之光兩者大體與波長成比例，使得減小照明光束104之波長可大體增加成像解析度及來自小粒子之散射信號。因此，照明光束104可包含短波長光，包含但不限於極紫外線(EUV)光、深紫外線(DUV)光或真空紫外線(VUV)光。

【0021】 照明源102可包含此項技術中已知之任何類型之光源。此外，照明源102可提供具有任何選定空間或時間同調特性之一照明光束104。在一項實施例中，照明源102包含一或多個雷射源，諸如但不限於一或多個窄頻雷射源、一或多個寬頻雷射源、一或多個超連續能譜雷射源或一或多個白光雷射源。在另一實施例中，照明源102包含一雷射驅動光源(LDLS)，諸如但不限於一雷射維持電漿(LSP)源。例如，照明源102可包含但不限於一LSP燈、一LSP燈泡或適用於容納一或多個元素之一LSP腔室，該一或多個元素在藉由一雷射源激發為一電漿狀態時可發射寬頻照明。在另一實施例中，照明源102包含一燈源，諸如但不限於一弧光燈、一放電燈或一無電極燈。

【0022】 在另一實施例中，照明源102提供一可調諧照明光束104。例如，照明源102可包含一可調諧照明源(例如，一或多個可調諧雷射及類似者)。藉由另一實例，照明源102可包含經耦合至固定或可調諧濾波器之任何組合之一寬頻照明源。

【0023】 照明源102可進一步提供具有任何時間輪廓之一照明光束104。例如，照明光束104可具有一連續時間輪廓、一經調變時間輪廓、一脈衝時間輪廓及類似者。

【0024】 本文中應辨識，表面霧度之強度可取決於多個因素，包含但不限於照明光束104之入射角或偏振。例如，表面霧度之強度可針對接近垂直之入射角係相對高的且可針對更高之入射角降低。在一項實施例中，照明路徑106可包含一或多個照明光學器件(諸如但不限於透鏡116、鏡及類似者)以按一傾斜入射角將照明光束104引導至樣本108以降低表面霧度之產生。傾斜入射角可大體包含任何選定入射角。例如，入射角相對於一表面法線可(但不要求)大於60度。

【0025】 在另一實施例中，照明路徑106包含適合於修改及/或調節照明光束104之一或多個照明光束調節組件118。例如，一或多個照明光束調節組件118可包含但不限於一或多個偏振器、一或多個波板、一或多個濾波器、一或多個光束分離器、一或多個漫射體、一或多個均質器、一或多個變跡器或一或多個光束塑形器。在一項實施例中，一或多個照明光束調節組件118包含經定向以在樣本108上提供一p偏振照明光束104之一偏振器或波板。

【0026】 在另一實施例中，粒子偵測系統100包含經組態以捕獲藉由收集路徑110收集之樣本光112之至少一部分之一偵測器120。偵測器120可包含此項技術中已知之適用於量測自樣本108接收之照明之任何類型之光學偵測器。例如，一偵測器120可包含適用於擷取樣本108之一影像之一多像素偵測器(諸如但不限於一電荷耦合裝置(CCD)偵測器、一互補性金屬氧化物半導體(CMOS)偵測器、一延時積分(TDI)偵測器、一光

電倍增管(PMT)陣列、一突崩光二極體(APD)陣列或類似者)。在另一實施例中，一偵測器120包含適合於識別樣本光112之波長之一光譜偵測器。

【0027】 收集路徑110可包含任何數目個光束調節元件122來引導及/或修改樣本光112，包含但不限於一或多個透鏡、一或多個濾波器、一或多個孔隙、一或多個偏振器或一或多個相位板。

【0028】 在一項實施例中，如在圖1中繪示，收集路徑110包含定位於一光瞳平面124處或附近之一或多個光束調節元件122。例如，如將在下文更詳細論述，收集路徑110可包含光束調節元件122，諸如但不限於在一光瞳平面124處或附近之一霧度排斥偏振器(例如，一徑向偏振器或類似者)或一相位遮罩。就此而言，粒子偵測系統100可控制且調整用於在偵測器120上產生一影像之樣本光112之選定態樣，包含但不限於依據散射角及/或樣本上之位置變化之樣本光112之強度、相位及偏振。

【0029】 此外，收集路徑110可具有任何數目個光瞳平面124。例如，如在圖1中繪示，收集路徑110可包含產生光瞳平面124之一影像之一或多個透鏡126及在偵測器120上產生樣本108之表面之一影像之一或多個透鏡128。然而，本文應辨識，一有限數目個光束調節元件122可被放置於一特定光瞳平面124處或足夠靠近一特定光瞳平面124以提供一所需效應。因此，出於本發明之目的，對一光瞳平面124處之一或多個元件之參考可大體描述在一光瞳平面124處或足夠靠近光瞳平面124以產生一所需效應之一或多個元件。在一些實施例中，雖然未展示，但收集路徑110可包含產生一或多個額外光瞳平面124，使得任何數目個光束調節元件122可被放置於一光瞳平面124處或其附近之額外透鏡。

【0030】 在另一實施例中，粒子偵測系統100包含一控制器130，該

控制器130包含經組態以執行維持於一記憶體媒體134 (例如，記憶體)上之程式指令之一或多個處理器132。此外，控制器130可通信地耦合至粒子偵測系統100之任何組件。在此方面，控制器130之一或多個處理器132可執行本發明通篇描述之各種程序步驟之任一者。例如，控制器130可接收、分析及/或處理來自偵測器120之資料(例如，與樣本108之一影像相關聯)。藉由另一實例，控制器130可使用控制信號來控制或以其他方式引導粒子偵測系統100之任何組件。

【0031】 一控制器130之一或多個處理器132可包含此項技術中已知之任何處理元件。在此意義上，一或多個處理器132可包含經組態以執行演算法及/或指令之任何微處理器型裝置。在一項實施例中，一或多個處理器132可包括以下項：一桌上型電腦、主機電腦系統、工作站、影像電腦、平行處理器，或經組態以執行如在本發明通篇描述之經組態以操作粒子偵測系統100之一程式之任何其他電腦系統(例如，網路電腦)。進一步應辨識，術語「處理器」可被廣泛地定義為涵蓋具有執行來自一非暫時性記憶體媒體134之程式指令之一或多個處理元件之任何裝置。此外，可藉由一單一控制器130或替代地多個控制器執行在本發明通篇描述之步驟。另外，控制器130可包含容置於一共同外殼中或多個外殼內之一或多個控制器。以此方式，任何控制器或控制器組合可單獨地封裝為適於整合至粒子偵測系統100中之一模組。

【0032】 記憶體媒體134可包含此項技術中已知之適於儲存可由相關聯之一或多個處理器132執行之程式指令的任何儲存媒體。例如，記憶體媒體134可包含一非暫時性記憶體媒體。藉由另一實例，記憶體媒體134可包含但不限於一唯讀記憶體(ROM)、一隨機存取記憶體(RAM)、一

磁性或光學記憶體裝置(例如，磁碟)、一磁帶、一固態硬碟及類似者。進一步應注意，記憶體媒體134可與一或多個處理器132容置於一共同控制器外殼中。在一項實施例中，記憶體媒體134可相對於一或多個處理器132及控制器130之實體位置遠端定位。例如，控制器130之一或多個處理器132可存取可透過一網路(例如，網際網路、內部網路及類似者)存取之一遠端記憶體(例如，伺服器)。因此，上文描述不應被解釋為對本發明的一限制，而是僅為一繪示。

【0033】本文中預期，粒子偵測系統100可經組態為此項技術中已知之任何類型之基於影像之粒子偵測系統。在一項實施例中，如在圖1中繪示，粒子偵測系統100係排除鏡面反射光之一暗場成像系統。就此而言，粒子偵測系統100可主要基於散射光使樣本108成像。暗場成像可進一步使用此項技術中已知之任何技術實施。在一項實施例中，可選擇物鏡114之一定向及/或一數值孔徑(NA)，使得物鏡114不收集鏡面反射光。例如，如在圖1中繪示，物鏡114大致垂直於樣本108定向，且具有不包含照明光束104之一鏡面反射部分之一NA。此外，物鏡114可具有(但不要求具有)大約0.9或更大之一NA。在另一實施例中，粒子偵測系統100可包含阻止鏡面反射到達偵測器120之一或多個組件。

【0034】現參考圖2A至圖4B，更詳細描述光瞳平面偏振濾波。

【0035】在一項實施例中，粒子偵測系統100包含收集路徑110 (例如，收集光學器件)之一光瞳平面中之一霧度排斥偏振器以優先排斥自樣本108之一表面散射之光(例如，表面霧度)，其可被視為粒子偵測應用中之雜訊。就此而言，樣本108之一影像可主要自藉由一或多個粒子(或表面中之其他缺陷)散射之光形成。

【0036】圖2A係根據本發明之一或多項實施例之回應於傾斜入射之p偏振光之表面散射(例如，表面霧度)之一光瞳平面散射圖202。圖2B係根據本發明之一或多項實施例之回應於傾斜入射之p偏振光之藉由一小粒子(例如，相對於粒子偵測系統100之一成像解析度或照明光束104之一波長較小)散射之光之一光瞳平面散射圖204。

【0037】特定言之，散射圖202、204包含藉由陰影指示之電場強度，其中白色作為最高強度且黑色作為最低強度。此外，散射圖202、204包含依據藉由上覆橢圓指示之光瞳平面124中之收集角(例如，散射角)變化之光之偏振定向。散射圖202、204藉由光瞳平面124中之一收集區域206定界，該收集區域206與藉由粒子偵測系統100收集樣本光112之角度範圍相關聯。例如，收集區域206可對應於物鏡114之數值孔徑(NA)。

【0038】散射圖202、204係基於圖1中繪示之粒子偵測系統100之一組態。因此，鏡面反射角208沿著照明方向210定位於收集區域206外側(例如，在圖2A中之圓形收集區域206之右側上之收集區域206外側)。

【0039】另外，散射圖202、204可表示來自許多各種材料(包含但不限於矽、磊晶及多晶矽晶圓)之散射。然而，應理解，散射圖202、204僅出於繪示性目的而提供，且不應被解釋為限制本發明。

【0040】如在圖2A及圖2B中繪示，藉由一粒子散射之光之電場分佈(例如，電場強度及偏振定向)可實質上不同於藉由一表面散射之光之電場分佈，尤其在照明光束104經p偏振時。例如，與表面霧度相關聯之樣本光112大體展現相對於如圖2A中繪示之收集區域206中之鏡面反射角208之一近似徑向偏振分佈。相比而言，與粒子散射相關聯之樣本光112大體展現相對於如圖2B中繪示之表面法線之一近似徑向偏振分佈。此外，散

射樣本光112之偏振為大體橢圓形的。如自圖2A及圖2B可見，在光瞳平面124中之大多數位置處，橢圓形係非常長形的，意味著一個線性偏振分量遠強於另一分量。針對自一小粒子(例如，圖2B)散射之樣本光112，偏振可在光瞳中心附近更橢圓，意味著兩個線性偏振分量可在量值上大致相當。然而，光瞳之此區中之光之強度係相對低的且幾乎不促成來自一小粒子之總散射信號。

【0041】 在一項實施例中，粒子偵測系統100包含定位於光瞳平面124處或附近以優先排斥表面霧度之一偏振器。在一般意義上，定位於光瞳平面124處或附近之一偏振器可經設計以提供對應於光之任何已知、經量測、經模擬或以其他方式預期之偏振之空間上變化之偏振濾波。在本發明之背景內容中，定位於光瞳平面124處或附近之一偏振器可基於光瞳平面124中之一已知電場分佈優先過濾表面霧度。因此，在一些實施例中，粒子偵測系統100包含定位於光瞳平面124處或附近以優先排斥圖2A中繪示之近似徑向偏振表面之一徑向霧度排斥偏振器。

【0042】 現參考圖3A及圖3B，更詳細描述一徑向霧度排斥偏振器302之各種實施例。圖3A係根據本發明之一或多項實施例之一連續霧度排斥偏振器302之一俯視圖。圖3B係根據本發明之一或多項實施例之一分段霧度排斥偏振器302之一俯視圖。

【0043】 在一項實施例中，一徑向霧度排斥偏振器302具有相對於一頂點306徑向定向之一空間上變化之排斥方向304及相切於頂點306定向之一對應空間上變化之通過方向308。因此，針對光瞳平面124中之任何特定點，徑向霧度排斥偏振器302可排斥(例如，吸收或反射)相對於頂點306徑向偏振之樣本光112且使相切於頂點306 (例如，正交於徑向排斥方

向304)偏振之樣本光112通過。

【0044】 頂點306可對應於霧度排斥偏振器302之平面中之任何點。例如，頂點306可定位於如圖3A及圖3B中繪示之霧度排斥偏振器302上。藉由另一實例，雖然未展示，但頂點306可對應於霧度排斥偏振器302之邊界310外側之一點。

【0045】 在另一實施例中，霧度排斥偏振器302在光瞳平面124中對準，使得頂點306與鏡面反射角208 (例如，對應於來自樣本108之鏡面反射之角之光瞳平面124中之一參考位置)重合。

【0046】 一徑向霧度排斥偏振器302可使用此項技術中已知之任何技術製造以達成徑向偏振排斥。例如，如在圖3A中繪示，霧度排斥偏振器302可經形成以具有一連續變化之偏振排斥角。就此而言，圖3A中繪示之霧度排斥偏振器302可作為一連續霧度排斥偏振器302操作。

【0047】 藉由另一實例，如在圖3B中繪示，霧度排斥偏振器302可自跨光瞳平面124分佈之任何數目個楔形區段312形成，其中各區段312係一線性偏振器。例如，各區段312之排斥方向304可經定向以近似於圖3A中之連續徑向霧度排斥偏振器302。一分段霧度排斥偏振器302可具有經配置以覆蓋選定角度範圍(諸如但不限於每5°、每10°或每15°)之任何數目個線性偏振器。

【0048】 一霧度排斥偏振器302可自適用於過濾照明光束104之此項技術中已知之任何材料形成。例如，歸因於藉由小粒子之更短波長之相對強之散射，UV波長可尤其有助於偵測小粒子。因此，霧度排斥偏振器302可自在短波長下具有高透射之一材料(諸如但不限於氧化鋁、石英、熔融矽石、氟化鈣或氟化鎂)製造。

【0049】圖4A及圖4B分別係根據本發明之一或多項實施例之覆蓋於圖2A及圖2B之散射圖上之霧度排斥偏振器302之概念圖。如藉由圖4A繪示，光瞳平面124中之表面霧度之偏振跨光瞳平面124大體徑向於霧度排斥偏振器302之頂點306，使得霧度排斥偏振器302實質上排斥表面霧度。相比而言，圖4B繪示粒子散射之偏振在跨光瞳平面124之許多位置處至少部分相切於頂點306，使得霧度排斥偏振器302通過粒子散射之一大部分。

【0050】本文中進一步辨識，雖然霧度排斥偏振器302可不通過藉由小粒子散射之光之全部，但霧度排斥偏振器302可提供排斥非所需表面霧度與通過所需粒子散射之間一良好平衡以提供一高信雜比，此可促進敏感粒子偵測。此外，藉由針對廣泛散射角範圍使至少一些光通過，使用如本文描述之霧度排斥偏振器302之基於偏振之光瞳平面濾波可具有對系統PSF之一有限影響，此與基於孔隙之濾波技術形成對比。特定言之，系統PSF藉由一傅里葉變換運算與光瞳平面124中之光之電場分佈大體相關，使得阻擋光瞳平面之大部分(例如，使用一孔隙)可擴寬系統PSF且劣化總效能。

【0051】現參考圖5至圖8B，本文中更詳細描述用於藉由子解析度粒子塑形或收緊與p偏振光之散射相關聯之PSF之相位遮罩。

【0052】圖5包含根據本發明之一或多項實施例之藉由一子解析度粒子之p偏振光之一電場分佈502及子解析度粒子之一對應影像504。如本文之前描述，小於一系統之一成像解析度之一粒子之影像大體受系統PSF限制，該PSF在影像自鏡面反射光形成時通常為一艾瑞(Airy)函數。然而，與一粒子(例如，一粒子PSF)及因此粒子之實際影像相關聯之實際

PSF與來自光瞳平面124中之一粒子之光之特定電場分佈相關且可具有不同於系統PSF之一大小或形狀，尤其在影像自散射光形成時。

【0053】 如藉由圖5繪示，基於p偏振散射光之一粒子之影像504係環形的而非一艾瑞函數，此至少部分係與光瞳平面124中之光之特定偏振分佈相關聯之干涉圖案的結果。特定言之，與圖5中之電場分佈502相關聯之影像504之一中心點506處之相消干涉導致中心點506處之減小強度及強度之一徑向向外偏移。因此，與一粒子之一影像相關聯之信號強度及因此信雜比受負面影響。

【0054】 在一些實施例中，粒子偵測系統100包含定位於光瞳平面124處或附近之一相位遮罩以重塑藉由子解析度粒子散射之p偏振光之PSF。相位遮罩可包含任何數目個組件以基於光瞳平面124中之位置修改光之相位。

【0055】 例如，相位遮罩可包含或可經特徵化為具有跨光瞳平面124分佈之兩個或兩個以上區段，使得各區段調整光瞳平面124之一不同區中之光之相位。各區段可接著包含此項技術中已知之任何類型之光學組件，包含但不限於一相位板(例如，雙折射板或類似者)、一補償板(例如，一光學均質板)或一孔隙。例如，一相位板可包含自一單軸晶體截片形成之一波板，該波板具有垂直於通過晶體之傳播方向定向之光軸及任何選定厚度以提供正交偏振分量之間的任何選定相位延遲(例如，半波板之一 π 相移、四分之一波板之 $\pi/2$ 相移或類似者)。

【0056】 圖6A包含根據本發明之一或多項實施例之具有將光瞳劃分為四個區(例如，象限)之四個區段之一相位遮罩602之一概念俯視圖、與藉由一子解析度粒子散射之p偏振光相關聯之電場分佈502、基於相位遮

罩602之一經修改電場分佈604及粒子之對應重塑影像606。特定言之，粒子之重塑影像606包含一強中心瓣608，此與不使用相位遮罩602產生之圖5中之影像504之中心點506中之弱信號形成對比。

【0057】 在一項實施例中，相位遮罩602包含經塑形且配置為在垂直方向上具有各自光軸之兩個重疊半波板。就此而言，各半波板可基於光軸之定向旋轉光瞳平面124之各自區內之光之偏振。例如，如在圖6A中繪示，相位遮罩602可包含：一區段610，其自一半波板形成，該半波板具有沿著一Y方向之一光軸(例如，垂直於照明光束104之入射平面)以相對於正交偏振對沿著X方向偏振之光引入一相移 π (表示為 $e^{i\pi}E_x$)；及一區段612，其自一半波板形成，該半波板具有沿著一X方向之一光軸(例如，平行於照明光束104之入射平面)以相對於正交偏振對沿著y方向偏振之光引入一相移 π (表示為 $e^{i\pi}E_y$)。此外，相位遮罩602可包含自兩個重疊波板形成之一區段614，一個重疊波板經定向以對沿著X方向偏振之光引入一相移 π 及一個重疊波板經定向以對沿著Y方向偏振之光引入一相移 π ，其中組合效應表示為 $e^{i\pi}E_{x,y}$ 。

【0058】 相位遮罩602亦可包含不旋轉光之偏振之一區段616。例如，區段616可包含一補償板，該補償板沿著傳播方向自一光學均質材料形成，使得通過區段616之光沿著與光瞳平面124之其他象限中之光相同(或實質上相同)之光學路徑長度傳播。在一項實施例中，補償板自具有與光瞳平面124之其他象限之任一者中之一半波板大致相同之厚度及折射率之一材料形成，但不具有沿著傳播方向之雙折射。在另一實施例中，補償板自與半波板相同之材料形成，但沿著一不同軸切割，使得傳播通過補償板之光不經歷雙折射。例如，沿著一單軸晶體之光軸傳播之光可不經歷雙

折射，使得晶體可針對沿著光軸傳播之光係光學均質的。藉由另一實例，區段616可包含一孔隙。

【0059】 此外，在一些實施例中，一相位遮罩602可自光瞳平面124傾斜以至少部分補償區段616與其他區段(例如，區段602至606)之間的光學路徑長度差。

【0060】 一分段相位遮罩602可使用此項技術中已知之任何技術形成。在一項實施例中，各種區段(例如，圖6A之區段602至608)形成為其中各種區段被放置於一單一平面中之一單一組件。

【0061】 在另一實施例中，各種區段自多個堆疊組件形成，使得穿過堆疊組件之組合路徑提供所需PSF重塑。此外，堆疊組件可定位於相同或不同光瞳平面124中。例如，粒子偵測系統100可包含一或多個中繼光學器件以提供多個共軛光瞳平面。就此而言，與相位遮罩602相關聯之各種組件可分佈於多個共軛光瞳平面之間。藉由另一實例，情況可為相位遮罩602之組件可經製造為具有幾毫米或更小之一厚度。因此，可能可在一單一光瞳平面124附近將多個組件放置為靠近在一起。即使一或多個組件可自光瞳平面124稍微位移(例如，達幾mm)，然而其等仍可操作以在重塑影像606中產生一強中心瓣608。

【0062】 在一項實施例中，圖6A中繪示之相位遮罩602自切割成相對於彼此旋轉之兩個部分(例如，兩個半體半波板)之一半波板形成。例如，一半波板可沿著光軸切割，其中一第一部分經定向為具有沿著Y方向之光軸(例如，以覆蓋圖6A中之收集區域206之左半體)且一第二部分經定向為具有沿著X方向之光軸(例如，以覆蓋圖6A中之收集區域206之上半體)。因此，區段614可自具有相交光軸之半波板之兩個重疊部分形成。

【0063】此外，由於來自小粒子之散射樣本光112之偏振之定向相對於光瞳之中心實質上對稱定向(例如，如在圖2B中繪示)，但相位遮罩602可使用波板之不同放置以各種方式組態以達成包含一強中心瓣608之粒子之重塑影像606。例如，在圖6A中之收集區域206之頂部部分中描繪之半波板可替代地被放置於收集區域206之底部部分中。類似地，在圖6A中之收集區域206之左側部分中描繪之半波板可替代地被放置於收集區域206之右側部分中。

【0064】然而，應理解圖6A及相關聯描述僅出於繪示性目的提供，且不應被解釋為係限制性的。實情係，相位遮罩602可包含任何數目個區段，其等自跨光瞳平面124之任何圖案之材料之任何組合散佈式形成以重塑自一粒子散射之光之PSF。例如，給定與一受關注物件相關聯之光瞳平面124中之光之一已知電場分佈(例如，經量測、經模擬或類似者)的情況下，如本文描述之一分段相位遮罩602可經形成以選擇性調整光瞳平面124中之光之各種區之相位以重塑受關注物件之一影像之PSF。特定言之，可選擇相位遮罩602之各種區段以促進一偵測器120處之相長干涉以提供接近系統PSF之一緊密PSF (例如，在一選定容限內)。

【0065】圖6B係根據本發明之一或多項實施例之包含將光瞳劃分為兩個區段(例如，半體)之兩個區段之一相位遮罩602之一概念俯視圖。例如，如在圖6B中繪示，相位遮罩602可包含一區段618，該區段618自具有沿著一X方向之一光軸之一半波板形成以相對於正交偏振對沿著Y方向偏振之光引入一相移 π (表示為 $e^{i\pi}E_y$)。此外，相位遮罩602可包含不旋轉光之偏振之一區段620。例如，區段620可包含上文關於圖6A描述之一補償板。藉由另一實例，區段620可包含一孔隙。此外，如本文之前描述，

相位遮罩602可自光瞳平面124傾斜以至少部分補償區段618與區段620之間的光學路徑長度差。

【0066】 然而，應理解，圖6B及相關聯描述僅出於繪示性目的而提供，且不應被解釋為係限制性的。例如，具有兩個區段之一相位遮罩602可包含被放置於收集區域206之底部部分中而非如圖6A中繪示之頂部部分中之一半波板。

【0067】 本文進一步辨識，相位遮罩602之設計可表示基於與受關注粒子相關聯之一已知電場分佈之一「理想」相位遮罩(例如，如在圖2A中繪示，或類似者)與實際設計及/或製造考慮之間的一取捨。例如，情況可為一理想或以其他方式合意之相位遮罩602係不合理地昂貴或難以製造。然而，情況可為相位遮罩602之特定設計可滿足製造及效能規格兩者(例如，具有一選定形狀之一粒子PSF，或類似者)。因此，圖6A及圖6B中繪示之相位遮罩602之設計可表示提供效能與可製造性之間的不同取捨之兩個非限制性實例。

【0068】 例如，圖6B中展示之相位遮罩602之設計與一霧度排斥偏振器302 (諸如圖3A及3B中繪示之一者)組合可係有用的。如自圖4A及圖4B可瞭解，自表面(例如，表面霧度)且自粒子散射之樣本光112之偏振方向在光瞳之左側中係近似平行的。經組態以實質上阻擋霧度之一霧度排斥偏振器302因此亦可阻擋藉由一小粒子散射之光之一大分率進入光瞳之左側。由於光瞳之左側中之樣本光112之此相對低強度，情況可為藉由圖6A中展示之相位遮罩602之相對更複雜之設計提供之光瞳之左側中之相位校正可對藉由一小粒子散射之樣本光112之PSF提供相對小之影響。因此，在一些應用中，圖6B中展示之相位遮罩602可提供效能與可製造性及/或成本考

慮之間的一適當平衡。

【0069】 現參考圖7A及圖7B，描述繪示使用一相位遮罩602之PSF重塑之實驗量測。圖7A包含根據本發明之一或多項實施例之未使用相位遮罩602取得之具有亞40 nm矽石粒子之一矽晶圓之一影像702、包含粒子之一者之一展開影像704之一插圖及繪示展開影像704之一橫截面之一標繪圖706。圖7B包含根據本發明之一或多項實施例之使用一相位遮罩602取得之圖7A中展示之具有亞40 nm矽石粒子之矽晶圓之一影像708、包含粒子之一者之一展開影像710之一插圖及繪示展開影像710之一橫截面之一標繪圖712。特定言之，相位遮罩602包含實質上根據圖6A中繪示之組態配置之兩個半波板。

【0070】 如在圖7A及7B中繪示，未使用如本文描述之相位遮罩602產生之一粒子之影像具有一環形形狀，其在中心具有一強度下降。然而，併入如本文描述之相位遮罩602收緊PSF，使得一粒子之一影像具有一中心峰值及圍繞中心峰值之強度之一更緊密分佈。

【0071】 在一些實施例中，霧度排斥偏振器302及相位遮罩602可經組合以提供增強之粒子偵測敏感度。因此，粒子偵測系統100可包含定位於一或多個共軛光瞳平面中之霧度排斥偏振器302及相位遮罩602兩者。

【0072】 圖8A包含根據本發明之一或多項實施例之未使用霧度排斥偏振器302或相位遮罩602取得之具有亞40 nm矽石粒子之一矽晶圓之一影像802，及繪示粒子之一橫截面之一標繪圖804。圖8B包含根據本發明之一或多項實施例之使用一霧度排斥偏振器302及一相位遮罩602兩者取得之圖8A中展示之具有亞40 nm矽石粒子之矽晶圓之一影像806，及繪示粒子之一橫截面之一標繪圖808。特定言之，用於產生影像806之相位遮罩

602實質上根據圖6B中繪示之組態配置。

【0073】 如在圖8A及圖8B中繪示，用於選擇性排斥表面霧度之霧度排斥偏振器302與重塑藉由粒子散射之光之PSF之相位遮罩602之組合提供與粒子相關聯之影像中之尖峰值及相對於表面之粒子之一高信雜比。

【0074】 圖9係繪示根據本發明之一或多項實施例之在用於粒子偵測之一方法900中執行之步驟之一流程圖。申請人提及，本文中先前在粒子偵測系統100之背景內容中描述之實施例及實現技術應被解釋為擴展至方法900。然而，進一步應注意，方法900不限於粒子偵測系統100之架構。

【0075】 在一項實施例中，方法900包含使用一p偏振照明光束沿著一照明方向按一傾斜角照明一樣本之一步驟902。在另一實施例中，方法900包含使用一或多個收集光學器件在一暗場模式中回應於該照明光束自樣本收集光之一步驟904。在另一實施例中，方法900包含透過定位於一或多個收集光學器件之一光瞳平面處之一連續偏振器傳播來自樣本之光(例如，經由收集光學器件)之一步驟906，其中連續偏振器經組態以排斥相對於對應於來自樣本之照明光束之鏡面反射(例如，一鏡面反射角)之光瞳平面中之一參考點具有徑向偏振之光。在另一實施例中，方法900包含透過一相位遮罩傳播來自樣本之光之一步驟908，該相位遮罩經定位於光瞳平面處，該相位遮罩經組態以在光瞳平面之一收集區域之兩個或兩個以上區中提供光之不同相移以重塑自樣本上之一或多個粒子散射之光之一點散佈函數，其中收集區域對應於一或多個收集光學器件之一數值孔徑。在另一實施例中，方法900包含回應於照明基於傳播通過連續偏振器及相位遮罩之光產生樣本之一暗場影像之一步驟910。

【0076】 在本文中描述之標的物有時繪示包含於其他組件內或與其他組件連接之不同組件。應理解，此等所描繪之架構僅為例示性的，且事實上可實施達成相同功能性之諸多其他架構。在一概念意義上，達成相同功能性之組件之任何配置經有效「相關聯」，使得達成所要功能性。因此，本文中經組合以達成一特定功能性之任何兩個組件可被視為彼此「相關聯」，使得達成所要功能性，而與架構或中間組件無關。同樣地，如此相關聯之任何兩個組件亦可被視為彼此「連接」或「耦合」以達成所要功能性，且能夠如此相關聯之任何兩個組件亦可被視為彼此「可耦合」以達成所要功能性。可耦合之特定實例包含但不限於可實體互動及/或實體互動之組件、及/或可無線互動及/或無線互動之組件，及/或可邏輯互動及/或邏輯互動之組件。

【0077】 據信，藉由前文描述將理解本發明及本發明之許多伴隨優點，且將明白，可在不背離所揭示標的或不犧牲全部其重大優點之情況下對組件之形式、構造及配置進行各種改變。所描述之形式僅為說明性的，且以下發明申請專利範圍意欲涵蓋且包含此等改變。此外，應瞭解，本發明係由隨附發明申請專利範圍定義。

【符號說明】

【0078】

- 100 粒子偵測系統
- 102 照明源
- 104 照明光束
- 106 照明路徑
- 108 樣本

110	收集路徑
112	樣本光
114	物鏡
116	透鏡
118	照明光束調節組件
120	偵測器
122	光束調節元件
124	光瞳平面
126	透鏡
128	透鏡
130	控制器
132	處理器
134	記憶體媒體
202	光瞳平面散射圖
204	光瞳平面散射圖
206	收集區域
208	鏡面反射角
210	照明方向
302	霧度排斥偏振器
304	排斥方向
306	頂點
308	通過方向
310	邊界

502	電場分佈
504	影像
506	中心點
602	相位遮罩
604	經修改電場分佈
606	重塑影像
608	強中心瓣
610	區段
612	區段
614	區段
616	區段
618	區段
620	區段
702	影像
704	展開影像
706	標繪圖
708	影像
710	展開影像
712	標繪圖
802	影像
804	標繪圖
806	影像
808	標繪圖

900	方法
902	步驟
904	步驟
906	步驟
908	步驟
910	步驟

【發明申請專利範圍】

【第1項】

一種供粒子檢測用之系統，其包括：

一照明源，其經組態以產生一照明光束；

一或多個照明光學器件，其或其等經組態以將該照明光束沿著一照明方向按一離軸角引導至一樣本；

一偵測器；

一或多個收集光學器件，該一或多個收集光學器件經組態以基於回應於該照明光束自該樣本收集之光在該偵測器上產生該樣本之一暗場影像；及

一徑向偏振器，其定位於該一或多個收集光學器件之一光瞳平面處，其中該徑向偏振器經組態以排斥相對於對應於來自該光瞳平面中該樣本之該照明光束之鏡面反射的一位置之該光瞳平面中之一頂點具有徑向偏振之光，其中該徑向偏振器經定向以使藉由該樣本之一表面上之一或多個粒子散射之光通過；

一相位遮罩，其經定位於該一或多個收集光學器件之該光瞳平面處，該相位遮罩經組態以在該光瞳平面之一收集區域(area)之兩個或兩個以上區(region)中提供光之多個不同相移以重塑自該樣本上之一或多個粒子散射之光之一點散佈函數，其中該收集區域對應於該一或多個收集光學器件之一數值孔徑；

其中該收集區域之該兩個或兩個以上區包括：該收集區域之四個四分體，該四個四分體沿著該照明方向及與該照明方向正交之一方向劃分；

其中該相位遮罩包括：

一第一半波板，其覆蓋該收集區域之一第一四分體及與該第一四分體相鄰之該收集區域之一第二四分體，該第一半波板經定向以沿著對應於該樣本上之該照明光束之一入射平面中之一角之該光瞳平面中之一方向提供一 π 延遲；及

一第二半波板，其覆蓋該收集區域之該第二四分體及與該第二四分體相鄰之該收集區域之一第三四分體，該第二半波板經定向以沿著對應於與該入射平面正交之一角之該光瞳平面中之一方向提供一 π 延遲。

【第2項】

如請求項1之系統，其中該照明光束在該樣本處p偏振。

【第3項】

如請求項1之系統，其中該頂點定位於與藉由該一或多個收集光學器件收集之光相關聯之一收集區域(area)外側。

【第4項】

如請求項1之系統，其中該徑向偏振器包括：

一連續偏振器，其具有一連續變化之排斥方向以便排斥相對於該頂點的該具有徑向偏振之光。

【第5項】

如請求項1之系統，其中該徑向偏振器包括：

一分段偏振器，其包含沿著垂直於該照明方向之一方向分佈於該一或多個收集光學器件之該光瞳平面中之複數個區段，其中各區段之一排斥軸經定向以排斥相對於對應於來自該樣本之該照明光束之

鏡面反射之該光瞳平面中之該頂點具有徑向偏振之光。

【第6項】

如請求項5之系統，其中該分段偏振器包括：

一有角度分段偏振器，其中該複數個區段圍繞該光瞳平面中之該頂點徑向分佈。

【第7項】

如請求項1之系統，其中該收集區域之該兩個或兩個以上區包括：

沿著該照明方向劃分之該收集區域之一第一半體及該收集區域之一第二半體。

【第8項】

如請求項7之系統，其中該相位遮罩之一第一區段包括：

一半波板，其覆蓋該收集區域之該第一半體。

【第9項】

如請求項8之系統，其中該半波板經定向以沿著對應於與該樣本上之該照明光束之一入射平面正交之一角之該光瞳平面中之一方向提供一 π 相移。

【第10項】

如請求項8之系統，其中該相位遮罩之一第二區段包括：

一補償器板，其沿著一傳播方向自一光學均質材料形成，該補償器板覆蓋該收集區域之該第二半體，其中通過該補償器之光之一光學路徑在一選定容限內對應於通過該半波板之光之一光學路徑。

【第11項】

如請求項8之系統，其中該相位遮罩之一第二區段包括：

一孔隙，其覆蓋該收集區域之該第二半體。

【第12項】

如請求項11之系統，其中該半波板經傾斜以至少部分補償行進通過該收集區域之該第一半體及該第二半體之光之間的多個光學路徑差。

【第13項】

如請求項1之系統，其中該相位遮罩進一步包括：

一補償器板，其沿著一傳播方向自一光學均質材料形成，該補償器板覆蓋該收集區域之一第四四分體，其中通過該補償器之光之一光學路徑對應於通過該第一半波板或該第二半波板之至少一者之光之一光學路徑。

【第14項】

如請求項1之系統，其中該相位遮罩之一第二區段包括：

一孔隙，其覆蓋該收集區域之一第四四分體。

【第15項】

如請求項1之系統，其中該第一半波板或該第二半波板之至少一者經傾斜以至少部分補償行進通過該收集區域之該四個四分體之光之間的光學路徑差。

【第16項】

一種供粒子檢測用之系統，其包括：

一照明源，其經組態以產生一照明光束；

一或多個照明光學器件，該一或多個照明光學器件經組態以將該照明光束沿著一照明方向按一離軸角引導至一樣本；

一偵測器；

一或多個收集光學器件，該一或多個收集光學器件經組態以基於回應於該照明光束自該樣本收集之光在該偵測器上產生該樣本之一暗場影像；及

一相位遮罩，其經定位於該一或多個收集光學器件之一光瞳平面處，該相位遮罩經組態以在該光瞳平面之一收集區域之兩個或兩個以上區中提供多個光之不同相移以重塑自該樣本上之一或多個粒子散射之光之一點散佈函數，其中該收集區域對應於該一或多個收集光學器件之一數值孔徑，其中該相位遮罩包括：

一第一半波板，其覆蓋該收集區域之一第一四分體及與該第一四分體相鄰之該收集區域之一第二四分體，該第一半波板經定向以沿著對應於該樣本上之該照明光束之一入射平面中之一角之該光瞳平面中之一方向提供一 π 延遲；及

一第二半波板，其覆蓋該收集區域之該第二四分體及與該第二四分體相鄰之該收集區域之一第三四分體，該第二半波板經定向以沿著對應於與該入射平面正交之一角之該光瞳平面中之一方向提供一 π 延遲。

【第17項】

如請求項16之系統，其中該照明光束在該樣本處p偏振。

【第18項】

如請求項17之系統，其中該相位遮罩的一第二區段包括：

一孔隙，其覆蓋該收集區域之一第四半體。

【第19項】

如請求項16之系統，其中該收集區域之該兩個或兩個以上區包括：

沿著該照明方向劃分之該收集區域之一第一半體及該收集區域之一第二半體。

【第20項】

如請求項16之系統，其中該第一半波板及該第二半波板之一者之一光軸沿著該照明方向經定向。

【第21項】

如請求項16之系統，其中該第一半波板或該第二半波板之至少一者經傾斜以至少部分補償行進通過該第一半波板及該第二半波板之光之間的多個光學路徑差。

【第22項】

如請求項16之系統，其中該相位遮罩進一步包括：

一補償板，其沿著一傳播方向自一光學均質材料形成，該補償板覆蓋該收集區域之一第四四分體。

【第23項】

一種供粒子檢測用之方法，其包括：

使用一p偏振照明光束沿著一照明方向按一傾斜角照明一樣本；

使用一或多個收集光學器件在一暗場模式中回應於該照明光束自該樣本收集光；

透過定位於該一或多個收集光學器件之一光瞳平面處之一徑向偏振器傳播來自該樣本之該光，其中該徑向偏振器經組態以排斥相對於對應於來自該光瞳平面中該樣本之該照明光束之鏡面反射的一位置之該光瞳平面中之一頂點具有徑向偏振之光；

透過一相位遮罩傳播來自該樣本之該光，該相位遮罩經定位於該

光瞳平面處，該相位遮罩經組態以在該光瞳平面之一收集區域之兩個或兩個以上區中提供光之多個不同相移以重塑自該樣本上之一或多個粒子散射之光之一點散佈函數，其中該收集區域對應於該一或多個收集光學器件之一數值孔徑；及

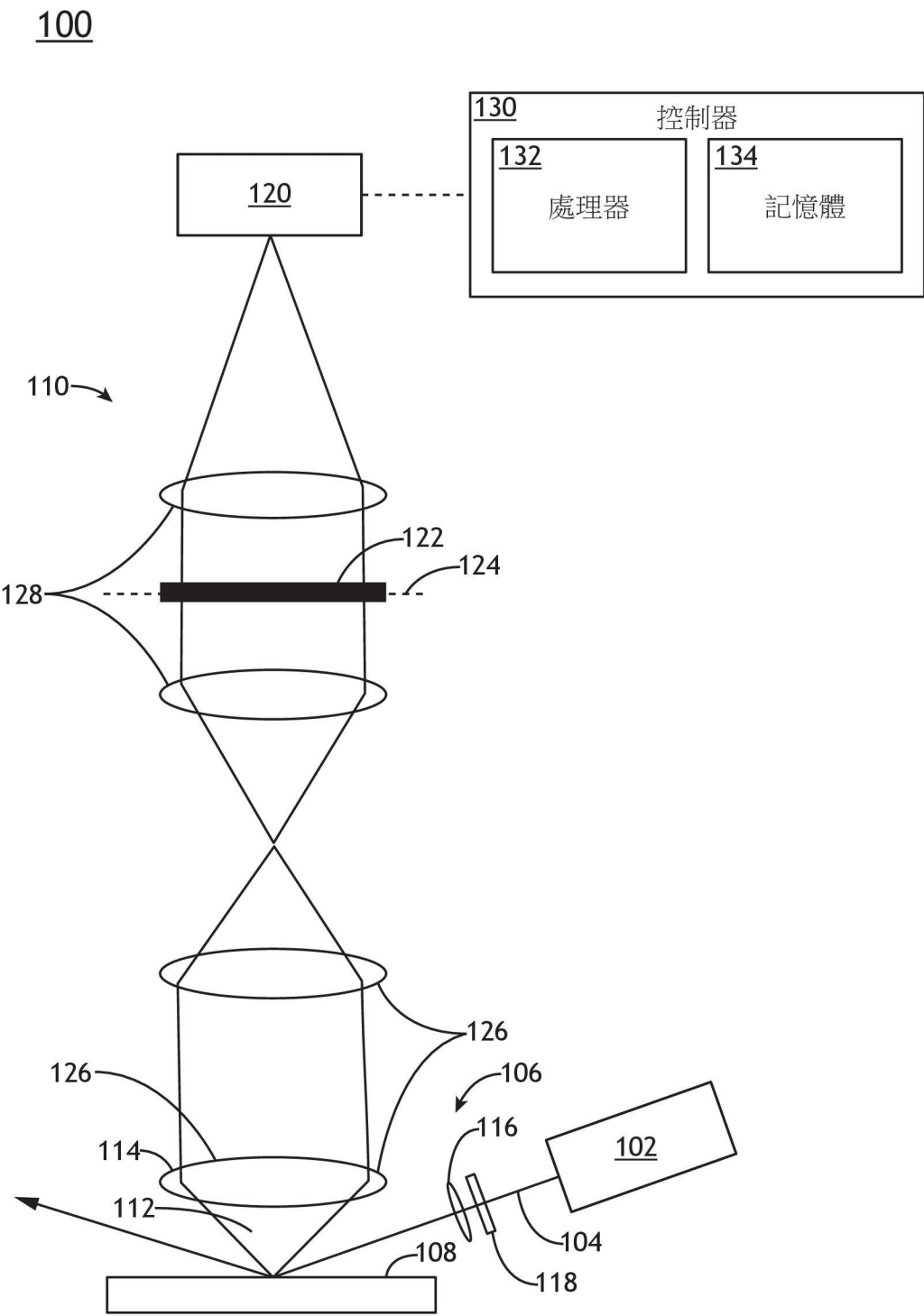
回應於該照明光束基於透過該徑向偏振器及該相位遮罩傳播之光產生該樣本之一暗場影像，其中該樣本之該暗場影像係基於藉由該樣本之一表面上之一或多個粒子散射之光；

其中該相位遮罩包括：

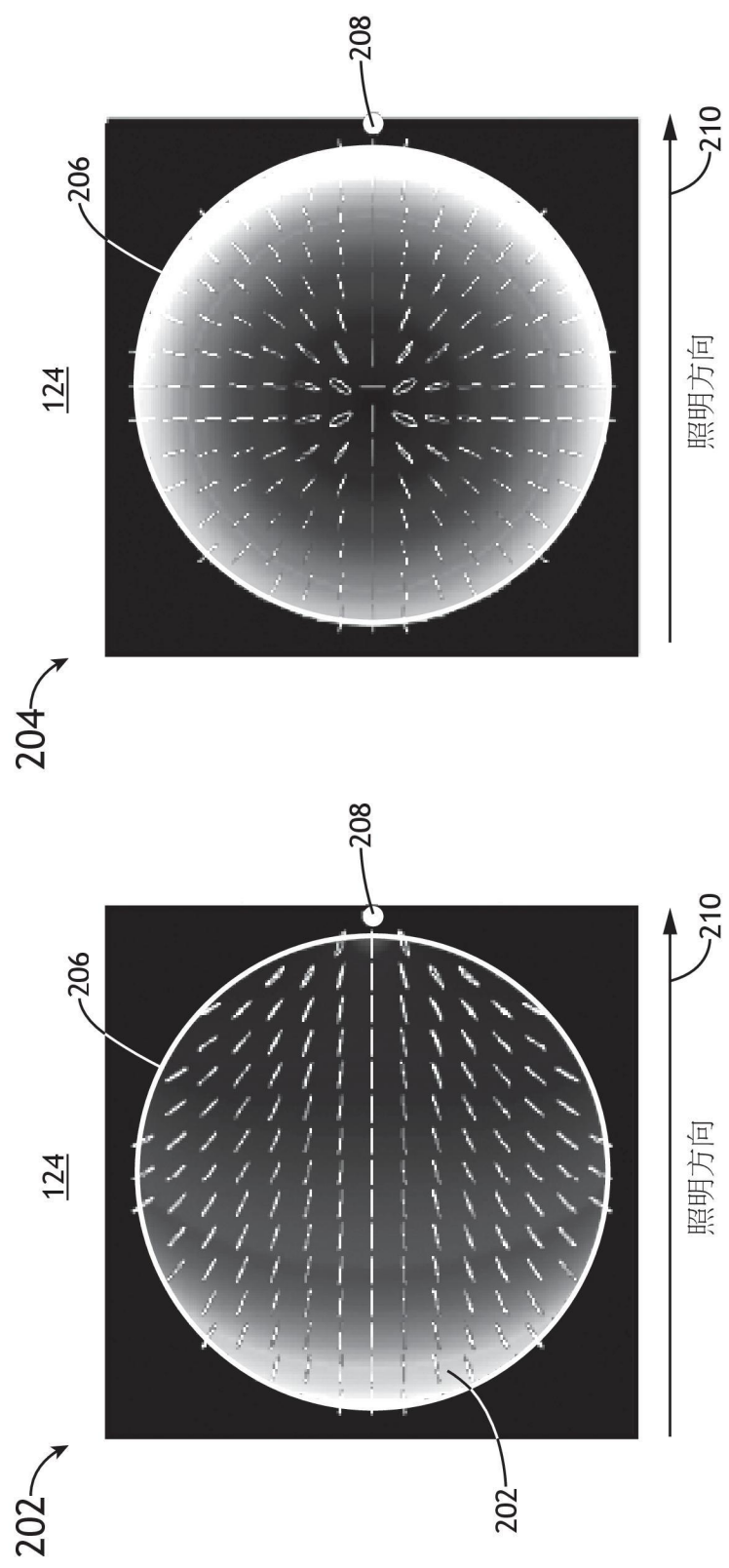
一第一半波板，其覆蓋該收集區域之一第一四分體及與該第一四分體相鄰之該收集區域之一第二四分體，該第一半波板經定向以沿著對應於該樣本上之該照明光束之一入射平面中之一角之該光瞳平面中之一方向提供一 π 延遲；及

一第二半波板，其覆蓋該收集區域之該第二四分體及與該第二四分體相鄰之該收集區域之一第三四分體，該第二半波板經定向以沿著對應於與該入射平面正交之一角之該光瞳平面中之一方向提供一 π 延遲。

【發明圖式】



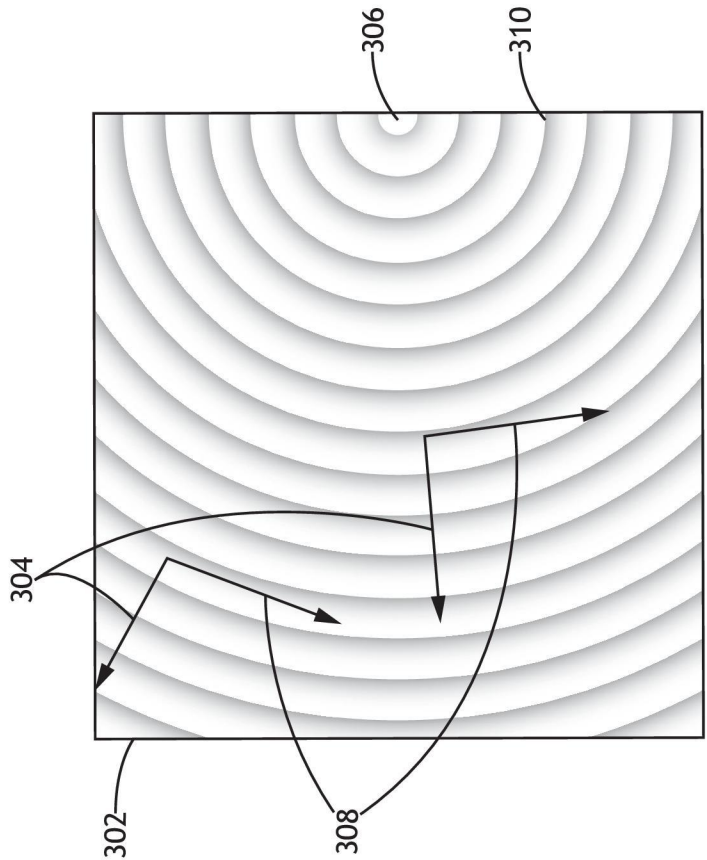
【圖1】



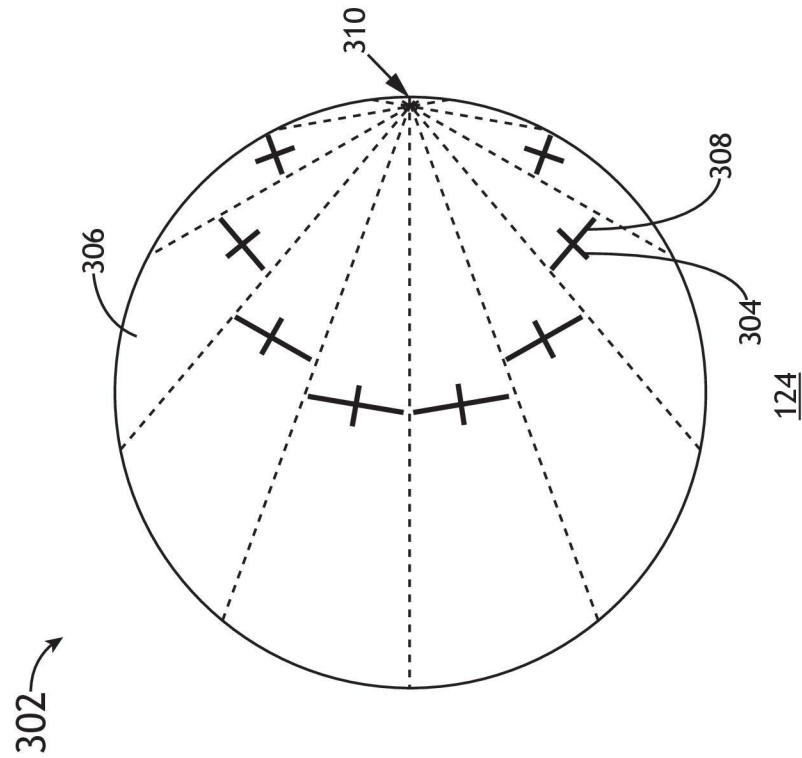
【圖2A】

【圖2B】

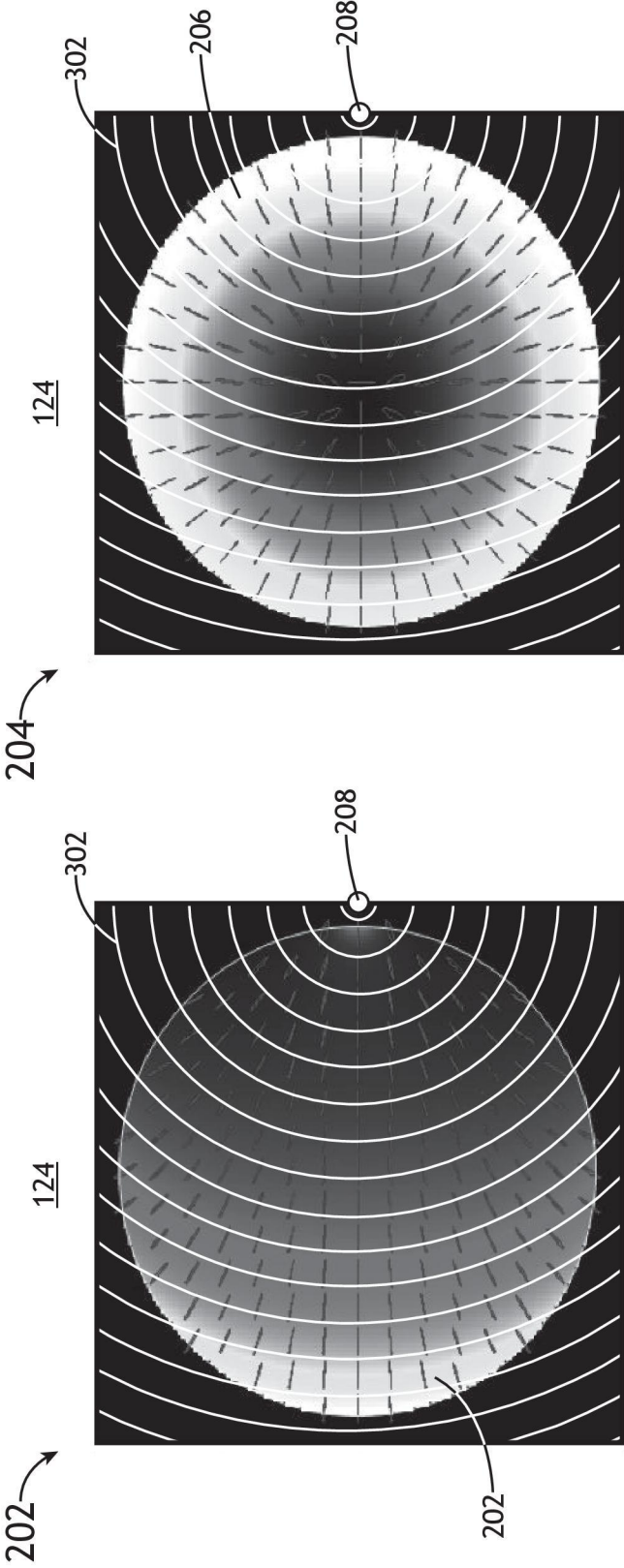
124



【圖3A】

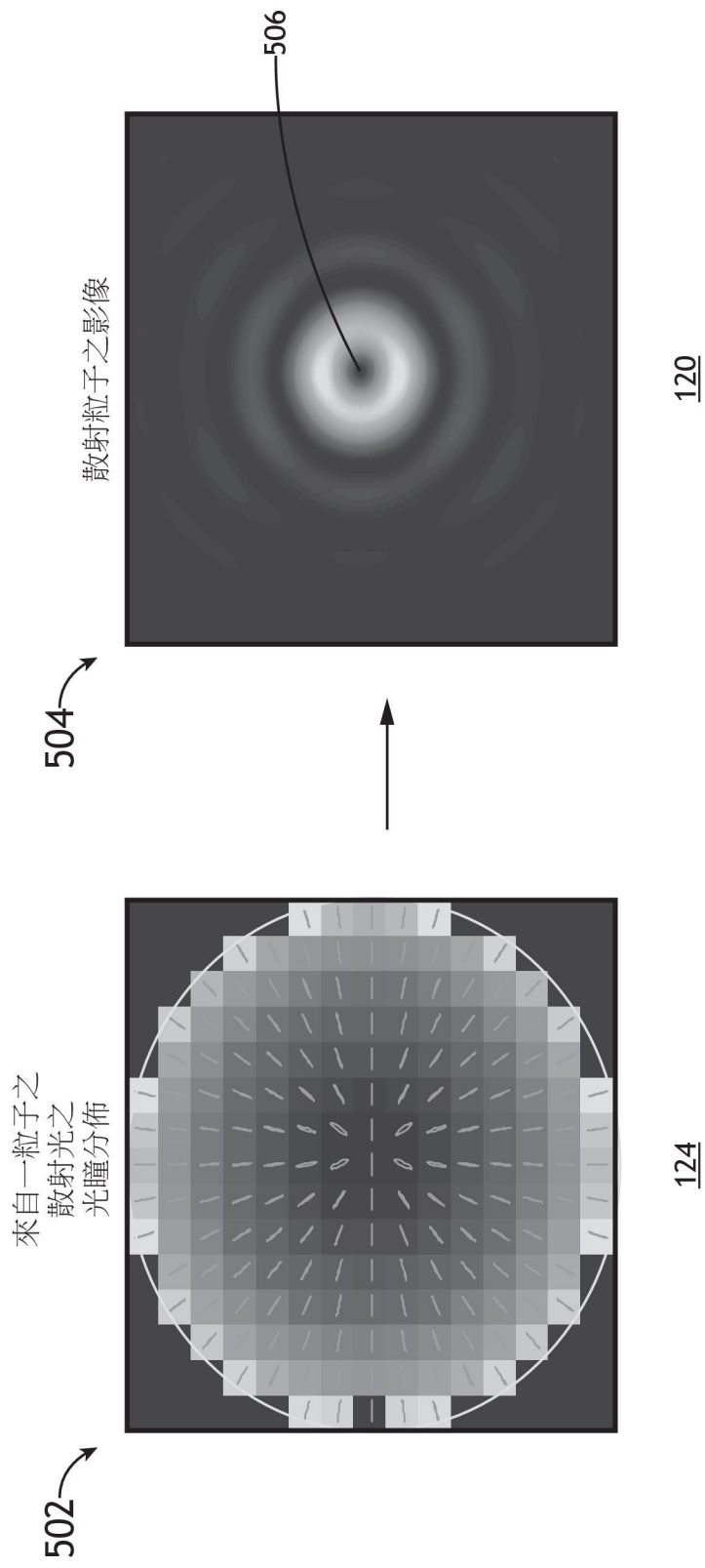


【圖3B】

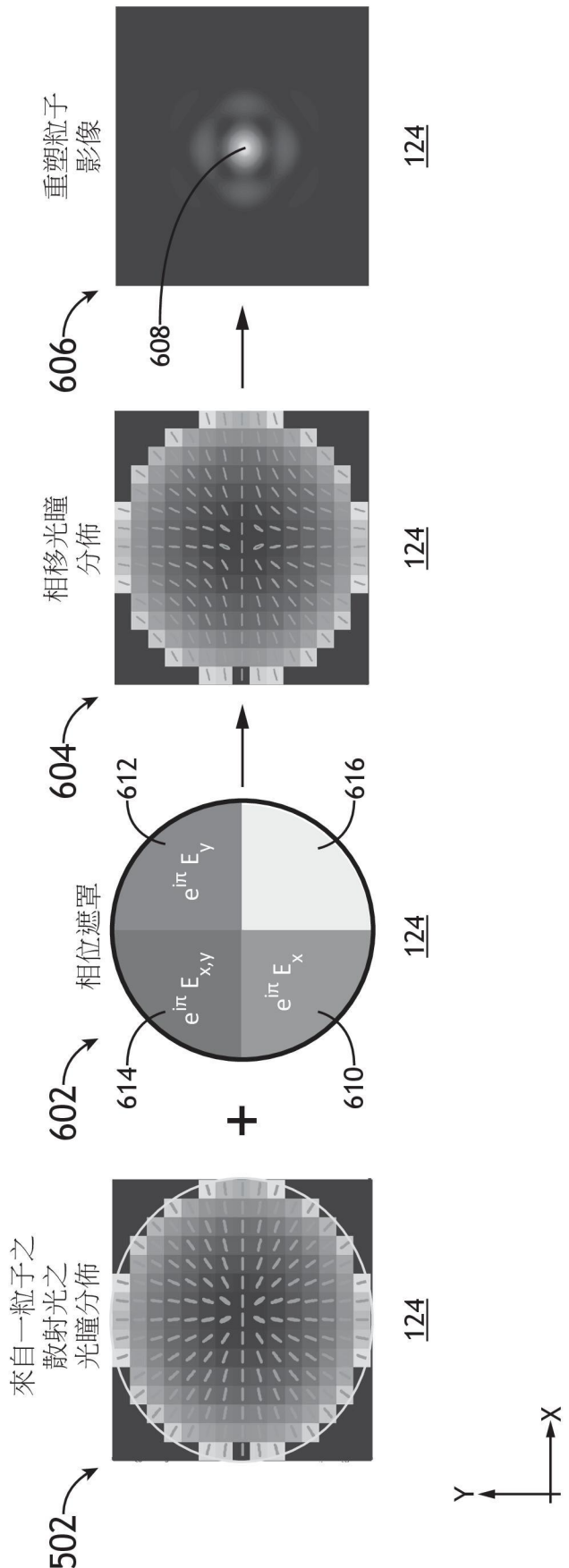


【圖4A】

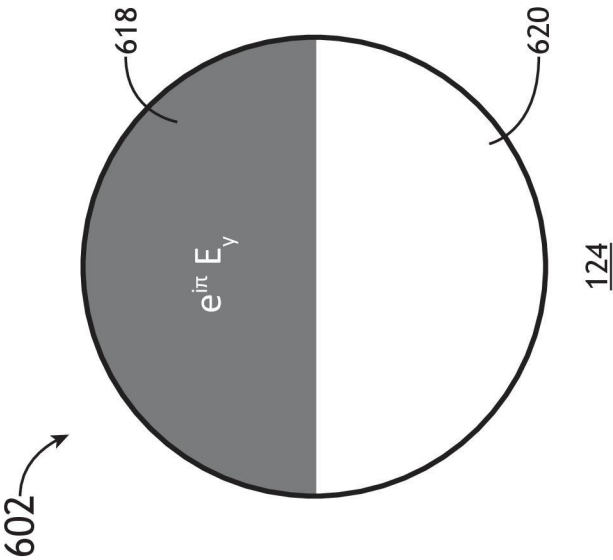
【圖4B】



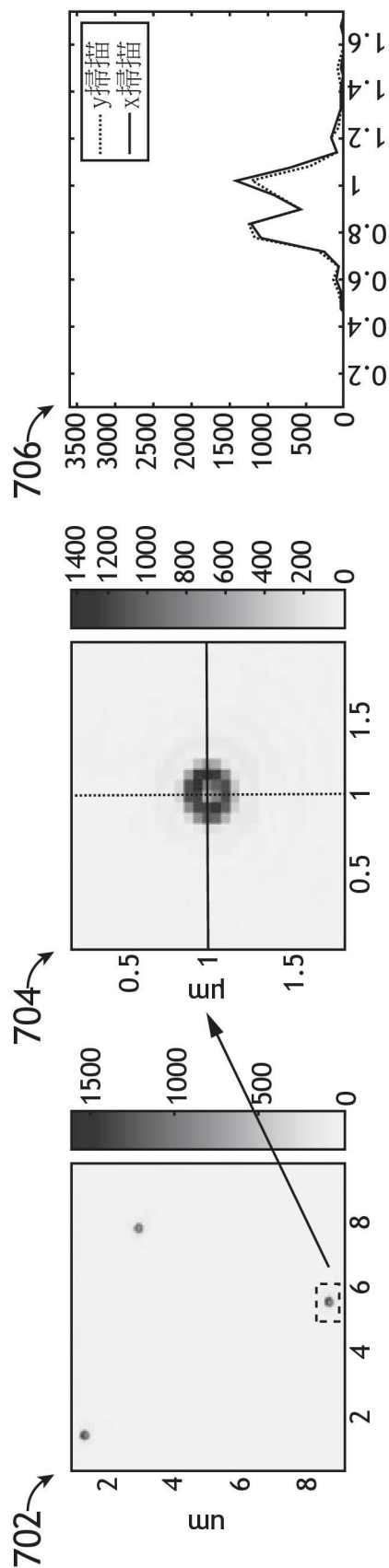
【圖5】



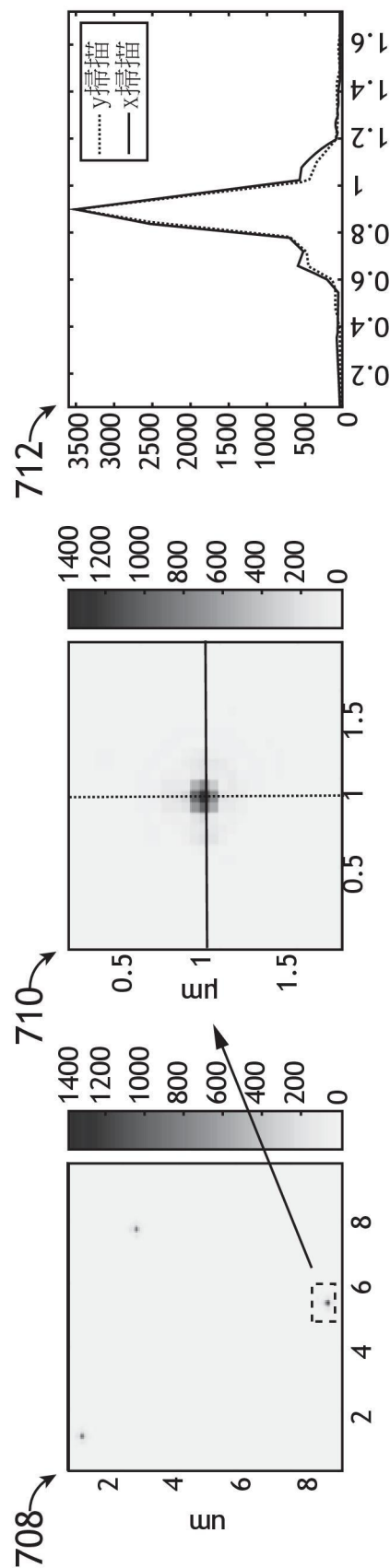
【圖6A】



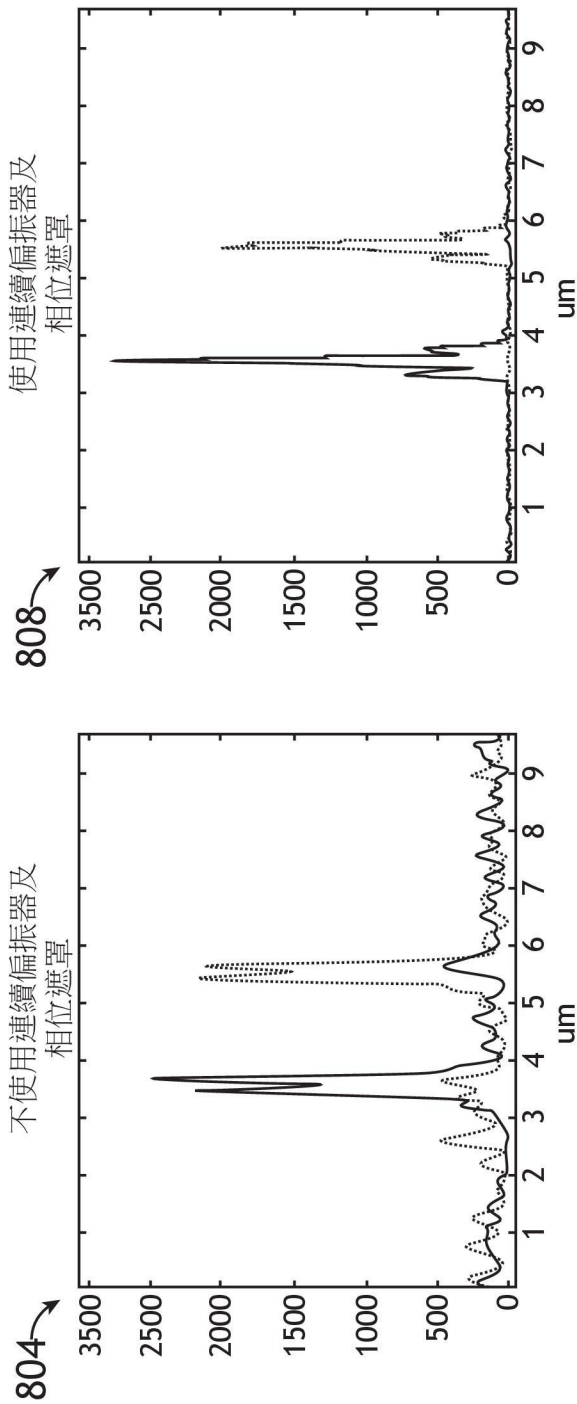
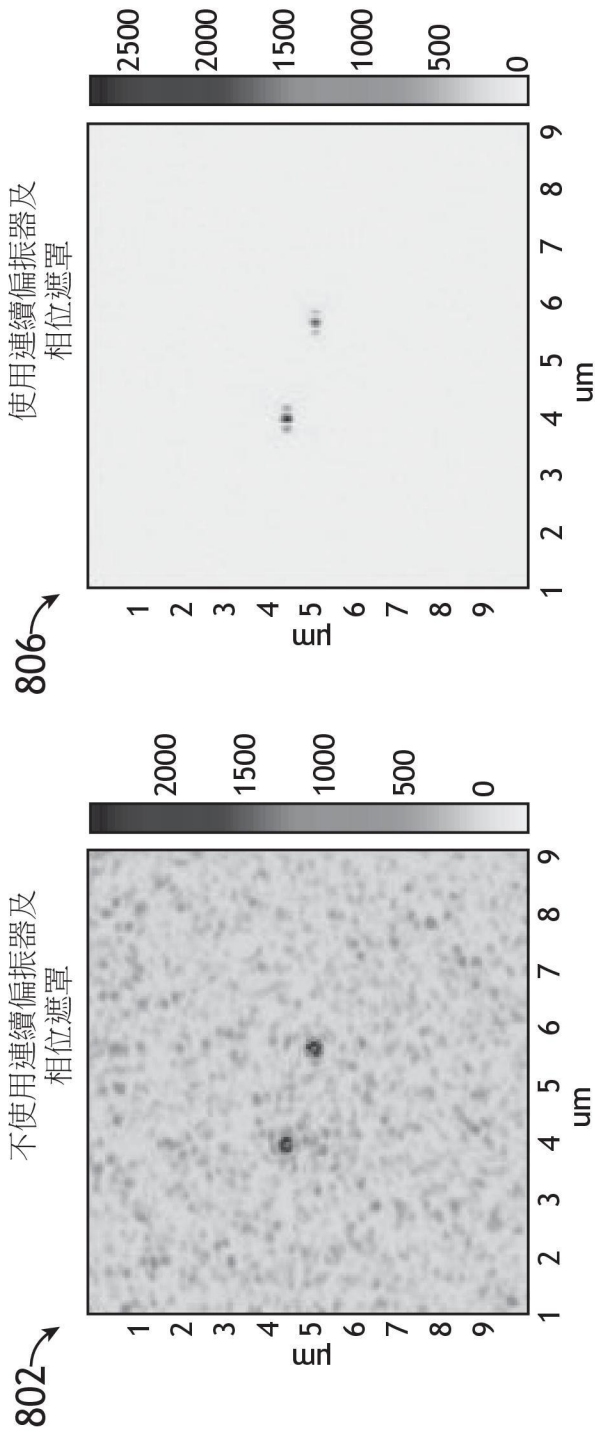
【圖6B】



【圖7A】

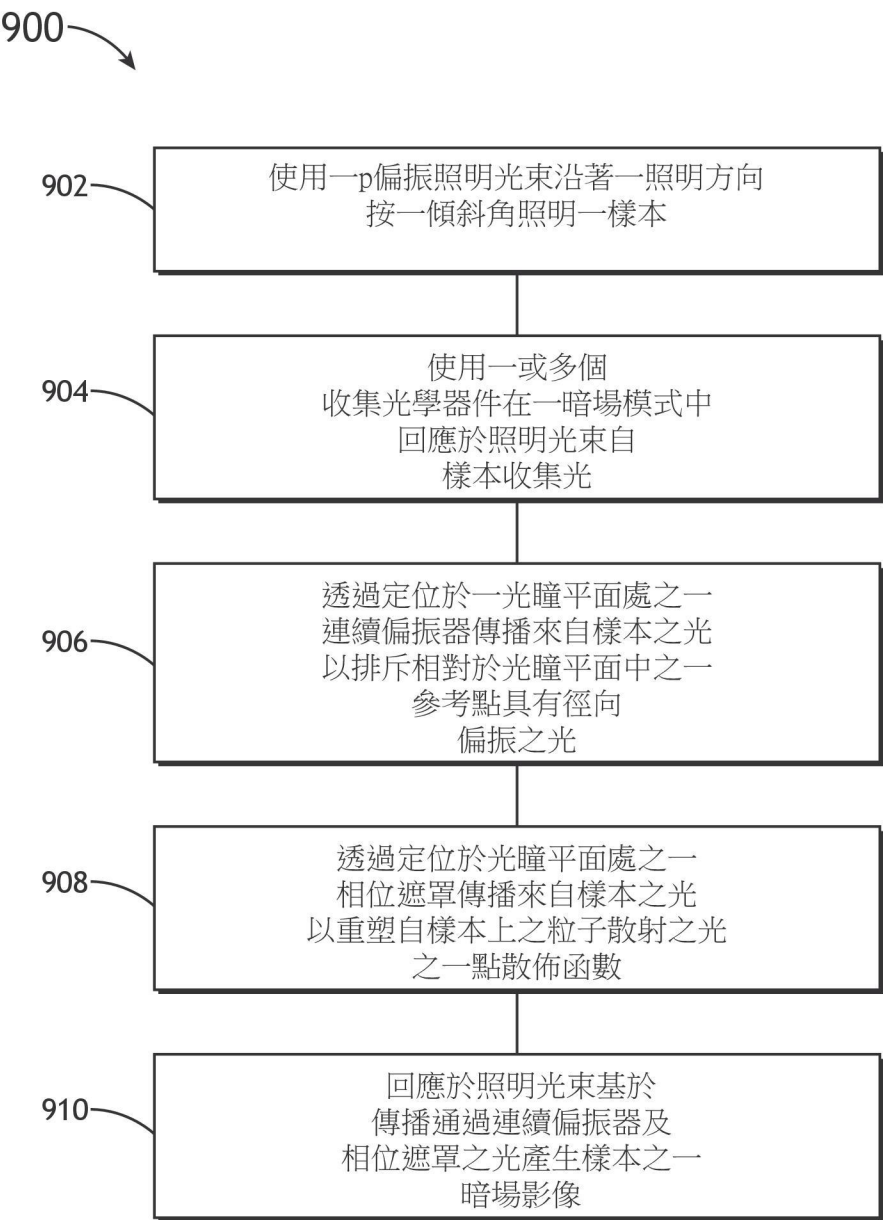


【圖7B】



【圖8B】

【圖8A】



【圖9】