



(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 I805857 B

(45)公告日：中華民國 112 (2023) 年 06 月 21 日

(21)申請案號：108136515 (22)申請日：中華民國 108 (2019) 年 10 月 09 日

(51)Int. Cl. : **G06N3/08 (2006.01)** **G06T7/55 (2017.01)**

(30)優先權：2018/11/02 美國 62/754,880
2019/09/17 美國 16/572,971

(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：庫爾卡尼 拉馬普拉薩德 KULKARNI, RAMAPRASAD (IN)；叢舸 CONG, GE
(US)；方浩任 FANG, HAWREN (TW)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

TW	201732690A	TW	201734955A
TW	201825883A	CN	104715481A

審查人員：陳奕昌

申請專利範圍項數：23 項 圖式數：8 共 55 頁

(54)名稱

用於特性化一樣品之系統及方法

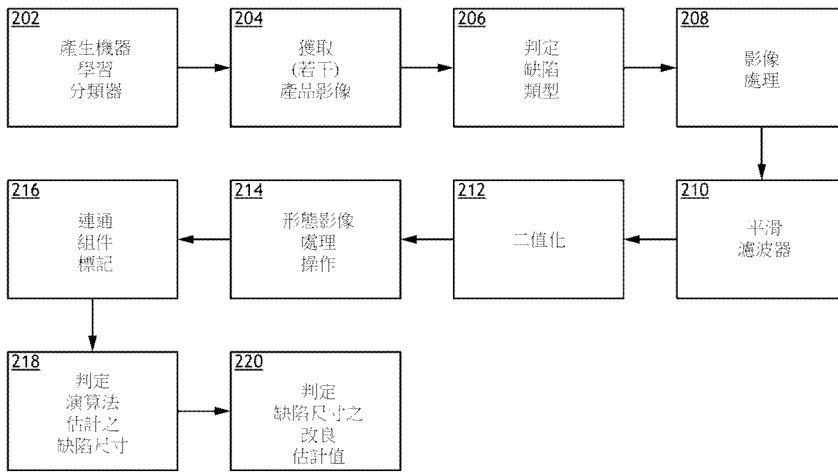
(57)摘要

本發明揭示一種用於特性化一樣品之系統。在一項實施例中，該系統包含一控制器，該控制器經組態以：接收該樣品之一或多個缺陷之訓練影像；基於該等訓練影像產生一機器學習分類器；接收一樣品之一或多個缺陷之產品影像；運用該機器學習分類器判定一或多個缺陷之一或多個缺陷類型分類；運用一或多個平滑濾波器過濾該等產品影像；執行二值化程序以產生二值化產品影像；對該等二值化產品影像執行形態影像處理操作；基於該等二值化產品影像判定該一或多個缺陷之一或多個演算法估計之缺陷尺寸；及基於該一或多個演算法估計之缺陷尺寸及該一或多個缺陷類型分類判定該一或多個缺陷之一或多個缺陷尺寸之一或多個改良估計值。

A system for characterizing a specimen is disclosed. In one embodiment, the system includes a controller configured to: receive training images of one or more defects of the specimen; generate a machine learning classifier based on the training images; receive product images of one or more defects of a specimen; determine one or more defect type classifications of one or more defects with the machine learning classifier; filter the product images with one or more smoothing filters; perform binarization processes to generate binarized product images; perform morphological image processing operations on the binarized product images; determine one or more algorithm-estimated defect sizes of the one or more defects based on the binarized product images; and determine one or more refined estimates of one or more defect sizes of the one or more defects based on the one or more algorithm-estimated defect sizes and the one or more defect type classifications.

指定代表圖：

200



【圖2】

符號簡單說明：

200:流程圖

202:步驟

204:步驟

206:步驟

208:步驟

210:步驟

212:步驟

214:步驟

216:步驟

218:步驟

220:步驟



I805857

【發明摘要】

【中文發明名稱】

用於特性化一樣品之系統及方法

【英文發明名稱】

SYSTEM AND METHOD FOR CHARACTERIZING A SPECIMEN

【中文】

本發明揭示一種用於特性化一樣品之系統。在一項實施例中，該系統包含一控制器，該控制器經組態以：接收該樣品之一或多個缺陷之訓練影像；基於該等訓練影像產生一機器學習分類器；接收一樣品之一或多個缺陷之產品影像；運用該機器學習分類器判定一或多個缺陷之一或多個缺陷類型分類；運用一或多個平滑濾波器過濾該等產品影像；執行二值化程序以產生二值化產品影像；對該等二值化產品影像執行形態影像處理操作；基於該等二值化產品影像判定該一或多個缺陷之一或多個演算法估計之缺陷尺寸；及基於該一或多個演算法估計之缺陷尺寸及該一或多個缺陷類型分類判定該一或多個缺陷之一或多個缺陷尺寸之一或多個改良估計值。

【英文】

A system for characterizing a specimen is disclosed. In one embodiment, the system includes a controller configured to: receive training images of one or more defects of the specimen; generate a machine learning classifier based on the training images; receive product images of one or more defects of a specimen; determine one or more defect type classifications of one or more defects with the machine

learning classifier; filter the product images with one or more smoothing filters; perform binarization processes to generate binarized product images; perform morphological image processing operations on the binarized product images; determine one or more algorithm-estimated defect sizes of the one or more defects based on the binarized product images; and determine one or more refined estimates of one or more defect sizes of the one or more defects based on the one or more algorithm-estimated defect sizes and the one or more defect type classifications.

【指定代表圖】

圖2

【代表圖之符號簡單說明】

200	流程圖
202	步驟
204	步驟
206	步驟
208	步驟
210	步驟
212	步驟
214	步驟
216	步驟
218	步驟
220	步驟

【發明說明書】

【中文發明名稱】

用於特性化一樣品之系統及方法

【英文發明名稱】

SYSTEM AND METHOD FOR CHARACTERIZING A SPECIMEN

【技術領域】

【0001】 本發明大體上係關於樣品特性化及計量之領域，且更特定言之係關於一種利用機器學習技術判定缺陷之類型及尺寸之系統及方法。

【先前技術】

【0002】 對具有愈來愈小之佔據面積及特徵之電子邏輯及記憶體裝置之需求呈現超出按一所要比例製作之廣範圍的製造挑戰。在半導體製作之內容背景中，在改良生產量及良率時，準確地識別缺陷之類型及尺寸係一重要步驟。特定言之，製作及檢測程序要求在實際缺陷尺寸之15%至20%內準確地判定缺陷尺寸。

【0003】 使用習知技術，藉由計算屬於影像中之缺陷之像素之面積且將其乘以像素尺寸而估計缺陷尺寸。雖然此等習知技術可用於判定介於大約80 nm至200 nm之間之缺陷尺寸，但此等習知技術無法判定在此窄範圍外之缺陷尺寸(例如，小於80 nm之缺陷、大於200 nm之缺陷)。此外，習知技術通常無法判定所檢測之缺陷之類型。無法判定缺陷類型進一步限制習知技術在實際缺陷尺寸之15%至20%內準確地判定缺陷尺寸之能力。

【0004】 因此，將期望提供一種解決上文識別之先前方法之一或多個缺點之系統及方法。

【發明內容】

【0005】 本發明揭示一種用於特性化一樣品之系統。在一項實施例中，該系統包含具有經組態以執行儲存於記憶體中之一程式指令集之一或多個處理器之一控制器，該程式指令集經組態以引起該一或多個處理器：接收該樣品之一或多個缺陷之一或多個訓練影像；基於該一或多個訓練影像產生一機器學習分類器；接收一樣品之一或多個缺陷之一或多個產品影像；運用該機器學習分類器判定該一或多個缺陷之一或多個缺陷類型分類；運用一或多個平滑濾波器過濾該一或多個產品影像；執行一或多個二值化(binarization)程序以產生一或多個二值化產品影像；對該一或多個二值化產品影像執行一或多個形態影像處理操作；基於該一或多個二值化產品影像判定該一或多個缺陷之一或多個演算法估計之缺陷尺寸；及基於該一或多個演算法估計之缺陷尺寸及該一或多個缺陷類型分類判定該一或多個缺陷之一或多個缺陷尺寸之一或多個改良估計值(refined estimate)。

【0006】 本發明揭示一種用於特性化一樣品之系統。在一項實施例中，該系統包含經組態以獲取一樣品之一或多個影像之一檢測子系統。在另一實施例中，該系統包含通信地耦合至該檢測子系統之一控制器，該控制器經組態以：自該檢測子系統接收該樣品之一或多個缺陷之一或多個訓練影像；基於該一或多個訓練影像產生一機器學習分類器；自該檢測子系統接收一樣品之一或多個缺陷之一或多個產品影像；運用該機器學習分類器判定該等產品影像之該一或多個缺陷之一或多個缺陷類型分類；對該一或多個產品影像執行一或多個形態影像處理操作；基於該一或多個產品影像判定該一或多個缺陷之一或多個演算法估計之缺陷尺寸；及基於該一或多個演算法估計之缺陷尺寸及該一或多個缺陷類型分類判定該一或多個缺

陷之一或多個缺陷尺寸之一或多個改良估計值。

【0007】 本發明揭示一種用於特性化一樣品之方法。在一項實施例中，該方法包含：獲取一樣品之一或多個缺陷之一或多個訓練影像；基於該一或多個訓練影像產生一機器學習分類器；獲取一樣品之一或多個缺陷之一或多個產品影像；運用該機器學習分類器判定該一或多個缺陷之一或多個缺陷類型分類；運用一或多個平滑濾波器過濾該一或多個產品影像；執行一或多個二值化程序以產生一或多個二值化產品影像；對該一或多個二值化產品影像執行一或多個形態影像處理操作；基於該一或多個二值化產品影像判定該一或多個缺陷之一或多個演算法估計之缺陷尺寸；及基於該一或多個演算法估計之缺陷尺寸及該一或多個缺陷類型分類判定該一或多個缺陷之一或多個缺陷尺寸之一或多個改良估計值。

【0008】 應瞭解，前文一般描述及下文[實施方式]兩者僅為例示性的及說明性的，且不一定限制如所主張之本發明。併入於本說明書中且構成本說明書之一部分之隨附圖式繪示本發明之實施例且與一般描述一起用於說明本發明之原理。

【圖式簡單說明】

【0009】 熟習此項技術者藉由參考附圖可更好地理解本發明之諸多優點，在附圖中：

【0010】 圖1A繪示根據本發明之一或多項實施例之用於特性化一樣品之一系統。

【0011】 圖1B繪示根據本發明之一或多項實施例之用於特性化一樣品之一系統。

【0012】 圖1C繪示根據本發明之一或多項實施例之用於特性化一樣

品之一系統。

【0013】 圖2繪示根據本發明之一或多項實施例之用於特性化一樣品之一流程圖。

【0014】 圖3繪示根據本發明之一或多項實施例之各種類型之缺陷之產品影像。

【0015】 圖4繪示根據本發明之一或多項實施例之一缺陷之一檢視影像。

【0016】 圖5係根據本發明之一或多項實施例之繪示針孔(PH)缺陷及光阻點(resist dot) (RD)缺陷之演算法估計之缺陷尺寸與缺陷尺寸之改良估計值之間的關係之一圖表。

【0017】 圖6展示根據本發明之一或多項實施例之繪示用一隨機森林分類器對缺陷進行之分類之一圖表。

【0018】 圖7展示根據本發明之一或多項實施例之繪示用深度神經網路對缺陷進行之分類的圖表。

【0019】 圖8A繪示根據本發明之一或多項實施例之用於特性化一樣品之一方法之一部分之一流程圖。

【0020】 圖8B繪示根據本發明之一或多項實施例之用於特性化一樣品之一方法之一部分之一流程圖。

【實施方式】

相關申請案之交叉參考

【0021】 本申請案主張於2018年11月2日申請之將Ramaprasad Kulkarni、Ge Cong及Hawren Fang命名為發明人之標題為METHOD FOR DETERMINING SIZE AND TYPE OF DEFECTS OF BLANK

RETICLES的美國臨時專利申請案第62/754,880號之優先權，該案之全文以引用的方式併入本文中。

【0022】 已關於特定實施例及其等之特定特徵特別展示及描述本發明。本文中闡述之實施例被視為闡釋性的而非限制性的。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進行形式及細節方面之各種改變及修改。

【0023】 現將詳細參考在隨附圖式中繪示之所揭示標的物。

【0024】 本發明之實施例係關於一種使用影像處理及機器學習技術來判定缺陷之類型及尺寸之系統及方法。特定言之，本發明之實施例係關於一種能夠在實際缺陷尺寸之15%至20%內準確地判定缺陷尺寸之系統及方法。此外，本發明之實施例係關於一種能夠針對廣範圍之實際缺陷尺寸準確地判定缺陷之類型及尺寸之系統及方法。本發明之額外實施例係關於利用機器學習技術來判定可用於更準確地判定缺陷之尺寸之一缺陷類型分類。

【0025】 圖1A繪示根據本發明之一或多項實施例之用於特性化一樣品之一系統100。特定言之，圖1A繪示使用機器學習技術來判定空白光罩上之缺陷之類型及尺寸之一系統100。系統100可包含但不限於一或多個檢測子系統102。系統100可額外地包含但不限於一控制器104 (其包含一或多個處理器106、一記憶體108)及一使用者介面110。

【0026】 檢測子系統102可包含此項技術中已知之任何檢測子系統102，包含但不限於一基於光學之檢測系統、一基於帶電粒子之檢測系統及類似者。例如，檢測子系統102可包含一基於光學之暗場檢測系統。藉由另一實例，檢測子系統102可包含一掃描電子顯微鏡(SEM)檢測系統。

在一項實施例中，控制器104通信地耦合至一或多個檢測子系統102。就此而言，控制器104之一或多個處理器106可經組態以產生經組態以調整檢測子系統102之一或多個特性之一或多個控制信號。

【0027】 圖1B繪示根據本發明之一或多項實施例之用於特性化一樣品之一系統100。特定言之，圖1B繪示包含一光學檢測子系統102a之一系統100。

【0028】 光學檢測子系統102a可包含此項技術中已知之任何基於光學之檢測/特性化系統，包含但不限於一基於影像之計量工具、一檢視工具及類似者。例如，光學檢測子系統102a可包含一光學暗場檢測工具。光學檢測子系統102a可包含但不限於一照明源112、一照明臂111、一收集臂113及一偵測器總成126。

【0029】 在一項實施例中，光學檢測子系統102a經組態以檢測及/或量測安置於載物台總成122上之樣品120。照明源112可包含此項技術中已知之用於產生照明101之任何照明源，包含但不限於一寬頻輻射源。在另一實施例中，光學檢測子系統102a可包含經組態以將照明101引導至樣品120之一照明臂111。應注意，光學檢測子系統102a之照明源112可以此項技術中已知之任何定向組態，包含但不限於一暗場定向、一明場定向及類似者。例如，可選擇性地調整一或多個光學元件114、124以依一暗場定向、一明場定向及類似者組態光學檢測子系統102a。

【0030】 樣品120可包含此項技術中已知之任何樣品，包含但不限於一晶圓、一光罩、一光遮罩(photomask)及類似者。例如，樣品120可包含一空白光罩。在一項實施例中，將樣品120安置於一載物台總成122上以促進樣品120之移動。在另一實施例中，載物台總成122係一可致動載

物台。例如，載物台總成122可包含但不限於適於選擇性地使樣品120沿一或多個線性方向(例如，x方向、y方向及/或z方向)平移之一或多個平移載物台。藉由另一實例，載物台總成122可包含但不限於適於選擇性地使樣品120沿一旋轉方向旋轉之一或多個旋轉載物台。藉由另一實例，載物台總成122可包含但不限於適於選擇性地使樣品120沿一線性方向平移及/或使樣品120沿一旋轉方向旋轉之一旋轉載物台及一平移載物台。在本文中應注意，系統100可在此項技術中已知之任何掃描模式中操作。

【0031】 照明臂111可包含此項技術中已知之任何數量及類型之光學組件。在一項實施例中，照明臂111包含一或多個光學元件114、一組一或多個光學元件、一光束分離器116及一物鏡118。就此而言，照明臂111可經組態以將來自照明源112之照明101聚焦至樣品120之表面上。一或多個光學元件114可包含此項技術中已知之任何光學元件，包含但不限於一或多個鏡、一或多個透鏡、一或多個偏光器、一或多個光束分離器、波板及類似者。

【0032】 在另一實施例中，光學檢測子系統102a包含經組態以收集自樣品120反射或散射之照明之一收集臂113。在另一實施例中，收集臂113可經由一或多個光學元件124將反射光及散射光引導及/或聚焦至一偵測器總成126之一或多個感測器。一或多個光學元件124可包含此項技術中已知之任何光學元件，包含但不限於一或多個鏡、一或多個透鏡、一或多個偏光器、一或多個光束分離器、波板及類似者。應注意，偵測器總成126可包含此項技術中已知之用於偵測自樣品120反射或散射之照明之任何感測器及偵測器總成。

【0033】 在另一實施例中，光學檢測子系統102a之偵測器總成126

經組態以基於自樣品120反射或散射之照明收集樣品120之計量資料。在另一實施例中，偵測器總成126經組態以將經收集/經獲取影像及/或計量資料傳輸至控制器104。

【0034】 如先前在本文中提及，系統100之控制器104可包含一或多個處理器106及記憶體108。記憶體108可包含經組態以引起一或多個處理器106實行本發明之各種步驟之程式指令。在一項實施例中，程式指令經組態以引起一或多個處理器106調整光學檢測子系統102a之一或多個特性，以執行對樣品120之一或多個量測。

【0035】 在額外及/或替代實施例中，檢測子系統102可包含一基於帶電粒子之檢測子系統102。例如，檢測子系統102可包含一SEM特性化子系統，如圖1C中繪示。

【0036】 圖1C繪示根據本發明之一或多項實施例之用於特性化一樣品120之一系統100。特定言之，圖1C繪示包含一SEM檢測子系統102b之一系統100。

【0037】 在一項實施例中，SEM檢測子系統102b經組態以對樣品120執行一或多個量測。就此而言，SEM檢測子系統102b可經組態以獲取樣品120之一或多個影像。SEM檢測子系統102b可包含但不限於電子束源128、一或多個電子光學元件130、一或多個電子光學元件132及包含一或多個電子感測器136之一電子偵測器總成134。

【0038】 在一項實施例中，電子束源128經組態以將一或多個電子束129引導至樣品120。電子束源128可形成一電子光學柱。在另一實施例中，電子束源128包含經組態以將一或多個電子束129聚焦及/或引導至樣品120之表面之一或多個額外及/或替代電子光學元件130。在另一實施例

中，SEM檢測子系統102b包含經組態以收集回應於一或多個電子束129而自樣品120之表面發出之二次及/或反向散射電子131之一或多個電子光學元件132。本文中應注意，一或多個電子光學元件130及一或多個電子光學元件132可包含經組態以引導、聚焦及/或收集電子之任何電子光學元件，包含但不限於一或多個偏轉器、一或多個電子光學透鏡、一或多個聚光透鏡(例如，磁性聚光透鏡)、一或多個物鏡(例如，磁性聚光透鏡)及類似者。

【0039】 應注意，SEM檢測子系統102b之電子光學總成不限於圖1C中描繪之僅出於闡釋性目的提供之電子光學元件。進一步應注意，系統100可包含將一或多個電子束129引導/聚焦至樣品120上且作為回應將所發出之二次及/或反向散射電子131收集及成像至電子偵測器總成134上所必需之任何數量及類型之電子光學元件。

【0040】 例如，系統100可包含一或多個電子束掃描元件(未展示)。例如，一或多個電子束掃描元件可包含但不限於適於控制一或多個電子束129相對於樣品120之表面之一位置之一或多個電磁掃描線圈或靜電偏轉器。此外，一或多個掃描元件可用於用一或多個電子束129以一選定型樣跨樣品120掃描。

【0041】 在另一實施例中，將二次及/或反向散射電子131引導至電子偵測器總成134之一或多個感測器136。SEM檢測子系統102之電子偵測器總成134可包含此項技術中已知之適於偵測自樣品120之表面發出之反向散射及/或二次電子131之任何電子偵測器總成。在一項實施例中，電子偵測器總成134包含一電子偵測器陣列。就此而言，電子偵測器總成134可包含電子偵測部分之一陣列。此外，電子偵測器總成134之偵測器陣列

之各電子偵測部分可經定位以偵測與一或多個人射電子束129之一者相關聯之來自樣品120之一電子信號。電子偵測器總成134可包含此項技術中已知之任何類型之電子偵測器。例如，電子偵測器總成134可包含一微通道板(MCP)、一PIN或p-n界面偵測器陣列，諸如但不限於一二極體陣列或突崩光二極體(APD)。藉由另一實例，電子偵測器總成134可包含一高速閃爍器或一光電倍增管(PMT)偵測器。

【0042】 雖然圖1C將SEM檢測子系統102b繪示為包含僅包括一二次電子偵測器總成之一電子偵測器總成134，但此不被視為對本發明之一限制。就此而言，應注意，電子偵測器總成134可包含但不限於一二次電子偵測器、一反向散射電子偵測器及/或一初級電子偵測器(例如，一柱內電子偵測器)。在另一實施例中，SEM檢測子系統102可包含複數個電子偵測器總成134。例如，系統100可包含一二次電子偵測器總成、一反向散射電子偵測器總成及/或一柱內電子偵測器總成。

【0043】 在一項實施例中，控制器104之一或多個處理器106經組態以分析偵測器總成126/電子偵測器總成134之輸出。在一項實施例中，程式指令集經組態以引起一或多個處理器106基於自偵測器總成126/電子偵測器總成134接收之影像分析樣品120之一或多個特性。在另一實施例中，程式指令集經組態以引起一或多個處理器106修改系統100之一或多個特性，以維持樣品120及/或偵測器總成126/電子偵測器總成134上之焦點。例如，一或多個處理器106可經組態以調整系統100之照明源112/電子束源128及/或其他元件之一或多個特性，以將照明101及/或一或多個電子束129聚焦至樣品120之表面上。藉由另一實例，一或多個處理器106可經組態以調整系統100之一或多個元件，以收集來自樣品120之表面之照明

及/或二次電子131且將經收集之照明聚焦於偵測器總成126/電子偵測器總成134上。藉由另一實例，一或多個處理器106可經組態以調整施加至電子束源128之一或多個靜電偏轉器之一或多個聚焦電壓，以獨立地調整一或多個電子束129之位置或對準且用電子束129跨樣品120掃描。

【0044】 在另一實施例中，如圖1A至圖1C中展示，系統100包含通信地耦合至控制器104之一使用者介面110。在另一實施例中，使用者介面110包含一使用者輸入裝置及一顯示器。使用者介面110之使用者輸入裝置可經組態以接收來自一使用者之一或多個輸入命令，該一或多個輸入命令經組態以將資料輸入至系統100中及/或調整系統100之一或多個特性。在另一實施例中，使用者介面110之顯示器可經組態以將系統100之資料顯示給一使用者。

【0045】 在一項實施例中，一或多個處理器106可通信地耦合至記憶體108，其中一或多個處理器106經組態以執行儲存於記憶體108上之一程式指令集，該程式指令集經組態以引起一或多個處理器106實行本發明之各種功能及步驟。就此而言，控制器104可經組態以：自檢測子系統102接收樣品120之一或多個缺陷之一或多個訓練影像125；基於一或多個訓練影像125產生一機器學習分類器；自檢測子系統102接收一樣品120之一或多個缺陷之一或多個產品影像135；運用機器學習分類器判定一或多個缺陷之一或多個缺陷類型分類；運用一或多個平滑濾波器過濾一或多個產品影像135；執行一或多個二值化程序以產生一或多個二值化產品影像；對一或多個二值化產品影像執行一或多個形態影像處理操作；基於一或多個二值化產品影像判定一或多個缺陷之一或多個演算法估計之缺陷尺寸；及基於一或多個演算法估計之缺陷尺寸及一或多個缺陷類型分類判定

一或多個缺陷之一或多個缺陷尺寸之一或多個改良估計值。控制器104之此等步驟/功能之各者各自將在本文中進一步詳細描述。

【0046】 圖2繪示根據本發明之一或多項實施例之用於特性化一樣品120之一流程圖200。特定言之，圖2繪示使用影像處理及機器學習技術來判定缺陷之類型及尺寸之一流程圖200。就此而言，流程圖200可被視為繪示藉由控制器104之一或多個處理器106執行或在該一或多個處理器106內執行之步驟之一概念流程圖。

【0047】 在一步驟202中，產生一機器學習分類器。在一項實施例中，控制器104可產生一機器學習分類器，該機器學習分類器可用於識別一樣品120之影像內之缺陷之類型。在產生機器學習分類器時，控制器104可經組態以獲取一樣品120之一或多個訓練影像125。例如，在一項實施例中，控制器104可經組態以自檢測子系統102接收一樣品120之一或多個缺陷之一或多個訓練影像125。出於本發明之目的，術語「訓練影像」可被視為其類型及尺寸已知/經設計/經量測且將用作訓練一機器學習分類器之輸入之缺陷的影像。

【0048】 例如，如圖1B中展示，控制器104可經組態以自光學檢測子系統102a接收樣品120之一或多個缺陷之一或多個光學訓練影像125。藉由另一實例，如圖1C中展示，控制器104可經組態以自SEM檢測子系統102b接收樣品120之一或多個缺陷之一或多個SEM訓練影像125。就此而言，訓練影像125可包含一光學訓練影像125、一SEM訓練影像125及類似者。在額外及/或替代實施例中，控制器104可經組態以自除了一或多個檢測子系統102外之一源接收一或多個訓練影像125。例如，控制器104可經組態以自一外部儲存裝置及/或記憶體108接收一樣品120之特徵之一或多

個訓練影像125。在另一實施例中，控制器104可進一步經組態以將接收訓練影像125儲存於記憶體108中。

【0049】 在另一實施例中，控制器104可經組態以基於一或多個接收訓練影像125產生一機器學習分類器。控制器104可經組態以經由此項技術中已知之任何技術產生機器學習分類器，該等技術包含但不限於監督式學習、無監督式學習及類似者。

【0050】 例如，在監督式學習之內容背景中，訓練影像125可包含具有已知尺寸及/或已知缺陷類型之缺陷之影像。就此而言，控制器104可接收與訓練影像125中描繪之缺陷相關聯之一或多個已知缺陷類型分類及/或一或多個已知缺陷尺寸。因此，訓練影像125、已知缺陷類型分類及已知缺陷尺寸可用作訓練機器學習分類器之輸入。已知缺陷類型分類可包含此項技術中已知之任何類型之缺陷之分類，包含但不限於一針孔缺陷分類、一光阻點缺陷分類、一刮痕缺陷分類、一快速定位缺陷分類及類似者。控制器104可進一步經組態以將已知缺陷類型分類、已知缺陷尺寸及所產生之機器學習分類器儲存於記憶體108中。

【0051】 本文中進一步應注意，在步驟202中產生之機器學習分類器可包含此項技術中已知之任何類型之機器學習演算法/分類器及/或深度學習技術或分類器，包含但不限於一隨機森林分類器、一支援向量機(SVM)分類器、一整體學習(ensemble learning)分類器、一人工神經網路(ANN)及類似者。藉由另一實例，機器學習分類器可包含一深度迴旋神經網路。例如，在一些實施例中，機器學習分類器可包含ALEXNET及/或GOOGLNET。就此而言，機器學習分類器可包含經組態以判定一樣品120之影像內之缺陷之類型之任何演算法、分類器或預測模型。此將在本

文中進一步詳細論述。

【0052】 在步驟204中，獲取一或多個產品影像。在一項實施例中，控制器104可經組態以自檢測子系統102接收一或多個產品影像135。如本文中所使用，術語「產品影像」可用於指代將判定其缺陷類型及缺陷尺寸之缺陷之影像。因此，「產品影像」可區別於「訓練影像」，「訓練影像」可被視為將用作訓練一機器學習分類器之輸入之缺陷之影像。

【0053】 本文中應注意，關於獲取訓練影像125之任何論述可被視為適用於獲取產品影像135，除非本文中另有提及。因此，可自光學檢測子系統102a及/或SEM檢測子系統102b接收產品影像135。就此而言，產品影像135可包含一光學產品影像135、一SEM產品影像135及類似者。在額外及/或替代實施例中，控制器104可經組態以自除了一或多個檢測子系統102外之一源接收一或多個產品影像135。例如，控制器104可經組態以自一外部儲存裝置及/或記憶體108接收一樣品120之一或多個產品影像135。

【0054】 圖3繪示根據本發明之一或多項實施例之各種類型之缺陷之產品影像135。特定言之，圖3繪示藉由一暗場檢測工具(例如，檢測子系統102)捕獲之各種類型之缺陷之產品影像135a至135c。

【0055】 在實施例中，產品影像135a繪示一針孔(PH)缺陷或光阻點(RD)缺陷，產品影像135b繪示一快速定位缺陷(FLD)，且產品影像135c繪示一刮痕缺陷。如在圖3中可見，藉由一暗場檢測工具(例如，檢測子系統102)捕獲之影像之尺寸可為32x32個像素。圖3進一步繪示將較亮像素與各自缺陷相關聯之一標度302。

【0056】 在實施例中，可在檢測及/或後檢測期間獲取用於判定樣品

120之缺陷之尺寸及/或類型之一或多個產品影像135。在另一實施例中，控制器104可進一步經組態以將經接收產品影像135儲存於記憶體108中。

【0057】 在一步驟206中，判定樣品120之一或多個缺陷之一或多個缺陷類型。樣品120之一或多個缺陷可包含可在整個之一樣品120製作/特性化程序內受關注之任何類型之缺陷，包含但不限於一針孔缺陷、一光阻點缺陷、一刮痕、一快速定位缺陷及類似者。在一些實施例中，控制器104經組態以用所產生之機器學習分類器判定一產品影像135內之一或多個缺陷之一或多個缺陷類型分類。例如，控制器104可接收描繪樣品120之一針孔缺陷之產品影像135a。在此實例中，控制器104可經組態以判定產品影像135a包含一針孔缺陷，且將該缺陷與一針孔缺陷類型分類相關聯。藉由另一實例，控制器104可接收描繪樣品120之一刮痕缺陷之產品影像135c，判定產品影像135c包含一刮痕缺陷，且將該缺陷與一刮痕缺陷類型分類相關聯。

【0058】 在一步驟208中，對一或多個產品影像135執行一或多個影像處理操作。在一項實施例中，控制器104經組態以對一或多個產品影像135執行一或多個影像處理操作。

【0059】 例如，在一暗場檢測工具(例如，檢測子系統102)之內容背景中，一或多個產品影像135可包含為灰階且尺寸為32x32個像素(如圖2中展示)之樣本120上之缺陷之影像。此相對較小影像尺寸可導致估計缺陷尺寸之較大變動。因此，在一些實施例中，一或多個影像處理操作可包含經組態以調整產品影像135之一尺寸之影像按比例調整(**scaling**)操作。在一影像按比例調整操作(例如，影像處理操作)期間，控制器104可經組態以用一影像按比例調整操作調整一或多個產品影像135之一尺寸，以產生

一或多個按比例調整之產品影像。例如，運用32x32像素影像，控制器104可經組態以執行一影像按比例放大操作(例如，影像處理操作)以將產品影像135按比例放大八倍以產生具有256x256個像素之一尺寸之按比例調整之產品影像。本文中應注意，影像按比例調整操作可包含經組態以將產品影像按比例放大及/或按比例縮小任何選定倍數之按比例放大及/或按比例縮小操作。

【0060】 影像按比例放大可導致在缺陷周圍具有模糊邊界之按比例調整之產品影像。為了減少及/或消除此等變動及模糊邊界，一或多個影像處理操作可進一步包含一或多個影像銳化操作。例如，在執行一影像按比例放大操作以產生具有256x256個像素之一尺寸之按比例調整之產品影像之後，控制器可經組態以用一或多個影像銳化操作更改一或多個按比例調整之產品影像。可經由影像銳化操作使用此項技術中已知之任何技術更改產品影像135及/或按比例調整之產品影像。例如，控制器104可經組態以利用使用一拉普拉斯濾波器(Laplacian filter)執行之一影像過濾操作來銳化按比例調整之產品影像。就此而言，影像銳化操作可包含一或多個影像過濾操作。

【0061】 藉由另一實例，在藉由一檢視工具(例如，檢測子系統102)捕獲之檢視影像之內容背景中，一或多個產品影像135可包含為彩色且尺寸為512x512個像素之樣品120上之缺陷之影像。例如，圖4繪示根據本發明之一或多項實施例之一缺陷之一檢視影像135d。特定言之，圖4繪示藉由一光學檢視工具(例如，檢測子系統102)捕獲之一缺陷之一產品影像135d，其中較亮像素表示缺陷。如先前提及，產品影像135d可為彩色的且尺寸為512x512個像素。

【0062】 在藉由一檢視工具捕獲之檢視影像(例如，產品影像135d)之內容背景中，藉由控制器104執行之一或多個影像處理操作可包含將一或多個產品影像135自一第一色彩空間系統轉換至一第二色彩空間系統。色彩空間系統可包含此項技術中已知之任何色彩空間系統，包含但不限於一紅綠藍(RGB)色彩空間系統及一色度彩度亮度(hue-saturation-value) (HSV)色彩空間系統。例如，可在一RGB色彩空間系統中捕獲產品影像135d，且控制器104可經組態以將產品影像135d轉換至一HSV色彩空間系統中。本文中應注意，與一RGB色彩空間系統相比，一HSV色彩空間系統之值通道可提供一改良之強度輪廓及更一致之缺陷像素區別。

【0063】 本文中進一步應注意，一或多個影像處理操作可包含此項技術中已知之任何影像處理操作。就此而言，例示性影像處理操作僅出於闡釋性目的提供且不被視為對本發明之一限制，除非本文中另有提及。

【0064】 在一步驟210中，運用一或多個平滑濾波器過濾一或多個產品影像135。為了降低一或多個產品影像135內之缺陷周圍之區中之雜訊，控制器104可經組態以用一或多個平滑濾波器過濾一或多個產品影像135。一或多個平滑濾波器可包含此項技術中之任何平滑濾波器，包含但不限於一均值濾波器、一拉普拉斯濾波器、一維納(Weiner)濾波器、一高斯(Gaussian)濾波器、一最小值/最大值濾波器、一中值濾波器、一中點濾波器及類似者。例如，控制器104可經組態以藉由使用一高斯核進行迴旋而平滑化一或多個產品影像135。

【0065】 在一步驟212中，執行一或多個二值化程序以產生一或多個二值化產品影像。在一項實施例中，控制器104經組態以對產品影像135執行一或多個二值化程序，以產生一或多個二值化產品影像。透過二

值化，可使用一或多個二值化公式自產品影像135之背景像素識別產品影像135中之與缺陷相關聯之像素(例如，缺陷像素)。例如，可使用藉由方程式1給出之二值化公式自背景像素識別缺陷像素：

$$b(x,y) = \begin{cases} 1, & (\mu - w * (\sigma + \delta)) < I(x,y) < (\mu + w * (\sigma + \delta)) \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

其中 μ 定義背景像素之灰階之均值， σ 定義背景像素灰階之標準差之值， w 定義一使用者提供之權重(例如，3)， δ 定義一使用者提供之偏移(例如，0.1)， I 定義像素位置 (x,y) 處之各自產品影像135 (例如，在步驟210中使用一或多個平滑濾波器過濾之產品影像135)之灰階，且 $b(x,y)$ 定義像素位置 (x,y) 處之二值化影像。使用方程式1將一經處理灰階影像轉換為僅具有兩個值之一影像(具有灰階1之缺陷像素及具有灰階0之其餘像素)之步驟可被稱為二值化。在另一實施例中，控制器104可經組態以將一或多個二值化產品影像儲存於記憶體108中。

【0066】 在二值化之後，一產品影像135內之一缺陷可呈現為在缺陷中間更亮而在缺陷中間周圍具有一暗輪廓。此可歸因於缺陷及/或樣品120之光學性質。在此等情況中，在步驟212之二值化之後，此兩個區(例如，較亮中心區、較暗輪廓)可呈現為分離。隨後，在表示缺陷時選擇該等區之僅一者可低估缺陷尺寸。例如，藉由僅選擇較亮中心區，可低估缺陷尺寸。為了彌合(bridge)此等分離區之間之間隙，可執行形態影像處理操作。

【0067】 在一步驟214中，執行一或多個形態影像處理操作。例如，在實施例中，控制器104可經組態以對一或多個產品影像135及/或一或多個二值化產品影像執行一或多個形態影像處理操作。一或多個形態影像處理操作可包含此項技術中已知之任何形態影像處理操作，包含但不限

於一形態閉合(morphological closing)操作(例如，形態二進位影像閉合操作)、一形態侵蝕(morphological erosion)操作、一形態擴張(morphological dilation)操作、一形態敞開(morphological opening)操作或一形態閉合操作及類似者。如先前在本文中提及，可執行形態影像處理操作以彌合二值化引起之一缺陷之分離區之間之間隙。

【0068】 在一步驟216中，執行連通組件標記(connected component labeling)。在執行二值化操作及形態影像處理操作之後，雜訊及其他因素可引起亦將除對應於缺陷之像素叢集外之小像素叢集錯誤地標記為有缺陷(例如，一缺陷之部分)。就此而言，可執行連通組件標記以僅標記及選擇對應於缺陷之像素叢集。因此，控制器104可經組態以藉由用一唯一標籤識別及標記二值化產品影像內之各隔離像素叢集而執行連通組件標記。由於歸因於雜訊之像素叢集一般小於對應於缺陷之像素叢集之事實，控制器104可經組態以將一或多個像素叢集識別及標記為對應於一單一缺陷或與該缺陷相關聯。

【0069】 例如，控制器104可經組態以識別一或多個二值化產品影像內之複數個像素叢集，且將複數個像素叢集之最大像素叢集判定為與一或多個缺陷相關聯。接著，控制器104可進一步經組態以忽視(例如，忽略)其他像素叢集作為歸因於雜訊。

【0070】 在一步驟218中，判定一或多個缺陷之演算法估計之缺陷尺寸。在一項實施例中，控制器104可經組態以基於一或多個二值化產品影像判定一或多個缺陷之一或多個演算法估計之缺陷尺寸。用於判定演算法估計之缺陷尺寸之二值化產品影像之特性可包含但不限於經識別/經標記之像素叢集、最大缺陷像素灰階值、最小缺陷像素灰階值及類似者。

【0071】 例如，在將一二值化產品影像內之一像素叢集識別為與一缺陷相關聯之後，控制器104可經組態以基於經識別像素叢集判定缺陷之一演算法估計之缺陷尺寸。如本文中所使用，術語「演算法估計之缺陷尺寸」可指代基於判定為與一產品影像135 (例如，二值化產品影像135)內之缺陷相關聯之像素數量及/或產品影像135之其他特性之缺陷的估計尺寸。就此而言，「演算法估計之缺陷尺寸」可區別於「缺陷尺寸之改良估計值」，如將在本文中進一步詳細論述。

【0072】 本文中預期，僅基於一影像之像素估計一缺陷之尺寸(例如，演算法估計之缺陷尺寸)可將一定量之誤差引入至缺陷尺寸判定中。例如，歸因於各自缺陷類型之光學性質之差異，可判定一針孔缺陷及一光阻點缺陷具有相同演算法估計之缺陷尺寸，即使該兩個缺陷之尺寸在現實中實際上大不相同。可參考圖5進一步理解此。

【0073】 圖5係根據本發明之一或多項實施例之繪示針孔(PH)缺陷及光阻點(RD)缺陷之演算法估計之缺陷尺寸與實際/經設計缺陷尺寸之間之關係的一圖表500。圖表500繪示實際及/或經設計缺陷尺寸與演算法估計之缺陷尺寸之間之關係。曲線502繪示光阻點(RD)缺陷之實際/經設計缺陷尺寸與演算法估計之缺陷尺寸之間的關係，且曲線504繪示針孔(PH)缺陷之實際/經設計缺陷尺寸與演算法估計之缺陷尺寸之間的關係。

【0074】 如在圖表500中可見，當將演算法估計之缺陷尺寸標繪為實際/經設計缺陷尺寸之一函數時，顯露對應於各種缺陷類型之不同的且獨立的趨勢(例如，RD缺陷之曲線502、PH缺陷之曲線504)。在一些實施例中，可在機器學習分類器之監督式訓練(步驟202)期間經由訓練影像125建構標繪演算法估計之缺陷尺寸對實際/經設計缺陷尺寸之圖表(例如，圖

表500)。在建構一圖表500之後，可產生不同數學模型/函數(例如，多項式函數)以擬合曲線502、504之各者。例如，在使用描繪具有已知缺陷尺寸及/或已知缺陷類型之缺陷之訓練影像125進行監督式學習期間，控制器104可經組態以產生數學模型/函數(例如，多項式函數)，其等針對各種類型之缺陷將演算法估計之缺陷尺寸與實際/經設計缺陷尺寸相關。例如，控制器104可經組態以產生將RD缺陷之演算法估計之缺陷尺寸與實際/經設計缺陷尺寸相關之一第一數學模型(例如，數學函數、多項式函數)，及將PH缺陷之演算法估計之缺陷尺寸與實際/經設計缺陷尺寸相關之一第二數學模型(例如，數學函數、多項式函數)。所產生之數學模型可儲存於記憶體108中。就此而言，控制器104可經組態以在監督式學習期間產生數學模型/函數模型化曲線502及504。

【0075】 如圖5中展示，取決於所討論之缺陷之類型，一單一演算法估計之缺陷尺寸可指示變化實際/經設計缺陷尺寸。就此而言，可瞭解，演算法估計之缺陷尺寸獨自不足以準確地判定缺陷尺寸。

【0076】 因此，嘗試僅基於影像內之像素叢集判定缺陷尺寸之先前方法可能無法在實際缺陷尺寸之15%至20%內準確地判定缺陷之尺寸。相比之下，本發明之實施例經組態以利用演算法估計之缺陷尺寸及經判定缺陷類型分類兩者，以更準確地判定缺陷尺寸之改良估計值。更特定言之，本發明之實施例經組態以利用演算法估計之缺陷尺寸、將演算法估計之缺陷尺寸與實際/經設計缺陷尺寸相關之數學模型/函數以及判定缺陷類型分類之模型(例如，隨機森林分類器模型、深度迴旋神經網路模型等)兩者，以更準確地判定缺陷尺寸之改良估計值。

【0077】 在一步驟220中，判定缺陷尺寸之改良估計值。在一項實

施例中，控制器104可經組態以基於一或多個演算法估計之缺陷尺寸(步驟218)及一或多個缺陷類型分類(步驟206)判定一或多個缺陷之一或多個缺陷尺寸之一或多個改良估計值(例如，真實/實際缺陷尺寸之估計值)。例如，控制器104可經組態以基於一或多個演算法估計之缺陷尺寸(步驟218)、一或多個缺陷類型分類(步驟206)及針對各種類型之缺陷將演算法估計之缺陷尺寸與實際/經設計缺陷尺寸相關之一或多個數學模型來判定一或多個缺陷之一或多個缺陷尺寸之一或多個改良估計值(例如，真實/實際缺陷尺寸之估計值)。

【0078】 一實例可證明為闡釋性的。可使用監督式學習技術來訓練/校準一機器學習分類器。在利用訓練影像125、已知缺陷尺寸及已知缺陷類型進行監督式學習期間，控制器104可經組態以產生針對各種類型之缺陷將演算法估計之缺陷尺寸與實際/經設計缺陷尺寸相關之數學模型/函數(例如，多項式函數)(例如，數學函數模型化曲線502、504)。例如，在校準/訓練期間，控制器104可產生與曲線502相關聯之一第一多項式函數(例如，第一數學模型)，及與曲線504相關聯之一第二多項式函數(例如，一第二數學模型)。多項式函數(例如，第一數學模型、第二數學模型)可儲存於記憶體108中。

【0079】 繼續相同實例，控制器104可經組態以獲取一缺陷之一產品影像135a。使用經訓練機器學習分類器，控制器104可判定產品影像135a中描畫(picture)之缺陷係一針孔缺陷，且因此可將一針孔缺陷分類與該缺陷相關聯。隨後，在執行流程圖200之各種步驟之後，控制器104可隨後使用第二多項式函數(例如，模型化至針孔缺陷之曲線504之第二數學模型)來判定缺陷之一演算法估計之缺陷尺寸。使用經判定針孔缺陷分

類、第二多項式函數及演算法估計之缺陷尺寸，控制器104接著可經組態以判定估計缺陷之真實/實際尺寸之一缺陷尺寸之一改良估計值。

【0080】 本文中預期，使用演算法估計之缺陷尺寸(以及在訓練期間產生之將演算法估計之缺陷尺寸與實際/經設計缺陷尺寸相關之經產生數學模型)及經判定缺陷類型分類兩者可使本發明之系統及方法能夠針對廣範圍之缺陷類型及尺寸在實際缺陷尺寸之15%至20%內準確地估計缺陷尺寸(例如，在實際缺陷尺寸之15%至20%內之缺陷尺寸之改良估計值)。

【0081】 可參考圖6及圖7進一步理解使用各種類型之機器學習分類器判定缺陷類型分類之有效性。

【0082】 圖6展示根據本發明之一或多項實施例之繪示用一隨機森林分類器對缺陷進行之分類的一圖表600。圖7展示根據本發明之一或多項實施例之繪示用深度神經網路對缺陷進行之分類的圖表700、702。

【0083】 在一隨機森林分類器(例如，機器學習分類器)之情況中，控制器104可經組態以基於包含一二值化產品影像內之演算法估計之缺陷尺寸、最小缺陷像素灰階值及最大缺陷像素灰階值的特徵產生一三維(3D)特徵向量。選取表示不同缺陷類型之特徵且該等特徵並非詳盡的。在一特定實施例中，可針對各缺陷使用三個不同產品影像135 (例如，二值化產品影像)而導致總共九個特徵。因此，使用九個特徵之一隨機森林分類器可對測試資料(例如，測試缺陷)提供具有大約100%之一準確度之一缺陷類型分類，如圖表600中可見。

【0084】 相比之下，圖表700及702繪示使用運用原始產品影像135訓練之一深度神經網路對缺陷進行之分類。特定言之，圖表700繪示用ALEXNET對缺陷進行之分類，且圖表702繪示用GOOGLENET對缺陷進

行之分類。

【0085】 在一些實施例中，控制器104可進一步經組態以基於一缺陷尺寸之一改良估計值或一經判定缺陷類型分類之至少一者產生控制信號，其中一或多個控制信號經組態以選擇性地調整一或多個製程工具之一或多個特性。例如，參考圖1A至圖1C，系統100可進一步包含通信地耦合至控制器104之一或多個製作工具。一或多個製作工具可包含此項技術中已知之經組態以製作一樣品120之任何製作工具，包含但不限於一微影工具、一蝕刻工具、一沈積工具、一拋光工具及類似者。繼續相同實例，控制器104可經組態以產生一或多個控制信號，該一或多個控制信號經組態以在一前饋或一回饋迴圈中調整一或多個製作工具之一或多個特性，以校正一缺陷尺寸之一改良估計值或一經判定缺陷類型分類之至少一者。

【0086】 本文中預期，本發明之系統及方法可實現針對廣範圍之缺陷尺寸(例如，小於80 nm，大於200 nm)進行更準確缺陷類型及尺寸判定。特定言之，本發明之系統及方法可實現在實際缺陷尺寸之15%至20%內之缺陷尺寸之估計(例如，在實際缺陷尺寸之15%至20%內之缺陷尺寸之改良估計值)。

【0087】 本文中應注意，系統100之一或多個組件可依此項技術中已知之任何方式通信地耦合至系統100之各種其他組件。例如，一或多個處理器106可經由一纜線(例如，銅線、光纜及類似者)或無線連接(例如，RF耦合、IR耦合、WiMax、藍芽、3G、4G、4G LTE、5G及類似者)彼此通信地耦合至且通信地耦合至其他組件。藉由另一實例，控制器104可經由此項技術中已知之任何有線或無線連接通信地耦合至檢測子系統102之一或多個組件。

【0088】 在一項實施例中，一或多個處理器106可包含此項技術中已知之任一或多個處理元件。在此意義上，一或多個處理器106可包含經組態以執行軟體演算法及/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106可由一桌上型電腦、主機電腦系統、工作站、影像電腦、並行處理器或經組態以執行經組態以操作系統100 (如在本發明各處描述)之一程式的其他電腦系統(例如，網路電腦)組成。應認知，可藉由一單一電腦系統或(替代地)多個電腦系統實行在本發明各處描述之步驟。此外，應認知，在本發明各處描述之步驟可在一或多個處理器106上之任一或多者上執行。一般而言，術語「處理器」可廣泛定義為涵蓋具有執行來自記憶體108之程式指令之一或多個處理元件之任何裝置。此外，系統100之不同子系統(例如，照明源112、電子束源128、偵測器總成126、電子偵測器總成134、控制器104、使用者介面110及類似者)可包含適於實行在本發明各處描述之步驟之至少一部分之處理器或邏輯元件。因此，上文描述不應解釋為對本發明之一限制而是僅為一繪示。

【0089】 記憶體108可包含此項技術中已知之適於儲存可藉由相關聯之一或多個處理器106執行之程式指令及自檢測子系統102接收之資料的任何儲存媒體。例如，記憶體108可包含一非暫時性記憶媒體。例如，記憶體108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，光碟)、一磁帶、一固態硬碟及類似者。進一步硬注意，記憶體108可與一或多個處理器106容置於一共同控制器外殼中。在一替代實施例中，記憶體108可相對於處理器106、控制器104及類似者之實體位置遠端地定位。在另一實施例中，記憶體108維持引起一或多個處理器106實行透過本發明描述之各種步驟之程式

指令。

【0090】在一項實施例中，一使用者介面110通信地耦合至控制器104。在一項實施例中，使用者介面110可包含但不限於一或多個桌上型電腦、平板電腦、智慧型電話、智慧型手錶或類似者。在另一實施例中，使用者介面110包含用於將系統100之資料顯示給一使用者之一顯示器。使用者介面110之顯示器可包含技術中已知之任何顯示器。例如，顯示器可包含但不限於一液晶顯示器(LCD)、一基於有機發光二極體(OLED)之顯示器或一CRT顯示器。熟習此項技術者應認知，能夠與一使用者介面110整合之任何顯示器裝置適於在本發明中實施。在另一實施例中，一使用者可經由使用者介面110之一使用者輸入裝置回應於顯示給使用者之資料輸入選擇及/或指令。

【0091】圖8A至圖8B繪示根據本發明之一或多項實施例之用於特性化一樣品120之一方法800之一流程圖。特定言之，圖8A至圖8B繪示使用機器學習技術來判定一樣品120之缺陷之類型及尺寸之一方法800。在本文中應注意，方法800之步驟可完全或部分藉由系統100實施。然而，進一步應認知，方法800不限於系統100，其中額外或替代系統級實施例可實行方法800之全部或部分步驟。

【0092】在一步驟802中，獲取一樣品之一或多個缺陷之一或多個訓練影像。例如，如圖1B中展示，控制器104可經組態以自光學檢測子系統102a接收樣品120之一或多個特徵之一或多個光學訓練影像125。藉由另一實例，如圖1C中展示，控制器104可經組態以自SEM檢測子系統102b接收樣品120之一或多個特徵之一或多個SEM訓練影像125。該一或多個訓練影像125包含：針對範圍從80 nm至200 nm的多個缺陷的一組修補(patch)影像，以及針對大於200 nm的多個缺陷的一組檢視(review)影像。

【0093】在一步驟804中，基於一或多個訓練影像產生一機器學習

分類器。例如，使用監督式學習，可將一或多個訓練影像125及已知缺陷尺寸及/或已知缺陷類型用作訓練機器學習分類器之輸入。機器學習分類器可包含此項技術中已知之任何類型之機器學習演算法/分類器及/或深度學習技術或分類器，包含但不限於一隨機森林分類器、一支援向量機(SVM)分類器、一整體學習分類器、一人工神經網路(ANN)、一深度神經網路或迴旋神經網路(例如，ALEXNET、GOOGLENET)及類似者。

【0094】 在一步驟806中，獲取一樣品之一或多個缺陷之一或多個產品影像。例如，如圖1B中展示，控制器104可經組態以自光學檢測子系統102a接收樣品120之一或多個特徵之一或多個光學產品影像135。藉由另一實例，如圖1C中展示，控制器104可經組態以自SEM檢測子系統102b接收樣品120之一或多個特徵之一或多個SEM產品影像135。

【0095】 在一步驟808中，運用機器學習分類器判定一或多個缺陷之一或多個缺陷類型分類。例如，控制器104可接收描繪樣品120之一針孔缺陷之產品影像135a。在此實例中，控制器104可經組態以判定產品影像135a包含一針孔缺陷，且將該缺陷與一針孔缺陷分類相關聯。藉由另一實例，控制器104可接收描繪樣品120之一刮痕缺陷之產品影像135c，判定產品影像135c包含一刮痕缺陷，且將該缺陷與一刮痕缺陷分類相關聯。

【0096】 在一步驟810中，用一或多個平滑濾波器過濾一或多個產品影像。一或多個平滑濾波器可包含此項技術中之任何平滑濾波器，包含但不限於一均值濾波器、一拉普拉斯濾波器、一維納濾波器、一高斯濾波器、一最小值/最大值濾波器、一中值濾波器、一中點濾波器及類似者。例如，控制器104可經組態以藉由使用一高斯核進行迴旋而平滑化一或多個產品影像135。

【0097】 在步驟812中，執行一或多個二值化程序以產生一或多個二值化產品影像。例如，控制器104可經組態以對產品影像135執行一或多個二值化程序，以產生一或多個二值化產品影像。透過二值化，可使用一或多個二值化公式自產品影像135之背景像素識別產品影像135中之與缺陷相關聯之像素(例如，缺陷像素)。

【0098】 在步驟814中，對一或多個二值化產品影像執行一或多個形態影像處理操作。例如，在實施例中，控制器104可經組態以對一或多個產品影像135及/或一或多個二值化產品影像執行一或多個形態影像處理操作。一或多個形態影像處理操作可包含此項技術中已知之任何形態影像處理操作，包含但不限於一形態閉合操作(例如，形態二進位影像閉合操作)、一形態侵蝕操作、一形態擴張操作、一形態敞開操作或一形態閉合操作及類似者。如先前在本文中提及，可執行形態影像處理操作以彌合二值化引起之一缺陷之分離區之間之間隙。

【0099】 在步驟816中，基於一或多個二值化產品影像判定一或多個缺陷之一或多個演算法估計之缺陷尺寸。例如，控制器104可經組態以基於一或多個二值化產品影像判定一或多個缺陷之一或多個演算法估計之缺陷尺寸。用於判定演算法估計之缺陷尺寸之二值化產品影像之特性可包含但不限於經識別/經標記之像素叢集、最大缺陷像素灰階值、最小缺陷像素灰階值及類似者。

【0100】 在步驟818中，基於一或多個演算法估計之缺陷尺寸及一或多個缺陷類型分類判定一或多個缺陷之一或多個缺陷尺寸之一或多個改良估計值。例如，控制器104可經組態以產生針對具有已知特性之各種類型之缺陷將演算法估計之缺陷尺寸與實際/經設計缺陷尺寸相關(例如，

經由具有已知/經設計尺寸之缺陷之訓練影像125)之數學模型(例如，多項式函數)。隨後，在獲取一產品影像之後，控制器104可經組態以判定與缺陷相關聯之一針孔缺陷分類，且判定一演算法估計之缺陷尺寸。接著，控制器104可經組態以基於經判定缺陷類型分類、經產生數學模型及經判定演算法估計之缺陷尺寸判定缺陷之一缺陷尺寸之一改良估計值。

【0101】 熟習此項技術者將認知，本文中描述之組件(例如，操作)、裝置、物件及隨附於其等之論述為概念清晰起見而被用作實例，且預期各種組態修改。因此，如本文中所使用，所闡述之特定範例及隨附論述意欲表示其等之更一般類別。一般而言，任何特定範例之使用意欲表示其類別，且特定組件(例如，操作)、裝置及物件之非包含性不應被視為限制性。

【0102】 熟習此項技術者將瞭解，存在可藉由其實現本文中描述之程序及/或系統及/或其他技術之各種載具(例如，硬體、軟體及/或韌體)，且較佳載具將隨著其中部署程序及/或系統及/或其他技術之內容背景而變化。例如，若一實施者判定速度及準確度最重要，則實施者可選擇一主要硬體及/或韌體載具；替代地，若靈活性最重要，則實施者可選擇一主要軟體實施方案；或再一次替代地，實施人可選擇硬體、軟體及/或韌體之某一組合。因此，存在可藉由其實現本文中描述之程序及/或裝置及/或其他技術之數種可能載具，其等本質上皆不優於其他者，因為待利用之任何載具係取決於其中將部署載具之內容背景及實施者之特定關注(例如，速度、靈活性或可預測性)(其等之任一者可變化)之一選擇。

【0103】 呈現先前描述以使一般技術者能夠進行且使用如在一特定應用及其要求之內容背景中提供之本發明。如本文中所使用，方向術語，

諸如「頂部」、「底部」、「上方」、「下方」、「上」、「朝上」、「下」、「向下」及「朝下」意欲為描述之目的提供相對位置，且並不意欲指定一絕對參考架構。熟習此項技術者將瞭解對所描述之實施例之各種修改，且本文中定義之一般原理可應用於其他實施例。因此，本發明並不意欲限於所展示及描述之特定實施例，而是將符合與本文中揭示之原理及新穎特徵一致之最廣範疇。

【0104】 關於本文中對實質上任何複數及/或單數術語之使用，熟習此項技術者可在適合於內容背景及/或應用時從複數轉變為單數及/或從單數轉變為複數。為清楚起見，未在本文中明確闡述各種單數/複數置換。

【0105】 本文中描述之全部方法可包含將方法實施例之一或多個步驟之結果儲存於記憶體中。結果可包含本文中描述之結果之任一者且可依此項技術中已知之任何方式儲存。記憶體可包含本文中描述之任何記憶體或此項技術中已知之任何其他適合儲存媒體。在已儲存結果之後，結果可在記憶體中存取且藉由本文中描述之方法或系統實施例之任一者使用、經格式化以顯示給一使用者、藉由另一軟體模組、方法或系統使用，等等。此外，可「永久地」、「半永久地」、「暫時地」或在某一時段內儲存結果。例如，記憶體可為隨機存取記憶體(RAM)，且結果可不一定無限存留於記憶體中。

【0106】 進一步應預期，上文描述之方法之實施例之各者可包含本文中描述之任何(若干)其他方法之任何(若干)其他步驟。另外，上文描述之方法之實施例之各者可藉由本文中描述之系統之任一者執行。

【0107】 本文中描述之標的物有時繪示含於其他組件內或與其他組件連接之不同組件。應瞭解，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許多其他架構。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，在本文中經組合以達成一特定功能性之任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配接及/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/或邏輯互動及/或可邏輯互動之組件。

【0108】 此外，應瞭解，本發明係由隨附發明申請專利範圍定義。此項技術者將瞭解，一般而言，在本文中及尤其是在隨附發明申請專利範圍(例如，隨附發明申請專利範圍之主體)中使用之術語一般意欲為「開放性」術語(例如，術語「包含(including)」應被解釋為「包含但不限於」，術語「具有」應被解釋為「至少具有」，術語「包含(includes)」應被解釋為「包含但不限於」，等等)。此項技術者進一步將瞭解，若預期一引入請求項敘述之一特定數量，則此一意圖將明確敘述於請求項中，且在不存在此敘述之情況下不存在此意圖。例如，為幫助理解，下文隨附發明申請專利範圍可含有引入性片語「至少一個」及「一或多個」之使用以引入請求項敘述。然而，不應認為此等片語之使用暗示藉由不定冠詞「一」或「一個」引入一請求項敘述將含有此引入請求項敘述之任何特定請求項限制於僅含有一個此敘述之發明，甚至在相同請求項包含引入性片語「一或多個」或「至少一個」及諸如「一」或「一個」之不定冠詞時亦如此(例如，「一」或「一個」通常應被解釋為意謂「至少一個」或「一或多個」)；用於引入請求項敘述之定冠詞之使用同樣如此。另外，即使明確

敘述一引入請求項敘述之一特定數量，熟習此項技術者仍將認知，此敘述通常應被解釋為意謂至少所敘述數量(例如，不具有其他修飾語之裸敘述「兩個敘述」通常意謂至少兩個敘述或兩個或更多個敘述)。此外，在其中使用類似於「A、B及C等之至少一者」之一慣例之例項中，一般而言在熟習此項技術者將理解該慣例之意義上預期此一構造(例如，「具有A、B及C之至少一者之一系統」將包含但不限於僅具有A、僅具有B、僅具有C、同時具有A及B、同時具有A及C、同時具有B及C及/或同時具有A、B及C、等等之系統)。在其中使用類似於「A、B或C等之至少一者」之一慣例之例項中，一般而言在熟習此項技術者將理解該慣例之意義上預期此一構造(例如，「具有A、B或C之至少一者之一系統」將包含但不限於僅具有A、僅具有B、僅具有C、同時具有A及B、同時具有A及C、同時具有B及C及/或同時具有A、B及C、等等之系統)。相關技術者進一步將瞭解，呈現兩個或更多個替代術語之實際上任何轉折詞及/或片語(無論是在描述、發明申請專利範圍還是圖式中)應被理解為預期包含該等術語之一者、該等術語之任一者或兩個術語之可能性。例如，片語「A或B」將被理解為包含「A」或「B」或「A及B」之可能性。

【0109】 據信，藉由前文描述，將理解本發明及其許多伴隨優點，且將明白，可在不脫離所揭示之標的物或不犧牲全部其材料優點之情況下對組件之形式、構造及配置作出各種改變。所描述之形式僅為說明性的，且下文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】

【0110】

- 100 系統
- 101 照明
- 102 檢測子系統
- 102a 光學檢測子系統
- 102b 掃描電子顯微鏡(SEM)檢測子系統
- 104 控制器
- 106 處理器
- 108 記憶體
- 110 使用者介面
- 111 照明臂
- 112 照明源
- 113 收集臂
- 114 光學元件
- 116 光束分離器
- 118 物鏡
- 120 樣品
- 122 載物台總成
- 124 光學元件
- 125 訓練影像
- 126 偵測器總成
- 128 電子束源
- 129 電子束
- 130 電子光學元件

131	二次及/或反向散射電子
132	電子光學元件
134	電子偵測器總成
135	產品影像
135a	產品影像
135b	產品影像
135c	產品影像
135d	檢視影像/產品影像
136	電子感測器
200	流程圖
202	步驟
204	步驟
206	步驟
208	步驟
210	步驟
212	步驟
214	步驟
216	步驟
218	步驟
220	步驟
302	標度
500	圖表
502	曲線

504	曲線
600	圖表
700	圖表
702	圖表
800	方法
802	步驟
804	步驟
806	步驟
808	步驟
810	步驟
812	步驟
814	步驟
816	步驟
818	步驟

【發明申請專利範圍】

【第1項】

一種用於特性化一樣品之系統，其包括：

一控制器，其包含經組態以執行儲存於記憶體中之一程式指令集之一或多個處理器，該程式指令集經組態以引起該一或多個處理器：

接收該樣品之一或多個缺陷之一或多個訓練影像，其中該一或多個訓練影像包含：針對範圍從80 nm至200 nm的多個缺陷的一組修補（patch）影像，以及針對大於200 nm的多個缺陷的一組檢視（review）影像；

基於該一或多個訓練影像產生一或多個機器學習分類器；

接收一樣品之一或多個缺陷之一或多個產品影像，其中該一或多個產品影像的一些產品影像是多個修補影像，以及該一或多個產品影像的一些產品影像是多個檢視影像；

運用該一或多個機器學習分類器判定該一或多個缺陷之一或多個缺陷類型分類；

運用一或多個平滑濾波器過濾該一或多個產品影像；

執行一或多個二值化程序以產生一或多個二值化產品影像；

對該一或多個二值化產品影像執行一或多個形態影像處理操作；

藉由使用多個修補影像針對具有80 nm至200 nm之間的多個缺陷尺寸的多個產品影像判定一或多個缺陷尺寸以及藉由使用多個檢視影像針對具有大於200 nm的多個缺陷尺寸的多個產品影像判定一或多個缺陷尺寸；及

基於一或多個演算法估計之缺陷尺寸及該一或多個缺陷類型分類

判定具有小於80 nm的尺寸的該一或多個缺陷之一或多個缺陷尺寸之一或多個改良估計值。

【第2項】

如請求項1之系統，其中該一或多個缺陷類型分類包括一針孔缺陷分類、一光阻點缺陷分類、一刮痕缺陷分類或一快速定位缺陷分類之至少一者。

【第3項】

如請求項1之系統，其中接收該樣品之一或多個缺陷之該一或多個訓練影像包括：

接收該樣品之該一或多個缺陷之該一或多個訓練影像；及

接收與該一或多個缺陷相關聯之一已知缺陷類型分類或一已知缺陷尺寸之至少一者。

【第4項】

如請求項1之系統，其中該機器學習分類器包括一隨機森林分類器、一支援向量機(SVM)分類器、一整體學習分類器或一深度神經網路之至少一者。

【第5項】

如請求項1之系統，其進一步包括一檢測子系統，其中自該檢測子系統接收該一或多個訓練影像或該一或多個產品影像之至少一者。

【第6項】

如請求項1之系統，其中該控制器進一步經組態以：

對該一或多個產品影像執行一或多個影像處理操作。

【第7項】

如請求項6之系統，其中執行該一或多個影像處理操作包括：

運用一影像按比例調整操作調整該一或多個產品影像之一尺寸以產生一或多個按比例調整之產品影像；及

運用一或多個影像銳化操作更改該一或多個按比例調整之產品影像。

【第8項】

如請求項7之系統，其中該一或多個影像按比例調整操作包括一影像按比例放大操作。

【第9項】

如請求項7之系統，其中該一或多個影像銳化操作包括：

運用一拉普拉斯濾波器執行之一影像過濾操作。

【第10項】

如請求項6之系統，其中對該一或多個產品影像執行該一或多個影像處理操作包括：

將該一或多個產品影像自一第一色彩空間系統轉換為一第二色彩空間系統。

【第11項】

如請求項10之系統，其中該第一色彩空間系統包括一紅綠藍(RGB)色彩空間系統，且該第二色彩空間系統包括一色度彩度亮度(HSV)色彩空間系統。

【第12項】

如請求項1之系統，其中該控制器進一步經組態以：

識別該一或多個二值化產品影像內之複數個像素叢集；及

判定該複數個像素叢集之一或多個像素叢集與該一或多個缺陷相關聯。

【第13項】

如請求項1之系統，其中該一或多個形態影像處理操作包括一形態侵蝕操作、一形態擴張操作、一形態敞開操作或一形態閉合操作之至少一者。

【第14項】

如請求項1之系統，其中該樣品包括一光罩。

【第15項】

如請求項1之系統，其中該控制器經組態以基於該一或多個改良估計值或該一或多個缺陷類型分類之至少一者產生一或多個控制信號，該一或多個控制信號經組態以選擇性地調整一或多個製程工具。

【第16項】

如請求項1之系統，其中該控制器進一步經組態以：

產生一或多個數學模型以獲得一或多個經產生數學模型，其經組態以將該一或多個演算法估計之缺陷尺寸與該一或多個訓練影像內之該一或多個缺陷之一或多個已知缺陷尺寸相關。

【第17項】

如請求項16之系統，其中基於該一或多個演算法估計之缺陷尺寸及該一或多個缺陷類型分類判定該一或多個缺陷之該一或多個缺陷尺寸之該一或多個改良估計值包括：

至少部分基於該一或多個經產生數學模型判定該一或多個缺陷之該一或多個缺陷尺寸之該一或多個改良估計值。

【第18項】

一種用於特性化一樣品之系統，其包括：

一檢測子系統，其經組態以獲取一樣品之一或多個影像；及

一控制器，其通信地耦合至該檢測子系統，該控制器包含經組態以執行儲存於記憶體中之一程式指令集之一或多個處理器，該程式指令集經組態以引起該一或多個處理器：

自該檢測子系統接收該樣品之一或多個缺陷之一或多個訓練影像，其中該一或多個訓練影像包含：針對範圍從80至200 nm的多個缺陷的一組修補（patch）影像，以及針對大於200 nm的多個缺陷的一組檢視影像；

基於該一或多個訓練影像產生一或多個機器學習分類器；

自該檢測子系統接收一樣品之一或多個缺陷之一或多個產品影像，其中該一或多個產品影像的一些產品影像是多個修補影像，以及該一或多個產品影像的一些產品影像是多個檢視影像；

運用該一或多個機器學習分類器判定該等產品影像之該一或多個缺陷之一或多個缺陷類型分類；

對該一或多個產品影像執行一或多個形態影像處理操作；

藉由使用多個修補影像針對具有80 nm至200 nm之間的多個缺陷尺寸的多個產品影像判定一或多個缺陷尺寸以及藉由使用多個檢視影像針對具有大於200 nm的多個缺陷尺寸的多個產品影像判定一或多個缺陷尺寸；及

基於一或多個演算法估計之缺陷尺寸及該一或多個缺陷類型分類判定具有小於80 nm的尺寸的該一或多個缺陷之一或多個缺陷尺寸之

一或多個改良估計值。

【第19項】

如請求項18之系統，其中該控制器進一步經組態以：

產生一或多個數學模型以獲得一或多個經產生數學模型，其經組態以將該一或多個演算法估計之缺陷尺寸與該一或多個訓練影像內之該一或多個缺陷之一或多個已知缺陷尺寸相關。

【第20項】

如請求項19之系統，其中基於該一或多個演算法估計之缺陷尺寸及該一或多個缺陷類型分類判定該一或多個缺陷之該一或多個缺陷尺寸之該一或多個改良估計值包括：

至少部分基於該一或多個經產生數學模型判定該一或多個缺陷之該一或多個缺陷尺寸之該一或多個改良估計值。

【第21項】

一種用於特性化一樣品之方法，其包括：

獲取一樣品之一或多個缺陷之一或多個訓練影像；

基於該一或多個訓練影像產生一機器學習分類器；

獲取一樣品之一或多個缺陷之一或多個產品影像；

運用該機器學習分類器判定該一或多個缺陷之一或多個缺陷類型分類；

運用一或多個平滑濾波器過濾該一或多個產品影像；

執行一或多個二值化程序以產生一或多個二值化產品影像；

對該一或多個二值化產品影像執行一或多個形態影像處理操作；

藉由使用多個修補影像針對具有80 nm至200 nm之間的多個缺陷尺

寸的多個產品影像判定一或多個缺陷尺寸以及藉由使用多個檢視影像針對具有大於200 nm的多個缺陷尺寸的多個產品影像判定一或多個缺陷尺寸；及

基於一或多個演算法估計之缺陷尺寸及該一或多個缺陷類型分類判定具有小於80 nm的尺寸的一或多個缺陷之一或多個缺陷尺寸之一或多個改良估計值。

【第22項】

如請求項21之方法，進一步包括：

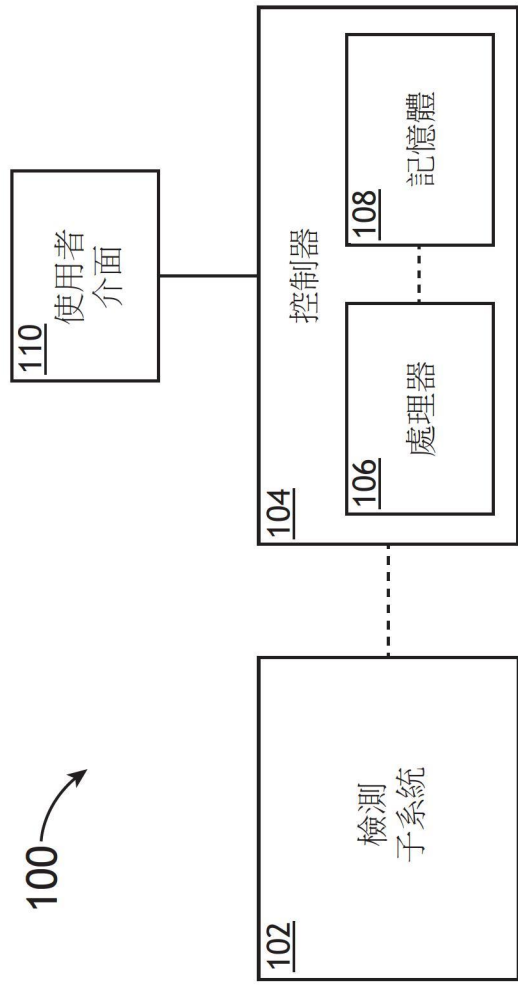
產生一或多個數學模型以獲得一或多個經產生數學模型，其經組態以將該一或多個演算法估計之缺陷尺寸與該一或多個訓練影像內之該一或多個缺陷之一或多個已知缺陷尺寸相關。

【第23項】

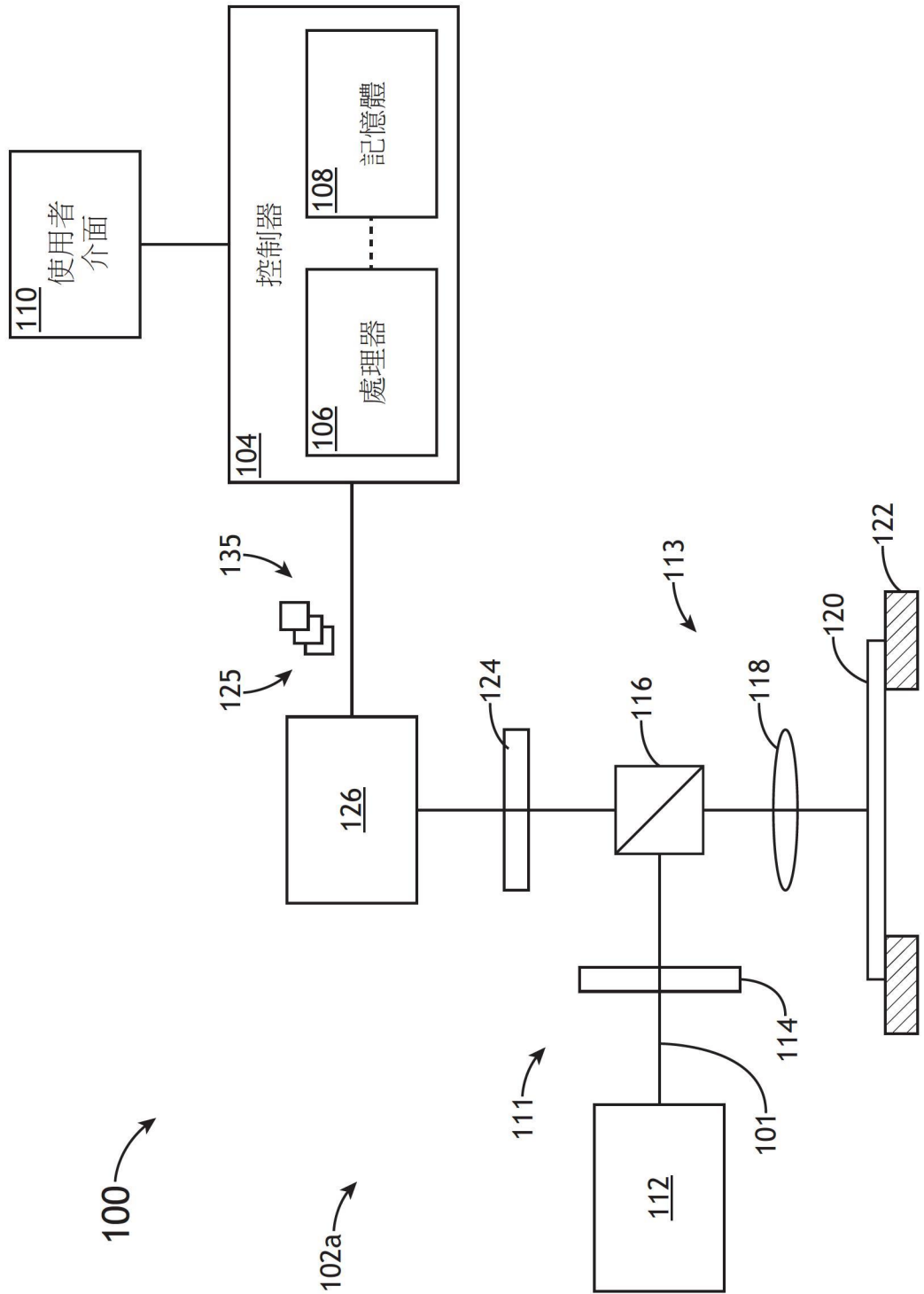
如請求項22之方法，其中基於該一或多個演算法估計之缺陷尺寸及該一或多個缺陷類型分類判定該一或多個缺陷之該一或多個缺陷尺寸之該一或多個改良估計值包括：

至少部分基於該一或多個經產生數學模型判定該一或多個缺陷之該一或多個缺陷尺寸之該一或多個改良估計值。

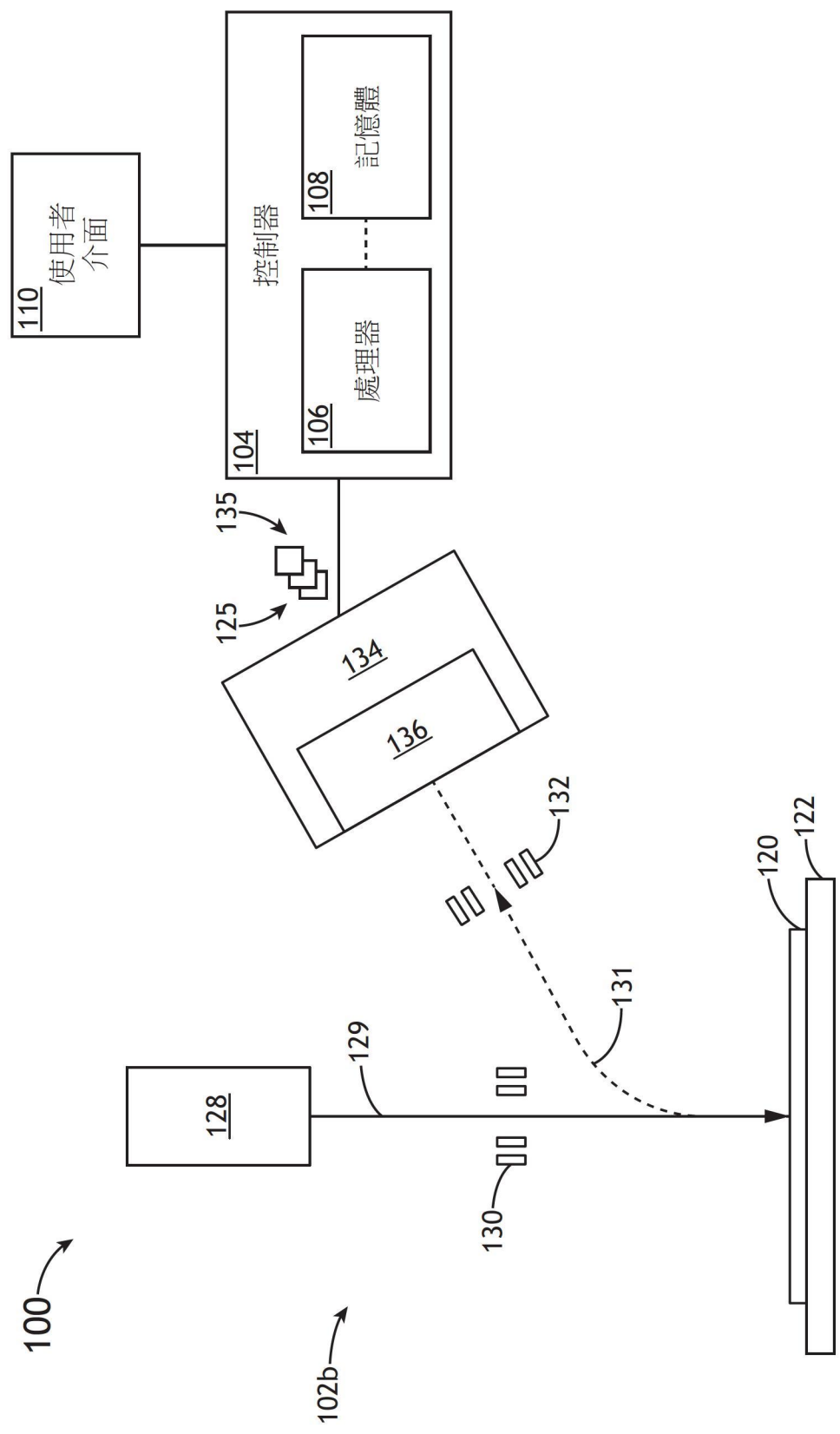
【發明圖式】



【圖1A】

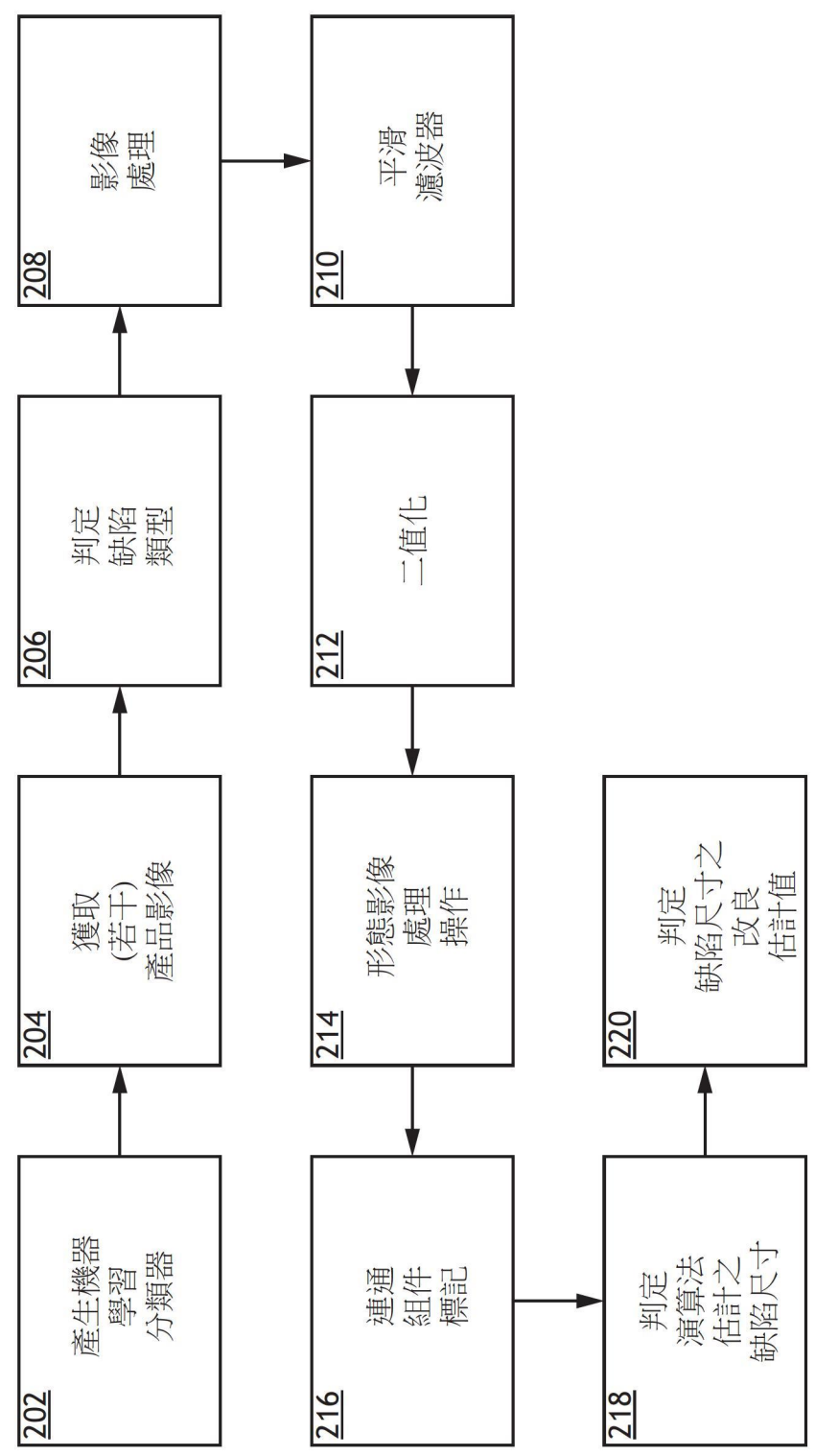


【圖1B】

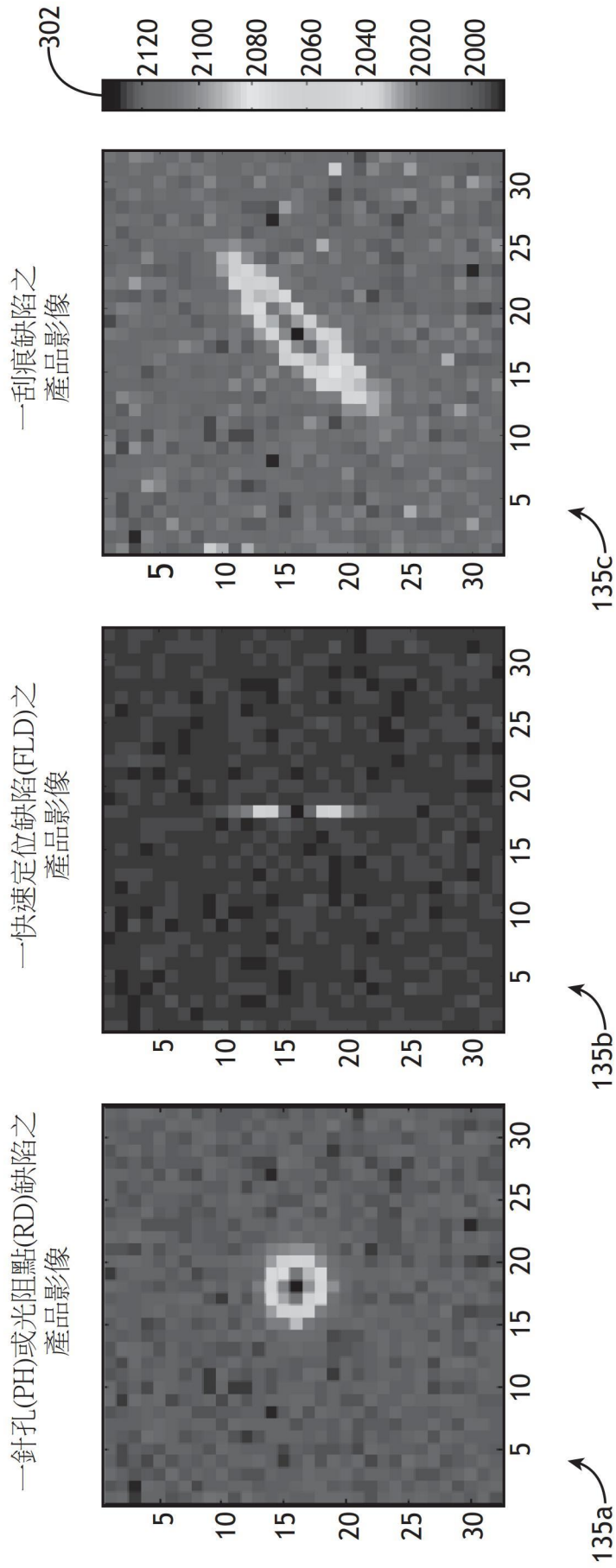


【圖1C】

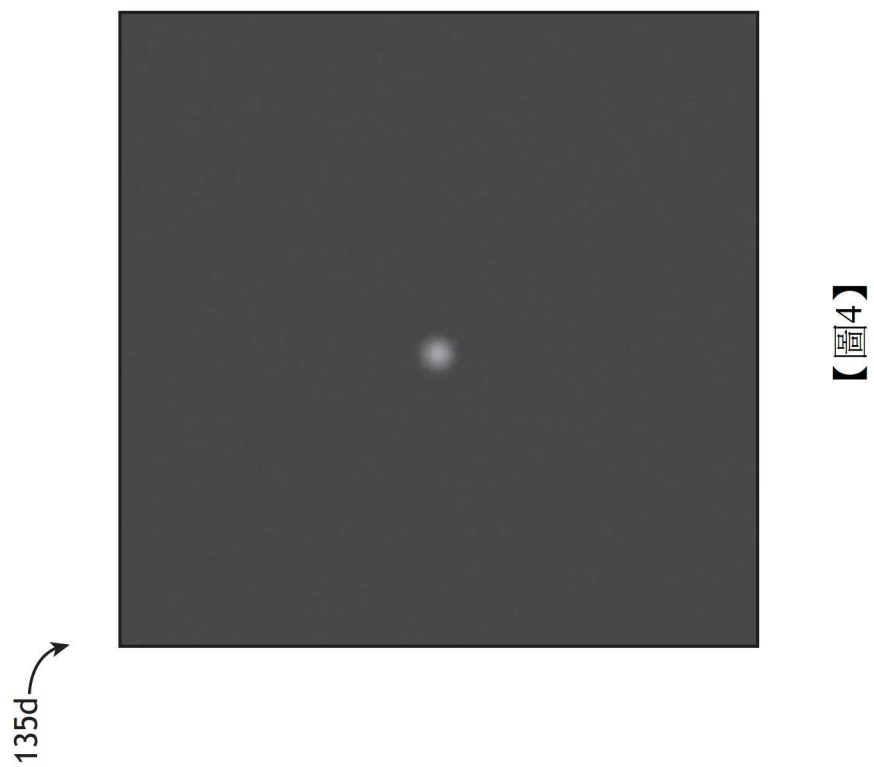
200 →

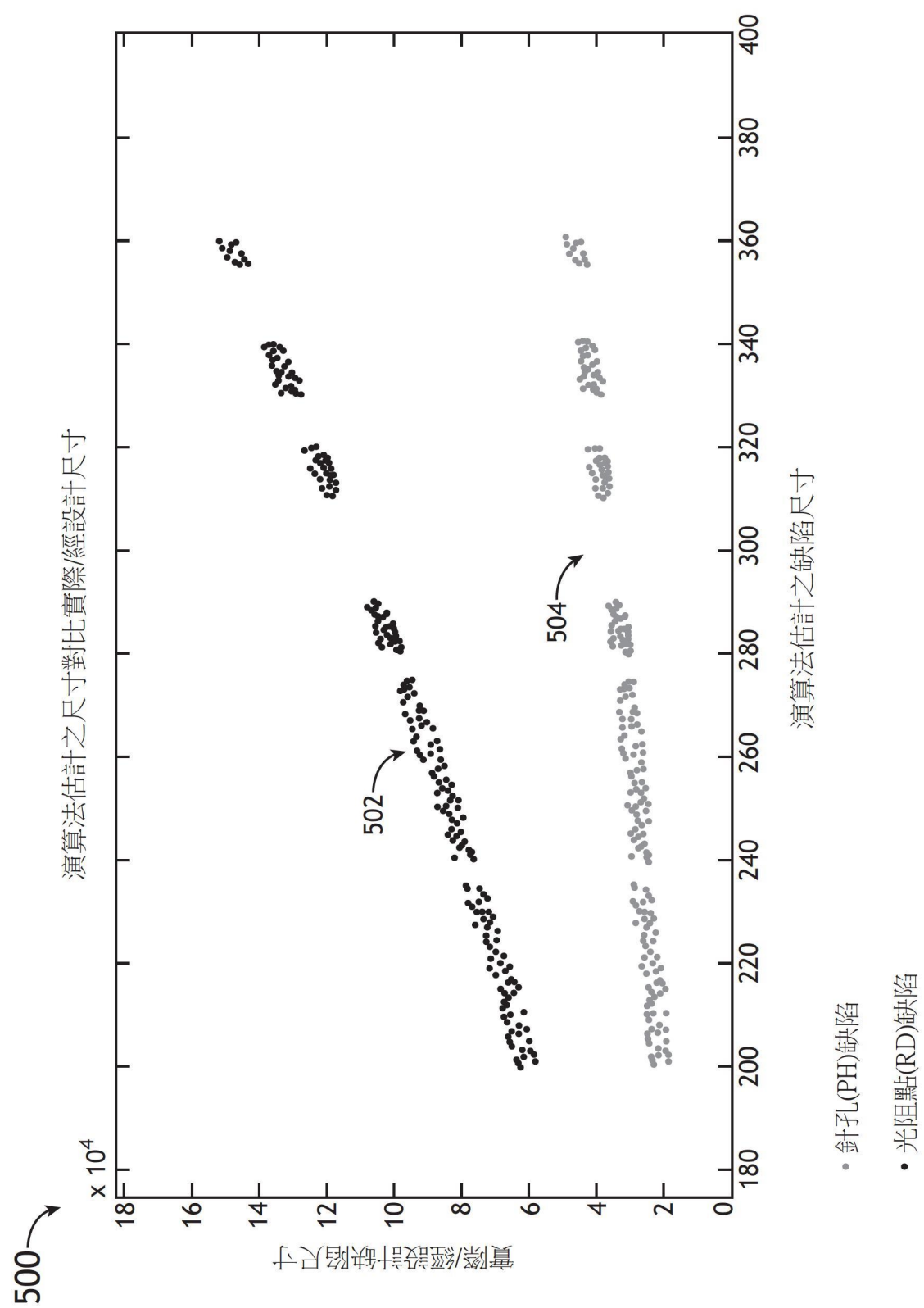


【圖2】

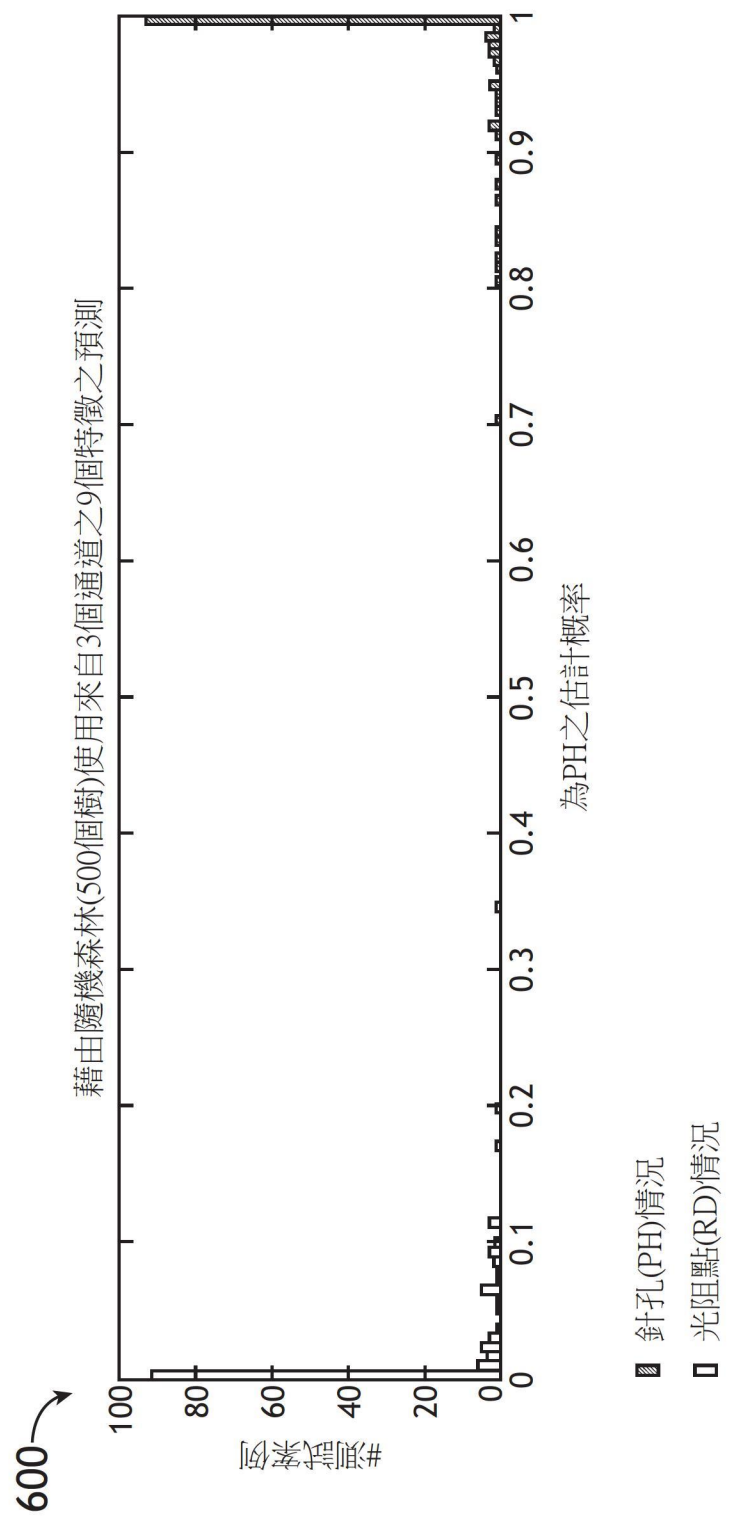


【圖3】

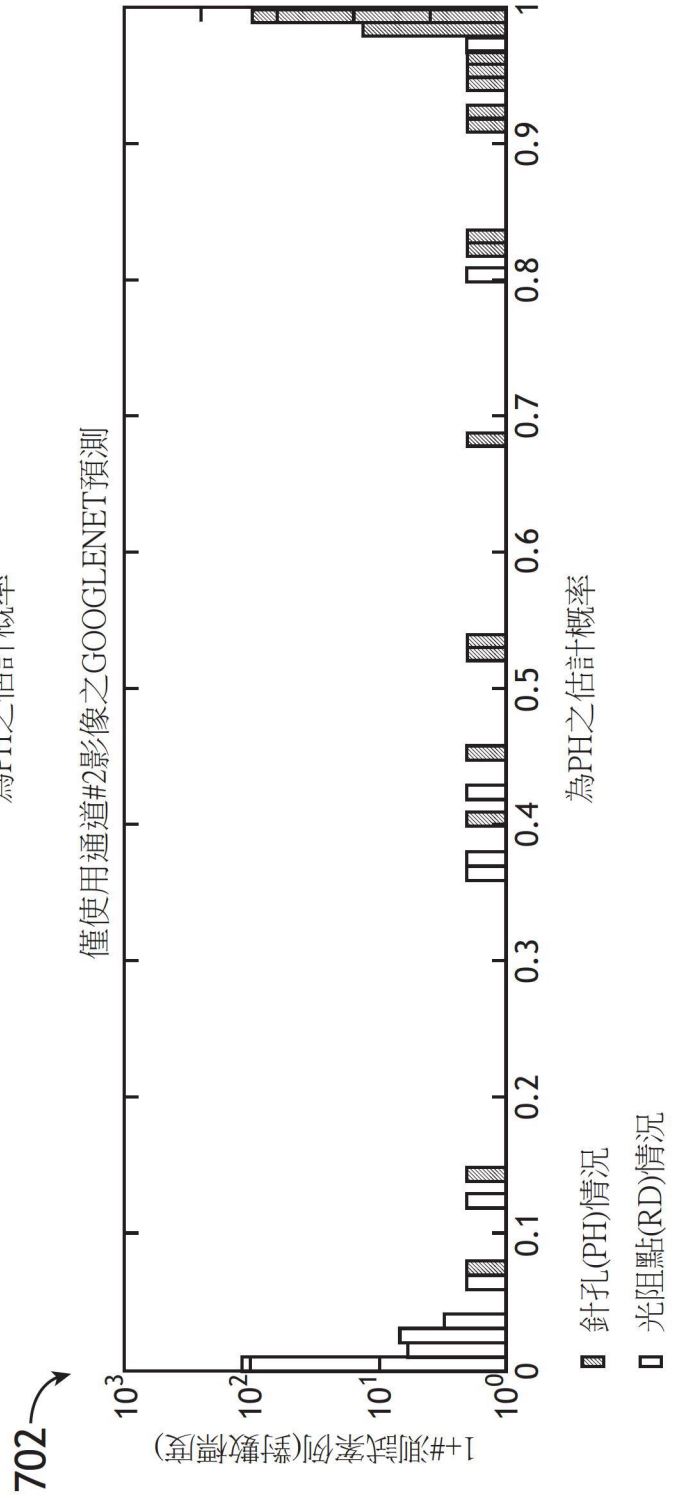
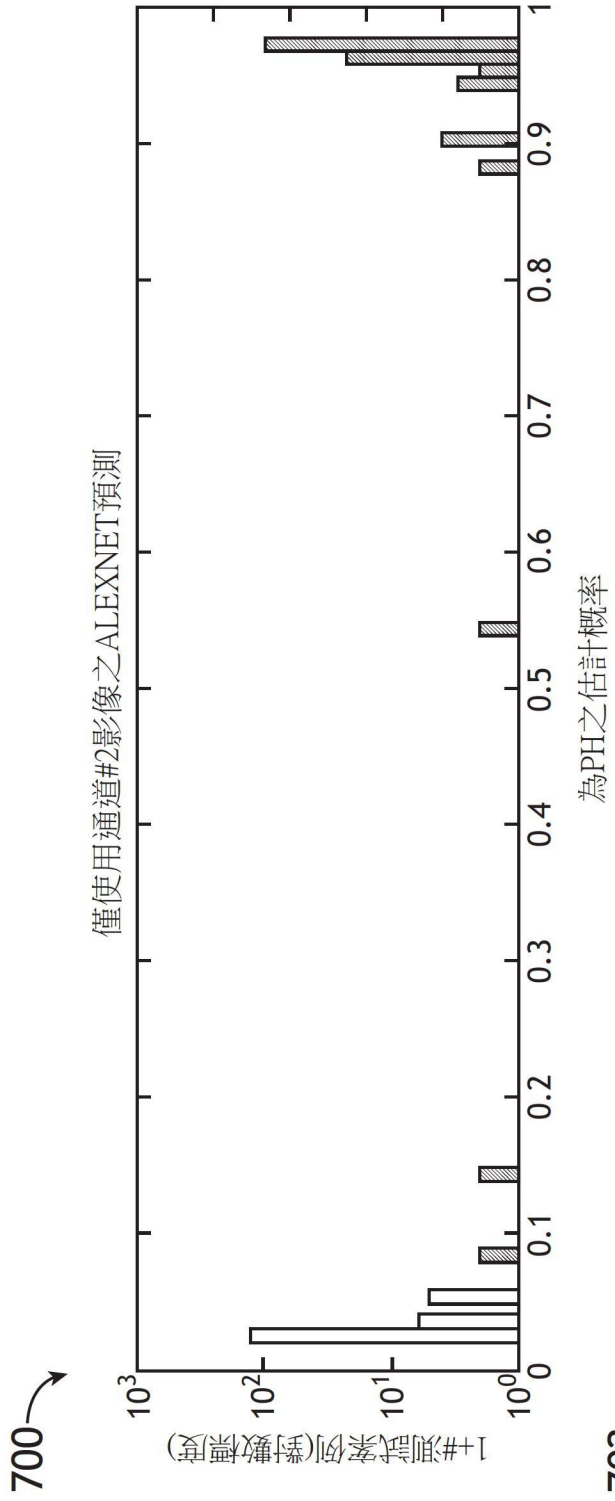




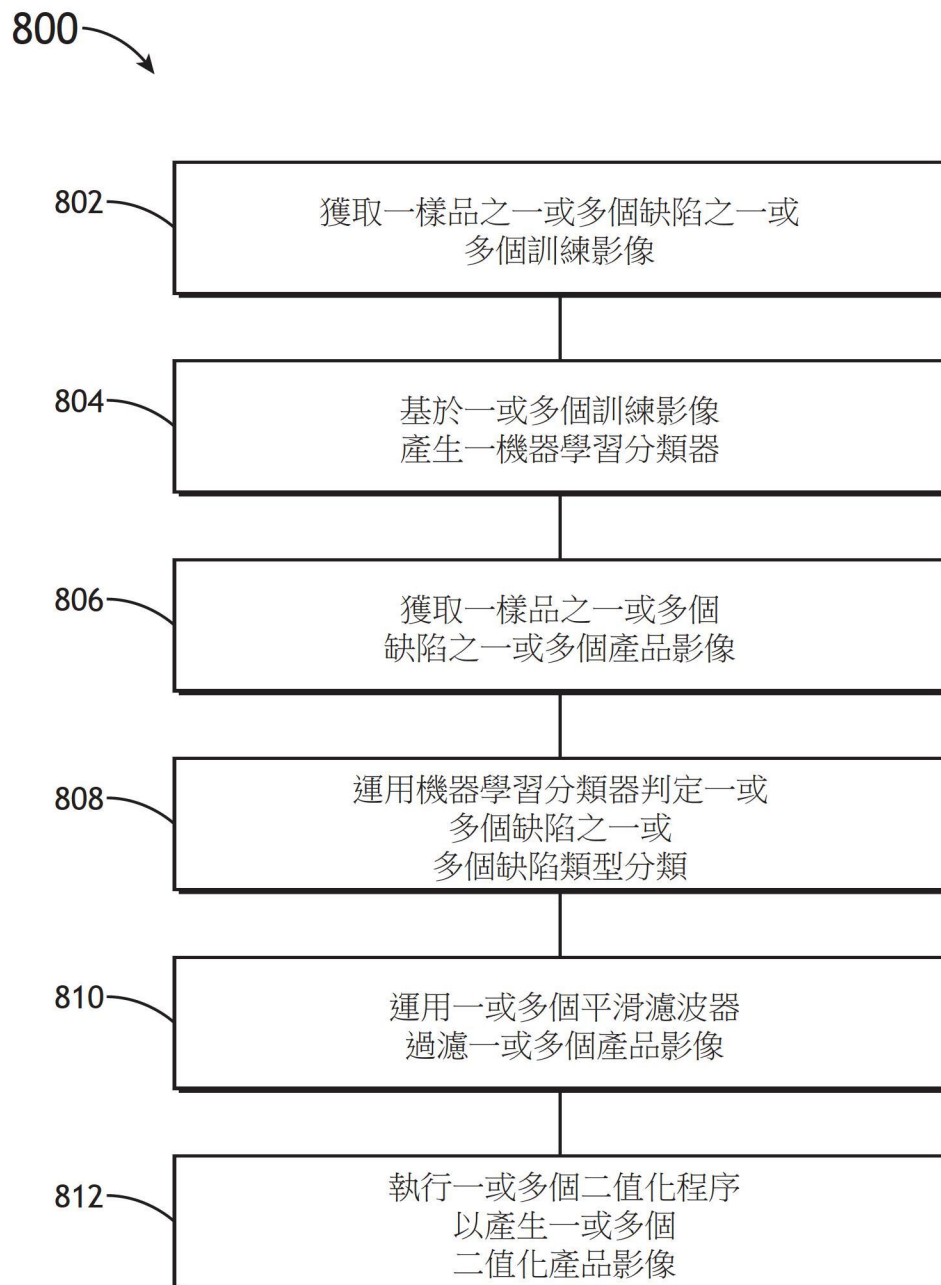
【圖5】



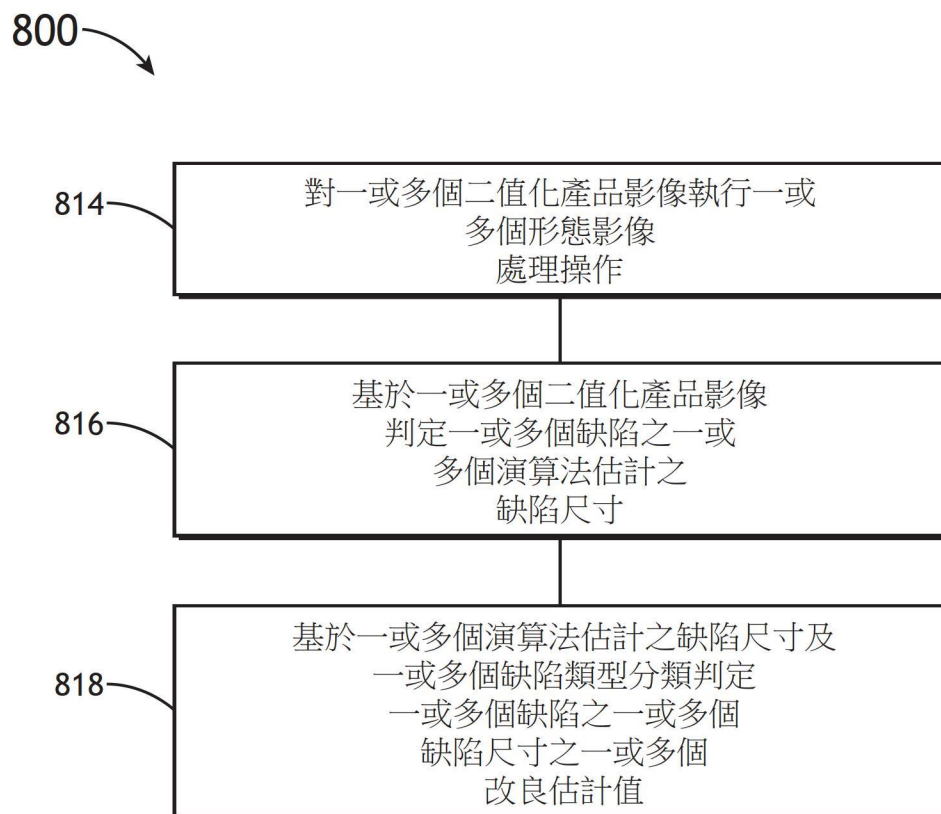
【圖6】



【圖7】



【圖8A】



【圖8B】