



(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 I884290 B

(45)公告日：中華民國 114 (2025) 年 05 月 21 日

(21)申請案號：110125604

(22)申請日：中華民國 110 (2021) 年 07 月 13 日

(51)Int. Cl. : H01L21/66 (2006.01)

G06N3/08 (2023.01)

(30)優先權：2020/09/24 美國

17/030,690

(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：山可 德思米特瑞 SANKO, DZMITRY (US)；文璿瑛 MOON, MIN-YEONG
(KR)；潘戴夫 史帝藍 伊凡渥夫 PANDEV, STILIAN IVANOV (US)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

US 2016/0154319A1

WO 2012/092132A2

審查人員：湯欽全

申請專利範圍項數：20 項 圖式數：6 共 47 頁

(54)名稱

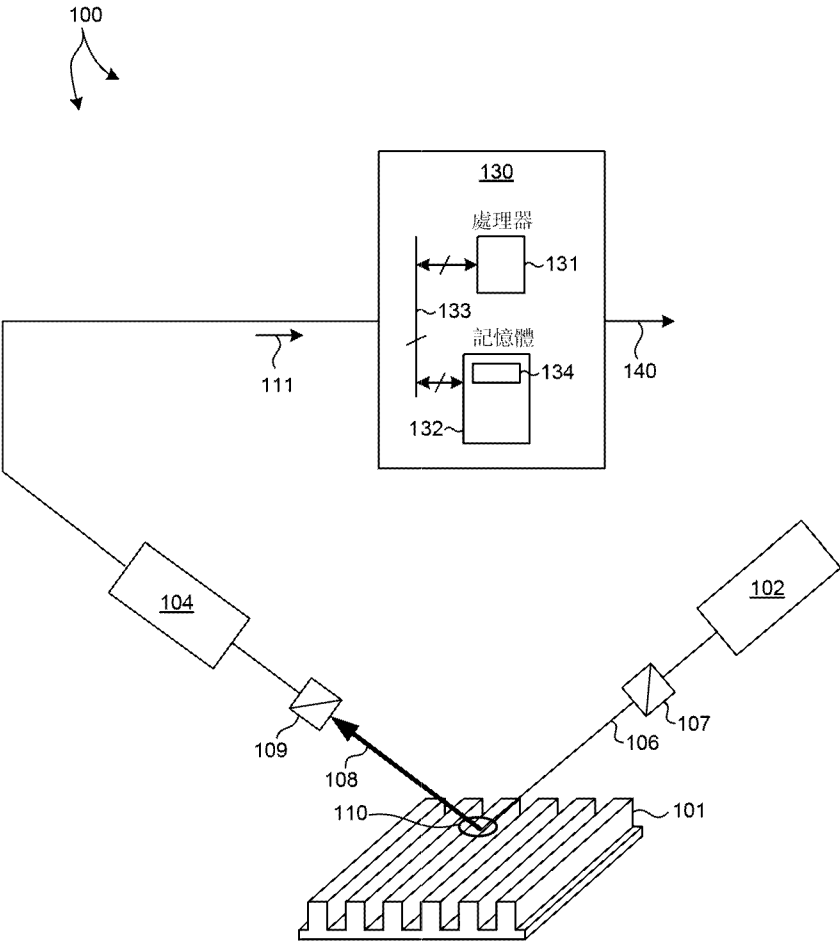
用於判定半導體量測之品質之方法及系統

(57)摘要

本文中呈現用於估計指示一半導體量測之一或多個效能特性的一品質度量之一值之方法及系統。將該品質度量之該值正規化以確保跨越一寬廣範圍之量測方案之適用性。在某些實施例中，在量測推斷期間判定每一量測樣品之一品質度量之一值。在某些實施例中，一經訓練品質度量模型用以判定缺陷分類之不確定性。在某些實施例中，一經訓練品質度量模型用以判定諸如幾何、色散、程序及電參數之所估計所關注參數之不確定性。在某些實例中，一品質度量用作一過濾器以偵測量測離群值。在某些其他實例中，一品質度量用作一觸發器以調整一半導體程序。

Methods and systems for estimating a value of a quality metric indicative of one or more performance characteristics of a semiconductor measurement are presented herein. The value of the quality metric is normalized to ensure applicability across a broad range of measurement scenarios. In some embodiments, a value of a quality metric is determined for each measurement sample during measurement inference. In some embodiments, a trained quality metric model is employed to determine the uncertainty of defect classification. In some embodiments, a trained quality metric model is employed to determine the uncertainty of estimated parameters of interest, such as geometric, dispersion, process, and electrical parameters. In some examples, a quality metric is employed as a filter to detect measurement outliers. In some other examples, a quality metric is employed as a trigger to adjust a semiconductor process.

指定代表圖：



【圖1】

符號簡單說明：

- 100:記憶體板上系統/
晶圓計量系統/計量系
統/系統
- 101:橢圓偏光計/結構
- 102:照射器
- 104:晶圓/光譜儀
- 106:經偏光照射光束
- 107:偏光狀態產生器
- 108:收集光束
- 109:偏光狀態分析器
- 111:量測資料/光譜
- 130:單電腦系統/多電
腦系統/電腦系統/運算
系統
- 131:處理器
- 132:記憶體
- 133:匯流排
- 134:程式指令



I884290

【發明摘要】**【中文發明名稱】**

用於判定半導體量測之品質之方法及系統

【英文發明名稱】

METHODS AND SYSTEMS FOR DETERMINING QUALITY OF
SEMICONDUCTOR MEASUREMENTS

【中文】

本文中呈現用於估計指示一半導體量測之一或多個效能特性的一品質度量之一值之方法及系統。將該品質度量之該值正規化以確保跨越一寬廣範圍之量測方案之適用性。在某些實施例中，在量測推斷期間判定每一量測樣品之一品質度量之一值。在某些實施例中，一經訓練品質度量模型用以判定缺陷分類之不確定性。在某些實施例中，一經訓練品質度量模型用以判定諸如幾何、色散、程序及電參數之所估計所關注參數之不確定性。在某些實例中，一品質度量用作一過濾器以偵測量測離群值。在某些其他實例中，一品質度量用作一觸發器以調整一半導體程序。

【英文】

Methods and systems for estimating a value of a quality metric indicative of one or more performance characteristics of a semiconductor measurement are presented herein. The value of the quality metric is normalized to ensure applicability across a broad range of measurement scenarios. In some embodiments, a value of a quality metric is determined for each measurement sample during measurement inference. In some embodiments, a trained quality metric model is

employed to determine the uncertainty of defect classification. In some embodiments, a trained quality metric model is employed to determine the uncertainty of estimated parameters of interest, such as geometric, dispersion, process, and electrical parameters. In some examples, a quality metric is employed as a filter to detect measurement outliers. In some other examples, a quality metric is employed as a trigger to adjust a semiconductor process.

【指定代表圖】

圖1

【代表圖之符號簡單說明】

100: 記憶體板上系統/晶圓計量系統/計量系統/系統

101: 橢圓偏光計/結構

102: 照射器

104: 晶圓/光譜儀

106: 經偏光照射光束

107: 偏光狀態產生器

108: 收集光束

109: 偏光狀態分析器

111: 量測資料/光譜

130: 單電腦系統/多電腦系統/電腦系統/運算系統

131: 處理器

132: 記憶體

133: 匯流排

134: 程式指令

【發明說明書】

【中文發明名稱】

用於判定半導體量測之品質之方法及系統

【英文發明名稱】

METHODS AND SYSTEMS FOR DETERMINING QUALITY OF SEMICONDUCTOR MEASUREMENTS

【技術領域】

【0001】所闡述實施例係關於計量系統及方法，且更特定而言，係關於用於半導體結構之經改良量測之方法及系統。

【先前技術】

【0002】通常藉由適用於一樣本之一序列處理步驟來製作諸如邏輯及記憶體裝置之半導體裝置。藉由此等處理步驟來形成半導體裝置之各種特徵及多個結構層級。舉例而言，其他處理步驟當中之微影係一種涉及在一半導體晶圓上產生一圖案的半導體製作程序。半導體製作程序之額外實例包含但不限於化學機械拋光、蝕刻、沈積及離子植入。可在一單個半導體晶圓上製作多個半導體裝置，且然後將多個半導體裝置分離成個別半導體裝置。

【0003】在一半導體製造程序期間，在各個步驟處使用計量程序來偵測晶圓上之缺陷以促成較高良率。光學計量技術及基於X射線之計量技術提供高輸送量而不具有樣品損毀之風險的可能性。通常使用包含散射量測、反射量測及橢圓偏光量測實施方案及相關聯分析演算法之若干種基於計量之技術來表徵臨界尺寸、膜厚度、組合物、疊對及奈米尺度結構之其他參數。

【0004】諸多計量技術係量測一被量測樣本之物理性質之間接方法。在大多數情形中，原始量測信號無法用以直接判定樣本之物理性質。而是，基於原始量測信號，一量測模型用以估計一或多個所關注參數之值。舉例而言，橢圓偏光量測係量測被量測樣本之物理性質之一間接方法。一般而言，基於原始量測信號(例如， α_{meas} 及 β_{meas})，需要一基於物理之量測模型或一基於機器學習之量測模型來判定樣本之物理性質。

【0005】在某些實例中，基於一或多個模型參數之所假定值，創建企圖預測原始量測信號(例如， α_{meas} 及 β_{meas})之一基於物理之量測模型。如方程式(1)及(2)中所圖解說明，量測模型包含與計量工具自身相關聯的參數(例如，機器參數(P_{machine}))及與被量測樣本相關聯的參數。當求解所關注參數時，某些樣本參數被視為固定值($P_{\text{spec-fixed}}$)且其他所關注樣本參數係浮動的($P_{\text{spec-float}}$)，亦即，基於原始量測信號進行解析。

$$\alpha_{\text{model}} = f(P_{\text{machine}}, P_{\text{spec-fixed}}, P_{\text{spec-float}}) \quad (1)$$

$$\beta_{\text{model}} = g(P_{\text{machine}}, P_{\text{spec-fixed}}, P_{\text{spec-float}}) \quad (2)$$

【0006】機器參數係用以表徵計量工具(例如，橢圓偏光計101)之參數。例示性機器參數包含入射角度(AOI)、分析器角度(A_0)、偏光器角度(P_0)、照射波長、數值孔徑(NA)、補償器或波板(若存在)等。樣本參數係用以表徵樣本之參數(例如，表徵被量測結構之材料及幾何參數)。對於一薄膜樣本，例示性樣本參數包含折射率、介電函數張量、所有層之標稱層厚度、層序列等。對於一CD樣本，例示性樣本參數包含與不同層相關聯的幾何參數值、與不同層相關聯的折射率等。出於量測目的，機器參數及樣本參數中之諸多者被視為已知固定值參數。然而，樣本參數中之一或多者之值被視為未知的所關注浮動參數。

【0007】在某些實例中，藉由產生理論預測與實驗資料之間的最佳

第 2 頁(發明說明書)

擬合之一迭代程序(例如，回歸)來解析所關注浮動參數之值。未知的所關注浮動參數之值會發生變化，且模型輸出值(例如， α_{model} 及 β_{model})經計算並以一迭代方式與原始量測資料進行比較，直至判定導致模型輸出值與以試驗方式量測之值(例如， α_{meas} 及 β_{meas})之間的一充分接近匹配之一組樣本參數值為止。在某些其他實例中，藉由在一預計算解決方案庫中進行一搜尋以找出最接近匹配來解析浮動參數。

【0008】在某些其他實例中，基於原始量測資料，一基於經訓練機器學習之量測模型用以直接估計所關注參數之值。在此等實例中，一基於機器學習之量測模型採用原始量測信號作為模型輸入並產生所關注參數之值作為模型輸出。

【0009】必須訓練基於物理之量測模型及基於機器學習之量測模型兩者，以產生針對一特定量測應用之所關注參數之有用估計。一般而言，模型訓練係基於自具有所關注參數之已知值之樣本收集的原始量測信號(亦即，實驗設計(DOE)資料)。

【0010】藉由若干個重量參數將一基於機器學習之量測模型參數化。傳統上，藉由一回歸程序(例如，普通最小二乘回歸)來訓練基於機器學習之量測模型。基於所量測原始量測信號，迭代地調整重量參數之值以最小化所關注參數之已知參考值與藉由基於機器學習之量測模型估計之所關注參數之值之間的差。

【0011】如上文中所闡述，藉由若干個機器參數及樣本參數將一基於物理之量測模型參數化。傳統上，亦藉由一回歸程序(例如，普通最小二乘回歸)來訓練一基於物理之量測模型。迭代地調整機器參數及樣本參數中之一或多者以最小化原始量測資料與模型化量測資料之間的差。對於

每一迭代，使所關注特定樣本參數之值維持在已知DOE值下。

【0012】基於量測資料，基於經訓練機器學習之量測模型及基於物理之模型兩者對所關注參數值進行估計。估計之準確度取決於量測資料。舉例而言，在模型訓練階段期間觀察到之量測資料之域之外的量測資料可歸因於外推法而導致大的預測誤差。

【0013】傳統上，已探索出數種技術來量化與每一量測位點相關聯的輸出不確定性。此等技術包含使用變分推斷及馬可夫鏈蒙地卡羅(Markov Chain Monte Carlo (MCMC))方法之貝氏(Bayesian)回歸(例如，線性程序回歸、高斯程序回歸等)、作為一貝氏神經網路之蒙地卡羅丟棄(Monte Carlo dropout)、自助重抽取樣(bootstrap sampling)、來自不同超參數組合之輸出差異、估計樣品至訓練集之中心的距離等。

【0014】不幸地，此等傳統技術已遭遇有限的實際成功。前文所提及技術中之每一者表示未連接至經訓練量測模型之一系集平均值預測。系集平均值預測與一經最佳訓練之量測模型之預測不同。因此，系集平均值預測未能準確估計量測不確定性且未能直接量測出量測模型之品質。另外，貝氏回歸及自助重抽取樣係計算上昂貴的且實務上不適合於作為一高容量半導體製作設施之一部分的實施方案。最終，未將前文所提及技術正規化。在未進行正規化的情況下，無法跨越不同量測配方或被量測結構來一致地解釋結果。

【0015】歸因於愈來愈小之解析度需要、多參數相關性、愈來愈複雜之幾何結構及不透明材料之愈來愈多之使用，未來計量應用針對計量提出挑戰。因此，期望用於經改良量測品質評估之方法及系統。

【發明內容】

【0016】本文中呈現用於估計指示一半導體量測之一或多個效能特性的一品質度量之一值之方法及系統。依據基於實際量測資料、所模擬量測資料或兩者及參考量測資料而訓練之一品質度量模型來判定一品質度量。一旦經訓練，品質度量模型便在不使用參考計量的情況下使得能夠基於在每一量測位點處自直列式晶圓收集之量測資料而計算指示一特定量測配方之量測品質的一定量品質度量。將該品質度量之該值正規化以確保跨越一寬廣範圍之量測方案之適用性。

【0017】在某些實施例中，在量測推斷期間判定每一量測樣品之一品質度量之一值。在某些實施例中，該經訓練量測模型係經訓練以對來自量測資料之缺陷進行偵測及分類之一缺陷分類模型。

【0018】一般而言，一品質度量可用於各種其他目的。具體而言，一品質度量可用以表徵與一所量測所關注參數、缺陷分類等相關聯的不確定性。在某些其他實例中，一品質度量用作一過濾器以偵測量測離群值。在某些其他實例中，一品質度量用作一觸發器以調整一半導體程序。類似地，在某些實例中，品質度量值用以偵測不在製造規格內之晶圓。在此等實例中之某些實例中，品質度量值用以偵測一量測工具偏差何時已漂離規格。在其他實例中，品質度量值用以偵測一量測誤差偏差何時已漂離規格。

【0019】在一項態樣中，藉由訓練一資料重構模型之參數來訓練一品質度量模型。一資料重構模型基於一量測資料集之其他特徵而重構該量測資料集之每一特徵並基於該量測資料集而重構藉由一經訓練量測模型估計之該一或多個所關注參數之該等值。

【0020】在另一態樣中，基於該量之量測資料，一經訓練品質度量

模型用以判定與一特定量測相關聯的一品質度量之一值。

【0021】在又一態樣中，將該原始品質度量值正規化以放寬該品質度量值對多種配方、工具、層、使用情形等之該適用性。以此方式，該經正規化品質度量係一寬泛範圍之量測方案之一量測效能指標。

【0022】在另一態樣中，自一晶圓上位於緊密接近之處的多個目標，對用以訓練並使用如本文中所闡述之一品質度量模型的訓練資料及量測資料進行模擬，自實際量測收集該訓練資料及量測資料，或進行兩者。在某些實施例中，如本文中所闡述之被量測之該等量測目標可係實際裝置結構而非一專用計量目標。

【0023】在另一態樣中，藉由多個不同計量系統，自一或多個目標收集用以訓練並使用如本文中所闡述之一品質度量模型的該訓練資料及量測資料。

【0024】在某些實施例中，用以收集量測資料以估計所關注參數之該等計量系統與用以收集量測資料以估計一品質度量之值之該等計量系統有所不同。

【0025】在另一態樣中，量測多個不同所關注參數，且評估每一不同所關注參數之對應品質度量。在某些實施例中，與多個不同所關注參數相關聯的品質度量用以更清楚地識別與一特定量測配方相關聯的該量測不確定性、更清楚地識別何時需要進程序參數之一改變或兩者。

【0026】在另一態樣中，與緊接近於一量測目標之結構相關聯的所關注參數之值、該等對應品質度量值或兩者用以更清楚地識別何時需要進程序參數之一改變。

【0027】在又另一態樣中，本文中所闡述之該等量測結果可用以提

供對一程序工具(例如，微影工具、蝕刻工具、沈積工具等)之主動回饋。

【0028】前述內容係一發明內容且因此必然含有細節之簡化、概述及省略；因此，熟習此項技術者將瞭解，發明內容僅係說明性的且不以任何方式為限制性的。在本文中所陳述之非限制性實施方式中，本文中所闡述之裝置及/或程序之其他態樣、發明性特徵及優點將變得顯而易見。

【圖式簡單說明】

【0029】圖1繪示根據本文中所呈現之例示性方法的用於監測對一晶圓執行之量測之量測品質的一晶圓計量系統100之一圖解。

【0030】圖2係圖解說明一項實施例中的一例示性量測品質模型訓練引擎150之一圖式。

【0031】圖3係圖解說明另一實施例中的一例示性量測品質引擎160之一圖式。

【0032】圖4A至圖4F係圖解說明藉由一量測模型判定的一所關注參數之值之絕對誤差與同每一量測相關聯的對應品質度量值之間的相關性之曲線圖。

【0033】圖5係指示針對若干個晶圓中之每一者上之若干個量測位點而計算之品質度量值之分佈的一曲線圖。

【0034】圖6圖解說明用於估計指示一半導體量測之一或多個效能特性的一品質度量值之一方法300之一流程圖。

【實施方式】

【0035】現將詳細參考先前技術實例及本發明之某些實施例，在附圖中圖解說明本發明之實例。

【0036】本文中呈現用於估計指示一半導體量測之一或多個效能特

性的一品質度量之一值之方法及系統。依據基於實際量測資料、所模擬量測資料或兩者及參考量測資料而訓練之一品質度量模型來判定一品質度量。一旦經訓練，品質度量模型便在不使用參考計量的情況下使得能夠基於在每一量測位點處自直列式晶圓收集之量測資料而計算指示一特定量測配方之量測品質的一定量品質度量。將品質度量之值正規化以確保跨越一寬廣範圍之量測方案之適用性。

【0037】一般而言，一品質度量之值指示量測不確定性、量測資料與訓練資料相比之異常度、使用經訓練量測模型來估計之所關注參數之值的置信度、在晶圓級或晶圓批次級下調整程序變數之需要等。

【0038】在某些實施例中，在量測推斷期間判定每一量測樣品之一品質度量之一值。在此等實施例中之某些實施例中，一半導體量測涉及使用一經訓練量測模型來推斷來自量測資料之一或多個所關注參數之值。在此等實施例中之某些實施例中，經訓練量測模型係基於物理的。在某些其他實施例中，經訓練量測模型係一基於機器學習之量測模型(例如，線性模型、神經網路模型、捲積網路模型等)。若品質度量之所估計值指示量測品質係不充足的，則對量測進行標記。在某些實施例中，不充分量測品質之重複例項指示量測模型係過期的並需要進行重新訓練。

【0039】在某些實施例中，經訓練量測模型係經訓練以對來自量測資料之缺陷進行偵測及分類之一缺陷分類模型。在此等實施例中，一經訓練品質度量模型用以判定缺陷分類之不確定性。在此等實施例中之某些實施例中，量測資料係影像資料，且經訓練品質度量模型用以判定來自影像資料之缺陷偵測之不確定性。

【0040】在某些實施例中，經訓練量測模型係經訓練以估計以下各

項之值的一計量模型：所關注幾何參數(例如，臨界尺寸、疊對等)、所關注色散參數(例如，折射率等)、所關注程序參數(例如，微影聚焦、劑量等)、所關注電性質(例如，帶隙等)或其任一組合。在此等實施例中，一經訓練品質度量模型用以判定所估計所關注參數之不確定性。

【0041】具體而言，一品質度量可用以表徵與一所量測所關注參數、缺陷分類等相關聯的不確定性。然而，一般而言，一品質度量可用於各種其他目的。在某些實例中，一品質度量用作一過濾器以偵測量測離群值。在一項實例中，將與一特定量測相關聯的一品質度量之值與一預定臨限值進行比較。若品質度量值超出預定臨限值，則將量測視為一離群值。在某些實例中，一品質度量用作一觸發器以調整一半導體程序。舉例而言，若各自與相同量測之一不同例項相關聯的若干個品質度量之平均值超出一所預定臨限值，則調整程序以將品質度量之平均值帶回至一所期望範圍中。

【0042】類似地，在某些實例中，品質度量值用以偵測不在製造規則內之晶圓。在此等實例中之某些實例中，品質度量值用以偵測一量測工具偏差何時已漂離規格。在其他實例中，品質度量值用以偵測一量測誤差偏差何時已漂離規格。

【0043】圖1圖解說明根據本文中所呈現之例示性方法的用於量測一樣本之特性及評估與每一量測相關聯的一品質度量之一系統100。如圖1中所展示，系統100可用以執行結構101之光譜橢圓偏光量測。在此態樣中，系統100可包含配備有一照射器102及一光譜儀104之一光譜橢圓偏光計。系統100之照射器102經組態以產生一所選擇波長範圍(例如，100 nm至2500 nm)之照射並將該照射引導至在製作結構101之後旋即安置在樣本

之表面上的結構。繼而，光譜儀104經組態以接收自結構101反射之照射。應進一步注意，使用一偏光狀態產生器107對自照射器102射出之光進行偏光以產生一經偏光照射光束106。將由結構101反射之輻射傳送穿過一偏光狀態分析器109並到達光譜儀104。關於偏光狀態而對收集光束108中由光譜儀104接收之輻射進行分析，從而允許光譜儀對通過分析器之輻射進行光譜分析。將此等光譜111傳送至運算系統130以便分析如本文中所述之結構。

【0044】如圖1中所繪示，系統100包含一單種量測技術(亦即，SE)。然而，一般而言，系統100可包含任何數目之不同量測技術。藉由非限制性實例之方式，系統100可組態為一光譜橢圓偏光計(包含密勒矩陣橢圓偏光術)、一光譜反射計、一光譜散射計、一疊對散射計、一經角度解析之光束輪廓反射計、一經偏光解析之光束輪廓反射計、一光束輪廓反射計、一光束輪廓橢圓偏光計、任何單波長或多波長橢圓偏光計或其任一組合。此外，一般而言，可自多個工具、整合多種技術之一單個工具或其一組合收集藉由不同量測技術收集且根據本文中所闡述之方法分析之量測資料。

【0045】在又一實施例中，系統100可包含用以根據本文中所闡述之方法執行結構之量測並判定品質度量值之一或多個運算系統130。一或多個運算系統130可通信地耦合至光譜儀104。在一項態樣中，一或多個運算系統130經組態以接收與一被量測結構(例如，結構101)之量測相關聯的量測資料111。

【0046】在一項態樣中，將運算系統130組態為一量測品質模型訓練引擎以訓練與被量測結構之量測相關聯的一品質度量模型。圖2係圖解說

明一項實施例中的一例示性量測品質模型訓練引擎150之一圖式。如圖2中所繪示，量測品質模型訓練引擎150包含一選用資料變換模組151、一經訓練量測模型模組153及一資料重構模型訓練模組155。

【0047】基於一定量之訓練資料及參考資料而訓練一品質度量模型。訓練資料包含實際量測資料、所模擬量測資料或兩者。在某些實施例中，訓練資料包含來自藉由一特定量測工具對特定目標之一量測之模擬的所模擬量測資料。在某些實施例中，訓練資料包含來自藉由一特定量測工具對特定目標之量測的實際量測資料。在此等實施例中之某些實施例中，量測資料包含對標稱晶圓上之目標的實際量測。在此等實施例中之某些實施例中，量測資料包含對具有所關注參數之已知程式化值的實驗設計(DOE)晶圓上之目標的實際量測。

【0048】可對各種量測目標中之任一者的訓練資料進行模擬、收集或兩者。在某些實施例中，量測目標係量測準確度、量測精度追蹤、工具間匹配、晶圓間差異等。

【0049】如上文中所闡述，需要訓練資料來訓練一量測模型。用以訓練品質度量模型之訓練資料可係用以訓練對應量測模型之相同訓練資料集、用以訓練對應量測模型之訓練資料集之一子集或與用以訓練對應量測模型之訓練資料集不同之一資料集。在一較佳實施例中，用以訓練品質度量模型之訓練資料係相同資料集或用以訓練對應量測模型之資料集之一子集。

【0050】用以訓練一品質度量模型之參考資料包含與量測相關聯的一或多個所關注參數之受信任值。在某些實施例中，自一參考計量系統(亦即，受信任以提供所關注參數之一適合量測之一計量系統)獲得參考資

料。在某些實施例中，量測系統之一使用者基於經驗而提供參考資料。在某些實施例中，將參考資料提供為與所量測DOE晶圓相關聯的所關注參數之已知程式化值。在某些實施例中，藉由多種不同量測技術自所關注參數之量測之一統計分析導出參考資料。在某些實施例中，自己知實體約束導出參考資料。

【0051】一般而言，參考資料以諸如精度、準確度(例如，偏差)、追蹤(例如，與參考之相關性)、工具間匹配、晶圓內差異、晶圓平均值、晶圓圖徵、晶圓間差異等之各種術語表達一或多個所關注參數之值。

【0052】在某些實施例中，訓練資料集之特徵直接用作輸入資料以訓練品質度量模型。然而，在某些其他實施例中，將訓練資料集變換為一經縮減維度，且經縮減訓練資料集之特徵直接用以訓練品質度量模型。在諸多實際情況中，較佳的係，縮減訓練資料集之維度以減小計算負擔。在一項實例中，用作訓練資料之一組所量測光譜可包含數千個特徵(例如，15,000個所量測信號)。然而，使用資料縮減，訓練資料集之維度可藉由一或多個數量級(例如，200個信號)來縮減。

【0053】在某些實施例中，藉由主分量分析來達成資料特徵維度縮減，其中將所量測資料集解析成一小得多之主分量集。一般而言，可採用任何適合資料縮減技術，例如，傅立葉分析、小波分析、離散餘弦變換分析等。

【0054】如圖2中所繪示，資料變換模組151接收訓練資料集157。在一項實例中，資料變換模組151將訓練資料集157之特徵變換為具有如方程式(1)中所繪示之 n 個分量的一主分量集152，其中 PC^T 係傳遞至經訓練量測模型模組153及資料重構模型訓練模組155的訓練資料集152之主分

量之向量。

$$PC^T = [PC_1^T, PC_2^T, \dots, PC_N^T] \quad (1)$$

【0055】在一項態樣中，藉由訓練一資料重構模型之參數來訓練一品質度量模型。一資料重構模型基於量測資料集之其他特徵而重構一量測資料集之每一特徵並基於量測資料集而重構藉由一經訓練量測模型估計之一或多個所關注參數之值。

【0056】在一項實例中，在方程式(2)中說明一資料重構模型，其中， PC_i 係量測資料集之第*i*個特徵， PC_i^* 係 PC_i 之經重構值， y 係所量測所關注參數， g_i 係與量測資料集之第*i*個特徵相關聯的重構函數，且 P_i 係與第*i*個重構函數相關聯的重構模型常數。

$$\begin{aligned} PC_1^* &= g_1(PC_2, PC_3, \dots, PC_n, y, y^2, y^3, y^4, P_1)] \\ PC_2^* &= g_2(PC_1, PC_3, \dots, PC_n, y, y^2, y^3, y^4, P_2)] \\ &\dots \\ PC_n^* &= g_n(PC_1, PC_2, \dots, PC_{n-1}, y, y^2, y^3, y^4, P_n)] \end{aligned} \quad (2)$$

在方程式(2)中說明之實例中，量測資料集之每一特徵係一主分量。一般而言，重構函數 g 可係任何適合參數化模型，例如，一線性模型、一神經網路模型等。在方程式(2)中說明之實例中，每一主分量重構係高達一個4階多項式基之所量測所關注參數、除經重構之主分量之外的量測資料集之主分量及每一重構函數 g 之常數參數的一函數。

【0057】基於訓練資料集(具有或不具有資料縮減)以及所關注參數之值 y 而訓練資料重構模型，所關注參數之值 y 係自參考量測知曉或使用經訓練量測模型依據訓練資料集來計算。訓練導致一經調諧組模型參數，例如， P_i 。如圖2中所繪示，將經訓練資料重構模型156儲存在記憶體132中。

【0058】如圖2中所繪示，將主分量集152傳遞至經訓練量測模型模組153。經訓練量測模型模組153使用經訓練量測模型基於主分量集152來判定一或多個所關注參數之值y。將所關注參數154之所計算值傳遞至資料重構模型訓練模組155。在此實例中，使用經訓練量測模型依據訓練資料集來計算所關注參數之值y。在一替代實例中，將所關注參數154之值直接傳遞至資料重構模型訓練模組155。

【0059】在某些實施例中，藉由最小化訓練資料集之每一特徵與每一對應經重構特徵之間的差之總和來訓練資料重構模型；通常表達為一最小平方最小化。藉由非限制性實例之方式，方程式(3)說明一資料重構模型訓練。

$$\min \sum_{i=1}^n (PC_i^T - PC_i^*) = \min \sum_{i=1}^n (PC_i^T - g_i(PC_1, PC_3, \dots, PC_{i-1}, PC_{i+1}, \dots, PC_n, y, y^2, y^3, y^4, P_i)) \quad (3)$$

【0060】在某些其他實施例中，基於訓練資料相關聯的特定域知識來訓練資料重構模型。將域知識被表達為一或多個概率分佈，該等概率分佈繼而用以將訓練期間所採用之最佳化程序規則化。以此方式，藉由基於物理之概率分佈的一或多個表達式將最佳化程序物理地規則化。藉由非限制性實例之方式，與量測精度、工具間匹配、追蹤、晶圓內差異等相關聯的概率分佈用以將最佳化程序物理地規則化。以此方式，以驅動資料重構模型之最佳化的目標函數直接表達自經驗、量測資料及物理性質獲取之域知識。作為一結果，域知識在品質度量模型開發程序中得以充分利用。

【0061】在另一態樣中，基於該量之量測資料，一經訓練品質度量模型用以判定與一特定量測相關聯的一品質度量之一值。

【0062】量測資料包含實際量測資料、所模擬量測資料或兩者。在

某些實施例中，量測資料包含對來自一或多個量測目標之一量測之模擬的所模擬量測資料，該一或多個量測目標與用作訓練資料集之一部分之量測目標在結構上有所不同。

【0063】在某些實施例中，量測資料包含來自藉由一特定量測工具對特定目標之量測的實際量測資料。通常，量測資料包含對標稱晶圓上之目標的實際量測。在某些實施例中，自多個晶圓收集量測資料以估計晶圓間差異。在某些實施例中，自DOE晶圓收集量測資料以估計量測準確度、精度追蹤或兩者。在某些實施例中，藉由多個量測系統收集量測資料以估計工具間匹配。

【0064】在某些實施例中，量測資料集之特徵直接用作至經訓練品質度量模型之輸入資料。然而，在某些其他實施例中，將量測資料集變換為一經縮減維度，且經縮減量測資料集之特徵直接地用作至經訓練品質度量模型之輸入資料。在諸多實際情況中，較佳地，縮減量測資料集之維度以減小計算負擔。一般而言，亦採用用以縮減訓練資料集之相同資料特徵維度縮減技術來縮減量測資料集。

【0065】在某些實施例中，藉由主分量分析來達成資料特徵維度縮減，其中將所量測資料集解析成一小得多之主分量集。一般而言，可採用任何適合資料縮減技術，例如，傅立葉分析、小波分析、離散餘弦變換分析等。

【0066】如圖3中所繪示，量測資料集173由資料變換模組161接收。在一項實例中，資料變換模組161將訓練資料集173之特徵變換為具有如方程式(4)中所繪示之 n 個分量的一主分量集162，其中PC係傳遞至經訓練量測模型模組163及經訓練資料重構模組165的量測資料集162之主分

量之向量。

$$PC = [PC_1, PC_2, \dots, PC_n] \quad (4)$$

【0067】如圖3中所繪示，將主分量集162傳遞至經訓練量測模型模組163。經訓練量測模型模組163使用經訓練量測模型基於主分量集162來判定一或多個所關注參數之值 y 。將所關注參數164之所計算值傳遞至經訓練資料重構模組165。例示性所關注參數包含幾何參數、色散參數、程序參數或表徵所量測結構之電參數。

【0068】另一選擇係，量測資料集173藉由經訓練量測模型進行處理以估計表徵所量測結構之一或多個所關注參數之值，例如， y 。

【0069】資料重構模型基於量測資料集之其他特徵以及藉由經訓練量測模型基於量測資料集估計之一或多個所關注參數之值而重構量測資料集(或經縮減量測資料集)之每一特徵。在一項實例中，在方程式(2)中說明一資料重構模型。在此實例中， PC_i 係量測資料集之第 i 個特徵， PC_i^* 係 PC_i 之經重構值， y 係所量測所關注參數， g_i 係與量測資料集之第 i 個特徵相關聯的重構函數，且 P_i 係與第 i 個重構函數相關聯的重構模型常數之向量。

【0070】如圖3中所繪示，將主分量集162以及所關注參數164之所計算值傳遞至經訓練資料重構模組165。重構函數及重構模型常數係已知的。藉由非限制性實例之方式，經訓練資料重構模組165使用如方程式(2)中說明之經訓練資料重構模型來判定經重構量測資料集(例如，經重構主分量166)之值。

【0071】一般而言，若經評估之量測資料接近訓練空間，則每一資料特徵(例如， PC_i)將類似於其對應經重構資料特徵(例如， PC_i^*)。

【0072】如圖3中所繪示，經訓練量測模型模組167使用經訓練量測模型來接收經重構量測資料集166並估計表徵所量測結構之一或多個所關注參數168之值，例如， y^* 。

【0073】如圖3中所繪示，品質度量模組169接收基於經重構量測資料集判定之一或多個所關注參數168及基於量測資料集判定之一或多個所關注參數164的值。將一原始品質度量值170判定為所關注參數之所量測值(例如， y)與使用經重構量測資料估計之所關注參數之值(例如， y^*)之間的一絕對差，如由方程式(5)所說明，其中 QM_{raw} 係原始品質度量之值。該差指示使用量測模型估計之所關注參數之值的不確定性。

$$QM_{raw} = |y - y^*| \quad (5)$$

【0074】如圖3中所繪示，正規化模組171將原始品質度量值170正規化以產生儲存在記憶體132中之一經正規化品質度量值172。原始品質度量值之尺度取決於層、工具、量測配方、使用情形等而發生變化。在又一態樣中，將原始品質度量值正規化以放寬品質度量值對多個配方、工具、層、使用情形等之適用性。以此方式，經正規化品質度量係一寬泛範圍之量測方案之一量測效能指標。

【0075】在某些實例中，經正規化品質度量值定界為自0至1。以此方式，經正規化品質度量值經標準化且係已知的。較小值指示一高置信度量測，且反之亦然。

【0076】在某些實施例中，以一迭代方式達成一原始品質度量值之正規化。第一，基於原始品質度量值及一正規化因子之一初始值 α^0 來判定一經正規化品質度量值。藉由非限制性實例之方式，方程式(6)說明一原始品質度量值之正規化之一第一迭代，其中 QM_{norm} 係經正規化品質度量

值， QM_{raw} 係原始品質度量值， α^0 係正規化因子之初始值 α ，且 $QM_{critical}$ 係原始品質度量值 QM_{raw} 之值分佈之95%分位數值。如方程式(6)中所說明， QM_{norm} 之值由值0及1定界。

$$QM_{norm} = \min\left(\frac{QM_{raw}}{(\alpha^0)QM_{critical}}, 1.0\right) \quad (6)$$

第二，基於經正規化品質度量值之分佈及正規化因子之初始值 α^0 而更新正規化因子 α 。

藉由非限制性實例之方式，方程式(7)說明正規化因子之值之一更新，其中 α 係正規化因子之經更新值， α^0 係正規化因子 α 之初始值，臨限值係一恆定值(例如0.8)，且 $QM_{norm-98\%}$ 係經正規化品質度量值 QM_{norm} 之值分佈之98%分位數值。

$$\alpha = \frac{QM_{norm-98\%}}{\text{臨限值}} \alpha^0 \quad (7)$$

第三，基於原始品質度量值及正規化因子 α 之經更新值來判定經正規化品質度量值。藉由非限制性實例之方式，方程式(8)說明原始品質度量值之正規化之一第二迭代，其中 QM_{norm} 係經正規化品質度量值， QM_{raw} 係原始品質度量值， α 係正規化因子之經更新值，且 $QM_{critical}$ 係原始品質度量值 QM_{raw} 之值分佈之95%分位數值。如方程式(8)中所說明， QM_{norm} 之值由值0及1定界。

$$QM_{norm} = \min\left(\frac{QM_{raw}}{(\alpha)QM_{critical}}, 1.0\right) \quad (8)$$

【0077】圖4A至圖4F係圖解說明藉由一量測模型判定的一所關注參數之值之絕對誤差與同每一量測相關聯的對應品質度量值之間的相關性之曲線圖。

【0078】在此等實例中，依據每一所模擬量測光譜，將所關注參數之所量測值之絕對誤差 $Error_{abs}$ 判定為所關注參數之已知參考值 y_{ref} 與藉由

量測模型估計之所關注參數之值 y 之間的絕對差。

$$\text{Error}_{abs} = |y - y_{ref}| \quad (9)$$

【0079】將與每一量測相關聯的原始品質度量值 QM_{raw} 判定為所關注參數之所量測值(例如， y)與使用經重構量測資料估計之所關注參數之值(例如， y^*)之間的絕對差，如由方程式(10)所說明。

$$QM_{raw} = |y - y^*| \quad (10)$$

【0080】圖4A至圖4F中之每一者圖解說明針對不同聚焦值、不同程序條件及不同量測條件的絕對誤差與對應品質度量值之間的相關性。

【0081】圖4A圖解說明圖解說明針對一百個不同量測的絕對誤差與對應品質度量值之間的相關性之一曲線圖210，該一百個不同量測包含5%之下層厚度之一變化範圍及用以訓練量測模型及品質度量模型之訓練資料集內之一聚焦值範圍。如圖4A中所圖解說明，曲線211圖解說明絕對誤差，且曲線212圖解說明對應品質度量值。如圖4A中所圖解說明，絕對誤差係相當低的，針對所有測試條件，品質度量之對應值亦係相當低的。基於與圖4A中所繪示之量測類似之訓練資料來訓練基於機器學習之量測模型及品質度量模型兩者，因此絕對誤差之小的值及對應品質度量值圖解說明本文中所闡述之品質度量方法在訓練資料之域內係有效的。

【0082】圖4B圖解說明一曲線圖220，曲線圖220圖解說明針對一百個不同量測的絕對誤差與對應品質度量值之間的相關性，該一百個不同量測包含10%之下層厚度之一變化範圍及在用以訓練量測模型及品質度量模型之訓練資料集內及外之一聚焦值範圍。如圖4B中所圖解說明，曲線221圖解說明絕對誤差，且曲線222圖解說明對應品質度量值。如圖4B中所圖解說明，絕對誤差取決於測試條件以及品質度量之對應值而發生變化。另

外，針對所有測試條件，品質度量值與絕對誤差良好相關。

【0083】圖4C圖解說明一曲線圖230，曲線圖230圖解說明針對一百個不同量測的絕對誤差與對應品質度量值之間的相關性，該一百個不同量測包含5%之下層厚度之一變化範圍、一個層達10%之一平均移位及在用以訓練量測模型及品質度量模型之訓練資料集內及外之一聚焦值範圍。如圖4C中所圖解說明，曲線231圖解說明絕對誤差，且曲線232圖解說明對應品質度量值。如圖4C中所圖解說明，絕對誤差取決於測試條件以及品質度量之對應值而發生變化。而且，針對所有測試條件，品質度量值與絕對誤差良好相關。

【0084】圖4D圖解說明一曲線圖240，曲線圖240圖解說明針對一百個不同量測的絕對誤差與對應品質度量值之間的相關性，該一百個不同量測包含5%之下層厚度之一變化範圍及在用以訓練量測模型及品質度量模型之訓練資料集內及外之一聚焦值範圍。如圖4D中所圖解說明，曲線241圖解說明絕對誤差，且曲線242圖解說明對應品質度量值。如圖4D中所圖解說明，絕對誤差取決於測試條件以及品質度量之對應值而發生變化。而且，針對所有測試條件，品質度量值與絕對誤差良好相關。

【0085】圖4E圖解說明一曲線圖250，曲線圖250圖解說明針對一百個不同量測的絕對誤差與對應品質度量值之間的相關性，該一百個不同量測包含5%之下層厚度之一變化範圍、0.1度之一入射角移位及在用以訓練量測模型及品質度量模型之訓練資料集內及外之一聚焦值範圍。如圖4E中所圖解說明，曲線251圖解說明絕對誤差，且曲線252圖解說明對應品質度量值。如圖4E中所圖解說明，絕對誤差取決於測試條件以及品質度量之對應值而發生變化。而且，針對所有測試條件，品質度量值與絕對誤

差良好相關。

【0086】圖4F圖解說明一曲線圖260，曲線圖260圖解說明針對一百個不同量測的絕對誤差與對應品質度量值之間的相關性，該一百個不同量測包含5%之下層厚度之一變化範圍、量測系統雜訊之一個三倍增加及在用以訓練量測模型及品質度量模型之訓練資料集內或外之一聚焦值範圍。如圖4F中所圖解說明，曲線261圖解說明絕對誤差，且曲線262圖解說明對應品質度量值。如圖4F中所圖解說明，絕對誤差取決於測試條件以及品質度量之對應值而發生變化。而且，針對所有測試條件，品質度量值與絕對誤差良好相關。

【0087】基於具有小於圖4B至圖4F中所繪示之量測之一域的訓練資料，訓練基於機器學習之量測模型及品質度量模型兩者。無論如何，絕對誤差值與對應品質度量值良好相關。此圖解說明本文中所闡述之品質度量方法在訓練資料之域之外係有效的。因此，本文中所闡述之品質度量方法可用以偵測所關注參數之所量測值之不確定性。

【0088】圖5係指示針對若干個晶圓中之每一者上之若干個量測位點而計算的品質度量值之分佈之一曲線圖270。如圖5中所繪示，每一垂直條表示針對每一特定晶圓上之大數目之量測位點而計算的品質度量值之分佈之 3σ 值。如圖5中所繪示，每一分佈之 3σ 值係相當小的，指示相對緊密之分佈。作為一結果，具有一相對大之值品質度量(例如，大於0.8)之任一量測有可能係離群值。

【0089】在另一態樣中，自一晶圓上位於緊密接近之處的多個目標，對用以訓練並使用如本文中所闡述之一品質度量模型的訓練資料及量測資料進行模擬、收集或兩者。

【0090】在某些實施例中，如本文中所闡述之被量測之量測目標可係實際裝置結構而非一專用計量目標。

【0091】在另一態樣中，藉由多個不同計量系統自一或多個目標收集用以訓練並使用如本文中所闡述之一品質度量模型的訓練資料及量測資料。在一項實例中，可藉由一光譜橢圓偏光計來收集來自一第一目標之量測資料，可藉由一小角度之x射線散射量測(SAXS)系統來收集來自相同目標或一不同目標之量測資料，且可藉由一基於成像之計量系統來收集來自相同目標或一不同目標之量測資料。

【0092】在某些實施例中，用以收集量測資料以估計所關注參數之計量系統與用以收集量測資料以估計一品質度量之值之計量系統有所不同。

【0093】在另一態樣中，量測多個不同所關注參數，且針對每一不同所關注參數而評估對應品質度量。在某些實施例中，與多個不同所關注參數相關聯的品質度量用以更清楚地識別與一特定量測配方相關聯的量測不確定性、更清楚地識別何時需要進程序參數之一改變或兩者。

【0094】在另一態樣中，與緊接近於一量測目標之結構相關聯的所關注參數之值、對應品質度量值或兩者用以更清楚地識別何時需要進程序參數之一改變。

【0095】一般而言，可自任何適合半導體量測系統收集用以訓練並使用如本文中所闡述之一品質度量模型之訓練資料及量測資料。藉由非限制性實例之方式，適合系統包含一光譜橢圓偏光計、一光譜反射計、一基於軟x射線之計量系統、一小角度之x射線散射量測系統、一成像系統、一高光譜成像系統等。

【0096】在又另一態樣中，本文中闡述之量測結果可用以提供對程序工具(例如，微影工具、蝕刻工具、沈積工具等)之主動回饋。舉例而言，可將基於本文中所闡述之量測方法判定的所量測參數之值傳遞至一蝕刻工具以調整蝕刻時間從而達成一所期望蝕刻深度。以一類似方式，蝕刻參數(例如，蝕刻時間、擴散率等)或沈積參數(例如，時間、濃度等)可包含於一量測模型中以分別提供對蝕刻工具或沈積工具之主動回饋。在某些實例中，可將基於所量測裝置參數值判定的對程序參數之校正傳遞至程序工具。在一項實施例中，運算系統130判定一或多個所關注參數之值。另外，運算系統130基於一或多個所關注參數之所判定值將控制命令傳遞至一程序控制器。控制命令致使程序控制器改變程序之狀態(例如，停止蝕刻程序、改變擴散率等。)。在一項實例中，一控制命令致使一程序控制器調整一微影系統之聚焦、微影系統之一劑量或兩者。在另一實例中，一控制命令138致使一程序控制器改變蝕刻速率以改良一CD參數之所量測晶圓均勻性。

【0097】在某些實例中，將量測模型實施為可自美國加利福尼亞州苗必達市(Milpitas, California, USA) KLA-Tencor 公司購得之一 SpectraShape®光學臨界尺寸計量系統之一元件。以此方式，模型經創建且準備好供在由系統收集光譜之後立即使用。

【0098】在某些其他實例中，量測模型係(舉例而言)由實施自美國加利福尼亞州苗必達市KLA-Tencor公司購得之AcuShape®軟體的一運算系統離線實施。所得經訓練模型可併入為可由執行量測之一計量系統存取的一AcuShape®庫之一元件。

【0099】圖6圖解說明至少一個新穎態樣中的用於估計指示一半導體

量測之一或多個效能特性的一品質度量之一值之一方法300。方法300適合於由諸如本發明之圖1中所圖解說明之計量系統100之一計量系統實施。在一項態樣中，應認識到，可經由一預程式化演算法執行方法300之資料處理方塊，該預程式化演算法由運算系統130之一或多個處理器或者任何其他一般用途運算系統執行。本文中應認識到，計量系統100之特定結構態樣不表示限制且僅應解釋為說明性的。

【0100】在方塊301中，將一定量之照射輻射引導至一半導體晶圓之一表面上之一第一量測位點。

【0101】在方塊302中，對回應於該量之照射輻射而自第一量測位點收集之一定量之輻射進行偵測。

【0102】在方塊303中，產生表徵來自第一量測位點之所偵測量之輻射之第一複數個特徵。

【0103】在方塊304中，對一或多個所關注參數之值進行估計。基於一經訓練量測模型，一或多個參數依據所偵測量之輻射的第一複數個特徵之值來表徵量測位點。

【0104】在方塊305中，判定第一複數個特徵中之每一者之經重構值。第一複數個特徵中之一特徵之一經重構值係基於一經訓練資料重構模型及除特徵之值之外的第一複數個特徵中之每一者之值依據一或多個所關注參數來判定。

【0105】在方塊306中，基於經訓練量測模型，依據複數個經重構特徵之值來估計表徵量測位點之一或多個所關注參數之經重構值。

【0106】在方塊307中，基於依據第一複數個特徵之值判定的一或多個所關注參數之值與依據第一複數個特徵之經重構值判定的一或多個所關

注參數之值之間的一差來判定一品質度量之一值。

【0107】在又一實施例中，系統100包含一或多個運算系統130，運算系統130用以基於根據本文中所闡述之方法收集之光譜量測資料而執行半導體結構之量測。一或多個運算系統130可通信地耦合至一或多個光譜儀、主動光學元件、程序控制器等。在一項態樣中，一或多個運算系統130經組態以接收與晶圓104之結構之光譜量測相關聯的量測資料。

【0108】應認識到，可由一單電腦系統130或(另一選擇係)一多電腦系統130執行本發明通篇所闡述之一或多個步驟。此外，系統100之不同子系統可包含適合於執行本文中所闡述之步驟之至少一部分的一電腦系統。因此，前文所提及之說明不應解釋為對本發明之一限制而僅為一圖解說明。

【0109】另外，電腦系統130可以此項技術中已知之任何方式通信地耦合至光譜儀。舉例而言，一或多個運算系統130可耦合至與光譜儀相關聯的運算系統。在另一實例中，光譜儀可由耦合至電腦系統130之一單電腦系統直接控制。

【0110】系統100之電腦系統130可經組態以藉由可包含有線及/或無線部分之一傳輸媒體自系統之子系統(例如，光譜儀及諸如此類)接收及/或獲取資料或資訊。以此方式，傳輸媒體可用作電腦系統130與系統100之其他子系統之間的一資料鏈路。

【0111】系統100之電腦系統130可經組態以藉由可包含有線及/或無線部分之一傳輸媒體自其他系統接收及/或獲取資料或資訊(例如，量測結果、模型化輸入、模型化結果、參考量測結果等)。以此方式，傳輸媒體可用作電腦系統130與其他系統(例如，記憶體板上系統100、外部記憶體

或其他外部系統)之間的一資料鏈路。舉例而言，運算系統130可經組態以經由一資料鏈路自一儲存媒體(亦即，記憶體132或一外部記憶體)接收量測資料。舉例而言，可將使用本文中所闡述之光譜儀獲得之光譜結果儲存在一永久性或半永久性記憶體裝置(例如，記憶體132或一外部記憶體)中。就此而言，光譜結果可自板上記憶體或自一外部記憶體系統傳入。此外，電腦系統130可經由一傳輸媒體將資料發送至其他系統。舉例而言，由電腦系統130判定之一量測模型或一所估計參數值可經傳遞並儲存在一外部記憶體中。就此而言，可將量測結果傳出至另一系統。

【0112】 運算系統130可包含但不限於一個人電腦系統、大型電腦系統、工作站、影像電腦、並行處理器或此項技術中已知之任何其他裝置。一般而言，術語「運算系統」可寬廣地定義為涵蓋具有執行來自一記憶體媒體之指令的一或多個處理器之任何裝置。

【0113】 實施諸如本文中所闡述之彼等方法的方法之程式指令134可經由一傳輸媒體(諸如一導線、電纜或無線傳輸鏈路)傳輸。舉例而言，如圖1中所圖解說明，儲存在記憶體132中之程式指令134經由匯流排133傳輸至處理器131。將程式指令134儲存在一電腦可讀媒體(例如，記憶體132)中。例示性電腦可讀媒體包含唯讀記憶體、一隨機存取記憶體、一磁碟或光碟或者一磁帶。

【0114】 如本文中所闡述，術語「臨界尺寸」包含一結構之任何臨界尺寸(例如，底部臨界尺寸、中間臨界尺寸、頂部臨界尺寸、側壁角度、光柵高度等)、任何兩個或更多個結構之間的一臨界尺寸(例如，兩個結構之間的距離)以及兩個或更多個結構之間的一位移(例如，覆疊光柵結構之間的疊對位移等)。結構可包含三維結構、經圖案化結構、疊對結構

等。

【0115】如本文中所闡述，術語「臨界尺寸應用」或「臨界尺寸量測應用」包含任何臨界尺寸量測。

【0116】如本文中所闡述，術語「計量系統」包含至少部分地用在任何態樣(包含量測應用，諸如臨界尺寸計量、疊對計量、聚焦/劑量計量及組合物計量)中表徵一樣本之任何系統。然而，此等術語並不限制如本文中所闡述之術語「計量系統」之範疇。另外，系統100可經組態以用於經圖案化晶圓及/或未經圖案化晶圓之量測。計量系統可組態為一LED檢驗工具、邊緣檢驗工具、背面檢驗工具、宏觀檢驗工具或多模式檢驗工具(涉及同時來自一或多個平臺之資料)以及自基於臨界尺寸資料而校準系統參數獲益之任何其他計量或檢驗工具。

【0117】本文中闡述可用於在任一半導體處理工具內量測一樣本的一半導體量測系統(例如，一檢驗系統或一微影系統)之各種實施例。術語「樣本」在本文中用以指代一晶圓、一倍縮光罩或可藉由此項技術中已知的手段處理(例如，印刷或檢驗缺陷)的任何其他樣品。

【0118】如本文中所使用，術語「晶圓」一般而言係指由一半導體或非半導體材料形成之基板。實例包含但不限於單晶矽、砷化鎵及磷化銦。此等基板通常可發現於及/或處理於半導體製作設施中。在某些情形中，一晶圓可僅包含基板(亦即，裸晶圓)。另一選擇係，一晶圓可包含在一基板上形成之一個或多個不同材料層。在一晶圓上形成之一或多個層可係「經圖案化的」或「未經圖案化的」。舉例而言，一晶圓可包含具有可重複圖案特徵之複數個晶粒。

【0119】一「倍縮光罩」可係在一倍縮光罩製作程序之任何階段的

一倍縮光罩或者係可或不可被釋放以供在一半導體製作設施中使用之一已完成之倍縮光罩。一般而言，一倍縮光罩或一「遮罩」被定義為其上形成有且組態成一圖案之實質上不透明區域的一實質上透明基板。基板可包含(舉例而言)諸如非晶 SiO_2 之一玻璃材料。一倍縮光罩可在一微影程序之一曝光步驟期間沈積在一抗蝕劑覆蓋之晶圓上面，使得可將倍縮光罩上之圖案轉印至抗蝕劑。

【0120】一晶圓上形成之一或多個層可係經圖案化的或未經圖案化的。舉例而言，一晶圓可包含各自具有可重複圖案特徵之複數個晶粒。此等材料層之形成及處理最終可產生已完成裝置。可在一晶圓上形成諸多不同類型之裝置，且如本文中所使用之術語晶圓意欲涵蓋上面製作有此項技術中已知之任何類型之裝置的一晶圓。

【0121】在一或多項例示性實施例中，所闡述之功能可以硬體、軟體、韌體或其任一組合實施。若以軟體實施，則該等功能可作為一或多個指令或代碼儲存在一電腦可讀媒體上或者經由一電腦可讀媒體傳輸。電腦可讀媒體包含電腦儲存媒體及通信媒體兩者，通信媒體包含促進將一電腦程式自一個地方傳送至另一地方之任何媒體。一儲存媒體可係可由一個一般用途或特殊用途電腦存取之任何可用媒體。藉由實例而非限制之方式，此電腦可讀媒體可包括：RAM、ROM、EEPROM、CD-ROM或其他光碟儲存裝置、磁碟儲存裝置或其他磁性儲存裝置或者可用於以指令或資料結構之形式攜載或儲存所期望程式碼構件且可由一個一般用途或特殊用途電腦或者一個一般用途或特殊用途處理器存取之任何其他媒體。並且，可將任何連接恰當地稱為一電腦可讀媒體。舉例而言，若使用一同軸電纜、光纖電纜、雙絞線、數位用戶線(DSL)或無線技術(諸如紅外線、無線電及微

波)自一網站、伺服器或其他遠端源傳輸軟體，則該同軸電纜、光纖電纜、雙絞線、DSL或無線技術(諸如紅外線、無線電及微波)皆包含於媒體之定義內。如本文中所使用，磁碟及碟片包含光碟(CD)、雷射光碟、光學光碟、數位多功能光碟(DVD)、軟磁碟及藍光光碟，其中磁碟通常以磁性方式再現資料，而光碟藉助雷射以光學方式再現資料。上文之組合亦應包含於電腦可讀媒體之範疇內。

【0122】儘管在上文出於指導性目的而闡述某些特定實施例，但本專利文件之教示內容具有一般適用性且不限於上文所闡述之特定實施例。因此，可在不違背如申請專利範圍中所陳述之本發明之範疇的情況下實踐對所闡述實施例之各種特徵之各種修改、改動及組合。

【符號說明】

【0123】

100: 記憶體板上系統/晶圓計量系統/計量系統/系統

101: 橢圓偏光計/結構

102: 照射器

104: 晶圓/光譜儀

106: 經偏光照射光束

107: 偏光狀態產生器

108: 收集光束

109: 偏光狀態分析器

111: 量測資料/光譜

130: 單電腦系統/多電腦系統/電腦系統/運算系統

131: 處理器

- 132: 記憶體
- 133: 匯流排
- 134: 程式指令
- 150: 例示性量測品質模型訓練引擎/量測品質模型訓練引擎
- 151: 選用資料變換模組/資料變換模組
- 152: 訓練資料集/主分量集
- 153: 經訓練量測模型模組
- 154: 所關注參數
- 155: 資料重構模型訓練模組
- 156: 經訓練資料重構模型
- 157: 訓練資料集
- 160: 例示性量測品質引擎
- 161: 資料變換模組
- 162: 量測資料集/主分量集
- 163: 經訓練量測模型模組
- 164: 所關注參數
- 165: 經訓練資料重構模組
- 166: 經重構量測資料集/經重構主分量
- 167: 經訓練量測模型模組
- 168: 所關注參數
- 169: 品質度量模組
- 170: 原始品質度量值
- 171: 正規化模組

172: 經正規化品質度量值

173: 量測資料集/訓練資料集

210: 曲線圖

211: 曲線

212: 曲線

220: 曲線圖

221: 曲線

222: 曲線

230: 曲線圖

231: 曲線

232: 曲線

240: 曲線圖

241: 曲線

242: 曲線

250: 曲線圖

251: 曲線

252: 曲線

260: 曲線圖

261: 曲線

262: 曲線

270: 曲線圖

300: 方法

301 - 307: 方塊

【發明申請專利範圍】

【請求項1】

一種用於半導體結構之經改良量測之系統，其包括：

一計量子系統，其包括：

一照射源，其經組態以提供引導至一半導體晶圓之一表面上的一第一量測位點之一定量之照射輻射；

一偵測器，其經組態以偵測回應於該量之照射輻射而自該第一量測位點收集之一定量之輻射；及

一運算系統，其經組態以：

產生表徵來自該第一量測位點之該所偵測量之輻射之第一複數個特徵之多個值；

基於一經訓練量測模型，依據該所偵測量之輻射的該第一複數個特徵之該等經產生值來估計表徵該第一量測位點之一或多個所關注參數之多個值；

判定該第一複數個特徵中之每一者之多個經重構值，其中該第一複數個特徵中之一特徵之一經重構值係基於一經訓練資料重構模型、依據該一或多個所關注參數之該等經估計值以及除該第一複數個特徵中之該特徵之該經產生值之外的該第一複數個特徵中之每一者之該等經產生值來判定；

基於該經訓練量測模型，依據該第一複數個特徵之該等經重構值來估計表徵該第一量測位點之該一或多個所關注參數之多個經重構值；及

基於依據該第一複數個特徵之該等經產生值判定的該一或多個

所關注參數之該等經估計值與依據該第一複數個特徵之該等經重構值判定的該一或多個所關注參數之該等經重構值之間的一差來判定一品質度量之一值。

【請求項2】

如請求項1之系統，其中該運算系統進一步經組態以將該品質度量之該值正規化。

【請求項3】

如請求項1之系統，其中該運算系統進一步經組態以：

藉由最小化不同於該第一量測位點的一第二量測位點之一量測之第二複數個特徵之多個值與該第二複數個特徵之多個經重構值之間的一差來訓練該資料重構模型之一或多個參數，其中該第二複數個特徵中之一特徵之一經重構值係依據表徵該第二量測位點之該一或多個所關注參數之多個值及除該特徵之外的該第二複數個特徵之該等值來判定。

【請求項4】

如請求項3之系統，其中對該第二位點之該量測之該第二複數個特徵進行模擬。

【請求項5】

如請求項3之系統，其中表徵該第二量測位點之該一或多個所關注參數之該等值係基於該經訓練量測模型、依據該第二複數個特徵之多個值來估計。

【請求項6】

如請求項3之系統，其中表徵該第二量測位點之該一或多個所關注參數之該等值係多個已知參考值。

【請求項7】

如請求項1之系統，其中該第一複數個特徵係回應於來自該第一量測位點之該所偵測量之輻射而量測之複數個偵測器信號。

【請求項8】

如請求項1之系統，其中表徵來自該第一量測位點之該所偵測量之輻射的該第一複數個特徵之該等值之該產生涉及縮減回應於來自該第一量測位點之該所偵測量之輻射而量測的複數個偵測器信號之一維度。

【請求項9】

如請求項8之系統，其中該複數個偵測器信號之該維度之該縮減涉及一主分量分析、一傅立葉分析、一小波分析及一離散餘弦變換分析中之任一者。

【請求項10】

如請求項1之系統，其中將該照射源及該偵測器組態為一光譜橢圓偏光計、一光譜反射計、一軟x射線反射計、一小角度x射線散射計、一成像系統及一高光譜成像系統中之任一者之一部分。

【請求項11】

如請求項1之系統，其中該經訓練量測模型係一經訓練缺陷分類模型及一經訓練計量模型中之任一者。

【請求項12】

如請求項1之系統，其中該一或多個所關注參數包含一所關注幾何參數、一所關注程序參數、一所關注電參數及一所關注色散參數中之任一者。

【請求項13】

如請求項1之系統，其中該一或多個所關注參數包含一疊對尺寸、一臨界尺寸、一微影聚焦及一微影劑量中之任一者。

【請求項14】

一種用於半導體結構之經改良量測之方法，其包括：

提供引導至一半導體晶圓之一表面上之一第一量測位點之一定量之照射輻射；

偵測回應於該量之照射輻射而自該第一量測位點收集之一定量之輻射；

產生表徵來自該第一量測位點之該所偵測量之輻射之第一複數個特徵之多個值；

基於一經訓練量測模型，依據該所偵測量之輻射的該第一複數個特徵之該等經產生值來估計表徵該量測位點之一或多個所關注參數之多個值；

判定該第一複數個特徵中之每一者之多個經重構值，其中該第一複數個特徵中之一特徵之一經重構值係基於一經訓練資料重構模型、依據該一或多個所關注參數之該等經估計值以及除該第一複數個特徵中之該特徵之該經產生值之外的該第一複數個特徵中之每一者之該等值來判定；

基於該經訓練量測模型，依據該第一複數個特徵之該等經重構值來估計表徵該第一量測位點之該一或多個所關注參數之多個經重構值；及

基於依據該第一複數個特徵之該等經產生值判定的該一或多個所關注參數之該等經估計值與依據該第一複數個特徵之該等經重構值判定的該一或多個所關注參數之該等經重構值之間的一差來判定一品質度量之一值。

【請求項15】

如請求項14之方法，其進一步包括：

將該品質度量之該值正規化。

【請求項16】

如請求項14之方法，其進一步包括：

藉由最小化不同於該第一量測位點之一第二量測位點之一量測之第二複數個特徵之多個值與該第二複數個特徵之多個經重構值之間的一差來訓練該資料重構模型之一或多個參數，其中該第二複數個特徵中之一特徵之一經重構值係依據表徵該第二量測位點的該一或多個所關注參數之多個值及除該特徵之外的該第二複數個特徵之該等值來判定。

【請求項17】

如請求項14之方法，其中表徵來自該第一量測位點之該所偵測量之輻射的該第一複數個特徵之該等值之該產生涉及縮減回應於來自該第一量測位點之該所偵測量之輻射而量測的複數個偵測器信號之一維度。

【請求項18】

如請求項17之方法，其中該複數個偵測器信號之該維度之該縮減涉及一主分量分析、一傅立葉分析、一小波分析及一離散餘弦變換分析中之任一者。

【請求項19】

一種用於半導體結構之經改良量測之系統，其包括：

一照射源，其經組態以提供引導至一半導體晶圓之一表面上之一第一量測位點之一定量之照射輻射；

一偵測器，其經組態以偵測回應於該量之照射輻射而自該第一量測

位點收集之一定量之輻射；及

一非暫時性電腦可讀媒體，其儲存指令，該等指令在由一或多個處理器執行時致使該一或多個處理器進行以下操作：

產生表徵來自該第一量測位點之該所偵測量之輻射之第一複數個特徵之多個值；

基於一經訓練量測模型，依據該所偵測量之輻射的該第一複數個特徵之該等經產生值來估計表徵該量測位點之一或多個所關注參數之多個值；

判定該第一複數個特徵中之每一者之多個經重構值，其中該第一複數個特徵中之一特徵之一經重構值係基於一經訓練資料重構模型、依據該一或多個所關注參數之該等經估計值以及除該第一複數個特徵中之該特徵之該經產生值之外的該第一複數個特徵中之每一者之該等經產生值來判定；

基於該經訓練量測模型，依據該第一複數個特徵之該等經重構值來估計表徵該量測位點之該一或多個所關注參數之多個經重構值；

基於依據該第一複數個特徵之該等經產生值判定的該一或多個所關注參數之該等經估計值與依據該第一複數個特徵之該等經重構值判定的該一或多個所關注參數之該等經重構值之間的一差來判定一品質度量之一值；及

將該品質度量之該值正規化。

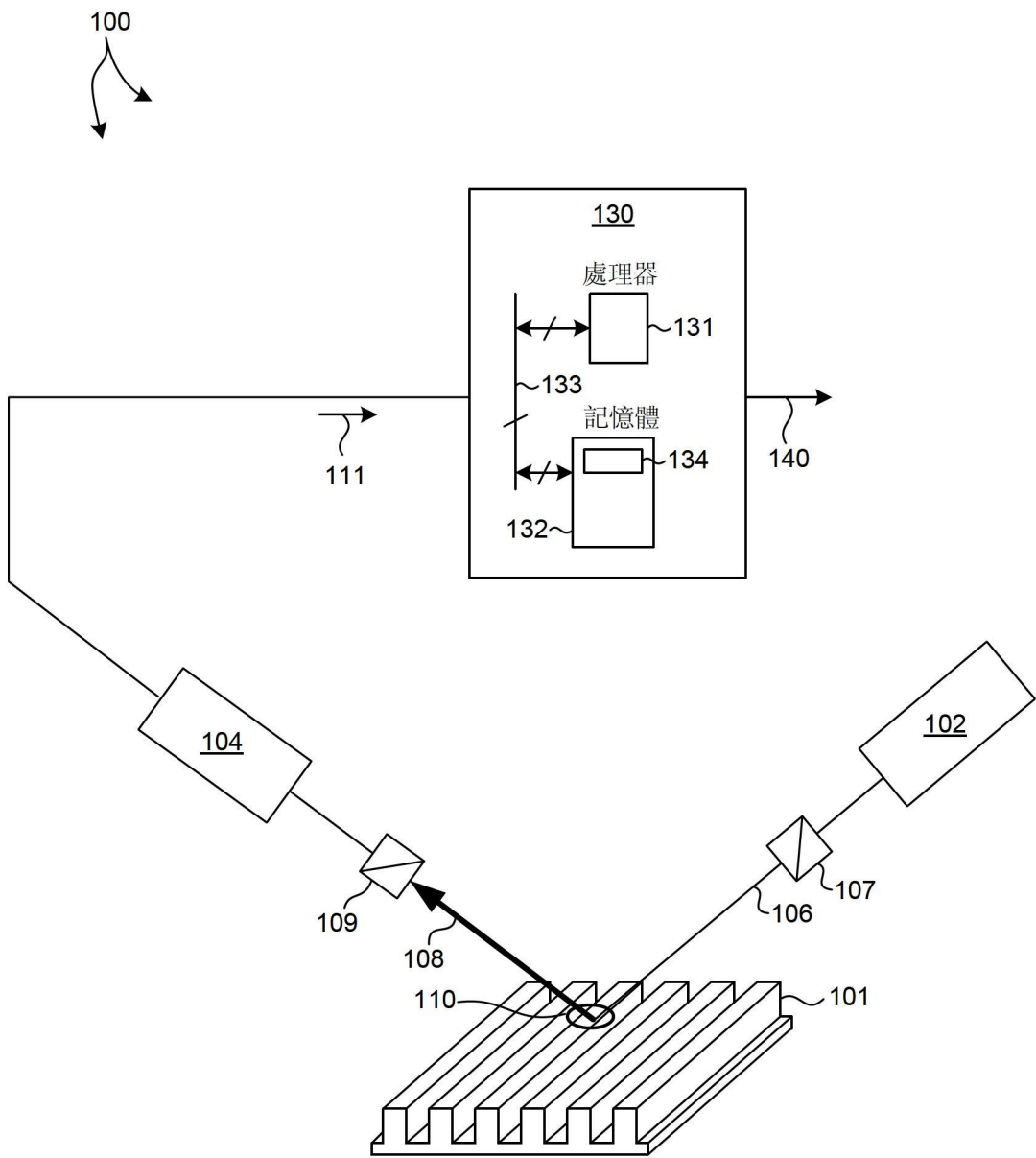
【請求項20】

如請求項19之系統，該非暫時性電腦可讀媒體進一步儲存指令，該等指令在由該一或多個處理器執行時致使該一或多個處理器進行以下操

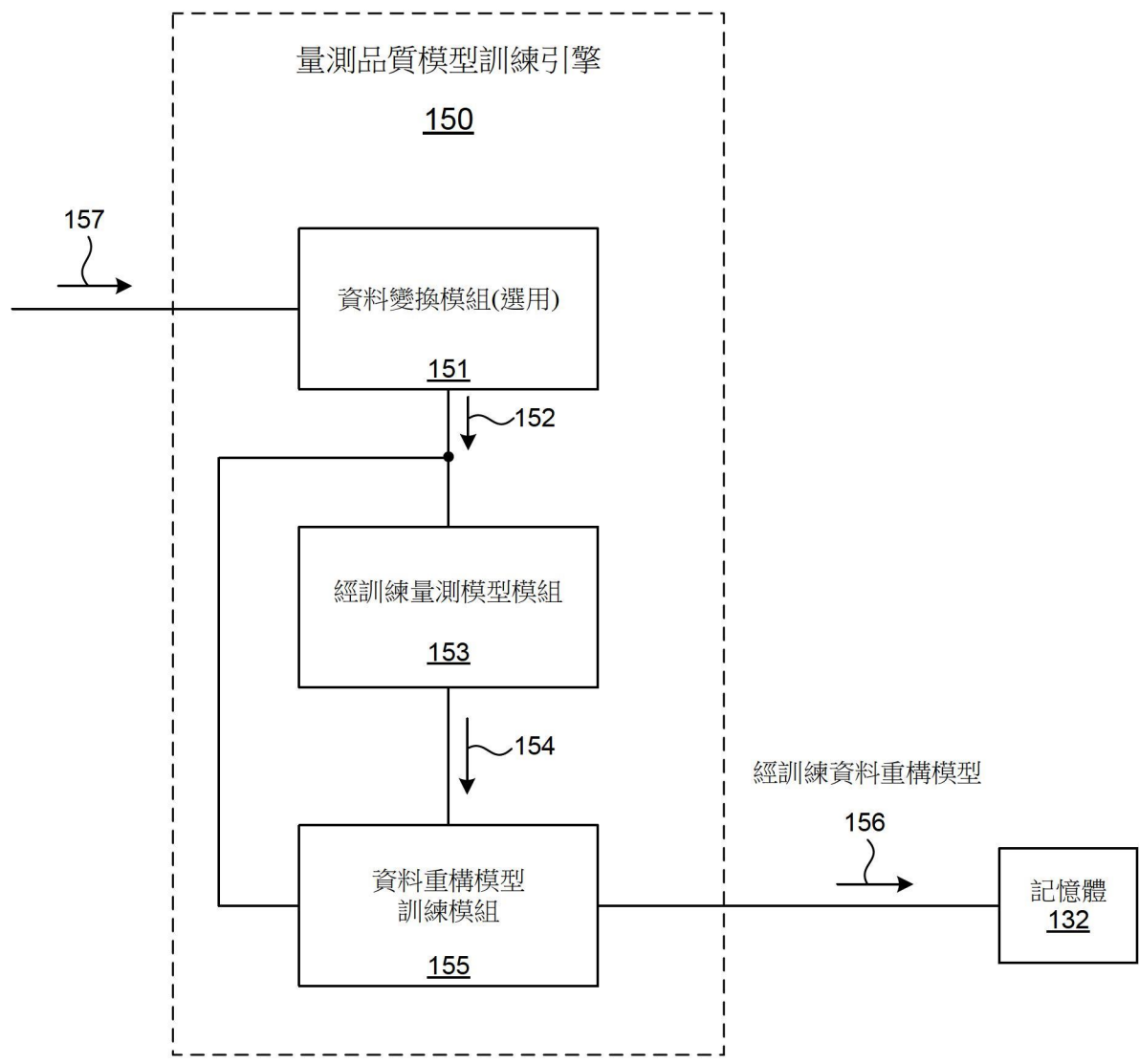
作：

藉由最小化不同於該第一量測位點的一第二量測位點之一量測之第二複數個特徵之多個值與該第二複數個特徵之多個經重構值之間的一差來訓練該資料重構模型之一或多個參數，其中該第二複數個特徵中之一特徵之一經重構值係依據表徵該第二量測位點之該一或多個所關注參數之多個值及除該特徵之外的該第二複數個特徵之該等值來判定。

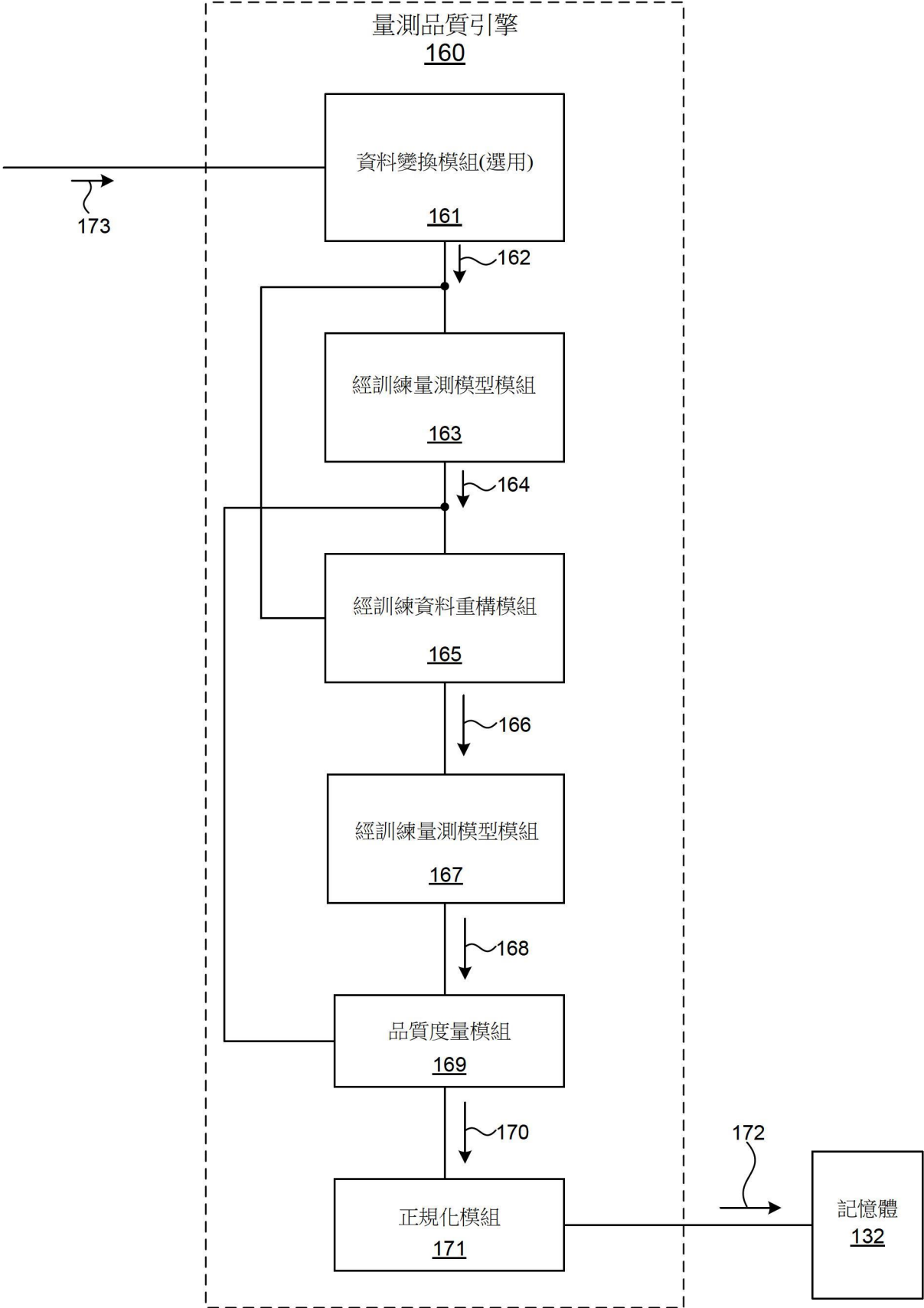
【發明圖式】



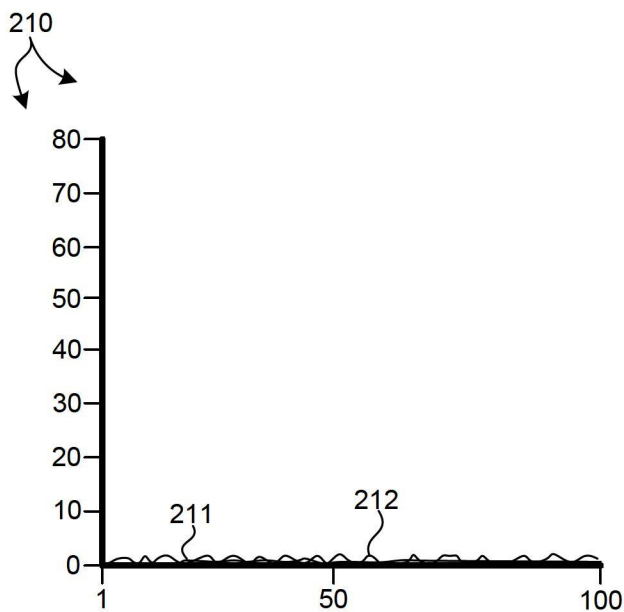
【圖1】



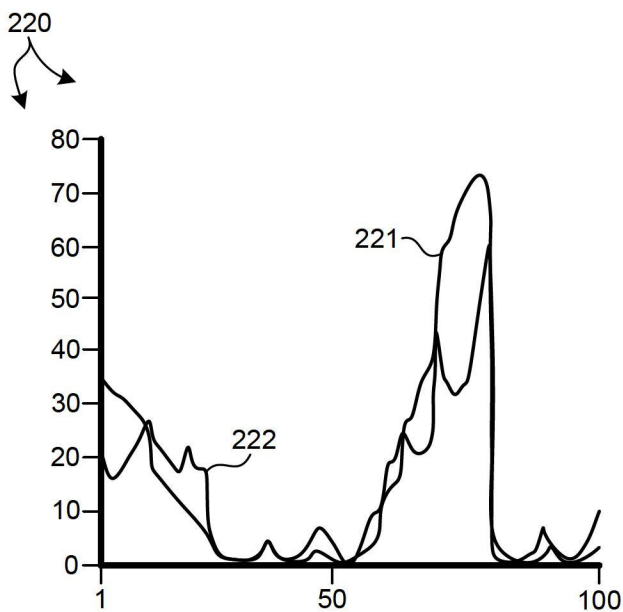
【圖2】



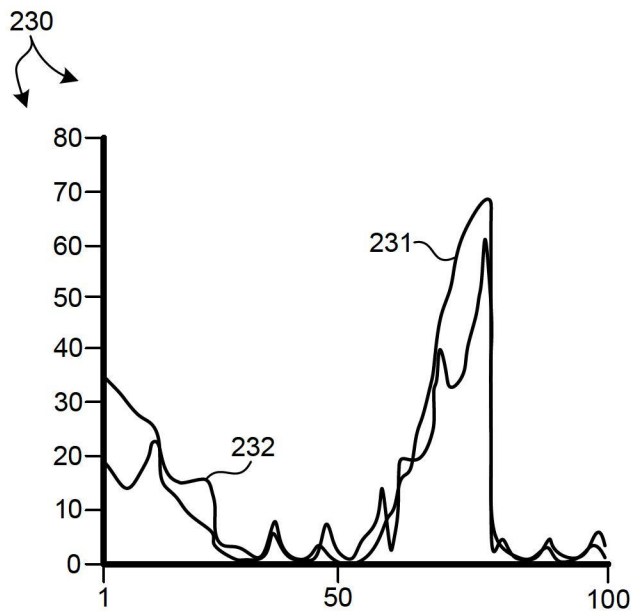
【圖3】



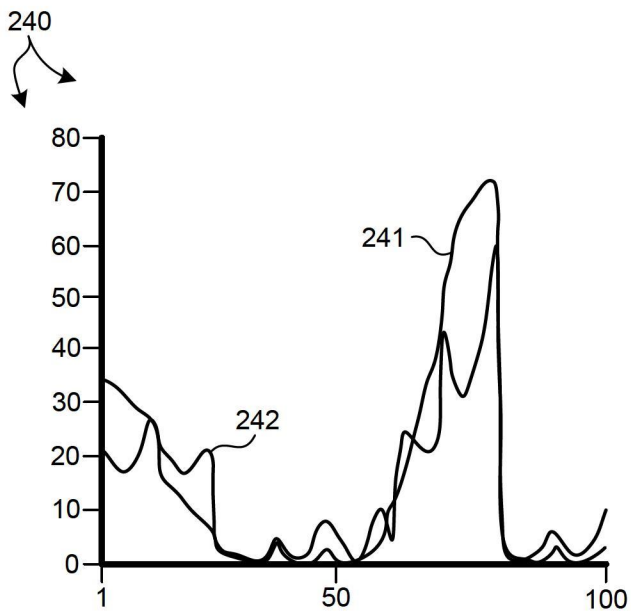
【圖4A】



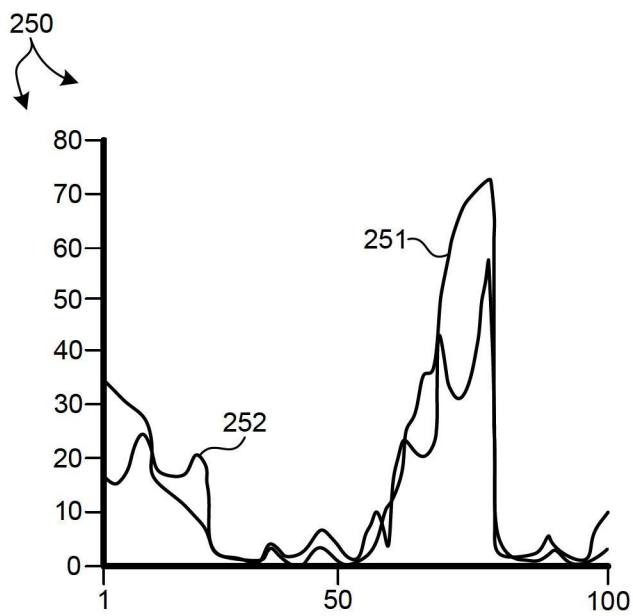
【圖4B】



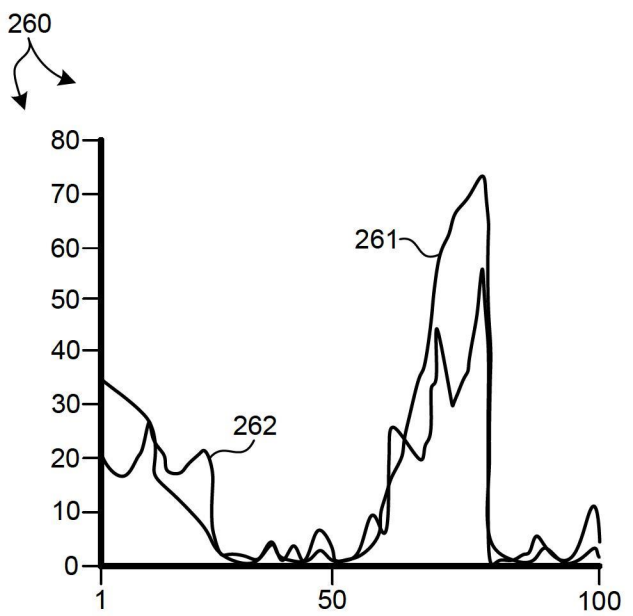
【圖4C】



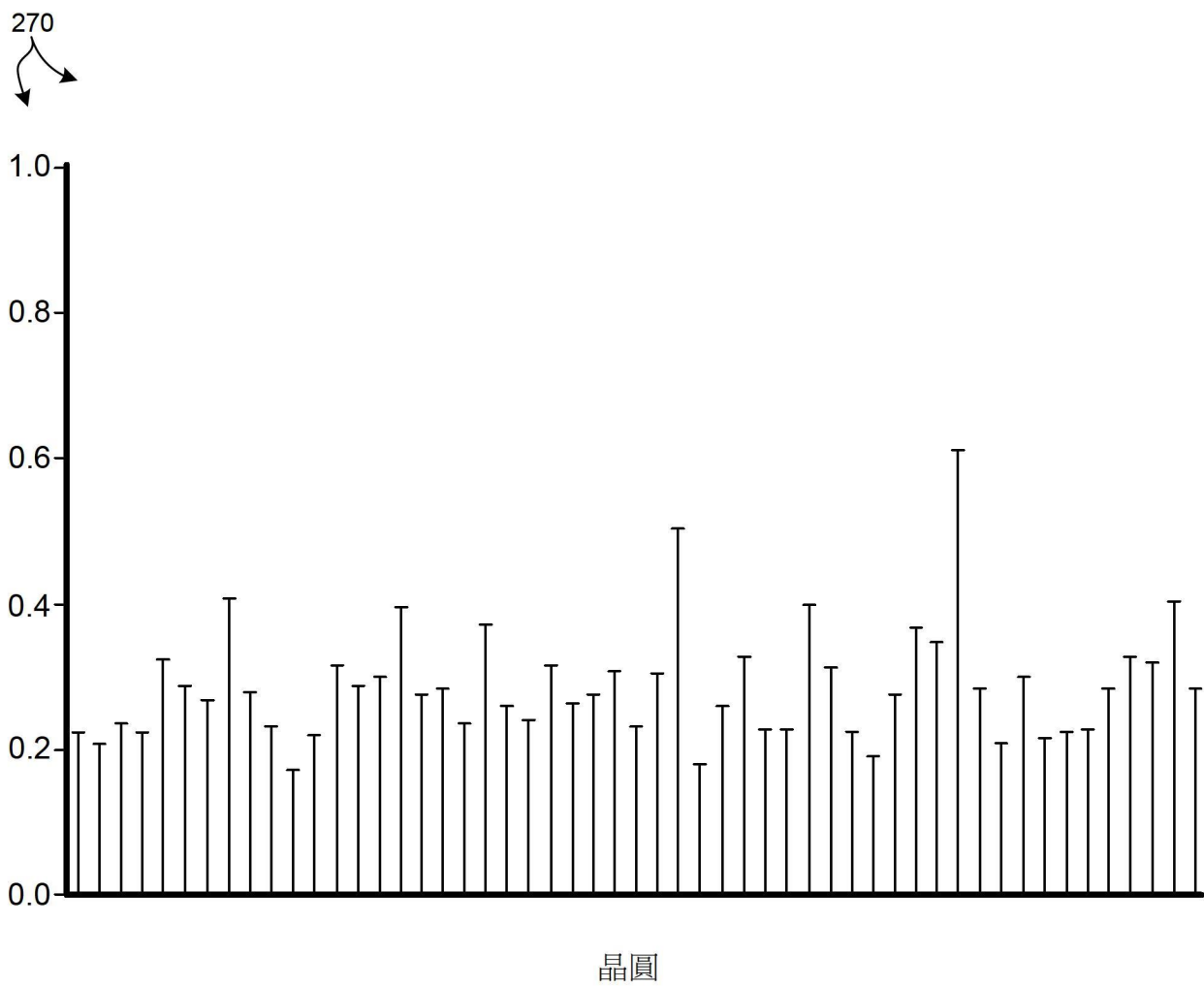
【圖4D】



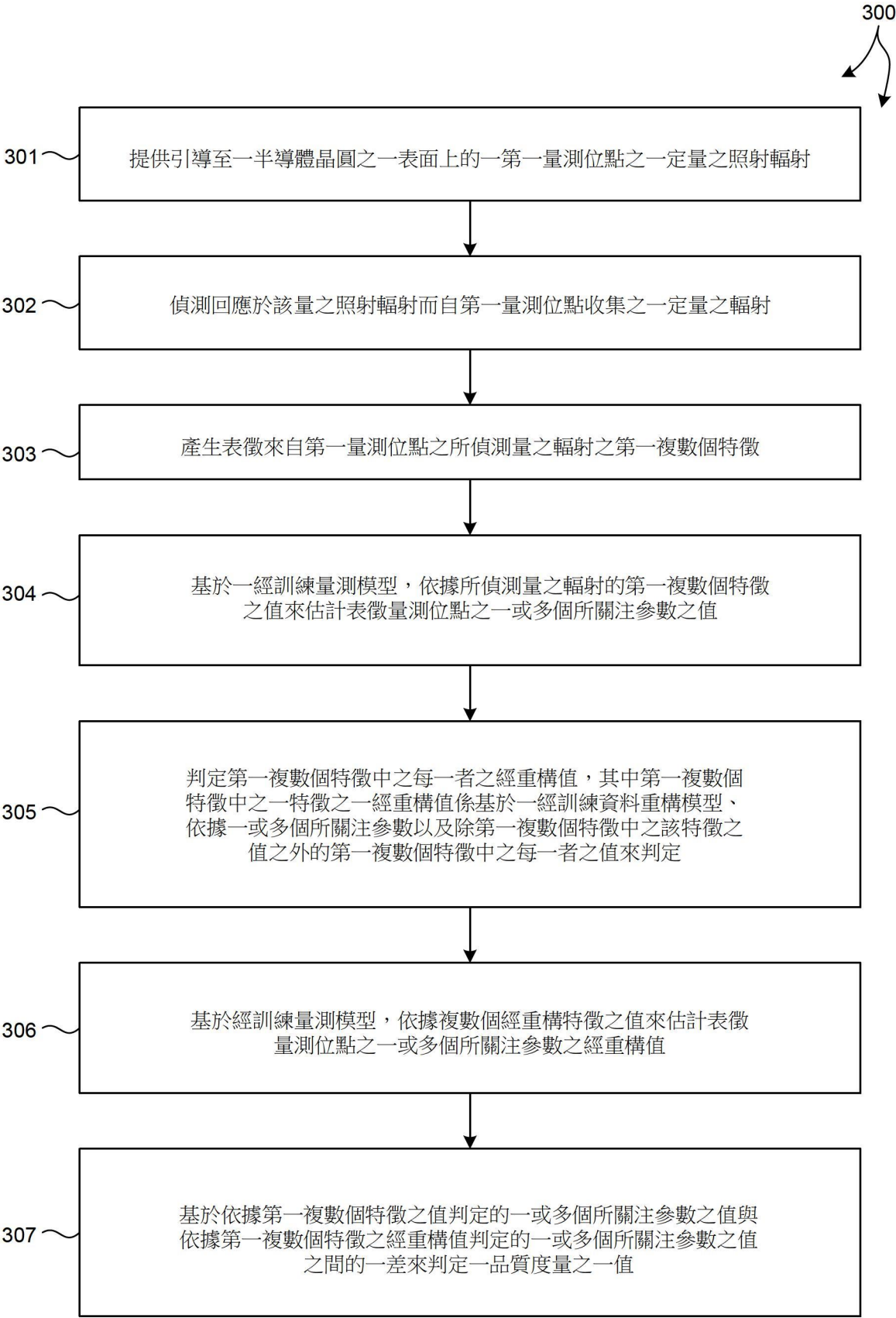
【圖4E】



【圖4F】



【圖5】



【圖6】