



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本

(11)公開編號：TW 202449532 A

(43)公開日：中華民國 113 (2024) 年 12 月 16 日

(21)申請案號：112140393

(22)申請日：中華民國 112 (2023) 年 10 月 23 日

(51)Int. Cl. : G05B13/02 (2006.01)

G05B13/04 (2006.01)

(30)優先權：2023/02/23 美國

18/113,342

(71)申請人：美商應用材料股份有限公司 (美國) APPLIED MATERIALS, INC. (US)
美國(72)發明人：劉 艾伯特 LIU, ALBERT (CA)；桑維 米特什哈沙德 SANGHVI, MITESH
HARSHAD (IN)；山卡拉穆席 凡卡塔納拉亞納 SHANKARAMURTHY,
VENKATANARAYANA (US)；姚雨蓮 YAO, YULIAN (CN)；韓 新海 HAN,
XINHAI (US)

(74)代理人：李世章；彭國洋

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：20 項 圖式數：5 共 78 頁

(54)名稱

殘餘厚度補償

(57)摘要

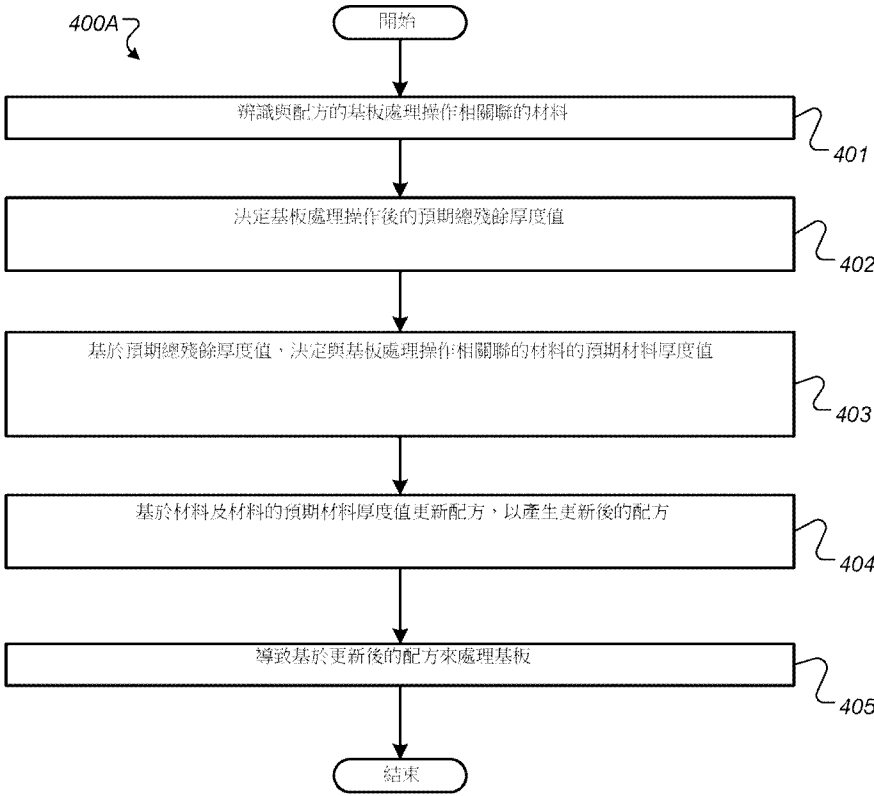
一種方法包括辨識與配方的基板處理操作相關聯的材料。該方法進一步包括在基板處理操作之後決定預期總殘餘厚度值。該方法進一步包括基於預期總殘餘厚度值，決定與基板處理操作相關的材料之預期材料厚度值。該方法進一步包括基於材料及材料的預期材料厚度值更新配方，以產生更新後的配方。該方法進一步包括導致基於更新後的配方處理基板。

A method includes identifying a material associated with a substrate processing operation of a recipe. The method further includes determining an expected total residual thickness value subsequent to the substrate processing operation. The method further includes determining, based on the expected total residual thickness value, an expected material thickness value of the material associated with the substrate processing operation. The method further includes updating the recipe based on the material and the expected material thickness value of the material to generate an updated recipe. The method further includes causing a substrate to be processed based on the updated recipe.

指定代表圖：

符號簡單說明：

- 400A: 方法
- 401: 步驟
- 402: 步驟
- 403: 步驟
- 404: 步驟
- 405: 步驟



第4A圖

【發明摘要】

【中文發明名稱】殘餘厚度補償

【英文發明名稱】RESIDUAL THICKNESS COMPENSATION

【中文】

一種方法包括辨識與配方的基板處理操作相關聯的材料。該方法進一步包括在基板處理操作之後決定預期總殘餘厚度值。該方法進一步包括基於預期總殘餘厚度值，決定與基板處理操作相關的材料之預期材料厚度值。該方法進一步包括基於材料及材料之預期材料厚度值更新配方，以產生更新後的配方。該方法進一步包括導致基於更新後的配方處理基板。

【英文】

A method includes identifying a material associated with a substrate processing operation of a recipe. The method further includes determining an expected total residual thickness value subsequent to the substrate processing operation. The method further includes determining, based on the expected total residual thickness value, an expected material thickness value of the material associated with the substrate processing operation. The method further includes updating the recipe based on the material and the expected material thickness value of the material to generate an updated recipe. The method further includes causing a substrate to be processed based on the updated recipe.

【指定代表圖】第（ 4A ）圖。

【代表圖之符號簡單說明】

4 0 0 A : 方法

4 0 1 : 步 驟

4 0 2 : 步 驟

4 0 3 : 步 驟

4 0 4 : 步 驟

4 0 5 : 步 驟

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】殘餘厚度補償

【英文發明名稱】RESIDUAL THICKNESS COMPENSATION

【技術領域】

【0001】 本揭示案係關於補償，且更具體而言，係關於基板製造期間的殘餘厚度補償。

【先前技術】

【0002】 可經由使用製造設備執行一或更多個製造製程來生產產品。例如，基板處理裝置可用於經由基板處理操作生產基板。

【發明內容】

【0003】 以下是本揭示案的簡要概述，以提供對本揭示案某些態樣的基本理解。本概述不是本揭示案的廣泛綜述。其既不意欲標識本揭示案的關鍵或重要元素，亦不描繪本揭示案的特定實施方式的任何範疇或申請專利範圍的任何範疇。其唯一目的是以簡化的形式呈現本揭示案的一些概念，作為稍後呈現的更詳細描述的前序。

【0004】 本揭示案的一個態樣包括方法，該方法包括辨識與配方的基板處理操作相關的材料。該方法進一步包括在基板處理操作之後決定預期總殘餘厚度值。該方法進一步包括基於預期總殘餘厚度值，決定與基板處理操作相關的材料之預期材料厚度值。該方法進一步包括基於材料及材料的預期材料厚度值更新配方，以產生更新後的配方。該方法進一步包括導致基於更新後的配方處理基板。

【0005】 本揭示案的另一態樣包括非暫時性電腦可讀儲存媒體，其包含指令，當由可操作地耦接至記憶體的处理裝置執行時，該等指令執行操作。操作包括辨識與配方的基板處理操作相關聯的材料。操作進一步包括在基板處理操作之後決定預期總殘餘厚度值。操作進一步包括基於預期總殘餘厚度值，決定與基板處理操作相關的材料之預期材料厚度值。操作進一步包括基於材料及材料之預期材料厚度值更新配方，以產生更新後的配方。操作進一步包括導致基於更新後的配方處理基板。

【0006】 本揭示案的另一態樣包括系統，該系統包括記憶體及耦接至記憶體的處理裝置。該處理裝置用於辨識與配方的基板處理操作相關聯的材料。該處理裝置進一步用於決定基板處理操作之後的預期總殘餘厚度值。該處理裝置進一步基於預期總殘餘厚度值來決定與基板處理操作相關聯的材料之預期材料厚度值。該處理裝置進一步基於材料及材料之預期材料厚度值更新配方，以產生更新後的配方。該處理裝置進一步導致基於更新後的配方處理基板。

【圖式簡單說明】

【0007】 本揭示案內容以實例的方式進行說明，而非僅限於附圖中。

【0008】 第1圖是示出根據某些實施例之示例系統架構之方塊圖。

【0009】 第2圖示出根據某些實施例之與殘餘厚度補償相關聯之資料集產生器。

【0010】 第3圖為示出根據某些實施例的決定與殘餘厚度補償相關聯的預測資料的方塊圖。

【0011】 第4A至4C圖為根據某些實施例的與殘餘厚度補償相關聯的方法的流程圖。

【0012】 第5圖為根據某些實施例的電腦系統的方塊圖。

【實施方式】

【0013】 本文所述為針對殘餘厚度補償的技術（例如，基於基板製造期間的殘餘厚度調整膜沉積參數、基於腔室殘餘厚度補償沉積厚度漂移的可擴展運行時軟體方法、基於腔室殘餘的循環時間調整）。

【0014】 根據製程配方，製造設備可在基板表面上沉積膜。製造設備可在基板的表面上沉積多層膜，且可執行蝕刻製程以在沉積的膜中形成圖案。例如，製造設備可執行化學氣相沉積(chemical vapor deposition; CVD)製程以在基板上沉積交替層。膜可包括在沉積製程期間形成的一或更多層材料，且每層可包括特定的厚度梯度（例如，沿著沉積膜層的厚度變化）。例如，第一層可直接形成在基板的表面上（稱為膜的近端層或近端），並具有第一厚度。在基板表面上形成第一層之後，可在第一層上形成具有第二厚度的第二層。該製程持續進行，直到沉積製程完成，並形成膜的最終層（稱為膜的遠端層或遠端）。

【0015】 可對該膜執行例如蝕刻製程以在基板表面上形成圖案，例如執行化學機械拋光(chemical-mechanical polishing; CMP)製程以使膜表面平滑，或執行任何其

他製程以製造成品基板。蝕刻製程可包括將高能製程氣體（例如電漿）暴露於樣本表面，以分解表面處的材料，隨後可經由真空系統移除該等材料。

【0016】 處理腔室可根據製程配方執行每個基板製造製程（例如，沉積製程、蝕刻製程、拋光製程等）。製程配方定義了在製程期間要對基板執行的一組特定操作，且可包括與每個操作相關聯的一或更多個設定。例如，沉積製程配方可包括處理腔室的溫度設定、處理腔室的壓力設定、沉積在基板表面上的膜中包括的材料的前驅物的流速設定等。因此，每個膜層的厚度可與該等處理腔室設定相關聯。

【0017】 膜可包括不同材料的交替層。例如，該膜可包括交替的氧化物層與氮化物層（氧化物-氮化物-氧化物-氮化物堆疊或O N O N堆疊）、交替的氧化物層與多晶矽層（氧化物-多晶矽-氧化物-多晶矽堆疊或O P O P堆疊）等。每組交替層可稱為一循環。例如，膜可包括40個循環（例如，40組氧化物-氮化物層），其中一些循環的層厚度可不同於其他循環的層厚度。例如，膜堆疊可包括40個氧化物-氮化物循環（例如80層，交替的40層氧化物及40層氮化物），其中膜堆疊的第一循環具有第一厚度的氧化物層及第二厚度的氮化物層，隨後膜堆疊的接下來的9個循環具有第三厚度的氧化物層及第四厚度的氮化物層，且膜堆疊的最後30個循環具有第五厚度的氧化物層及第六厚度的氮化物層。

【0018】 膜亦可包括具有不同（非交替）圖案的不同材料層（例如，氧化物-氮化物-氮化物-氧化物堆疊或O N O、

氧化物-氮化物-氧化物-氧化物堆疊或ONOO等)。在該基板製造期間，由於連續變化的沉積參數及處理腔室條件的變化（例如，污染物的累積、處理腔室壁上的殘餘厚度、某些部件的腐蝕等），每個循環的厚度可變化（漂移）。層厚度的變化會導致氣體分配板離基板表面更近或更遠，從而影響電漿流及/或溫度，並導致膜的進一步形變。

【0019】 在某些製造系統中，經由手動增加或減少後續循環的沉積時間來補償該等變化，以保持薄膜堆疊的所需總厚度。例如，若第一循環的厚度大於製程配方所要求的厚度，則技藝人士可手動減少製程配方中第二循環的沉積時間，以產生比製程配方所要求的更薄的循環。處理腔室可具有多個基板處理區域或槽。在沉積操作之後，對於單個處理腔室內的每個單獨的基板處理區域（例如，槽），沉積漂移（例如，部分地由每個基板處理區域的壁上的不同殘餘厚度引起）可變化。大體亦經由手動增加或減少後續層的沉積時間來補償基板處理區域之間的該等變化，以保持薄膜堆疊的期望總厚度。然而，此種製程不可擴展，容易出錯，且耗時。此種製程亦會導致製造延遲、處理量損失、膜缺陷、產品不一致及異常、未排程的使用者時間或停機時間及有缺陷的產品。此種製程亦導致執行製程配方參數最佳化所需的時間顯著增加。

【0020】 本揭示案的各態樣及實施方式藉由實施殘餘厚度補償解決了現有技術的該等及其他缺點，如藉由在基板製

造期間基於殘餘厚度調整膜沉積參數（例如，基於腔室殘餘厚度補償沉積厚度漂移）。

【0021】 處理裝置辨識與配方的基板處理操作相關的物料。在一些實例中，處理裝置決定基板處理操作將在基板上沉積氮化物。在一些實例中，處理裝置決定基板處理操作將在基板上沉積氧化物。在一些實例中，處理裝置決定基板處理操作將在基板上沉積導體（例如，銅、鎢等）

【0022】 處理裝置決定基板處理操作後的預期總殘餘厚度值。預期總殘餘厚度值可為回應於配方的基板處理操作直到當前基板處理操作結束的基板上及/或處理腔室壁上的預期總殘餘厚度值。

【0023】 處理裝置基於預期總殘餘厚度值，決定與基板處理操作相關的材料的預期材料厚度值（例如，當前基板處理操作的材料厚度值）。在一些實施例中，預期材料厚度值是期望材料厚度值與實際材料厚度值之間的差。在一些實施例中，為決定預期材料厚度值，處理裝置將提供預期總殘餘厚度值作為經訓練的機器學習模型的輸入。在一些實施例中，為決定預期材料厚度值，處理裝置從經訓練的機器學習模型接收與預測資料相關聯的輸出，材料厚度值與預測資料相關聯。在一些實施例中，用包括歷史總殘餘厚度值的資料輸入及歷史材料厚度值的目標輸出來訓練經訓練的機器學習模型。

【0024】 處理裝置基於材料及材料的預期材料厚度值更新配方，以產生更新後的配方。在一些實施例中，為了更新

配方，處理裝置要決定與基板處理操作相關聯的更新後時間值。在一些實施例中，處理裝置基於與基板處理操作相關聯的時間值、預期總殘餘厚度值及預期材料厚度值來決定與基板處理操作相關聯的更新後時間值。在一些實施例中，配方的更新包括決定基板處理操作的更新後射頻 (radio frequency; RF) 功率、基板處理操作的更新後間距值、基板處理操作的更新後氣體流量值或基板處理操作的更新後腔室壓力值中的至少一個。

【0025】 處理裝置導致基於更新後的配方來處理基板。

【0026】 本揭示案的各態樣具有技術優勢。本揭示案的各態樣避免了手動計算每個循環的「操作時間偏移」並將偏移饋送到表格中的耗時且易出錯的製程。本揭示案的態樣是可擴展的。本揭示案的態樣避免了製造中導致的延遲、處理量損失及/或膜中的缺陷。本揭示案的態樣導致執行製程配方的參數最佳化所需的時間顯著減少。本揭示案亦可導致產生診斷資料及執行校正動作，以避免不一致及異常的產品，及未排程的使用者時間或停機時間。本揭示案的態樣允許基於材料類型的沉積漂移補償。

【0027】 第1圖為根據某些實施例的示例性系統100（示例性系統架構）的方塊圖。系統100（例如，經由校正動作部件122及/或預測部件114）可執行本文描述的方法（例如，第4A至4C圖的方法400A至400C）。系統100包括客戶端裝置120、製造設備124、感測器126、計量設備128、預測伺服器112及資料儲存器140。在一些實施例

中，預測伺服器112是預測系統110的一部分。在一些實施例中，預測系統110進一步包括伺服器170及180。

【0028】 在一些實施例中，客戶端裝置120、製造設備124、感測器126、計量設備128、預測伺服器112、資料儲存器140、伺服器170及/或伺服器機器180中的一或更多者經由網路130相互耦接，用於產生預測資料160，以在基板製造期間對膜沉積參數進行基於殘差的調整。在一些實施例中，網路130是公共網路，其向客戶端裝置120提供對預測伺服器112、資料儲存器140及其他公共可用的計算裝置的存取。在一些實施例中，網路130是私用網路，其向客戶端裝置120提供對製造設備124、感測器126、計量設備128、資料儲存器140及其他專用計算裝置的存取。在一些實施例中，網路130包括一或更多個廣域網路(Wide Area Network; WAN)、區域網路(Local Area Network; LAN)、有線網路(例如，乙太網)、無線網路(例如，802.11網路或Wi-Fi網路)、蜂巢網路(例如，長期演進(Long Term Evolution; LTE)網路)、路由器、集線器、交換機、伺服器電腦、雲端計算網路及/或其組合。

【0029】 在一些實施例中，客戶端裝置120包括計算裝置，如個人電腦(Personal Computer; PC)、膝上型電腦、行動電話、智慧電話、平板電腦、小筆電電腦等。在一些實施例中，客戶端裝置120包括校正動作部件122。在一些實施例中，校正動作部件122亦可包括在預測系統110

中（例如，機器學習處理系統）。在一些實施例中，替代地，校正動作部件122被包括在預測系統110中（例如，而不是被包括在客戶端裝置120中）。客戶端裝置120包括作業系統，該作業系統允許使用者進行合併、產生、查看或編輯資料中的一或更多項，向預測系統110（例如，機器學習處理系統）提供指令等。

【0030】 在一些實施例中，校正動作部件122接收使用者輸入（例如，經由客戶端裝置120顯示的圖形化使用者介面（Graphical User Interface; GUI））、特性資料142、效能資料152等中的一或更多者。在一些實施例中，特性資料142可為預期總殘餘厚度值、預期材料厚度值等。在一些實施例中，校正動作部件122傳輸資料（例如，使用者輸入、特性資料142、效能資料152等）到預測系統110，從預測系統110接收預測資料160，基於預測資料160決定校正動作，並使校正動作得以實施。在一些實施例中，校正動作部件122將資料（例如，使用者輸入、特性資料142、效能資料152等）儲存在資料儲存器140中，且預測伺服器112從資料儲存器140中擷取資料。在一些實施例中，預測伺服器112將經訓練的機器學習模型190的輸出（例如，預測資料160）儲存在資料儲存器140中，且客戶端裝置120從資料儲存器140中擷取該輸出。在一些實施例中，校正動作部件122從預測系統110接收校正動作的指示（例如，基於預測資料160），並導致校正動作的執行。

【0031】 製造設備124可遵循配方或藉由在一段時間內多次執行來生產產品，如基板、晶圓、半導體、電子元件等。製造設備124可包括處理腔室。處理腔室可用於在基板上執行任意數量的製程。在每個處理腔室或基板處理區域中可進行相同或不同的基板處理操作。基板處理操作可包括原子層沉積(atomic layer deposition; ALD)、物理氣相沉積(physical vapor deposition; PVD)、化學氣相沉積(chemical vapor deposition; CVD)、蝕刻、退火、固化、預清洗、金屬或金屬氧化物移除等。可在其中的基板上進行其他製程。處理腔室可包括一或更多個感測器，其被配置為在基板處理操作之前、之後或期間捕獲基板的資料。例如，一或更多個感測器可被配置成在基板處理操作期間捕獲基板的一部分的光譜資料及/或非光譜資料。在其他或類似的實施例中，一或更多個感測器可被配置成在基板處理操作之前、之後或期間捕獲與處理腔室內的環境相關的資料。例如，一或更多個感測器可被配置成在基板處理操作期間捕獲與處理腔室內的環境的溫度、壓力、氣體濃度等相關聯的資料。

【0032】 處理腔室可用於在基板上沉積材料的製程。例如，如前所述，處理腔室可為用於沉積製程的腔室。在一些實施例中，處理腔室包括腔室主體及封閉內部體積的噴淋頭。噴淋頭可包括噴淋頭基座及噴淋頭氣體分配板。或者，在一些實施例中，噴淋頭可由蓋及噴嘴替代，或者在其他實施例中，由多個餅形噴淋頭隔間及電漿產生單元替

代。腔室主體可由鋁、不銹鋼或其他合適的材料如鈦(Ti)製成。腔室主體大體包括側壁及底部。排氣口可被限定在腔室主體中，且可將內部容積耦接到泵系統。泵系統可包括一或更多個泵及節流閥，用於抽空及調節處理腔室的內部容積的壓力。

【0033】 噴淋頭可支撐在腔室主體的側壁上。可打開噴淋頭（或蓋）以允許進出處理腔室的內部容積，且可在關閉時為處理腔室提供密封。氣體面板可耦接到處理腔室，以經由噴淋頭或蓋及噴嘴（例如，經由噴淋頭或蓋及噴嘴的孔）向內部體積提供處理及/或清潔氣體。例如，氣體面板可為沉積在基板表面上的膜材料提供前驅物。在一些實施例中，前驅物可包括基於矽的前驅物或基於硼的前驅物。噴淋頭可包括氣體分配板(gas distribution plate; GDP)，且可具有貫穿GDP的多個氣體輸送孔（亦稱為通道）。基板支撐組件安置在處理腔室內部容積中的噴淋頭下方。基板支撐組件在處理期間（例如，在沉積期間）使用例如靜電卡盤來保持基板。

【0034】 在一些實施例中，處理腔室可包括計量設備（例如，計量設備128）及/或感測器（例如，感測器126），其經配置以在處理腔室執行的製程期間產生原位計量量測值（例如，計量資料）及/或感測器量測值（例如，感測器資料）。在一些實施例中，計量量測值及/或感測器量測值可為特性資料142及/或效能資料152的子集。計量設備及/或感測器可操作地耦接到系統控制器。在一些實施例

中，計量設備可被配置為在沉積製程的特定情況期間產生膜的計量量測值（例如，厚度）。在一些實施例中，感測器可被配置為在沉積製程的特定情況期間產生膜的感測器量測值（例如，厚度）。系統控制器可基於從計量設備接收的計量量測值產生膜的厚度輪廓。系統控制器可基於從感測器接收的感測器量測值產生膜的厚度輪廓。在其他或類似的實施例中，處理腔室不包括計量設備。在此種實施例中，在處理腔室處完成沉積製程之後，系統控制器可接收膜的一或更多個計量量測值。系統控制器可基於一或更多個計量量測值來決定沉積速率，並可基於沉積製程的決定的濃度梯度及決定的沉積速率來關聯產生膜的厚度輪廓。

【0035】 製造設備 124 可在處理腔室處的基板（例如，晶圓等）上執行製程。基板製程的實例包括在基板表面上沉積一或更多層膜的沉積製程、在基板表面上形成圖案的蝕刻製程等。製造設備 124 可根據製程配方執行每個製程。製程配方定義了在製程期間要在基板上執行的一組特定操作，且可包括與每個操作相關聯的一或更多個設定。例如，沉積製程配方可包括處理腔室的溫度設定、處理腔室的壓力設定、沉積在基板表面上的膜中包括的材料的前驅物的流速設定等。

【0036】 在一些實施例中，製造設備 124 包括感測器 126，感測器 126 被配置為產生與製造系統 100 處處理的基板相關的資料。例如，處理腔室可包括一或更多個感測器，

該等感測器被配置為在製程（例如，沉積製程）之前、期間及/或之後產生與處理腔室相關聯的殘餘厚度輪廓（例如，處理腔室壁上的材料厚度）。例如，處理腔室可包括一或更多個感測器，該等感測器被配置成在對基板執行製程（例如，沉積製程）之前、期間及/或之後產生與基板相關聯的光譜或非光譜資料。在一些實施例中，由感測器 126 產生的光譜資料可指示沉積在基板表面上的一或更多種材料的濃度。被配置成產生與基板相關聯的光譜資料的感測器 126 可包括反射計感測器、橢圓計感測器、熱光譜感測器、電容感測器等。被配置成產生與基板相關聯的非光譜資料的感測器 126 可包括殘餘厚度感測器、溫度感測器、壓力感測器、流速感測器、電壓感測器等。

【0037】 計量設備 128 可提供與製造設備 124 處理的基板相關的計量資料。在一些實施例中，計量資料可為特性資料 142 及/或效能資料 152 的子集。計量資料可包括膜特性資料（例如，晶圓空間膜特性）、尺寸（例如，厚度、高度等）、介電常數、摻雜劑濃度、密度、缺陷等的值。在一些實施例中，計量資料可進一步包括一或更多種類型的表面輪廓特性資料的值（例如，蝕刻速率、蝕刻速率均勻性、包括在基板表面上的一或更多個特徵的臨界尺寸、整個基板表面上的臨界尺寸均勻性、邊緣位置錯誤等）。計量資料可為成品或半成品。對於每個基板，計量資料可不同。計量資料可使用例如反射量測技術、橢圓量測技術、

透射電子顯微鏡 (transmission electron microscopy; TEM) 技術等來產生。

【0038】 在一些實施例中，預測伺服器 112、伺服器 170 及伺服器機器 180 均包括一或更多個計算裝置，如機架式伺服器、路由器電腦、伺服器電腦、個人電腦、大型電腦、膝上型電腦、平板電腦、桌上型電腦、圖形處理單元 (Graphics Processing Unit; GPU)、加速器特殊應用積體電路 (Application-Specific Integrated Circuit; ASIC) (例如張量處理單元 (Tensor Processing Unit; TPU)) 等。

【0039】 預測伺服器 112 包括預測部件 114。在一些實施例中，預測部件 114 辨識 (例如，從客戶端裝置 120 接收，從資料儲存器 140 擷取) 特性資料 142 (例如，預期總殘餘厚度值、預期材料厚度值等) 並產生與執行校正動作 (例如，更新配方、更新沉積操作參數、更新製程操作參數等) 相關聯的預測資料 160。在一些實施例中，預測部件 114 使用一或更多個經過訓練的機器學習模型 190 來決定預測資料 160。在一些實施例中，使用歷史特性資料 144 及歷史效能資料 154 來訓練經訓練的機器學習模型 190。

【0040】 例如，沉積操作參數可包括製程配方的各層及/或循環的沉積時間、處理腔室的溫度設定、處理腔室的壓力設定、沉積在基板表面上的膜中包括的材料的前驅物的流速設定、噴淋頭高度等。在一些實施例中，配方的更新包括更新沉積操作參數。例如，沉積操作參數可包括時間值、

更新後時間值、配方、更新後的配方、基板處理操作的射頻功率、基板處理操作的間距值、基板處理操作的氣體流量值或基板處理操作的腔室壓力值、基板處理操作的更新後射頻功率、基板處理操作的更新後間距值、基板處理操作的更新後氣體流量值、基板處理操作的更新後腔室壓力值等。

【0041】 在一些實施例中，預測系統110（例如，預測伺服器112、預測部件114）使用監督機器學習（例如，監督資料集、標有歷史效能資料154的歷史特性資料144等）產生預測資料160。在一些實施例中，預測系統110使用半監督學習（例如，半監督資料集、效能資料152是預測百分比等）產生預測資料160。在一些實施例中，預測系統110使用無監督機器學習（例如，無監督資料集、聚類、基於歷史特性資料144的聚類等）產生預測資料160。

【0042】 在一些實施例中，製造設備124（例如，沉積室、叢集工具、晶圓背面研磨系統、晶圓鋸設備、晶粒貼附機、打線機、晶粒包覆系統、模製設備、密封設備、金屬罐焊接機、去毛邊/修整/成型/切單(deflash/trim/form/singulation; DTFS)機、貼牌設備、線修整設備等）為基板處理系統（例如，整合處理系統）的一部分。製造設備124包括控制器、外殼系統（例如，基板載體、前開口統一晶匣(front opening unified pod; FOUP)、自學FOUP、製程套件外殼系統、基板外殼系統、盒等)、側面儲存匣(side storage pod; SSP)、

對準器裝置（例如，對準腔室）、工廠介面（例如，設備前端模組（equipment front end module; EFEM））、裝載閘、移送腔室、一或更多個處理腔室、機器人臂（例如，安置在移送腔室中、設置在前介面中，等）中的一或更多者，及/或類似物。安裝到工廠介面的外殼系統、SSP及裝載閘，及安置在工廠介面中的機器人臂用以在外殼系統、SSP、裝載閘與工廠介面之間移送內容物（例如，基板、製程套件環、載體、驗證晶圓等）。對準器裝置被安置在工廠介面中以對準內容物。安裝至移送腔室的裝載閘及處理腔室，及安置在移送腔室中的機器人臂在裝載閘、處理腔室與轉移室之間移送內容物（例如，基板、處理套件環、載體、驗證晶圓等）。在一些實施例中，製造設備124包括基板處理系統的部件。在一些實施例中，處理腔室或基板的特性資料142由經歷由製造設備124的部件執行的一或更多個製程（例如，沉積、蝕刻、加熱、冷卻、轉移、處理、流動等）的處理腔室或基板產生。

【0043】 在一些實施例中，感測器126提供由製造設備124處理的處理腔室（例如，預期總殘餘厚度）或基板（例如，預期材料厚度）的特性資料142（例如，感測器值，如歷史感測器值及當前感測器值）。

【0044】 在一些實施例中，感測器126包括以下一或多者：如橢偏儀的計量工具（用於藉由量測材料特性，如層厚度、光學常數、表面粗糙度、組成及光學各向異性，來決定薄膜的特性及表面）、離子碾磨機（用於在大面積材

料將係均勻薄化時製備異質塊狀材料)、電容-電壓 (capacitance versus voltage; C-V)系統(用於量測半導體元件的C-V及電容-時間(capacitance versus time; C-t)特性)、干涉儀(用於針對波長量測距離,並決定特定光源的波長)、源量測單元(source measure unit; SME)磁力計、光學及成像系統、表面光度儀、晶圓探測器(用於在半導體晶圓被分成單個晶粒或晶片之前對其進行測試)、成像站、臨界尺寸掃描電子顯微鏡(critical-dimension scanning electron microscope; CD-SEM)(用於藉由量測基板的臨界尺寸來確保製造製程的穩定性)、反射計(用於量測表面的反射率及輻射度)、電阻探針(用於量測薄膜的電阻率)、電阻高能電子繞射(resistance high-energy electron diffraction; RHEED)系統(用於量測或監控矽或其他材料的磊晶薄膜的晶體結構或晶體取向)、X射線繞射儀(用於明確決定矽晶圓、磊晶膜或其他基板中的晶體結構、晶體取向、膜厚度及殘餘應力)等。

【0045】 在一些實施例中,特性資料142用於設備健康及/或產品健康(例如,產品品質)。在一些實施例中,在一段時間內接收特性資料142。

【0046】 在一些實施例中,感測器126及/或計量設備128提供特性資料142,包括以下一或多者:形態資料、尺寸特性資料、維度特性資料、影像資料、掃描電子顯微鏡(scanning electron microscope; SEM)影像、能分

散 x 射線 (energy dispersive x-ray; EDX) 影像、缺陷分佈資料、空間位置資料、元素分析資料、晶圓特徵資料、晶片層、晶片佈局資料、邊緣資料、灰度級資料、訊雜比資料、溫度資料、間距資料、電流資料、功率資料、電壓資料及 / 或類似物。

【0047】 在一些實施例中，特性資料包括形態資料（例如，與基板外形相關的資料，如沉積層厚度或殘餘厚度）。在一些實施例中，特性資料 142 包括大小屬性資料（例如，描述基板屬性大小的資料）。在一些實施例中，特性資料 142 包括維度屬性資料（例如，描述基板屬性維度的資料）。在一些實施例中，特性資料 142 包括 SEM 影像（例如，由掃描電子顯微鏡捕獲的影像，該掃描電子顯微鏡使用聚焦的電子束掃描基板表面以產生高解析度影像）。在一些實施例中，特性資料 142 包括 EDX 影像（例如，從使用 x 射線技術收集的資料中產生的影像，以辨識材料的元素組成）。在一些實施例中，特性資料 142 包括缺陷分佈資料（例如，描述基板上的缺陷分佈的資料，如空間、時間等）。在一些實施例中，特性資料 142 包括空間位置資料（例如，描述基板的屬性、缺陷、元素等的空間位置的資料）。在一些實施例中，特性資料 142 包括元素分析資料（例如，描述基板的元素組成的資料）。在一些實施例中，特性資料 142 包括晶圓特徵資料（例如，描述源自單個製造問題的基板晶圓缺陷分佈的資料）。在一些實施例中，特性資料 142 包括晶片層資料（例如，與基板製造製程中

的層或操作相關聯)。在一些實施例中，特性資料 142 包括晶片佈局資料(例如，針對平面幾何形狀描述基板佈局的資料)。在一些實施例中，特性資料 142 包括邊緣資料(例如，描述晶圓邊緣的資料，如碎邊、晶圓邊緣厚度、晶圓彎曲及/或翹曲等)。在一些實施例中，特性資料 142 包括灰度級資料(例如，描述基板影像的像元亮度的資料)及訊雜比資料(例如，描述用例如光譜測定設備量測的基板訊雜比的資料)。

【0048】 在一些實施例中，(例如，由客戶端裝置 120 及/或由預測伺服器 112)處理特性資料 142(例如，歷史特性資料 144、當前特性資料 146 等)。在一些實施例中，特性資料 142 的處理包括產生特徵。在一些實施例中，特徵是特性資料 142 中的模式(例如，斜率、寬度、高度、峰值等)或來自特性資料 142 的值的組合(例如，從電壓及電流推導出的功率等)。在一些實施例中，特性資料 142 包括由預測部件 114 用來獲得預測資料 160 的特徵。

【0049】 在一些實施例中，計量設備 128 可作為製造設備 124 的一部分而被包括在內。例如，計量設備 128 可被包括在處理腔室內部或者耦接到處理腔室，且被配置為在製程(例如，沉積製程、蝕刻製程等)之前、期間及/或之後，在基板保留在處理腔室中時用於產生處理腔室內部或基板的計量資料(例如，特性資料 142、效能資料 152 等)。在一些情況下，計量設備 128 可被稱為原位計量設備。在另一個實例中，計量設備 128 可耦接到製造設備 124 的另一個

站。例如，計量設備可耦接到移送腔室、裝載閘或工廠介面。

【0050】 在一些實施例中，感測器 126 可作為製造設備 124 的一部分而被包括在內。例如，感測器 126 可被包括在處理腔室內部或耦接到處理腔室，且被配置為在製程（例如，沉積製程、蝕刻製程等）之前、期間及/或之後，在基板保留在處理腔室中時用於產生處理腔室內部或基板的感測器資料。在一些情況下，感測器 126 可被稱為原位感測器。在另一個實例中，感測器 126 可耦接到製造設備 124 的另一個站。例如，感測器可耦接到移送腔室、裝載閘或工廠介面。

【0051】 在一些實施例中，計量設備 128（例如，橢偏儀設備、成像設備、光譜設備等）用於決定對應於處理腔室的內部（例如，表面）或對應於由製造設備 124（例如，基板處理設備）生產的基板的計量資料（例如，檢查資料、影像資料、光譜資料、橢偏儀資料、材料組成、光學或結構資料等）。在一些實例中，在製造設備 124 處理基板之後，計量設備 128 用於檢查基板的部分（例如，層）及/或處理腔室的內部。在一些實施例中，計量設備 128 執行掃描聲學顯微鏡（scanning acoustic microscopy; SAM）、超音波檢查、x 射線檢查及/或計算斷層攝影（computed tomography; CT）檢查。在一些實例中，在製造設備 124 在基板上沉積一或更多個層之後，計量設備 128 用於決定被處理的基板的品質（例如，層的厚度、

層的均勻性、層的層間間距等）。在一些實施例中，計量設備 1 2 8 包括成像裝置（例如，S A M 設備、超音波設備、x 射線設備、C T 設備等）。在一些實施例中，特性資料 1 4 2 包括來自感測器 1 2 6 的感測器資料及 / 或來自計量設備 1 2 8 的計量資料。在一些實施例中，特性資料 1 4 2 包括來自感測器 1 2 6 的感測器資料及 / 或來自位於原位（處理腔室內）的計量設備 1 2 8 的計量資料。在一些實施例中，效能資料 1 5 2 包括經由客戶端裝置 1 2 0 的使用者輸入及 / 或來自計量設備 1 2 8 的計量資料。特性資料 1 4 2 可包括來自計量設備 1 2 8 的第一子集的計量資料，效能資料 1 5 2 可包括來自計量設備 1 2 8 的第二子集的計量資料。

【0052】 在一些實施例中，效能資料 1 5 2 可與配方（例如，沉積配方、更新後的配方等）的效能相關聯。例如，效能資料 1 5 2 可為已經經歷該配方及 / 或該配方的處理操作的基板或處理腔室的資料。

【0053】 在一些實施例中，特性資料 1 4 2 可從計量資料及 / 或感測器資料中導出。計量資料可為描述基板計量的資料。感測器資料可為描述處理腔室內的條件及特性的資料。在一些實施例中，特性資料可包括沉積厚度值（例如，沉積在基板上的材料的實際或預期量）。在一些實施例中，特性資料可包括總殘餘厚度值（例如，殘餘沉積在腔室壁上的材料的實際或預期量）。在一些實施例中，沉積厚度值源自沉積操作配方（例如，沉積厚度等於沉積操作的預期沉積厚度）。

【0054】 在一些實施例中，實際沉積厚度值或實際殘餘厚度值可指沉積操作後實際沉積在基板上或殘餘沉積在處理腔室壁上的材料量。實際沉積厚度值或實際總殘餘厚度值可使用計量設備或感測器來量測。

【0055】 在一些實施例中，預期沉積厚度值或預期殘餘厚度值可指沉積操作後預期沉積在基板上或殘餘沉積在處理腔室壁上的材料量。在一些實施例中，預期沉積厚度值或實際總殘餘厚度值可從製程配方（例如，沉積操作參數）中導出。在一些實施例中，預期沉積厚度值或實際殘餘厚度值可從對應於相同沉積操作的歷史實際厚度值（例如，在基板及/或處理腔室的壁上的歷史實際厚度值）導出。

【0056】 在一些實施例中，資料儲存器 140 為記憶體（例如，隨機存取記憶體）、驅動器（例如，硬碟、隨身碟）、資料庫系統或能夠儲存資料的其他類型的部件或裝置。在一些實施例中，資料儲存器 140 包括跨越多個計算裝置（例如，多個伺服器電腦）的多個儲存部件（例如，多個驅動器或多個資料庫）。在一些實施例中，資料儲存器 140 儲存特性資料 142、效能資料 152 及/或預測資料 160 中的一或更多者。

【0057】 特性資料 142 可包括預期總殘餘厚度值、預期材料厚度值、實際總殘餘厚度值、實際材料厚度值、預期總殘餘厚度值及期望材料厚度值等。效能資料 152 可包括預期總殘餘厚度值、預期材料厚度值、實際總殘餘厚度值、實際材料厚度值、期望總殘餘厚度值及期望材料厚度值等。

【0058】 在一些實施例中，資料儲存器 140 可儲存預期總殘餘厚度值及預期材料厚度值。預期的總殘餘厚度值可包括與預期由特定製程配方產生的預期殘餘膜輪廓相關聯的一或更多個資料點。在一些實施例中，預期的總殘餘厚度值可包括期望的膜厚度、一或更多層膜的期望厚度及/或一或更多個膜循環的期望厚度等。預期材料厚度值可包括與製造設備 124 產生的當前膜厚度相關的一或更多個資料點。例如，預期材料厚度值可包括膜的預期厚度、一或更多層膜的預期厚度及/或一或更多個膜循環的預期厚度等。例如，預期材料厚度值可包括膜的量測厚度、一或更多層膜的量測厚度及/或一或更多個膜循環的量測厚度等。可使用計量設備 128 來量測預期的材料厚度值。更新後的配方可包括要應用於處理腔室或製程配方的參數的一或更多個調整或偏移。例如，更新後的配方可包括對膜層及/或循環的沉積時間、處理腔室的溫度設定、處理腔室的壓力設定、沉積在基板表面上的膜中包括的材料的前驅物的流速設定、提供給處理腔室的功率、兩個或更多設定的比率等的調整。可藉由比較預期總殘餘厚度（例如，預期由製程配方產生的殘餘厚度），並使用演算法、已知故障模式庫等來決定對應用於製程配方參數的調整，來產生更新後的配方，以實現預期的材料厚度。更新後的配方可應用於與沉積製程、蝕刻製程等相關聯的步驟。

【0059】 在一些實施例中，資料儲存器 140 可配置為儲存與已知故障模式相關聯的資料。故障模式可為一或更多個

值（例如，向量、純量等），該些值與一或更多個與處理腔室子系統相關聯的問題或故障相關聯。在一些實施例中，故障模式可與校正動作相關聯。例如，故障模式可包括參數調整步驟，用以糾正由故障模式指示的問題或故障。例如，預測系統可將決定的故障模式與已知故障模式庫進行比較，以決定子系統經歷的故障類型、故障原因、校正故障的推薦校正動作等。

【0060】 在一些實施例中，校正動作可為，例如，更新配方（例如，製程配方、沉積配方），決定預期材料厚度值，導致基於更新後的配方處理基板，使用包括歷史殘餘厚度值的資料輸入及包括歷史效能資料的目標輸出來訓練機器學習模型，使用經訓練的機器學習模型接收與預測資料相關的輸出，其中預期材料厚度值與預測資料相關聯，及/或類似情況。在一些實施例中，更新製程配方可包括更新製程參數（例如，沉積時間、流速、溫度等）。在一些實施例中，校正動作包括提供機器學習（例如，基於預測資料 160 而導致配方更新、製程/操作參數更新等）。

【0061】 在一些實施例中，預測資料 160 與校正動作相關聯。在一些實施例中，校正動作與更新配方（例如，處理配方、沉積配方）、決定預期材料厚度值、導致基於更新後的配方處理基板、使用包括歷史殘餘厚度值的資料輸入及包括歷史特性資料的目標輸出訓練機器學習模型、使用經訓練的機器學習模型接收與預測資料相關的輸出、修復製造設備 124 的一或更多個部分，替換製造設備 124 的一或

更多個部分、計算過程控制(Computational Process Control; CPC)、統計過程控制(Statistical Process Control; SPC)(例如,與3-sigma圖比較的SPC等)、進階過程控制(Advanced Process Control; APC)、基於模型的製程控制、預防性操作維護、設計最佳化、製造參數更新、晶圓配方修改、回饋控制、機器學習修改等中的一或更多者相關聯。

【0062】 在一些實施例中,資料儲存器140可配置為儲存製造系統使用者不可存取的資料。例如,製造系統的使用者(例如,操作員)不能存取在製造系統中正在處理的基板所獲得的製程資料、光譜資料、上下文資料等。在一些實施例中,製造系統的使用者不能存取儲存在資料儲存器140中的所有資料。在一些實施例中,製造系統的使用者不能存取儲存在資料儲存器140中的一部分資料,而使用者可存取儲存在資料儲存器140中的另一部分資料。在一些實施例中,儲存在資料儲存器140處的資料的一或更多個部分可使用使用者未知的加密機制來加密(例如,使用私有加密金鑰來加密資料)。在一些實施例中,資料儲存器140可包括多個資料儲存器,其中使用者不可存取的資料儲存在一或更多個第一資料儲存器中,而使用者可存取的資料儲存在一或更多個第二資料儲存器中。

【0063】 特性資料142包括歷史特性資料144及當前特性資料146。在一些實施例中,特性資料142(例如,感測器資料)可包括預期總殘餘厚度值、預期材料厚度值、基板

處理操作的更新後射頻功率、基板處理操作的更新後間距值、基板處理操作的更新後氣體流量值、基板處理操作的更新後腔室壓力值、沉積殘餘厚度資料（實際）、壓力資料、溫度資料、溫度範圍、功率資料、用於將檢查資料與臨限值資料進行比較的比較參數、臨限值資料、冷卻速率資料、冷卻速率範圍，及/或其類似者。在一些實施例中，特性資料 1 4 2 的至少一部分來自感測器 1 2 6 及/或計量設備 1 2 8。

【0064】 效能資料 1 5 2 包括歷史效能資料 1 5 4 及當前效能資料 1 5 6。效能資料 1 5 2 可指示基板是否被正確設計、被正確生產、與其他基板具有一致性及/或正常運行。效能資料 1 5 2 可指示基板處理操作是否被準確執行。例如，效能資料 1 5 2 可指示在沉積操作期間沉積在晶圓上或處理腔室中的實際厚度（例如，材料厚度值、總殘餘厚度值、歷史材料厚度值、處理腔室壁上的沉積厚度等）。效能資料 1 5 2 可指示基板處理操作（例如，沉積操作）是否被有效執行。例如，效能資料 1 5 2 可指示沉積操作之前、期間或之後的沉積漂移，且可指示沉積殘餘厚度值、材料厚度值等。

【0065】 在一些實施例中，至少一部分效能資料 1 5 2 與製造設備 1 2 4 生產的基板品質相關聯。在一些實施例中，效能資料 1 5 2 的至少一部分基於來自計量設備 1 2 8（例如，歷史效能資料 1 5 4 包括指示正確處理的基板的計量資料、基板的特性資料、良率、材料厚度值等）或感測器 1 2 6（例如，歷史效能資料 1 5 4 包括指示正確處理的基板的感測器

資料、基板的特性資料、良率、材料厚度值等)的計量資料。在一些實施例中，效能資料152的至少一部分基於對基板或處理腔室內部的檢查(例如，基於實際檢查的當前效能資料156)。在一些實施例中，效能資料152包括使用者輸入(例如，經由客戶端裝置120)，其指示處理腔室/基板處理區域中或基板上的基板品質或沉積漂移。在一些實施例中，效能資料152包括絕對值的指示(例如，基板的檢查資料指示缺少臨限值資料一個計算值，漂移值缺少臨限值漂移值一個計算值)或相對值的指示(例如，膜沉積的檢查資料指示缺少臨限值資料5%，漂移值缺少臨限值漂移值5%)。在一些實施例中，效能資料152指示滿足錯誤的臨限值量(例如，沉積操作之後的沉積漂移至少有5%的錯誤、生產至少有5%的錯誤、流量至少有5%的錯誤、形變至少有5%的錯誤、規格限制)。

【0066】 在一些實施例中，歷史資料包括歷史特性資料144及/或歷史效能資料154(例如，至少一部分用於訓練機器學習模型190)中的一或更多者。當前資料包括當前特性資料146及/或當前效能資料156中的一或更多者(例如，在使用歷史資料訓練模型190之後，至少一部分將被輸入到經訓練機器學習模型190中)。在一些實施例中，當前資料用於重新訓練經訓練的機器學習模型190。

【0067】 在一些實施例中，預測資料160用於對製程配方、配方/操作的沉積操作參數、製造設備、基板處理系統或基板處理設備部分進行校正動作。

【0068】 在多層產品或處理腔室上執行多種類型的計量，以決定是否執行校正動作在所用時間、所用計量設備 128、所耗能量、用於發送計量資料的頻寬、處理計量資料的處理器額外負擔等方面的成本較高。藉由向模型 190 提供特性資料 142 並從模型 190 接收預測資料 160，系統 100 具有避免在多層產品上使用計量設備 128 及/或處理腔室上的感測器的高成本製程，並避免浪費時間及丟棄基板的技術優勢。

【0069】 使用製造設備 124 及/或會產生缺陷產品或損壞製造設備的製造參數（例如，沉積操作參數）執行製造製程（例如，沉積）在時間、能量、產品、製造設備 124、辨識糾正動作以避免產生缺陷產品的成本等方面成本高昂。藉由向模型 190 提供特性資料 142，從模型 190 接收預測資料 160，並基於預測資料 160 產生校正動作（例如，更新配方），系統 100 具有免去生產、辨識及丟棄缺陷基板的成本的技術優勢。

【0070】 在一些實施例中，預測系統 110 進一步包括伺服器 170 及伺服器機器 180。伺服器機器 170 包括資料集產生器 172，其能夠產生資料集（例如，一組資料輸入及一組目標輸出）來訓練、驗證及/或測試機器學習模型 190。資料集產生器 172 具有資料收集、編譯、簡化及/或劃分的功能，以使資料處於機器學習的形式中。在一些實施例中（例如，對於小資料集），不使用用於訓練後驗證的劃分（例如，顯式劃分）。在訓練期間可使用重複的交叉驗證（例

如，5重交叉驗證、捨一交叉驗證），其中在訓練期間給定的資料集實際上被重複劃分成不同的訓練及驗證集。模型（例如，最佳模型、具有最高精確度的模型等）是從自動分離的組合子集上的模型向量中選擇的。在一些實施例中，資料集產生器172可明確地將歷史資料（例如，歷史特性資料144及對應的歷史效能資料154）劃分成訓練集（例如，歷史資料的60%）、驗證集（例如，歷史資料的20%）及測試集（例如，歷史資料的20%）。根據一些實施例，下文參照第2圖詳細描述資料集產生器172的一些操作。在一些實施例中，預測系統110（例如，經由預測部件114）產生多組特徵（例如，訓練特徵）。在一些實施例中，第一組特徵對應於第一組特性資料類型（例如，來自第一組感測器、來自第一組感測器的第一值組合、來自第一組感測器的第一值模式），該第一組特性資料類型對應於每個資料集（例如，訓練集、驗證集及測試集），而第二組特徵對應於第二組特性資料類型（例如，來自不同於第一組感測器的第二組感測器、不同於第一值組合的第二值組合、不同於第一模式的第二模式），第二組特性資料類型對應於每個資料集。

【0071】 伺服器機器180包括訓練引擎182、驗證引擎184、選擇引擎185及/或測試引擎186。在一些實施例中，引擎（例如，訓練引擎182、驗證引擎184、選擇引擎185及測試引擎186）指示硬體（例如，電路系統、專用邏輯、可程式設計邏輯、微碼、處理裝置等）、軟體（如運行在

處理裝置、通用電腦系統或專用機器上的指令)、韌體、微碼或其組合。訓練引擎 182 能夠使用與來自資料集產生器 172 的訓練集相關聯的一或更多組特徵來訓練機器學習模型 190。在一些實施例中，訓練引擎 182 產生多個經訓練的機器學習模型 190，其中每個經訓練的機器學習模型 190 對應於訓練集的一不同參數集（例如，特性資料 142）及對應的回應（例如，效能資料 152）。在一些實施例中，出於對多種效果模型化的目的，多個模型針對具有不同目標的相同參數得以訓練。在一些實例中，使用來自所有感測器 126（例如，感測器 1 至 5）的特性資料 142 來訓練第一訓練機器學習模型，使用特性資料的第一子集（例如，來自感測器 1、2 及 4）來訓練第二訓練機器學習模型，且使用與第一特徵子集部分重疊的特性資料的第二子集（例如，來自感測器 1、3、4 及 5）來訓練第三訓練機器學習模型。

【0072】 驗證引擎 184 能夠使用來自資料集產生器 172 的驗證集的對應特徵集來驗證經訓練的機器學習模型 190。例如，使用訓練集的第一組特徵訓練的第一經訓練的機器學習模型 190 藉由使用驗證集的第一組特徵來驗證。驗證引擎 184 基於驗證集的對應特徵集來決定每個經訓練的機器學習模型 190 的準確度。驗證引擎 184 評估並標記（例如，待丟棄）精度不滿足臨限值精度的經訓練機器學習模型 190。在一些實施例中，選擇引擎 185 能夠選擇一或更多個經訓練的機器學習模型 190，其具有滿足臨限值準確度

的準確度。在一些實施例中，選擇引擎185能夠選擇經訓練機器學習模型190中具有最高準確度的經訓練機器學習模型190。

【0073】 測試引擎186能夠使用來自資料集產生器172的測試集的對應特徵集來測試經訓練的機器學習模型190。例如，使用測試集的第一組特徵來測試使用訓練集的第一組特徵訓練的第一經訓練機器學習模型190。測試引擎186基於測試集決定在所有經訓練的機器學習模型中具有最高準確度的經訓練機器學習模型190。

【0074】 在一些實施例中，機器學習模型190（例如，用於分類）是指由訓練引擎182使用包括資料輸入及對應目標輸出的訓練集產生的模型製品（例如，對相應訓練輸入的條件或階數位準進行正確分類）。可找到資料集中將資料輸入映射到目標輸出（正確的分類或位準）的模式，且向機器學習模型190提供捕捉該等模式的映射。在一些實施例中，機器學習模型190使用高斯製程迴歸(Gaussian Process Regression; GPR)、高斯製程分類(Gaussian Process Classification; GPC)、貝葉斯神經網路、神經網路高斯製程、深度信任網路、高斯混合模型或其他概率學習方法中的一或更多者。亦可使用非概率方法，包括支援向量機(Support Vector Machine; SVM)、徑向基函數(Radial Basis Function; RBF)、聚類、最近鄰演算法(Nearest Neighbor algorithm; k-NN)、線性迴歸、隨機森林、神經網路（例如，人工神

經網路)等中的一或更多者。在一些實施例中,機器學習模型190是多變數分析(multi-variate analysis; MVA)迴歸模型。

【0075】 預測部件114向經訓練的機器學習模型190提供當前特性資料146(例如,作為輸入),並運行經訓練的機器學習模型190(例如,針對輸入運行,以獲得一或更多個輸出)。預測部件114能夠從經訓練的機器學習模型190中決定(例如,提取)預測資料160,且決定(例如,提取)不確定性資料,該不確定性資料指示預測資料160對應於當前效能資料156的置信度位準。在一些實施例中,預測部件114或校正動作部件122使用不確定性資料(例如,不確定性函數或從不確定性函數推導出的獲取函數)來決定是否使用預測資料160來執行校正動作或是否進一步訓練模型190。

【0076】 出於說明而非限制的目的,本揭示案的各態樣描述了一或更多個機器學習模型190的訓練,其使用歷史資料(即,先前資料、歷史特性資料144及歷史效能資料154),並將當前特性資料146提供給一或更多個經訓練的概率機器學習模型190,以決定預測資料160。在其他實施方式中,使用啟發式模型或基於規則的模型來決定預測資料160(例如,不使用經訓練的機器學習模型)。在其他實施方式中,可使用非概率機器學習模型。預測部件114監控歷史特性資料144及歷史效能資料154。在一些實施例

中，關於第2圖的資料輸入210描述的任何資訊被監控或以其他方式用於啟發式或基於規則的模型中。

【0077】 在一些實施例中，客戶端裝置120、預測伺服器112、伺服器170及伺服器機器180的功能由較少數量的機器提供。例如，在一些實施例中，伺服器170及180被整合到單個機器中，而在一些其他實施例中，伺服器170、伺服器機器180及預測伺服器112被整合到單個機器中。在一些實施例中，客戶端裝置120及預測伺服器112被整合到單個機器中。

【0078】 一般而言，在一個實施例中描述為由客戶端裝置120、預測伺服器112、伺服器170及伺服器機器180執行的功能亦可按需在其他實施例中的預測伺服器112上執行。此外，歸屬於特定部件的功能可由一起操作的不同或多個部件來執行。例如，在一些實施例中，預測伺服器112基於預測資料160決定校正動作。在另一個實例中，客戶端裝置120基於從經訓練的機器學習模型接收的資料來決定預測資料160。

【0079】 此外，特定部件的功能可由不同或多個部件一起操作來執行。在一些實施例中，預測伺服器112、伺服器170或伺服器機器180中的一或更多者作為經由適當的應用程式設計介面(application programming interface; API)提供給其他系統或裝置的服務而被存取。

【0080】 在一些實施例中，「使用者」表示為單個個體。然而，本揭示案的其他實施例涵蓋作為由複數個使用者及/或自動化源控制的實體的「使用者」。在某些實施例中，聯合成一組管理員的一組個人使用者被認為是「使用者」。

【0081】 儘管在製造設施（例如，基板處理設施）中的基板製造期間，針對決定殘餘厚度補償的預測資料160（例如，基於厚度值更新配方）來論述了本揭示案的實施例，但在一些實施例中，本揭示案亦可大體應用於製造設施中的校正動作。實施例大體可應用於基於不同類型的資料來決定零件的品質。

【0082】 第2圖根據某些實施例示出了資料集產生器272（例如，第1圖的資料集產生器172），用於為機器學習模型產生資料集（例如，與殘餘厚度補償、方法400A至400C等相關聯）（例如，第1圖的模型190）。在一些實施例中，資料集產生器272是第1圖的伺服器170的一部分。由第2圖的資料集產生器272產生的資料集可用於訓練機器學習模型（例如，參見第4B圖）以導致執行校正動作（例如，參見第4C圖）。

【0083】 資料集產生器272（例如，第1圖的資料集產生器172）為機器學習模型（例如，第1圖的模型190）產生資料集。資料集產生器272使用歷史特性資料244（例如，第1圖的歷史特性資料144）及歷史效能資料254（例如，第1圖的歷史效能資料154）產生資料集。第2圖的系統200

示出了資料集產生器 272、資料輸入 210 及目標輸出 220（例如，目標資料）。

【0084】 在一些實施例中，資料集產生器 272 產生包括一或更多個資料輸入 210（例如，訓練輸入、驗證輸入、測試輸入）的資料集（例如，訓練集、驗證集、測試集）。在一些實施例中，資料集產生器 272 不產生目標輸出（例如，用於無監督學習）。在一些實施例中，資料集產生器產生對應於資料輸入 210 的一或更多個目標輸出 220（例如，用於監督學習）。資料集亦可包括將資料輸入 210 映射到目標輸出 220 的映射資料。資料輸入 210 亦被稱為「特徵」、「屬性」或「資訊」。在一些實施例中，資料集產生器 272 向訓練引擎 182、驗證引擎 184 或測試引擎 186 提供資料集，其中資料集用於訓練、驗證或測試機器學習模型 190（例如，與基於基板製造期間的殘餘厚度的膜沉積參數的調整、方法 400 A 至 400 C 等相關聯）。

【0085】 在一些實施例中，資料集產生器 272 產生資料輸入 210 及目標輸出 220。在一些實施例中，資料輸入 210 包括一或更多組歷史特性資料 244（例如，總殘餘厚度值、材料厚度值等）（例如，與在基板製造期間基於殘餘厚度的膜沉積參數的調整、方法 400 A 至 400 C 等相關聯）。在一些實施例中，歷史特性資料 244 包括以下一或更多者：來自一或更多種類型的感測器及 / 或計量設備的特性資料、來自一或更多種類型的感測器及 / 或計量設備的特性資

料的組合、來自一或更多種類型的感測器及/或計量設備的特性資料的模式等。

【0086】 在一些實施例中，資料集產生器 272 產生對應於第一組歷史特性資料 244 A 的第一資料輸入，以訓練、驗證或測試第一機器學習模型，且資料集產生器 272 產生對應於第二組歷史特性資料 244 B 的第二資料輸入，以訓練、驗證或測試第二機器學習模型（例如，與基於基板製造期間的殘餘厚度調整膜沉積參數、方法 400 A 至 400 C 等相關聯）。

【0087】 在一些實施例中，資料集產生器 272 離散化（例如，分段）資料輸入 210 或目標輸出 220 中的一或更多者（例如，用於迴歸問題的分類演算法）。資料輸入 210 或目標輸出 220 的離散化（例如，經由滑動視窗的分段）將變數的連續值轉換成離散值。在一些實施例中，資料輸入 210 的離散值指示離散歷史特性資料 144，以獲得目標輸出 220（例如，離散歷史效能資料 154）。

【0088】 用於訓練、驗證或測試機器學習模型的資料輸入 210 及目標輸出 220 包括特定設施（例如，特定基板製造設施）的資訊。在一些實例中，歷史特性資料 244 及歷史效能資料 254 用於相同的製造設施（例如，與基於基板製造期間的殘餘厚度的膜沉積參數的調整、方法 400 A 至 400 C 等相關聯）。

【0089】 在一些實施例中，用於訓練機器學習模型的資訊來自具有特定特性的製造設施的特定類型製造設備 124，

並允許經訓練的機器學習模型（例如，與基於基板製造期間的殘餘厚度的膜沉積參數的調整、方法400A至400C等相關聯）以基於與共享特定組的特性的一或更多個部件相關聯的當前參數（例如，當前特性資料146）的輸入來決定製造設備124的特定組的結果。在一些實施例中，用於訓練機器學習模型的資訊是針對來自兩個或更多個製造設施的部件的，且允許已訓練的機器學習模型基於來自一個製造設施的輸入來決定部件的結果。

【0090】 在一些實施例中，在產生資料集並使用該資料集訓練、驗證或測試機器學習模型190之後，機器學習模型190（例如，與基於基板製造期間的殘餘厚度的膜沉積參數的調整、方法400A至400C等相關聯）被進一步訓練、驗證或測試（例如，第1圖的當前效能資料156）或調整（例如，調整與機器學習模型190的輸入資料相關聯的權重，如神經網路中的連接權重）。

【0091】 機器學習模型處理輸入以產生輸出（例如，與基於基板製造期間的殘餘厚度的膜沉積參數的調整，方法400A至400C等相關聯）。人工神經網路包括由資料點中的值組成的輸入層。下一層稱為隱藏層，且隱藏層的每個節點都接收一或更多個輸入值。每個節點包含應用於輸入值的參數（例如，權重）。因此，每個節點本質上將輸入值輸入到多元函數（例如，非線性數學變換）中，以產生輸出值。下一層可為另一個隱藏層或輸出層。在任一情況下，下一層的節點接收來自上一層的節點的輸出值，且每

個節點對該等值應用權重，隨後產生自己的輸出值。此可在每一層執行。最後一層是輸出層，其中機器學習模型可產生的每個類、預測及/或輸出都有一個節點。

【0092】 因此，輸出可包括一或更多個預測或推斷（例如，與基於基板製造期間的殘餘厚度的膜沉積參數的調整，方法400A至400C等相關聯）。例如，輸出預測或推斷可包括沉積漂移、腔室部件上的膜堆積、腔室部件的腐蝕、腔室部件的預測故障、沉積操作的預測故障等的一或更多個預測。處理邏輯基於機器學習模型的輸出（例如，預測或推斷）及與輸入訓練資料相關聯的目標標籤之間的差來決定錯誤（即，分類錯誤）。處理邏輯基於錯誤調整機器學習模型中的一或更多個節點的權重。可為人工神經網路中的每個節點決定錯誤項或增量。基於該錯誤，人工神經網路為其一或更多個節點調整其一或更多個參數（節點的一或更多個輸入的權重）。可以反向傳播的方式更新參數，使得首先更新最高層的節點，接著更新下一層的節點，依此類推。人工神經網路包含多層「神經元」，其中每層接收來自前一層神經元的輸入值。每個神經元的參數包括與從前一層的每個神經元接收的值相關聯的權重。因此，調整參數可包括調整分配給人工神經網路中一或更多層的一或更多個神經元的每個輸入的權重。

【0093】 在一或更多輪訓練後，處理邏輯可決定是否滿足停止標準。停止標準可為目標精度位準、來自訓練資料集的處理影像的目標數量、一或更多個先前資料點上參數的

目標變化量、上述各者的組合及/或其他標準。在一些實施例中，當至少最小數量的資料點已經被處理且至少達到臨限值精度時，滿足停止標準。臨限值精度可為例如70%、80%或90%的精度。在一些實施例中，若機器學習模型的精度已經停止提高，則滿足停止標準。若沒有滿足停止標準，則執行進一步的訓練。若已經滿足停止標準，則訓練可完成。一旦訓練了機器學習模型，就可使用訓練資料集的保留部分來測試模型。

【0094】 第3圖是示出根據某些實施例的用於產生預測資料360（例如，第1圖的預測資料160）的系統300的方塊圖。系統300用於經由經訓練的機器學習模型（例如，與殘餘厚度補償、方法400A至400C等相關聯）來決定預測資料360（例如，第1圖的模型190）。

【0095】 在方塊310處，系統300（例如，第1圖的預測系統110）對歷史資料（例如，第1圖的模型190的歷史特性資料344及/或歷史效能資料354）進行資料劃分（例如，經由第1圖的伺服器170的資料集產生器172），以產生訓練集302、驗證集304及測試集306（例如，與基於基板製造期間的殘餘厚度的膜沉積參數的調整、方法400A至400C等相關聯）。在一些實例中，訓練集是歷史資料的60%，驗證集是歷史資料的20%，測試集是歷史資料的20%。系統300為訓練集、驗證集及測試集中的每一個產生複數組特徵。在一些實例中，若歷史資料包括從20個感測器（例如，第1圖的感測器126、製造設備及/或計量設

備的感測器)及100個產品(例如,每個都對應於來自20個感測器的特性資料的產品)推導出的特徵,則第一組特徵是感測器1至10,第二組特徵是感測器11至20,訓練集是產品1至60,驗證集是產品61至80,且測試集是產品81至100。在該實例中,訓練集的第一組特徵將是來自產品1至60的感測器1至10的參數。

【0096】 在方塊312處,系統300使用訓練集302進行模型訓練(例如,經由第1圖的訓練引擎182,與基於基板製造期間的殘餘厚度的膜沉積參數的調整、方法400A至400C等相關聯)。在一些實施例中,系統300使用訓練集302的多組特徵(例如,訓練集302的第一組特徵、訓練集302的第二組特徵等)來訓練多個模型。例如,系統300訓練機器學習模型,以使用訓練集中的第一組特徵(例如,來自產品1至60的感測器1至10的特性資料)產生第一訓練機器學習模型,並使用訓練集中的第二組特徵(例如,來自產品1至60的感測器11至20的特性資料)產生第二訓練機器學習模型。在一些實施例中,第一經訓練機器學習模型及第二經訓練機器學習模型組合產生第三經訓練機器學習模型(例如,在一些實施例中,第三經訓練機器學習模型是比第一或第二已訓練機器學習模型本身更好的預測器)。在一些實施例中,特徵集合用於比較模型重疊(例如,第一組特徵是來自感測器1至15的特性資料,且第二組特徵是來自感測器5至20的特性資料)。在一些實施例

中，產生數百個模型，包括具有各種特徵排列及模型組合的模型。

【0097】 在方塊 3 1 4，系統 3 0 0 使用驗證集 3 0 4 進行模型驗證（例如，經由第 1 圖的驗證引擎 1 8 4）。系統 3 0 0 使用驗證集 3 0 4 的對應特徵集驗證每個訓練模型（例如，與基於基板製造期間的殘餘厚度的膜沉積參數的調整、方法 4 0 0 A 至 4 0 0 C 等相關聯）。例如，系統 3 0 0 使用驗證集中的第一組特徵（例如，來自產品 6 1 至 8 0 的感測器 1 至 1 0 的參數）來驗證第一經訓練機器學習模型，且使用驗證集中的第二組特徵（例如，來自產品 6 1 至 8 0 的感測器 1 1 至 2 0 的參數）來驗證第二經訓練機器學習模型。在一些實施例中，系統 3 0 0 驗證在方塊 3 1 2 產生的數百個模型（例如，具有各種特徵排列的模型、模型組合等）。在方塊 3 1 4，系統 3 0 0 決定一或更多個訓練模型中的每一個的準確度（例如，經由模型驗證），並決定一或更多個訓練模型是否具有滿足臨限值準確度的準確度。回應於決定經訓練的模型都不具有滿足臨限值精度的精度，流程返回到方塊 3 1 2，其中系統 3 0 0 使用訓練集的不同特徵集來執行模型訓練。回應於決定一或更多個訓練模型具有滿足臨限值精度的精度，流程繼續至方塊 3 1 6。系統 3 0 0 丟棄精度低於臨限值精度（例如，基於驗證集）的經訓練機器學習模型。

【0098】 在方塊 3 1 6 處，系統 3 0 0 進行模型選擇（例如，經由第 1 圖的選擇引擎 1 8 5），以決定滿足臨限值精度的一或更多個訓練模型中哪一個具有最高精度（例如，基於方

塊 3 1 4 的驗證，選定的模型 3 0 8)。回應於決定滿足臨限值精度的兩個或更多個訓練模型具有相同的精度，流程返回到方塊 3 1 2，其中系統 3 0 0 使用對應於進一步細化特徵集的進一步細化訓練集來執行模型訓練，以決定具有最高精度的訓練模型。

【0099】 在方塊 3 1 8，系統 3 0 0 使用測試集 3 0 6 測試選定的模型 3 0 8，來執行模型測試（例如，經由第 1 圖的測試引擎 1 8 6）。系統 3 0 0 使用測試集中的第一組特徵（例如，來自產品 8 1 至 1 0 0 的感測器 1 至 1 0 的特性資料）來測試第一經訓練的機器學習模型，以決定第一經訓練的機器學習模型滿足臨限值準確度（例如，基於測試集 3 0 6 的第一組特徵）。回應於所選模型 3 0 8 的精度不滿足臨限值精度（例如，所選模型 3 0 8 過度擬合到訓練集 3 0 2 及 / 或驗證集 3 0 4，且不適用於諸如測試集 3 0 6 的其他資料集），流程前進到方塊 3 1 2，其中系統 3 0 0 使用對應於不同特徵集（例如，來自不同感測器的特性資料）的不同訓練集來執行模型訓練（例如，再訓練）。回應於基於測試集 3 0 6 決定所選模型 3 0 8 具有滿足臨限值精度的精度，流程繼續到方塊 3 2 0。至少在方塊 3 1 2 中，模型學習歷史資料中的模式以進行預測，且在方塊 3 1 8 中，系統 3 0 0 將模型應用於殘餘資料（例如，測試組 3 0 6）以測試預測（例如，與基於基板製造期間的殘餘厚度的膜沉積參數的調整、方法 4 0 0 A 至 4 0 0 C 等相關聯）。

【0100】 在方塊 3 2 0 中，系統 3 0 0 使用訓練模型（例如，選定模型 3 0 8）接收當前特性資料 3 4 6（例如，第 1 圖的當前特性資料 1 4 6），並從訓練模型中決定（例如，提取）預測資料 3 6 0（例如，第 1 圖的預測資料 1 6 0），用於基於在基板製造期間的殘餘厚度的膜沉積參數的調整，以執行校正動作（例如，更新製程配方，執行沉積操作參數的修改，導致基於更新後的配方處理基板等）。在一些實施例中，當前特性資料 3 4 6 對應於歷史特性資料 3 4 4 中相同類型的特徵。在一些實施例中，當前特性資料 3 4 6 對應於與歷史特性資料 3 4 4 中的特徵類型的子集相同類型的特徵，該歷史特性資料 3 4 4 用於訓練所選模型 3 0 8（例如，與基於基板製造期間的殘餘厚度的膜沉積參數的調整、方法 4 0 0 A 至 4 0 0 C 等相關聯）。

【0101】 在一些實施例中，接收當前資料。在一些實施例中，當前資料包括當前效能資料 3 5 6（例如，第 1 圖的當前效能資料 1 5 6）及 / 或當前特性資料 3 4 6（例如，與基於基板製造期間的殘餘厚度的膜沉積參數的調整、方法 4 0 0 A 至 4 0 0 C 等相關聯）。在一些實施例中，從計量設備（例如，第 1 圖的計量設備 1 2 8）或經由使用者輸入接收至少一部分當前資料。在一些實施例中，基於當前資料重新訓練模型。在一些實施例中，基於當前效能資料 3 5 6 及當前特性資料 3 4 6 來訓練新的模型。

【0102】 在一些實施例中，方塊 3 1 0 至 3 2 0 中的一或更多者以各種順序及 / 或本文未介紹及描述的其他操作進行。在

一些實施例中，不執行方塊 310 至 320 中的一或更多者。例如，在一些實施例中，不執行方塊 310 的資料劃分、方塊 314 的模型驗證、方塊 316 的模型選擇及 / 或方塊 318 的模型測試中的一或更多者。

【0103】 第 4 A 至 4 C 圖為根據某些實施例的與殘餘厚度補償相關的方法 400 A 至 400 C 的流程圖（例如，基板製造期間對膜沉積參數的基於殘餘的調整）。在一些實施例中，方法 400 A 至 400 C 由包括硬體（例如，電路系統、專用邏輯、可程式設計邏輯、微碼、處理裝置等）、軟體（例如運行在處理裝置、通用電腦系統或專用機器上的指令）、韌體、微碼或其組合的處理邏輯來執行。在一個實施方式中，方法 400 A 可由電腦系統執行，如第 1 圖的電腦系統架構 100。在其他或類似的實施方式中，方法 400 A 的一或更多個操作可由圖中未示出的一或更多個其他機器來執行。在一些實施例中，方法 400 A 至 400 C 至少部分由預測系統 110 執行。在一些實施例中，方法 400 A 由客戶端裝置 120（例如，校正動作部件 122）及 / 或預測系統 110（例如，預測部件）執行。在一些實施例中，方法 400 B 由伺服器機器 180（例如，訓練引擎 182 等）執行。在一些實施例中，方法 400 C 由預測伺服器 112（例如，預測部件 114）及 / 或客戶端裝置 120（例如，校正動作部件 122）執行。在一些實施例中，非暫時性儲存媒體儲存指令，當由（例如，預測系統 110 的、伺服器機器 180 的、預測伺服器 112 的、

客戶端裝置 120 等的)處理裝置執行時，該等指令使處理裝置執行方法 400 A 至 400 C 中的一或更多者。

【0104】 為簡化說明，方法 400 A 至 400 C 被繪示及描述為一系列操作。然而，根據本揭示案的操作可以各種順序及/或與本文未呈現及描述的其他操作同時發生。此外，在一些實施例中，並非所有示出的操作都被執行來實施根據所揭示標題的方法 400 A 至 400 C。此外，本領域的技藝人士將理解及明白，方法 400 A 至 400 C 可替換地經由狀態圖或事件被表示為一系列相關的狀態。

【0105】 第 4 A 圖為根據本揭示案的態樣，在基板製造期間基於沉積厚度來調整膜沉積參數的相關方法的流程圖。

【0106】 參考第 4 A 圖，在一些實施例中，在方塊 401，實施方法 400 A 的處理邏輯辨識與配方的基板處理操作相關聯的材料。在一些實施例中，所辨識的材料可跨循環重複使用，且循環可具有任意順序的任意數量的材料。在一些實施例中，沉積漂移補償基於所辨識的材料及與該材料相關聯的基板處理操作。在一些實施例中，處理邏輯可接收辨識與配方的基板處理操作相關聯的材料的使用者輸入。在其他實施例中，處理邏輯可自動選擇與配方的基板處理操作相關聯的材料。例如，處理邏輯可辨識與配方的基板處理操作相關聯的材料，對於該配方，至少一個製程運行結束，且已經決定了材料厚度值。在又一實施例中，處理邏輯可基於當前執行的製程配方來辨識與配方的基板處理操作相關聯的材料。例如，處理邏輯可根據製程配方在基

板上執行沉積製程。沉積製程可在一或更多個處理腔室中進行。製程配方可包括用於沉積製程的一或更多個沉積參數。例如，沉積參數可包括製程配方的每個層及/或循環的沉積時間、處理腔室的溫度設定、處理腔室的壓力設定、沉積在基板表面上的膜中包括的材料的前驅物的流速設定、噴淋頭高度等。在一些實施例中，一個基板處理區域的沉積參數可不同於另一個區域的沉積參數。沉積製程可在基板上沉積多個層。例如，沉積製程可沉積交替的氧化物層及氮化物層、交替的氧化物層及多晶矽層等。

【0107】 在方塊402處，處理邏輯決定基板處理操作後的預期總殘餘厚度值。例如，預期總殘餘厚度值可包括殘餘膜的量測厚度、殘餘膜的一或更多層的量測厚度及/或殘餘膜的一或更多個循環的量測厚度等。可使用計量設備128來量測預期的總殘餘厚度值。在一些實施例中，從資料儲存器140中擷取厚度輪廓。在一些實施例中，預期的總殘餘厚度可從製程配方中導出。例如，製程配方可被設計成沉積200埃的膜。在此種情況下，預期的總殘餘厚度值可為200埃。在一些實施例中，可使用感測器126來量測處理腔室壁上的沉積，從而量測預期的總殘餘厚度值。在一些實施例中，可基於至少一個沉積操作的參數（例如，沉積時間、沉積速率等）來決定預期的總殘餘厚度。

【0108】 在一些實施例中，處理邏輯可經由收集特性資料的感測器（例如，經由量測處理腔室壁上的沉積殘餘厚度）來決定特性資料（例如，預期總殘餘厚度值）。在一些實

施例中，處理邏輯可基於添加到基板的預期厚度（例如，沉積操作的厚度參數、來自相同沉積操作的先前運行的量測厚度等）來辨識特性資料。在一些實施例中，處理邏輯可基於沉積的材料及其沉積的時間量（例如，製程配方、沉積操作參數等）來辨識特性資料。在一些實施例中，處理邏輯可基於經歷了基板處理操作（例如，沉積操作）的基板的感測器資料及/或計量資料（例如，總殘餘厚度值、材料厚度值、基板處理操作的射頻功率、基板處理操作的間距值、基板處理操作的氣體流量值或基板處理操作的腔室壓力值等）來辨識特性資料。

【0109】 在方塊403，處理邏輯基於預期總殘餘厚度值，決定與基板處理操作相關聯的材料之預期材料厚度值。

【0110】 在一些實施例中，處理邏輯可使用一或更多個公式或數學模型決定與基板處理操作相關聯之預期材料厚度值。在一些實施例中，預期總殘餘厚度與預期材料厚度之間可能存在關係（例如，基於與配方的基板處理操作相關聯之辨識材料）。在一些實施例中，該關係可為數學關係、方程式、函數等。在一些實施例中，可至少使用一預期材料厚度（例如，表示沉積操作之後的材料厚度之資料點）、預期總殘餘厚度（例如，表示壁殘餘厚度、污濁度等之資料點），及沉積時間（表示製程配方中沉積操作歷時之資料點）來導出該關係。在一些實施例中，方程或函數之輸入是預期之總殘餘厚度，且方程之輸出是預期之材料厚

度。在一些實施例中，處理邏輯可適當地縮放沉積操作時間以補償漂移。

【0111】 在一些實施例中，與材料相關聯的第一關係可對應於第一基板處理區域（例如，槽），且與同一材料相關聯的第二關係可對應於第二基板處理區域（例如，基於同一材料的關係可特定於特定槽）。

【0112】 在一些實施例中，處理邏輯可產生與所辨識的材料相關聯的方程式（例如，多項式、線性、對數等）。在一些實施例中，方程式可跨循環重複使用。在一些實施例中，可能存在特定於每個基板處理區域（例如，槽）的基於材料的方程。例如，可使用三階多項式方程，且可表示為： $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$ ，其中 (x, y) 是座標，且 a 、 b 、 c 及 d 是常數。舉例而言，使用具有三階的多項式方程，且多項式方程（任何階）、線性、對數、指數等皆可使用。在一些實施例中，可使用一組預期的總殘餘厚度值（例如，預期的腔室壁殘餘厚度值）作為 x 變數（例如，循環一次後的腔室壁殘餘厚度、循環兩次後的腔室壁殘餘厚度、循環三次後的腔室壁殘餘厚度等），及使用預期的材料厚度值作為 y 座標（例如，不同腔室壁殘餘厚度下的預期沉積厚度）來產生該方程。 (x, y) 值可從預期的設定檔中擷取。使用一組 (x, y) 座標，決定方程的常數。在一些實施例中，總殘餘厚度（例如，腔室壁殘餘厚度）是季化厚度加上沉積厚度，其中沉積厚度等於所有先前循環的總厚度。在將基板引入腔室進行處理之前，季化厚度可包括腔

室壁上的層（例如氧化矽層）。沉積的季化層降低了污染物干擾後續處理步驟的可能性。

【0113】 在一些實施例中，處理邏輯可使用方程式及總殘餘厚度決定特定循環的(y)值。具體而言，處理邏輯可接收輸入（例如，基於使用者的輸入、自動輸入等），該輸入指示沉積製程的層或循環。隨後，處理邏輯可將循環或層的實際材料厚度（從厚度輪廓中獲得）輸入到方程式中，以計算循環或層的(y)。

【0114】 在一些實施例中，預期材料厚度值可包括膜的所需厚度、一或更多層膜的所需厚度及/或一或更多個膜循環的所需厚度等。在一些實施例中，從資料儲存器140中擷取預期材料厚度值。在一些實施例中，預期材料厚度值可為期望材料厚度值與實際材料厚度值之間的差。在一些實施例中，預期材料厚度值的決定可包括將預期總殘餘厚度值作為輸入提供給經訓練的機器學習模型。在一些實施例中，預期材料厚度值的決定可包括從經訓練的機器學習模型接收與預測資料相關聯的輸出，其中預期材料厚度值與預測資料相關聯。在一些實施例中，可用包括歷史總殘餘厚度值的資料輸入及歷史材料厚度值的目標輸出來訓練經訓練的機器學習模型。

【0115】 在方塊404處，處理邏輯基於材料及材料的預期材料厚度值更新配方，以產生更新後的配方（例如，具有更新後的沉積操作參數，如（沉積的）時間值、更新後的時間值、基板處理操作的射頻功率、基板處理操作的間距

值、基板處理操作的氣體流量值、基板處理操作的腔室壓力值、腔室溫度等）。在一些實施例中，配方的更新可包括決定與基板處理操作相關聯的更新後時間值。在一些實施例中，與基板處理操作相關聯的更新後時間值的決定可基於與基板處理操作相關聯的時間值、預期總殘餘厚度值及預期材料厚度值。在一些實施例中，配方的更新可包括決定基板處理操作的更新後射頻功率、基板處理操作的更新後間距值、基板處理操作的更新後氣體流量值或基板處理操作的更新後腔室壓力值中的至少一個。

【0116】 在一些實施例中，更新後的配方可包括一或更多個校正動作（例如，更新沉積操作參數、更新製程配方等），該等動作將應用於製程配方的參數（例如，在製程配方的一或更多個操作期間與處理腔室相關聯）。具體而言，更新後的配方可包括對一或更多個層及/或一或更多個循環中的每一個的沉積時間、對處理腔室的溫度設定、對處理腔室的壓力設定、對沉積在基板表面上的膜中包括的材料的前驅物的流速設定、對提供給處理腔室的功率、對兩個或更多個設定的比率等的調整。例如，更新後的配方可包括製程配方循環的沉積時間調整。在一些實施例中，更新後的配方可包括用於製程配方的每個層及/或循環的一組參數調整。例如，更新後的配方可包括第一循環、第二循環、第三循環等直到最後循環的沉積時間調整。每個調整可應用於相應的沉積步驟，以調整一或更多個環或層的厚度，使得膜堆疊厚度與由預期總殘餘厚度指示的預期膜厚

度相同。例如，預期總殘餘厚度可包括膜的量測厚度、一或更多層膜的量測厚度及/或一或更多個膜循環的量測厚度等。可使用計量設備 128 及/或一或更多個感測器 126 來量測厚度輪廓。在一些實施例中，從資料儲存器 140 中擷取厚度輪廓。

【0117】 例如，若循環 39 後的預期膜厚度（例如，預期總殘餘厚度）為第一值（例如，30,000 nm），循環 40 後的預期膜厚度為第二值（例如，30,500 nm），且沉積運行期間及循環 39 後的實際膜厚度（例如，實際材料厚度）為第三值（例如，30,050），則更新後的配方可指示對循環 40 的沉積時間的校正（例如，將環 40 的沉積時間縮短一定的時間段），使得環 40 之後的實際膜厚度等於預期膜厚度（例如，30,500 nm）。

【0118】 在一些實施例中，處理邏輯可使用與配方的基板處理操作相關聯的材料相關聯的一或更多個公式或數學模型來產生更新後的配方。例如，處理邏輯可使用來自預期總殘餘厚度及/或預期材料厚度的資料值來產生曲線擬合模型，隨後使用曲線擬合模型來決定當前沉積製程期間特定步驟的偏移時間值。

【0119】 例如，在一些實施例中，數學方程（例如，三階多項式方程，且表示為： $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$ ，其中 (x, y) 為座標，且 a、b、c 及 d 為常數）可用於更新配方（例如，基板處理區域的配方）。例如，在一些實施例中，處理邏輯可使用等式及總殘餘厚度來決定特定循環的 (y)

值。具體而言，處理邏輯可接收指示沉積製程的層或循環的輸入（例如，基於使用者的輸入、自動輸入等）。隨後，處理邏輯可將循環或層的實際材料厚度（從厚度輪廓中獲得）輸入到方程中，以計算循環或層的(y)。在一些實施例中，處理邏輯基於計算的(y)值產生更新後的配方。在一些實施例中，可基於以下方程來產生更新後的配方。例如，更新後的配方 = (y[第一循環]/y[當前循環次數]) * t_{步驟}，其中 t_{步驟} 是所選循環的預期時間。儘管論述了使用曲線擬合方法來決定校正分佈圖（例如，更新後的配方），但是可使用其他方法、公式及模型來產生校正分佈圖，包括但不限於迴歸分析、最小二乘法等。

【0120】 在一些實施例中，處理邏輯可使用機器學習模型（例如，機器學習模型 190）或使用推理引擎產生更新後的配方。

【0121】 在方塊 405 處，處理邏輯基於更新後的配方處理基板。例如，處理邏輯可在基板上沉積第一組膜層（例如，執行基板處理操作的第一組循環），決定沉積膜的預期總殘餘厚度值，產生更新後的配方以校正在第一組膜層的沉積期間偵測到的任何缺陷，將更新後的配方應用於處理配方，及在基板上沉積第二組膜層（例如，執行基板處理操作的第二組循環）。因此，可即時或接近即時地（例如，基本上即時地）調整沉積製程配方。對於製程配方的每個沉積步驟，可重複此流程。

【0122】 在一些實施例中，方塊405的更新配方仍可能導致處理腔室及基板上的層沉積中的漂移。在一些實施例中，在方塊405之後，可辨識與更新後的配方相關聯的效能資料。在一些實施例中，方法400A的某些部分可基於效能資料而更新（例如，更新與配方的基板處理操作相關聯的預期總殘餘厚度，更新預期材料厚度值，更新沉積操作參數等）。在一些實施例中，可重複更新後的方法400A，以更精確地執行配方的基板處理操作。在一些實施例中，處理邏輯可決定漂移（例如，材料厚度值）是否滿足第一臨限值（例如，大於某一值），且可重複方法400A，直到漂移滿足第二臨限值（例如，小於該某一值）。第4B圖是根據本揭示案的態樣的用於訓練機器學習模型（例如，第1圖的模型190）以決定與殘餘厚度補償相關聯的預測資料（例如，第1圖的預測資料160）的方法的流程圖。

【0123】 參考第4B圖，在方法400B的方塊410處，處理邏輯辨識基板的歷史特性資料（例如，歷史總殘餘厚度值、與歷史配方的歷史基板處理操作相關聯的歷史材料、歷史材料厚度值、歷史特性資料144等）。歷史特性資料可包括來自歷史配方、歷史沉積操作參數、歷史基板、歷史處理腔室特性資料等的資料。

【0124】 在一些實施例中，在方塊412處，處理邏輯辨識歷史沉積操作參數、製程配方、基板、處理腔室等的歷史效能資料（例如，滿足臨限值的基板、不滿足臨限值的基板、滿足臨限值的配方、不滿足臨限值的配方等的歷史效

能資料) (例如, 歷史材料厚度值、實際材料厚度值與預期材料厚度值之間的差異、實際總殘餘厚度值與預期總殘餘厚度值之間的差、第1圖的歷史效能資料154等)。歷史效能資料可包括歷史材料厚度值(例如, 實際材料厚度值與預期材料厚度值之間的差、實際總殘餘厚度值與預期總殘餘厚度值之間的差等)及/或來自歷史處理腔室的資料, 如沉積操作的精度值、滿足預期總殘餘厚度值等(例如, 在沉積操作之後)中的一或更多者。包括歷史特性資料的效能資料可包括感測器資料及/或計量資料(例如, 總殘餘厚度值、材料厚度值、射頻功率值、間距值、氣流值或腔室壓力值等)或使用者輸入, 該使用者輸入指示基板在滿足特定參數或實現特定效能位準(例如, 通過量測電壓的探針測試的能力)方面的效能。包括歷史特性資料的效能資料可包括感測器資料及/或計量資料或使用者輸入, 該使用者輸入指示處理腔室在滿足特定參數或實現特定效能位準(例如, 通過沉積漂移測試的能力)方面的效能。歷史特性資料及歷史效能資料的至少一部分可與新的基板處理設備部分相關聯(例如, 用於基準測試)。歷史特性資料及歷史效能資料的至少一部分可與製造的基板相關聯。歷史特性資料及歷史效能資料的至少一部分可與處理腔室相關聯。

【0125】 在方塊414處, 處理邏輯使用包括歷史特性資料144的資料輸入及/或包括歷史效能資料154的目標輸出來訓練機器學習模型, 以產生經訓練的機器學習模型。

【0126】 在一些實施例中，歷史特性資料屬於歷史基板或處理腔室，及/或歷史效能資料對應於歷史基板或處理腔室。在一些實施例中，歷史特性資料對應於沉積操作或製程配方，或者對應於經歷沉積操作或製程配方的基板或處理腔室。在一些實施例中，歷史特性資料包括歷史基板或處理腔室的歷史計量及/或對應於歷史基板或處理腔室的歷史效能資料。歷史效能資料可與基板品質相關聯，如基板的計量資料、基板處理量、基板缺陷等。歷史效能資料可與製程配方（例如，沉積操作）的品質相關聯，如實際總殘餘厚度值與預期總殘餘厚度值的一致性。歷史效能資料可與製程配方或沉積操作參數對沉積操作的預期總殘餘厚度的符合性的品質相關聯，如精確沉積每個層及/或膜的能力。歷史效能資料可與基板處理設備部件的品質相關聯，如測試資料、基板的計量資料、基板故障時間等。

【0127】 在方塊 414 處，處理邏輯使用包括歷史特性資料 144（例如，歷史總殘餘厚度值）的資料輸入及/或包括歷史效能資料 154（例如，歷史材料厚度值）的目標輸出來訓練機器學習模型，以產生經訓練的機器學習模型。

【0128】 在一些實施例中，歷史特性資料屬於歷史基板或處理腔室，及/或歷史效能資料對應於歷史基板或處理腔室。在一些實施例中，歷史特性資料包括歷史基板或處理腔室的歷史計量，及/或歷史效能資料對應於歷史基板或處理腔室。歷史效能資料可與基板品質相關，如基板的計量資料（例如，總殘餘厚度值、材料厚度值等）、基板處理

量、基板缺陷等。歷史效能資料可與製程配方或沉積操作的品質相關聯，如精確沉積預期總殘餘厚度及/或預期材料厚度的能力。歷史效能資料可與基板處理設備部分的品質相關，如測試資料、基板的計量資料、基板故障時間等。

【0129】 在方塊414處，可使用歷史特性資料144及/或包括歷史效能資料154的目標輸出來訓練機器學習模型，以產生經訓練的機器學習模型，該經訓練的機器學習模型被配置為基於特性資料來更新配方，產生更新配方，及/或引起校正動作（例如，基於更新配方來處理基板）。在一些實施例中，經訓練的機器學習模型可被配置成基於特性資料142（例如，第4A圖的方塊402的預期總殘餘厚度值，第4A圖的方塊403的預期材料厚度值）預測效能資料152（例如，效能資料、更新後的製程配方、更新後的沉積操作參數、用更新後的製程配方處理的基板的效能資料、用更新後的沉積操作參數處理的基板的效能資料等）。回應於預測的效能資料滿足臨限值（例如，沉積漂移超過某一值），處理邏輯可導致校正動作（例如，更新沉積操作參數、更新製程配方、導致基於更新後的配方來處理基板等）。回應於預測的效能資料不滿足臨限值，製程邏輯可導致校正動作不發生（例如，導致製程配方保持不變，導致沉積操作參數保持不變，等）。

【0130】 在一些實施例中，沉積操作參數可包括時間值、更新後的時間值、配方、更新後的配方、基板處理操作的射頻功率、基板處理操作的間距值、基板處理操作的氣體

流量值、基板處理操作的腔室壓力值、基板處理操作的更新後射頻功率、基板處理操作的更新後間距值、基板處理操作的更新後氣體流量值、基板處理操作的更新後腔室壓力值等。

【0131】 第4C圖為使用經訓練的機器學習模型（例如，第1圖的模型190）的方法400C，該經訓練的機器學習模型與基於基板製造期間的殘餘厚度的膜沉積參數的調整相關聯，並導致校正動作的執行。

【0132】 參考第4C圖，在方法400C的方塊420處，處理邏輯辨識特性資料。在一些實施例中，方塊420的特性資料包括預期總殘餘厚度值、預期材料厚度值等。在一些實施例中，方塊420類似於第4A圖的方塊401及402。

【0133】 在方塊422處，處理邏輯將特性資料作為資料輸入提供給經訓練的機器學習模型（例如，經由第4B圖的方塊414訓練）。在一些實施例中，經訓練的機器學習模型可與預期總殘餘厚度與預期材料厚度之間的可變關係相關聯。

【0134】 在方塊424處，處理邏輯從經訓練的機器學習模型接收與預測資料相關聯的輸出，其中更新後的配方基於預測資料。

【0135】 在方塊426處，處理邏輯基於預測資料導致執行校正動作。

【0136】 在一些實施例中，第4A圖的方塊403包括訓練機器學習模型，以基於預期總殘餘厚度值決定與基板處理操

作相關的材料的預期材料厚度值。在一些實施例中，第4A圖的方塊403包括使用經訓練的機器學習模型來基於預期總殘餘厚度值決定與基板處理操作相關聯的材料的預期材料厚度值。

【0137】 在一些實施例中，第4A圖的方塊404包括訓練機器學習模型，以基於材料及材料的預期材料厚度值更新配方，從而產生更新後的配方。在一些實施例中，第4A圖的方塊404包括基於材料及材料的預期材料厚度值，使用機器學習模型來更新配方，以產生更新後的配方。

【0138】 在一些實施例中，特性資料142為預期總殘餘厚度值（例如，與沉積製程相關聯的預期沉積厚度），且使用包括歷史預期總殘餘厚度值及/或歷史實際總殘餘厚度值的資料輸入及包括歷史效能資料154（例如，實際總殘餘厚度值、實際材料厚度值等）的目標輸出來訓練方塊422的經訓練的機器學習模型。

【0139】 在一些實施例中，特性資料142為沉積厚度特性資料（例如，預期總殘餘厚度值、預期材料厚度值等），且使用包括歷史沉積厚度特性資料的資料輸入及包括歷史效能資料154的目標輸出來訓練方塊422的經訓練的機器學習模型，歷史效能資料154包括歷史基板或歷史沉積操作的歷史沉積厚度特性資料。基於特性資料，方塊424的預測資料160可與預測的效能資料（例如，基板的效能資料或沉積配方或操作的效能資料）相關聯。回應於滿足臨限值的預測效能資料（例如，沉積漂移超過某一位準），

處理邏輯可導致校正動作（例如，更新製程配方、更新沉積參數等）。回應於基板不滿足臨限值，處理邏輯可導致校正動作不發生（例如，導致處理配方保持不變，導致沉積參數保持不變，等）。

【0140】 第5圖為根據某些實施例的電腦系統500的方塊圖。在一些實施例中，電腦系統500是客戶端裝置120、預測系統110、伺服器170、伺服器機器180、預測伺服器112及/或其類似者中的一或更多者。

【0141】 在一些實施例中，電腦系統500（例如，經由網路，如區域網路(LAN)、內部網路、商際網路或網際網路）連接至其他電腦系統。在一些實施例中，電腦系統500在客戶端-伺服器環境中以伺服器或客戶端電腦的身份操作，或者在同級間或分佈式網路環境中作為同級間電腦操作。在一些實施例中，電腦系統500由個人電腦(PC)、平板PC、機上盒(STB)、個人數位助理(Personal Digital Assistant; PDA)、蜂巢電話、網路設備、伺服器、網路路由器、交換機或橋接器，或者能夠執行指定該裝置要採取的動作的一組指令（順序的或其他的）的任何裝置來提供。此外，術語「電腦」應包括單獨或聯合執行一組（或多組）指令以執行本文描述的任何一或更多種方法的任何電腦集合。

【0142】 在另一態樣，電腦系統500包括處理裝置502、揮發性記憶體504（例如，隨機存取記憶體(Random Access Memory; RAM)）、非揮發性記憶體506（例

如，唯讀記憶體(Read-Only Memory; ROM)或電可擦除可程式設計唯讀記憶體(Electrically-Erasable Programmable ROM; EEPROM))及資料儲存裝置518，上述各者經由匯流排508相互通信。

【0143】 在一些實施例中，處理裝置502由一或更多個處理器提供，如通用處理器(例如，複雜指令集計算(Complex Instruction Set Computing; CISC)微處理器、精簡指令集計算(Reduced Instruction Set Computing; RISC)微處理器、超長指令字(Very Long Instruction Word; VLIW)微處理器、實施其他類型指令集的微處理器或實施多種指令集組合的微處理器)或專用處理器(例如，特殊應用積體電路(ASIC)、現場可程式設計閘陣列(Field Programmable Gate Array; FPGA)、數位信號處理器(Digital Signal Processor; DSP)或網路處理器)。

【0144】 在一些實施例中，電腦系統500還包括網路介面裝置522(例如，耦接至網路574)。在一些實施例中，電腦系統500還包括視訊顯示單元510(例如，液晶顯示器(liquid-crystal display; LCD))、字母數位輸入裝置512(例如，鍵盤)、游標控制裝置514(例如，滑鼠)及信號產生裝置520。

【0145】 在一些實施方式中，資料儲存裝置518包括非暫時性電腦可讀儲存媒體524，其上儲存有對本文所述的任何一或更多種方法或功能進行編碼的指令526，包括對第1

圖的部件（例如，校正動作部件122、預測部件114等）進行編碼及用於實現本文描述的方法（例如，方法400A至400C中的一或更多個）的指令。

【0146】 在一些實施例中，指令526在由電腦系統500執行期間，亦全部或部分駐存於揮發性記憶體504及/或處理裝置502內，因此，在一些實施例中，揮發性記憶體504及處理裝置502亦構成機器可讀儲存媒體。

【0147】 儘管電腦可讀儲存媒體524在說明性實例中顯示為單個媒體，但術語「電腦可讀儲存媒體」應包括儲存一或更多組可執行指令的單個媒體或多個媒體（例如，集中式或分散式資料庫，及/或相關的快取記憶體及伺服器）。術語「電腦可讀儲存媒體」亦應包括能夠儲存或編碼一組由電腦執行的指令的任何有形媒體，該等指令使電腦執行本文描述的任何一或更多種方法。術語「電腦可讀儲存媒體」應包括但不限於固態記憶體、光學媒體及磁性媒體。

【0148】 本文所述的方法、部件及特徵可由離散硬體部件實施，或可整合在其他硬體部件的功能中，如特殊應用積體電路（ASIC）、FPGA、DSP或類似裝置。此外，該等方法、部件及特徵可由硬體裝置內的韌體模組或功能電路系統來實施。此外，該等方法、部件及特徵可在硬體元件及電腦程式部件的任意組合中或者在電腦程式中實施。

【0149】 除非另有具體說明，否則術語，如「辨識」、「決定」、「更新」、「導致」、「提供」、「接收」、「執行」、「獲得」、「存取」、「添加」、「使用」、「訓

練」等，是指由電腦系統執行或實施的動作及流程，其將對電腦系統暫存器及記憶體內表示為物理（電子）量的資料進行操縱及將其轉換為電腦系統記憶體或暫存器或其他此類資訊儲存裝置、傳輸或顯示裝置內以類似方式表示為物理量的其他資料。此外，術語「第一」、「第二」、「第三」、「第四」等如本文所使用，意味著作為標籤來區分不同的元件，且不能根據其數位名稱而具有順序含義。

【0150】 本文所述的實例亦係關於用於執行本文所述方法的設備。該設備可被專門構造用於執行本文描述的方法，或者其可包括通用電腦系統，該通用電腦系統由儲存在電腦系統中的電腦程式選擇性地程式設計。此種電腦程式可儲存在電腦可讀有形儲存媒體中。

【0151】 本文所述的方法及說明性實例並非固有地與任何特定的電腦或其他裝置相關。根據在此描述的教導，可使用各種通用系統，或者可證實構造更專用的裝置來執行在此描述的方法及/或其各自的功能、常式、子常式或操作是方便的。以上描述中闡述了各種該等系統的結構實例。

【0152】 上述說明意欲說明，而非限制。儘管已經參考具體的說明性示例及實施方式描述了本揭示案，但是將會認識到，本揭示案不限於所描述的示例及實施方式。本揭示案的範疇應當參照以下申請專利範圍及其等同物的全部範疇來決定。

【符號說明】

【0153】

1 0 0 : 系 統
 1 1 0 : 預 測 系 統
 1 1 2 : 預 測 伺 服 器
 1 1 4 : 預 測 部 件
 1 2 0 : 客 戶 端 裝 置
 1 2 2 : 校 正 動 作 部 件
 1 2 4 : 製 造 設 備
 1 2 6 : 感 測 器
 1 2 8 : 計 量 設 備
 1 3 0 : 網 路
 1 4 0 : 資 料 儲 存 器
 1 4 2 : 特 性 資 料
 1 4 4 : 歷 史 特 性 資 料
 1 4 6 : 當 前 特 性 資 料
 1 5 2 : 效 能 資 料
 1 5 4 : 歷 史 效 能 資 料
 1 5 6 : 當 前 特 性 資 料
 1 6 0 : 預 測 資 料
 1 7 0 : 伺 服 器 機 器
 1 7 2 : 資 料 集 產 生 器
 1 8 0 : 伺 服 器 機 器
 1 8 2 : 訓 練 引 擎
 1 8 4 : 驗 證 引 擎
 1 8 5 : 選 擇 引 擎

1 8 6 : 測 試 引 擎

1 9 0 : 機 器 學 習 模 型

2 0 0 : 系 統

2 1 0 : 資 料 輸 入

2 2 0 : 目 標 輸 出

2 4 4 A : 第 一 組 歷 史 特 性 資 料

2 4 4 Z : 歷 史 特 性 資 料 組

2 5 4 : 歷 史 效 能 資 料

2 7 2 : 資 料 集 產 生 器

3 0 0 : 系 統

3 0 2 : 訓 練 集

3 0 4 : 驗 證 集

3 0 6 : 測 試 集

3 0 8 : 選 定 的 模 型

3 1 0 : 步 驟

3 1 2 : 步 驟

3 1 4 : 步 驟

3 1 6 : 步 驟

3 1 8 : 步 驟

3 2 0 : 步 驟

3 4 4 : 歷 史 特 性 資 料

3 4 6 : 當 前 特 性 資 料

3 5 4 : 歷 史 效 能 資 料

3 5 6 : 當 前 效 能 資 料

3 6 0 : 預 測 資 料

4 0 0 A : 方 法

4 0 0 B : 方 法

4 0 0 C : 方 法

4 0 1 : 步 驟

4 0 2 : 步 驟

4 0 3 : 步 驟

4 0 4 : 步 驟

4 0 5 : 步 驟

4 1 0 : 步 驟

4 1 2 : 步 驟

4 1 4 : 步 驟

4 2 0 : 步 驟

4 2 2 : 步 驟

4 2 4 : 步 驟

4 2 6 : 步 驟

5 0 0 : 電 腦 系 統

5 0 2 : 處 理 裝 置

5 0 4 : 揮 發 性 記 憶 體

5 0 6 : 非 揮 發 性 記 憶 體

5 0 8 : 匯 流 排

5 1 0 : 視 訊 顯 示 單 元

5 1 2 : 字 母 數 位 輸 入 裝 置

5 1 4 : 游 標 控 制 裝 置

5 1 8 : 資 料 儲 存 裝 置

5 2 0 : 信 號 產 生 裝 置

5 2 2 : 網 路 介 面 裝 置

5 2 4 : 非 暫 時 性 電 腦 可 讀 儲 存 媒 體

5 2 6 : 指 令

5 7 4 : 網 路

【生物材料寄存】

國 內 寄 存 資 訊 (請 依 寄 存 機 構 、 日 期 、 號 碼 順 序 註 記)

無

國 外 寄 存 資 訊 (請 依 寄 存 國 家 、 機 構 、 日 期 、 號 碼 順 序 註 記)

無

【發明申請專利範圍】

【請求項 1】 一種方法，包括以下步驟：

辨識與一配方的一基板處理操作相關聯的一材料；

決定該基板處理操作之後的一預期總殘餘厚度值；

基於該預期總殘餘厚度值，決定與該基板處理操作相關聯的該材料的一預期材料厚度值；

基於該材料及該材料的該預期材料厚度值更新該配方，以產生一更新後的配方；及

導致基於該更新後的配方處理一基板。

【請求項 2】 如請求項 1 所述的方法，其中該預期材料厚度值是一期望材料厚度值與一實際材料厚度值之間的一差。

【請求項 3】 如請求項 1 所述的方法，其中該更新該配方之步驟包括以下步驟：決定與該基板處理操作相關聯的一更新後時間值。

【請求項 4】 如請求項 3 所述的方法，其中該決定與該基板處理操作相關聯的該更新後時間值之步驟是基於該與基板處理操作相關聯的一時間值、該預期總殘餘厚度值及該預期材料厚度值。

【請求項 5】 如請求項 1 所述的方法，其中該更新該配方之步驟包括以下步驟：決定該基板處理操作的一更新後射頻(RF)功率、該基板處理操作的一更新後間距值、該基板處理操作的一更新後氣體流量值或該基板處理操作的一更新後腔室壓力值中的至少一者。

【請求項6】 如請求項1所述的方法，其中該決定該預期材料厚度值之步驟包括以下步驟：

將該預期總殘餘厚度值作為輸入提供給一經訓練的機器學習模型；及

從該經訓練的機器學習模型接收與該預測資料相關聯的輸出，其中該預期材料厚度值與該預測資料相關聯。

【請求項7】 如請求項6所述的方法，其中該經訓練的機器學習模型用包括歷史總殘餘厚度值的一資料輸入及歷史材料厚度值的目標輸出來訓練。

【請求項8】 一種儲存指令的非暫時性電腦可讀儲存媒體，該等指令在被執行時導致一處理裝置執行操作，該等操作包括以下步驟：

辨識與一配方的一基板處理操作相關聯的一材料；

決定該基板處理操作之後的一預期總殘餘厚度值；

基於該預期總殘餘厚度值，決定與該基板處理操作相關的該材料的一預期材料厚度值；

基於該材料及該材料的該預期材料厚度值更新該配方，以產生一更新後的配方；及

導致基於該更新後的配方處理一基板。

【請求項9】 如請求項8所述的非暫時性電腦可讀儲存媒體，其中該預期材料厚度值是一期望材料厚度值與一實際材料厚度值之間的一差。

【請求項10】 如請求項8所述的非暫時性電腦可讀儲存媒體，其中該更新該配方之步驟包括以下步驟：決定與該

基板處理操作相關聯的一更新後時間值。

【請求項 11】如請求項 10 所述的非暫時性電腦可讀儲存媒體，其中該決定與該基板處理操作相關聯的該更新後時間值之步驟是基於與該基板處理操作相關聯的一時間值、該預期總殘餘厚度值及該預期材料厚度值。

【請求項 12】如請求項 8 所述的非暫時性電腦可讀儲存媒體，其中該更新該配方之步驟包括以下步驟：決定該基板處理操作的一更新後射頻(RF)功率、該基板處理操作的一更新後間距值、該基板處理操作的一更新後氣體流量值或該基板處理操作的一更新後腔室壓力值中的至少一者。

【請求項 13】如請求項 8 所述的非暫時性電腦可讀儲存媒體，其中該決定該預期材料厚度值之步驟包括以下步驟：

將該預期總殘餘厚度值作為輸入提供給一經訓練的機器學習模型；及

從該經訓練的機器學習模型接收與該預測資料相關聯的輸出，其中該預期材料厚度值與該預測資料相關聯。

【請求項 14】如請求項 13 所述的非暫時性電腦可讀儲存媒體，其中利用包括歷史總殘餘厚度值的一資料輸入及歷史材料厚度值的目標輸出來訓練該經訓練的機器學習模型。

【請求項 15】一種系統，包括：

一記憶體；及

耦接到該記憶體的一處理裝置，該處理裝置用於：

辨識與一配方的一基板處理操作相關聯的一材料；

決定該基板處理操作之後的一預期總殘餘厚度值；

基於該預期總殘餘厚度值，決定與該基板處理操作相關聯的該材料的一預期材料厚度值；

基於該材料及該材料的該預期材料厚度值更新該配方，以產生一更新後的配方；及

導致基於該更新後的配方處理一基板。

【請求項16】如請求項15所述的系統，其中該預期材料厚度值是一期望材料厚度值與一實際材料厚度值之間的一差。

【請求項17】如請求項15所述的系統，其中為更新該配方，該處理裝置決定與該基板處理操作相關聯的一更新後時間值。

【請求項18】如請求項17所述的系統，其中該處理裝置基於與該基板處理操作相關聯的一時間值、該預期總殘餘厚度值及該預期材料厚度值來決定與該基板處理操作相關聯的該更新後時間值。

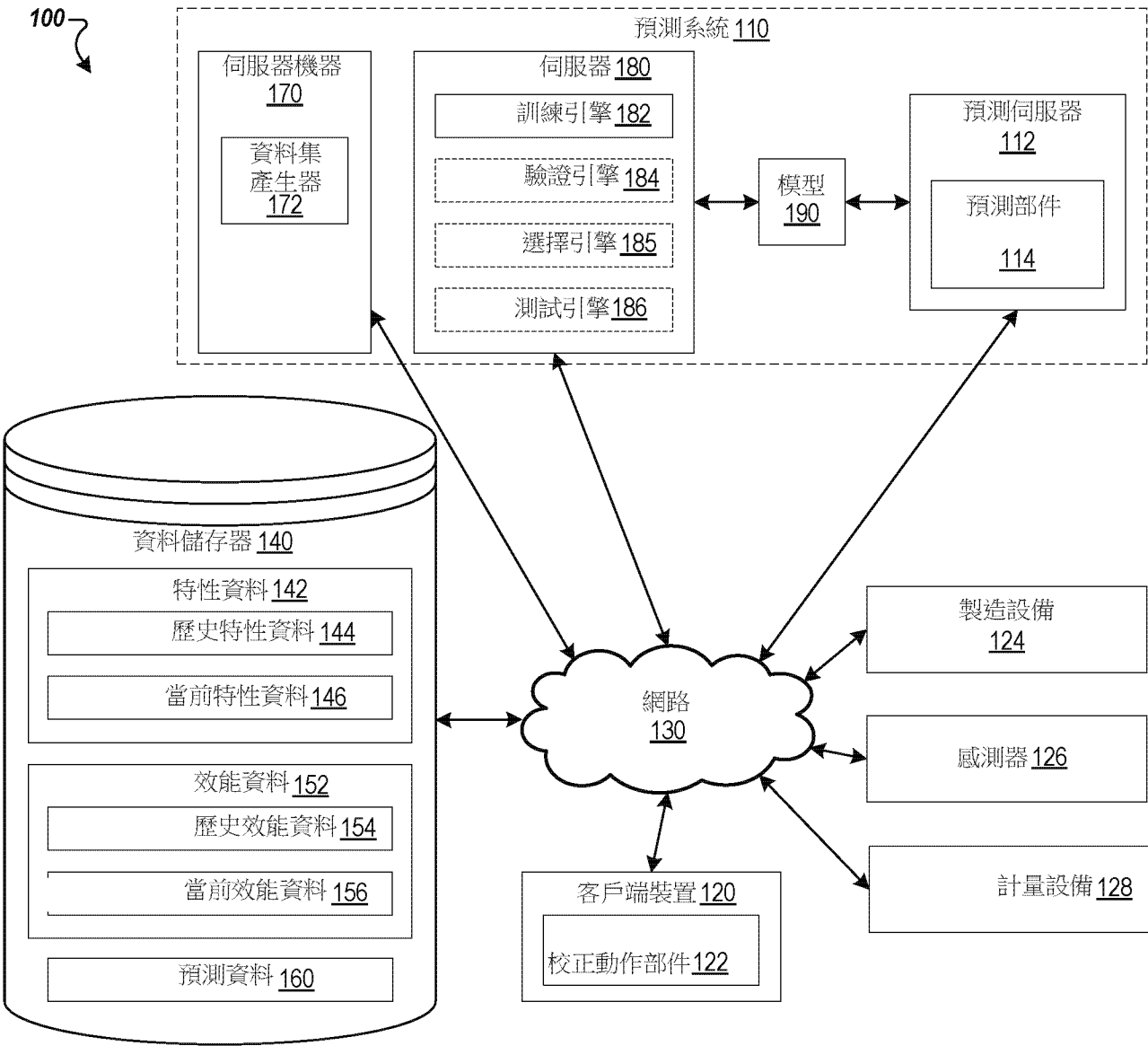
【請求項19】如請求項15所述的系統，其中為決定該預期材料厚度值，該處理裝置用於：

將該預期總殘餘厚度值作為輸入提供給一經訓練的機器學習模型；及

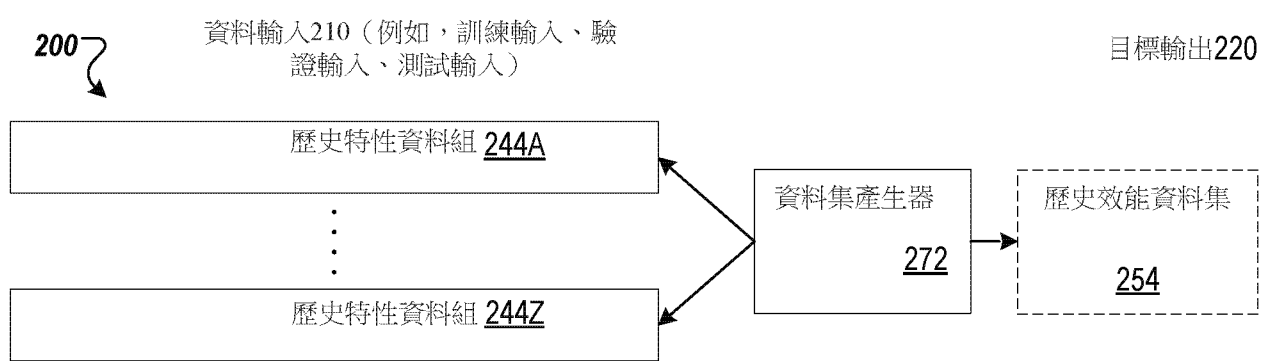
從該經訓練的機器學習模型接收與該預測資料相關聯的輸出，其中該預期材料厚度值與該預測資料相關聯。

【請求項20】如請求項19所述的系統，其中利用包括歷史總殘餘厚度值的一資料輸入及歷史材料厚度值的目標輸出來訓練該經訓練的機器學習模型。

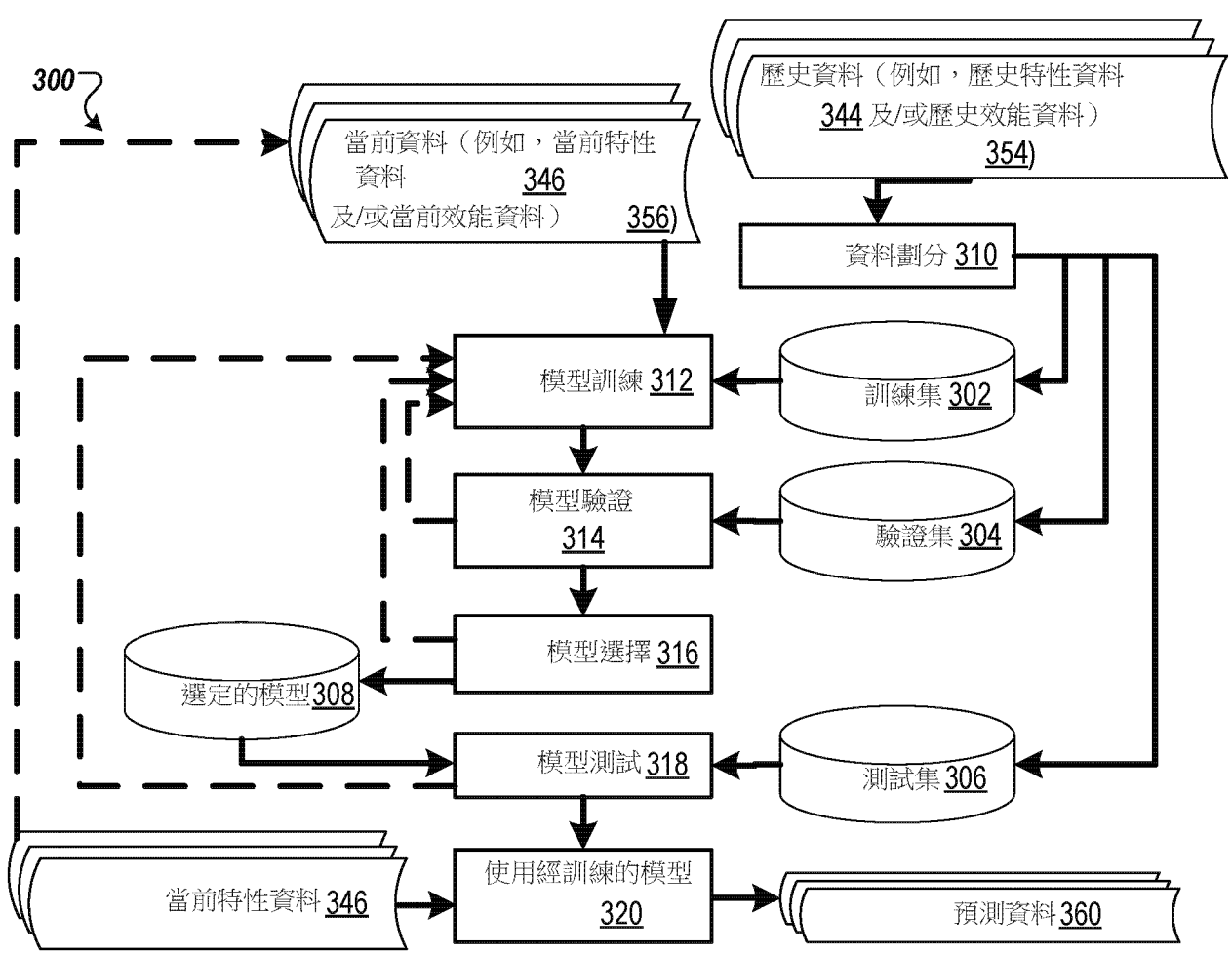
【發明圖式】



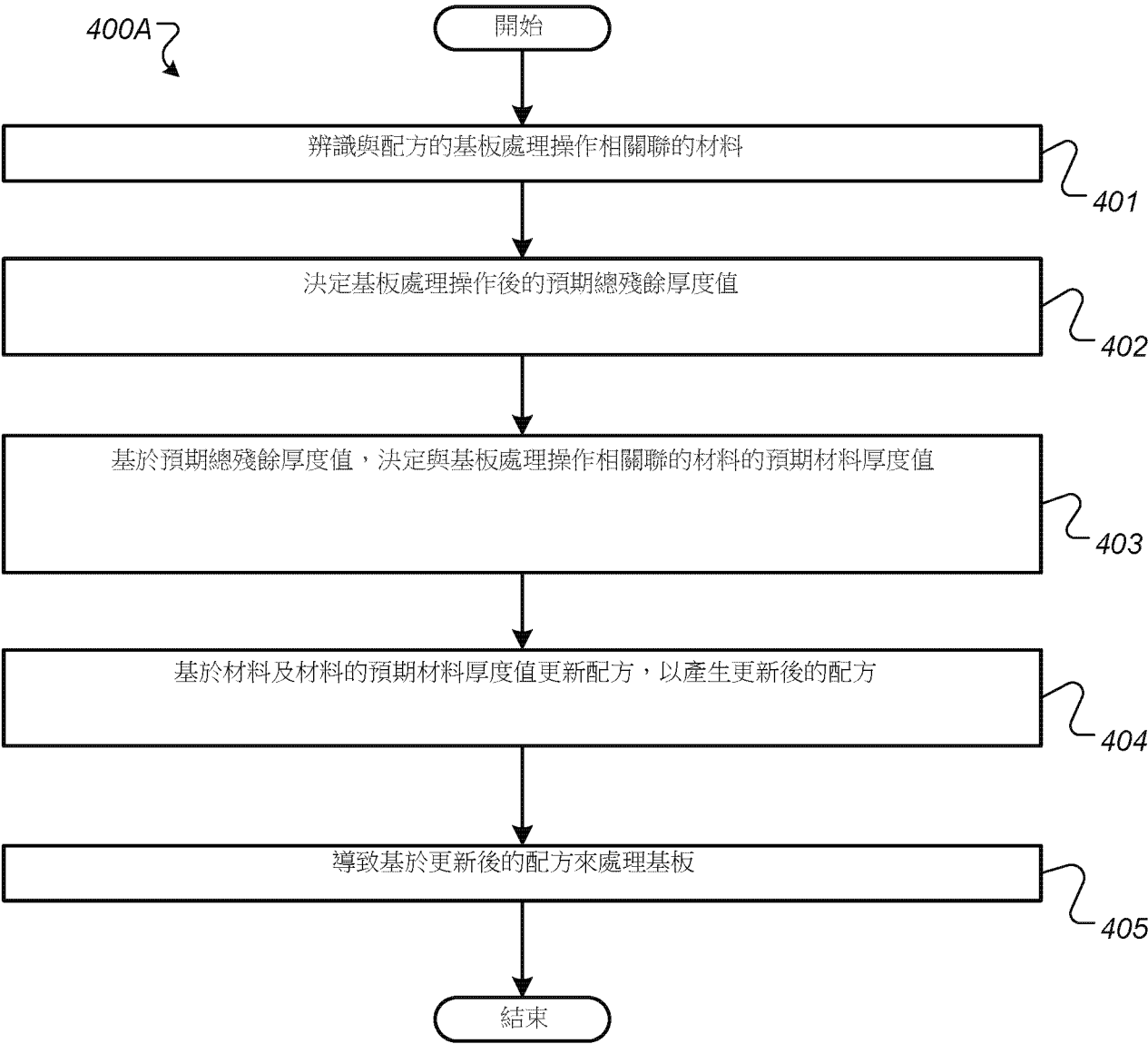
第1圖



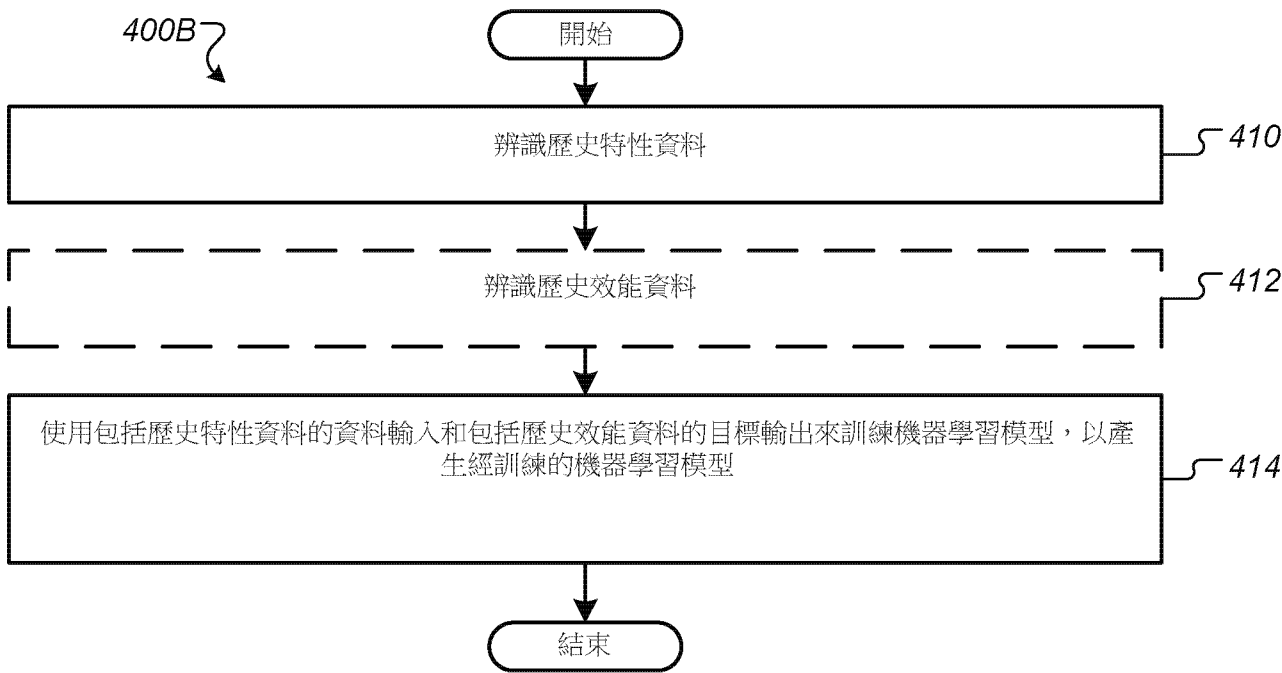
第2圖



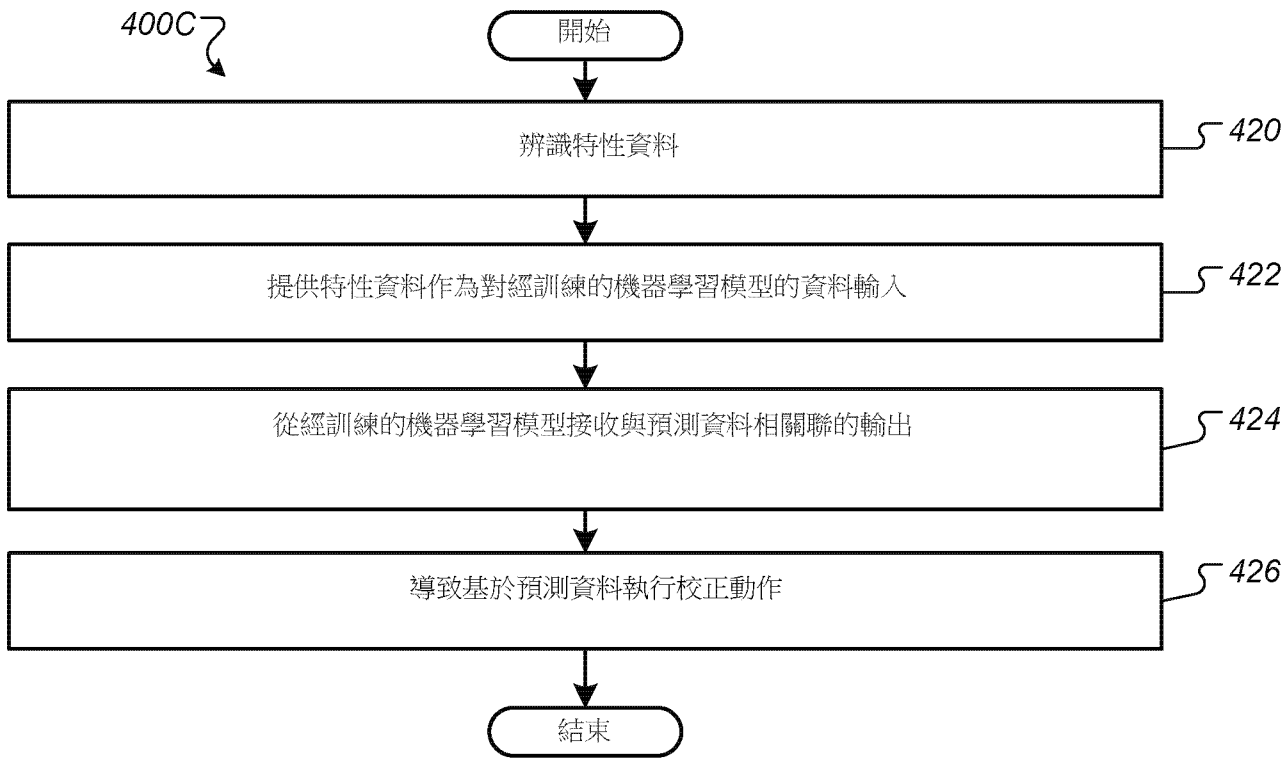
第3圖



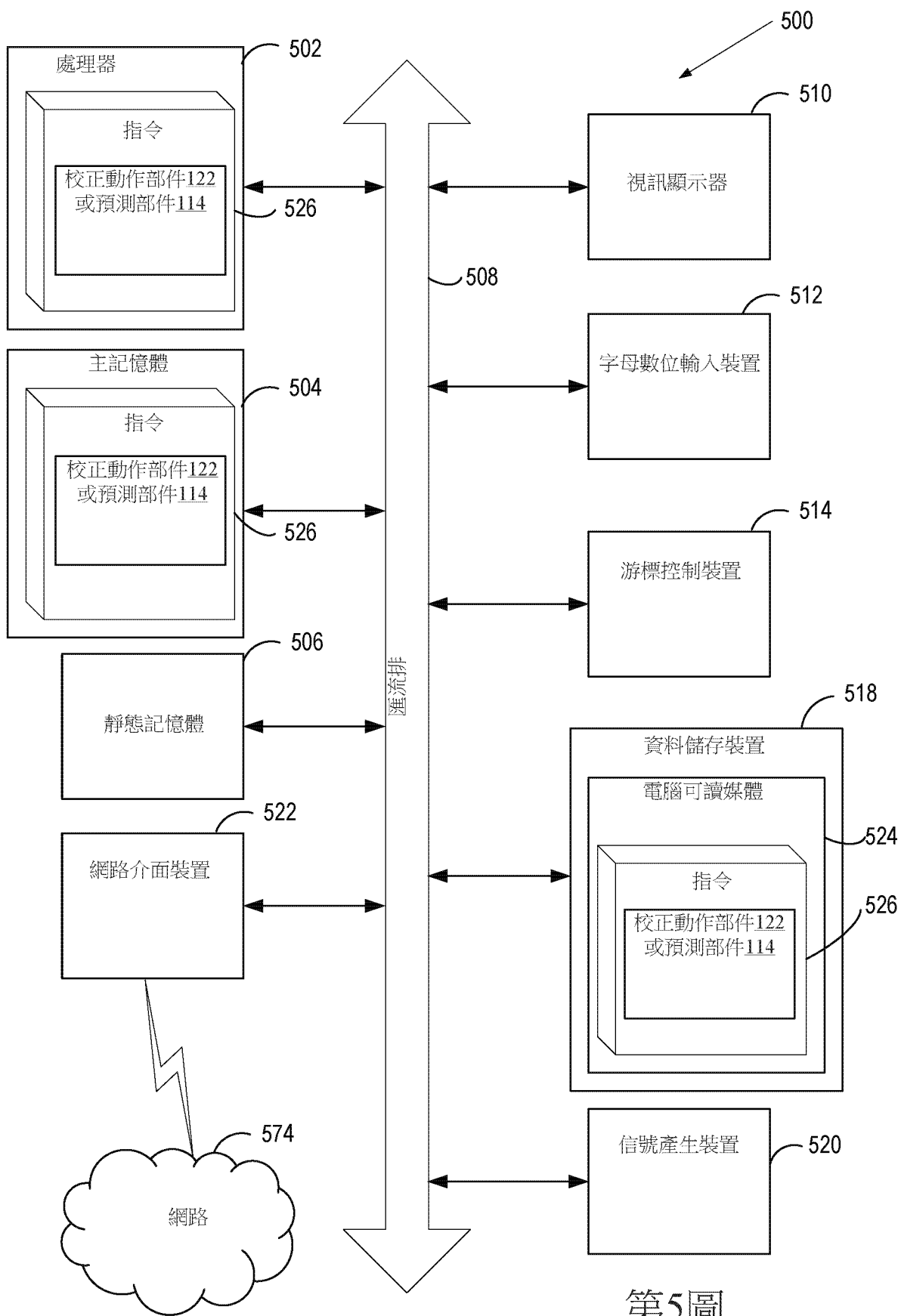
第4A圖



第4B圖



第4C圖



第5圖