I782082

(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 I782082 B**

(45)公告日： 中華民國 111 (2022) 年 11 月 01 日

(21)申請案號：107130808 (22)申請日： 中華民國 107 (2018) 年 09 月 03 日

(51)Int. Cl.： ***G01B11/02 (2006.01)*** ***H01L21/67 (2006.01)***

G06N20/00 (2019.01)

(30)優先權：2017/09/06 美國 15/696,768

(71)申請人：美商蘭姆研究公司 (美國) LAM RESEARCH CORPORATION (US)
美國

(72)發明人：馮 燁 FENG, YE (US) ；阿羅拉 拉揚 ARORA, RAJAN (IN) ；希爾茲 傑生 SHIELDS, JASON (US)

(74)代理人：許峻榮

(56)參考文獻：

TW	200409258A	TW	200712431A
TW	201643555A	US	7005306B1
WO	99/31483A1		

審查人員：曾錦豐

申請專利範圍項數：29 項 圖式數：7 共 32 頁

(54)名稱

用以結合光學量測與質量量測之系統及方法

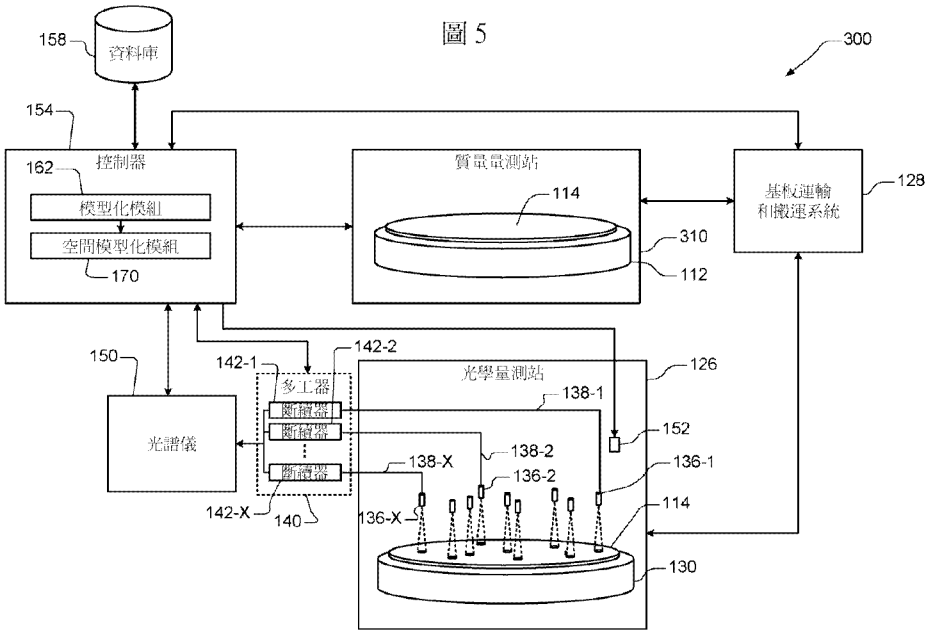
(57)摘要

一種用於基板處理的量測系統，包括光學量測站，其包括多個光學感測器以量測基板上的多個量測位置的光譜。多個光纜連接到多個光學感測器。光譜儀選擇性地連接到多個光纜。質量量測站量測基板的質量或質量變化其中至少一者。控制器包括模型化模組，其基於多個量測位置的光譜和學習模型，產生多個量測位置的厚度值。空間模型化模組基於來自模型化模組的多個量測位置的厚度值以及來自質量量測站的質量或質量變化其中至少一者以產生用於基板的空間厚度分佈模型。

A metrology system for substrate processing includes an optical metrology station including a plurality of optical sensors to measure spectra from a plurality of measurement locations on a substrate. A plurality of fiber cables are connected to the plurality of optical sensors. A spectrometer is selectively connected to the plurality of fiber cables. A mass metrology station measures at least one of a mass or mass change of the substrate. A controller includes a modelling module to generate thickness values at the plurality of measurement locations based on the spectra from the plurality of measurement locations and a learned model. A spatial modelling module generates a spatial thickness distribution model for the substrate based on the thickness values at the plurality of measurement locations from the modelling module and the at least one of the mass or the mass change from the mass metrology station.

指定代表圖：

圖 5



符號簡單說明：

300・・・量測系統

112、130・・・基板支撐件

114・・・基板

126・・・光學量測站

128・・・基板運輸和搬運系統

136-1、136-2、136-X・・・光學感測器

138-1、138-2、138-X・・・光纜

140・・・多工器

142-1、142-2、142-X・・・斷續器

150・・・光譜儀

152・・・感測器

154・・・控制器

158・・・資料庫

162・・・模型化模組

170・・・空間模型化模組

310・・・質量量測站

公告本

I782082

【發明摘要】

【中文發明名稱】用以結合光學量測與質量量測之系統及方法

【英文發明名稱】SYSTEMS AND METHODS FOR COMBINING OPTICAL METROLOGY WITH MASS METROLOGY

【中文】一種用於基板處理的量測系統，包括光學量測站，其包括多個光學感測器以量測基板上的多個量測位置的光譜。多個光纜連接到多個光學感測器。光譜儀選擇性地連接到多個光纜。質量量測站量測基板的質量或質量變化其中至少一者。控制器包括模型化模組，其基於多個量測位置的光譜和學習模型，產生多個量測位置的厚度值。空間模型化模組基於來自模型化模組的多個量測位置的厚度值以及來自質量量測站的質量或質量變化其中至少一者以產生用於基板的空間厚度分佈模型。

【英文】A metrology system for substrate processing includes an optical metrology station including a plurality of optical sensors to measure spectra from a plurality of measurement locations on a substrate. A plurality of fiber cables are connected to the plurality of optical sensors. A spectrometer is selectively connected to the plurality of fiber cables. A mass metrology station measures at least one of a mass or mass change of the substrate. A controller includes a modelling module to generate thickness values at the plurality of measurement locations based on the spectra from the plurality of measurement locations and a learned model. A spatial modelling module generates a spatial thickness distribution model for the substrate based on the thickness values at the plurality of measurement locations from the modelling module and the at least one of the mass or the mass change from the mass metrology station.

【指定代表圖】　　圖5

【代表圖之符號簡單說明】

300	量測系統
112、130	基板支撐件
114	基板
126	光學量測站
128	基板運輸和搬運系統
136-1、136-2、136-X	光學感測器
138-1 、138-2、138-X	光纜
140	多工器
142-1 、142-2、142-X	斷續器
150	光譜儀
152	感測器
154	控制器
158	資料庫
162	模型化模組
170	空間模型化模組
310	質量量測站

【發明說明書】

【中文發明名稱】用以結合光學量測與質量量測之系統及方法

【英文發明名稱】SYSTEMS AND METHODS FOR COMBINING OPTICAL METROLOGY WITH MASS METROLOGY

【技術領域】

【0001】 本揭露內容是關於基板處理系統，且特別是關於結合光學和質量量測的系統和方法。

【先前技術】

【0002】 於此所述之先前技術說明係用以對本揭露之內容作一般性說明為目的。發明人當前提出的工作，即於此先前技術章節敘述之範圍，以及說明書中可能不適格為申請日之前的現有技術的內容，無論是以明確或隱含的方式均不承認為相對於本揭露的先前技術。

【0003】 電子裝置係使用各種處理技術（如沉積、蝕刻、清潔及/或其它處理）於基板（如半導體晶圓）上製造。沉積技術的示例包括化學氣相沉積（Chemical Vapor Deposition ，CVD）、物理氣相沉積（Physical Vapor Deposition， PVD）、原子層沉積（Atomic Layer Deposition ，ALD）等。去除或蝕刻技術的示例包括剝離、濕蝕刻、乾蝕刻、化學機械研磨（Chemical Mechanical Polishing， CMP）等。

【0004】 這些基板的處理通常導致基板表面及/或基板質量的變化。舉例來說，沉積通常會增加基板的質量，而蝕刻通常會減少基板的質量。在生產過程中，期望評估基板以確定處理是否正確進行及/或在後續基板的生產之前調整處理。

【0005】 質量量測系統已開發來量測在處理期間基板的質量或質量變化。雖然質量量測系統相當精確，但是產生的質量資料於使用上受到一定限制。舉例來說，由於多種因素，質量變化可能在製程期間發生。質量變化的一些原因是與改變相關聯。一些質量的變化是分佈在整個基板上並可能產生零質量變化。雖然有些製程將質量量測系統與其它量測系統結合在一起，但成本容易過高。

【發明內容】

【0006】 一種用於基板處理的量測系統包括光學量測站，其包括多個光學感測器以量測基板上的多個量測位置的光譜。多個光纜連接到多個光學感測器。光譜儀選擇性地連接到多個光纜。質量量測站量測基板的質量或質量變化其中至少一者。控制器包括模型化模組以基於來自多個量測位置的光譜和學習模型產生多個量測位置的厚度值。空間模型化模組基於來自模型化模組的多個量測位置的厚度值以及來自質量量測站的質量或質量變化的該其中至少一者，產生用於基板的空間厚度分佈模型。

【0007】 在其它特徵中，多個斷續器分別連接至多個光纜。多個斷續器用以每次將來自多個光纜之其中一者的光譜依序輸出到光譜儀。學習模型係使用機器學習產生。機器學習包括監督式學習模型，其係選自於由線性模型、支援向量機模型、決策樹模型、隨機森林模型和高斯模型所組成的群組。學習模型係以第一原理模型為基礎。第一原理模型係選自於由菲涅耳多光束干涉、嚴格耦合波分析（Rigorous Coupled-Wave Analysis，RCWA）和時域有限差分（Finite-Difference Time-Domain， FDTD）所組成的群組。

【0008】 在其它特徵中，基板包括多個晶粒。光學感測器具有從多個鄰接的晶粒部分 產生樣本的光束直徑。學習模型係藉由將來自多個樣本基板的多個量測位置的光譜，與厚度資料、臨界尺寸資料、深度資料和材料密度資料中的至

少一者相關聯而產生，其中所述資料係由獨立量測站對多個樣本基板的多個量測位置產生。

【0009】 在其它特徵中，學習模型係藉由執行主成分分析產生。空間模型化模組係使用質量或質量變化其中至少一者作為迴歸分析期間的限制或邊界條件其中至少一者。

【0010】 在其它特徵中，學習模型係使用自動編碼器產生。光學感測器定位器調整至少一光學感測器的位置。基板支撐件定位器調整基板支撐件的位置。多個光學感測器量測來自基板的相對之表面的光譜。

【0011】 在其它特徵中，空間模型化模組更基於在膜處理之前的基板的厚度產生用於基板的空間厚度分佈模型。

【0012】 一種用於提供基板處理的量測的方法包括：提供光學量測站，所述光學量測站包括多個光學感測器以量測來自基板上的多個量測位置的光譜；量測基板的質量或質量變化其中至少一者；基於來自多個量測位置的光譜和學習模型產生在基板的多個量測位置的厚度值；以及基於多個量測位置的厚度值和質量或質量變化其中至少一者產生用於基板的空間厚度分佈模型。

【0013】 在其它特徵中，學習模型係使用機器學習產生。機器學習包括監督式學習模型，係選自於由線性模型、支援向量機模型、決策樹模型、隨機森林模型和高斯模型所組成的群組。學習模型係以第一原理模型為基礎。第一原理模型係選自於由菲涅耳多光束干涉、嚴格耦合波分析（Rigorous Coupled-Wave Analysis ，RCWA）和時域有限差分（Finite-Difference Time-Domain， FDTD）所組成的群組。

【0014】 在其它特徵中，基板包括多個晶粒。光學感測器具有足以從多個鄰接的晶粒的部分 產生樣本的光束直徑。

【0015】在其它特徵中，所述方法包括：藉由將來自多個樣本基板的多個量測位置的光譜，與厚度資料、臨界尺寸資料、深度資料和材料密度資料中的至少一者相關聯來產生學習模型，其中所述資料係由獨立量測站對於多個樣本基板的多個量測位置產生。

【0016】在其它特徵中，所述方法包括藉由執行主成分分析來產生模型。所述方法包括使用質量或質量變化至少一者作為針對空間厚度分佈模型的迴歸分析期間的限制或邊界條件其中至少一者。

【0017】在其它特徵中，所述方法包括使用自動編碼產生學習模型。所述方法包括在量測基板的光譜期間調整至少一光學感測器的位置。所述方法包括在量測基板的光譜期間調整基板支撐件的位置。所述方法包括量測來自基板的相對之表面的光譜。

【0018】在其它特徵中，所述方法包括在膜處理之前產生基板的厚度，並且更基於在膜處理之前的基板的厚度產生用於基板的空間厚度分佈模型。

【0019】本揭露之應用領域將因本文提供的說明而更變得顯而易見。本發明內容中的說明及具體示例僅旨在用以說明之用途而非旨在侷限本揭露之範圍。

【圖式簡單說明】

【0020】本揭露內容係由實施方式和隨附的圖式更全面地理解，其中：

【0021】圖 1A 係依據本揭露內容之一示例的用於模型訓練的量測系統的功能方塊圖；

【0022】圖 1B 係依據本揭露內容之一示例的用於光學感測器及/或基板支撐件的定位裝置的功能方塊圖；

【0023】圖 1C 係依據本揭露內容之另一示例的用於光學感測器及/或基板支撐件的定位裝置的功能方塊圖；

【0024】圖 1D 係依據本揭露內容之配置於基板的上方和下方的一示例的光學感測器的功能方塊圖；

【0025】圖 2A 係依據本揭露內容繪示包含缺口的基板；

【0026】圖 2B 係依據本揭露內容之一示例的相對於基板的多個晶粒之大光學感測器光束的平面圖；

【0027】圖 3 繪示依據本揭露內容之用於基板的一示例空間厚度分佈模型；

【0028】圖 4A 和圖 4B 係流程圖，繪示一示例方法，用於依據本揭露內容使用目標參考值將量測的光譜與基板厚度相關聯而產生模型，其中目標參考值係由獨立量測系統產生；

【0029】圖 5 係依據本揭露內容之一示例量測系統的功能方塊圖，其根據本揭露內容用於生產；及

【0030】圖 6 和圖 7 係流程圖，描繪示例方法，用於依據本揭露內容使用學習模型、由光學量測站產生的光譜、及由質量量測站產生的質量以決定基板參數及/或調整製程參數。

【0031】在圖式中，元件符號可重覆使用以識別相似及/或相同的元件。

【實施方式】

【0032】根據本揭露內容的系統和方法係涉及一種量測系統，其同時將光學量測和質量量測結合為一種有成本效益且準確的量測系統。可以理解，待監測的製程可以是添加製程（例如沉積）、削減製程（例如剝離或蝕刻）、或其它處理製程（例如清潔）。

【0033】在學習模型的訓練模式和後續生產模式期間，量測系統使用包括多個光學感測器和一光譜儀的光學量測站。光譜儀針對多個基板中的每一者於多

個量測位置產生光譜。光譜係與基板和位置識別資料一起被儲存。光譜係於多個不同波長下被量測。

【0034】 具有空間解析度的高成本和高準確度的獨立量測站亦用於產生多個基板的參考測量值。參考量測值與至少同一組基板的多個量測位置的基板參數有關。經由獨立量測站量測的基板參數包括厚度資料、臨界尺寸資料、深度資料及/或材料密度資料中的至少一者。目標參考值係基於由獨立量測站所產生的量測值。目標參考值係與基板和位置識別資料一起被儲存。

【0035】 模型化係用以將光譜和目標參考值關聯化以及用以產生學習模型。之後，學習模型用以將針對生產基板的光譜轉換成物理基板參數（例如基板於特定位置處的厚度），其將進一步描述如下。

【0036】 當擴增至生產量時，基板處理系統和量測系統被複製以規模化基板的生產。在生產期間，獨立量測系統的相對高成本通常讓使用成本太高。根據本揭露內容，由較便宜的質量量測站取代獨立量測系統，且不再需要昂貴的獨立量測系統，如此降低了成本。

【0037】 在生產期間，光學量測系統產生如上所述之針對生產基板的光譜。光譜係饋入產生物理參數（例如厚度資料或用於基板的多個量測位置的其它基板物理參數）的學習模型。質量量測站用以產生每個基板的質量或質量變化資料。

【0038】 量測位置的厚度資料係被提供作為輸入給空間厚度分佈模組，其決定表面模型或基板的上表面的曲率。空間模型定義了基板或在基板的整個表面上的基板的一層的厚度。質量或質量變化係被空間厚度分佈模型作為迴歸分析的限制或邊界條件。換句話說，已增加或移除的層的密度是已知的，且質量變化也是已知的。因此，質量或質量變化係用以限制空間模型。得到的基板表面的空間

厚度分佈模型用以決定基板於量測位置以外的位置的上表面之厚度。厚度係可與質量或質量變化一併使用以診斷系統性能及改變後續基板生產的製程參數。

【0039】 現在參考圖 1，繪示於訓練期間的量測系統 100。基板運輸和搬運系統 128 可包括一或多個機器人、轉移站及/或用於將基板運輸和傳送到量測系統 100 的量測站的其它裝置。在一些示例中，基板藉由包括機器人和相機的系統準確定位，然而也可以使用其它方法。舉例來說，用於定位基板的合適系統係敘述於共同轉讓的美國專利公開號 No. 20170028560，其於 2017 年 2 月 2 日公開且標題為「System and Method for Wafer Alignment and Centering with CCD Camera and Robot」，而該文獻的全部內容藉由引用併入本文。

【0040】 量測系統 100 包括獨立量測站 110 以產生用於產生學習模型的目標參考值。在一些示例中，獨立量測站 110 包括基板支撐件 112。基板 114 配置在基板支撐件 112 上，並且對基板 114 進行物理量測。在一些示例中，獨立量測站 110 是高成本和高準確度的量測站，例如光學量測站。獨立量測站 110 產生高準確度的量測資料。於下將進一步描述的目標參考值係由獨立量測站 110 至少對於由下述的光學量測站使用到的量測位置加以產生。在一些示例中，由獨立量測站 110 產生的目標量測值包括厚度資料、臨界尺寸資料、深度資料及/或材料密度資料中的至少一者。

【0041】 量測系統 100 更包括光學量測站 126。光學量測站 126 包括在進行光學計量量測期間支撐基板 114 的基板支撐件 130。光學量測站 126 於基板上的多個量測位置產生光譜。

【0042】 光學量測站 126 包括用於多個量測位置之每一者的的多個光學感測器 136-1、136-2、...和 136-X（統稱為光學感測器 136），其中 X 是大於 1 的整數。多個光學感測器 136-1、136-2、...和 136-X 每一者分別藉由光纜 138-1、138-2、...和 138-X（統稱為光纜 138）連接至光譜儀 150。包括多個斷續器 142-1、

142-2、...和 142-X（統稱斷續器 142）的多工器 140 可用於將光纜 138 中選定的一者輸出給光譜儀 150。

【0043】 如下面將進一步描述的，獨立量測站 110 及/或光學量測站 126 可包括：一或多個感測器 152（例如光學感測器，照相機，物理感測器等）以感測基板相對於基板支撐件的相對位置；和一控制系統，用以根據需求調整基板的位置。舉例來說，決定基板於平行基板支撐件 112 及/或 130 的上表面的平面中的 x-y 軸位置，及/或決定相對於一期望旋轉位置之基板的缺口（notch）的旋轉位置。

【0044】 在學習模型的訓練模式期間，使用光學量測站 126 和獨立量測站 110 二者，於多個基板中的每一者的多個量測位置進行基板量測。量測資料包括光譜資料和目標參考值（連同基板識別和位置資料）被儲存（例如在資料庫中）以用於後續分析。

【0045】 量測系統 100 更包括一或多個控制器 154（統稱為控制器 154）以控制製程、基板運輸和搬運及/或量測站。控制器 154 與獨立量測站 110、光學量測站 126、基板運輸和搬運系統 128、光譜儀 150 及/或多工器 140 進行通訊，並協調基板的傳送和定位及計量量測。控制器 154 接收來自獨立量測站 110 和光學量測站 126 的量測資料。在一些示例中，量測資料儲存在資料庫 158 中。

【0046】 控制器 154 還可包括模型化模組 162。在一些示例中，模型化模組 162 建立基於光譜和目標參考值使用機器學習的學習模型。在一些示例中，機器學習包括監督式學習模型，其係選自於由線性模型、支援向量機模型、決策樹模型、隨機森林模型和高斯模型所組成的群組。機器學習的示例包括主成分分析（Principal Component Analysis， PCA）、神經網絡、自動編碼器、迴歸及/或偏最小平方（Partial Least Squares， PLS）。自動編碼器係描述於史丹佛大學的「Unsupervised Feature Learning and Deep Learning Tutorial」（http//ufldl.stanford.edu/tutorial/unsupervised/Autoencoders/），其全部內容引用結

合於此。在其它示例中，模型化模組 162 使用第一原理模型，例如菲涅耳多光束干涉、嚴格耦合波分析（Rigorous Coupled-Wave Analysis ，RCWA）或時域有限差分（Finite-Difference Time-Domain， FDTD）。

【0047】 學習模型將由光學量測站 126 產生的光譜與由獨立量測站 110 產生的目標參考值相關聯。之後，學習模型可在生產期間直接根據光譜而無需產生目標參考值來產生厚度值。一旦在訓練模式期間產生學習模型，便不再需要獨立量測站 110，這降低了量測系統的成本，如下面將進一步描述的。

【0048】 空間模型化模組 170 基於學習模型於量測位置產生的厚度來產生用於基板的空間厚度分佈模型。當產生空間模型時，質量量測站產生的質量量測資料（於下面進一步描述）係作為迴歸分析的限制或邊界條件。

【0049】 現在參考圖 1B 和 1C。在一些示例中，基板支撐件 130 的位置由基板定位裝置 173 調整。基板定位裝置 173 調整基板 114 在 x、y 或 z 軸方向上的位置及/或旋轉基板 114。光譜量測可在一或多個靜態位置及/或一或多個動態位置處進行。

【0050】 替代地，或是除了改變基板支撐件的位置以外，光學感測器定位裝置 172-1、... 172-X（統稱為定位裝置 172）可分別調整光學感測器 136-1、... 136-X 的位置。光譜量測可在一或多個靜態位置及/或一或多個動態位置處進行。

【0051】 在圖 1C 中，替代地，或是除了改變基板支撐件的位置以外，光學感測器定位裝置 174 可將光學感測器 136-1、..... 136-X 的位置加以共同地調整。光譜量測可在一或多個靜態位置及/或一或多個動態位置處進行。

【0052】 在圖 1D 中，光學感測器 178-1、... 178-Y（統稱為光學感測器 178）（其中 Y 是大於零的整數）配置在基板 114 下方，使量測在基板 114 的相對表面上進行。基板 114 的邊緣可藉由類似使用於旋轉夾盤中的邊緣夾持銷或使用任何其它合適的裝置來嚙合。替代地，藉由反轉基板 114 並再次量測基板 114，圖 1A

中的光學感測器 136 可用於基板 114 的兩個表面。在處理期間，膜可沉積在基板的背面上。沉積在晶圓背面的膜不會影響正面的厚度量測。然而，基板背面上的膜增加了基板的質量並影響質量變化或質量差量（delta）（處理後的質量減去處理前的質量）。對基板背面上的厚度進行量測可獲得更準確的質量差量量測值並且進一步限制空間厚度分佈模型（於下面進一步描述）。

【0053】 除了前述之外，在一些示例中，在膜處理之前，輸入的基板的厚度可藉由使用光學感測器 136 及/或 178 量測。用於膜處理（如沉積或蝕刻）之後的輸出的基板之空間厚度分佈模型可基於質量差量和輸入的基板整個晶圓的厚度變化之組合而被限制。

【0054】 現在參考圖 2A～2B，量測系統和基板運輸和搬運系統 128 確保基板相對於基板支撐件被正確地定位。換句話說，基板被正確地定位在與基板支撐件平行的平面中。另外，基板的旋轉位置相對於參考位置或基板支撐件是正確的。在圖 2A 中，基板 114 可包括位於其徑向外邊緣上的缺口 182 使得基板 114 的旋轉定位準確。

【0055】 在圖 2B 中，光學感測器 136 可使用大的光束直徑。舉例來說，基板 114 可包括彼此相鄰配置的多個晶粒 180。在一些示例中，光學感測器 136 可具有從多個晶粒（例如，至少九個相鄰晶粒 180）中至少部分地擷取資料的光束直徑。使用更大的光束消除了量測對精確照射點的依賴性，並允許橫跨多個晶粒進行有效的空間平均化。

【0056】 現在參考圖 3，一旦建立了學習模型，學習模型將於量測位置進行的後續光譜量測轉換為厚度量測。在圖 3 中，下述的空間厚度分佈模組使用量測位置的厚度以至少部分地定義空間厚度分佈模型。換句話說，厚度量測係用以建立基板的空間模型。所述模型於圍繞基板中心的徑方向上可以是均勻的或不均勻的（例如 3D 模型）。質量量測系統提供質量或質量變化給空間厚度分佈模組。

當使用迴歸分析或其它方法決定上表面的曲率時，質量或質量變化係作為限制或邊界條件。

【0057】現在參考圖 4A 和 4B，繪示用於產生學習模型的方法 200。在圖 4A 的步驟 220 中，將基板定位於基板支撐件。在一些示例中，對基板進行精確定位（例如，相對於平行於基板支撐件的上表面的平面中的 X-Y 位置及/或基板缺口的旋轉取向）。在步驟 224，光學量測系統針對每個基板產生並儲存位置和光譜配對。在一些示例中，於每個位置產生的光譜包括多個波長。

【0058】在步驟 228，獨立量測系統至少在由光學量測系統量測的相同位置產生並儲存基板的目標參考值。如在步驟 232 所確認，對另外基板重複所述流程。當已經量測了足夠數量的基板樣本時，在步驟 238，使用機器學習將量測的光譜與在每個位置量測的目標參考值相關聯並產生學習模型。

【0059】在圖 4B 中，如步驟 240 所示，機器學習可包括執行主成分分析（Principle Component Analysis， PCA）並決定多個主成分分數。在步驟 242，使用機器學習將多個主成分分數與目標參考值相關聯。

【0060】舉例來說，主成分分析（PCA）可用於從多個樣本基板上的量測位置產生的光譜。每個主成分具有向量，其為波長的函數。第一主成分對應於具有最高變異數的第一波長。其它主成分對應於具有次高變異數的其它波長。所有主成分的子集可以使用。例如，十個主成分可用於每個光譜。

【0061】光譜係藉由每個主成分的分數投射至主成分空間。在由預定數量的基板的量測位置產生預定數量的樣本之後，可以產生包括主成分分數的第一矩陣，可以產生具有主成分向量的第二矩陣，且可以產生包括對應的目標值的第三矩陣。可使用任何合適的方法（例如神經網絡、線性迴歸、非線性模型等）從這些矩陣產生學習向量或模型。學習模型係用以，在生產期間不需要目標參考值的情況下，將在生產期間進行的後續光譜量測轉換為厚度值和每個基板的空間厚度

分佈模型（受來自質量量測站的質量量測所限制）。質量量測和空間厚度分佈模型的組合可用於評估製程的運作及/或調整於後續基板的生產期間使用的製程參數。

【0062】 現在參考圖 5，繪示了於生產配置的量測系統 300。由較便宜的質量量測站 310 取代獨立量測系統 110，並且不再使用獨立量測系統 110，這顯著降低了成本。在一些示例中，質量量測站 310 補償一或多個參數，例如傾斜、溫度、濕度、壓力、高度、重力及/或浮力。在一些示例中，質量量測站 310 包括具有內部重力校準的荷重元。合適的質量量測站可從 Lam Research Company 的 Metryx 獲得。舉例來說，提供重力、溫度和/或浮力補償的合適之質量量測站係描述於共同擁有的美國專利號 No.9,228,886 中，其名稱為「Semiconductor Wafer Weight Metrology Apparatus」，其全部內容藉由引用結合於此。

【0063】 在學習模型的訓練模式期間產生的學習模型與質量量測站 310 輸出的質量量測係一併使用以決定各種參數，例如層的厚度、表面空間模型或其它參數（將於下面進一步敘述）。雖然質量量測站 310 和光學量測站 126 係繪示為分開的工作站，但是質量量測站 310 和光學量測站 126 可共同位於同一工作站中。換句話說，光學感測器可配置在位於相同工作站的荷重元之上方。

【0064】 在生產模式期間，光學量測系統產生如上所述的光譜。光譜被饋送至產生物理參數（例如厚度資料或用於基板的多個量測位置的其它基板物理參數）的學習模型。質量量測站產生每個基板的質量或質量變化資料。質量變化資料可以使用基板預量測值和後量測值來產生。

【0065】 量測位置的厚度資料係被提供作為輸入給空間厚度分佈模組，其決定基板的一表面模型或上表面的曲率。空間厚度分佈模型使用質量作為迴歸分析的限制或邊界條件。得到的基板表面的空間厚度分佈模型用以決定基板於量測

位置以外的位置的上表面之厚度。厚度係可與質量或質量變化一併使用以診斷系統性能及改變後續基板生產的製程參數。

【0066】 現在參考圖 6，繪示了方法 400，其使用學習模型、由光學量測站產生的光譜和由質量量測站產生的質量來決定基板的物理參數。在步驟 410，基板係定位於光學量測站中的基板支撐件上。在步驟 414，光學量測站產生及儲存基板的位置和光譜配對。在步驟 424，質量量測站用以決定在基板處理之前和之後的基板的質量或質量變化。

【0067】 在步驟 432，在訓練模式期間產生的學習模型係在生產期間用以將量測位置的光譜轉換為厚度值或其它參數。在步驟 436，空間厚度分佈模組使用量測位置處的厚度來決定基板上表面的空間厚度分佈模型的參數。在迴歸分析期間，質量或質量變化量測係作為限制或邊界條件。在步驟 440，使用厚度、空間厚度分佈模型或其它參數來調整製程參數。

【0068】 現在參考圖 7，繪示了方法 500，其使用學習模型、由光學量測站產生的光譜和由質量量測站產生的質量決定基板的物理參數。在步驟 510，基板係定位於光學量測站中的基板支撐件上。在步驟 514，光學量測站產生並儲存基板的位置和光譜配對。在步驟 520，對光譜執行主成分分析。在步驟 524，質量量測系統用以決定在基板處理之前和之後的基板的質量或質量變化。

【0069】 在步驟 528，在訓練模式期間產生的學習模型係在生產期間用以將主成分分析轉換為厚度值或其它參數。在步驟 536，空間厚度分佈模組使用量測位置處的厚度來決定基板上表面的空間厚度分佈模型的參數。在迴歸分析期間，質量或質量變化量測係作為限制或邊界條件。在步驟 540，使用厚度、空間厚度分佈模型或其它參數來調整製程參數。

【0070】 以上所描述在本質上僅為說明性，且不旨在侷限本揭露內容、其應用或用途。本揭露之廣泛教示可以以各種形式來實現。因此，雖然本揭露包括

特定示例，本揭露的真實範圍不應受此限制，因為其它的修改將根據在附圖、說明書及以下申請專利範圍的研究而變得顯而易見。應當理解的是，方法中的一或多個步驟可以以不同的順序（或同時）在不改變本揭露之原理下執行。更進一步，雖然各實施例如上面描述具有特定特徵，相對於本揭露的任何實施例的所述任意的一或多個特徵可與其它實施例的任意特徵進行執行及/或結合，即使該組合並未明確地說明。換句話說，所描述的實施例不是相互排斥的，以及一或多個實施例與另一者之置換保留在本揭露之範圍中。

【0071】 元件之間的空間及功能的關係（例如模組、電路元件、半導體層等之間）使用各種用語描述，包括「連接」、「接合」、「耦接」、「相鄰」、「旁邊」、「在頂部的」、「之上」、「之下」和「設置」。當在如上揭露敘述第一元件和第二元件之間的關係時，除非明確地描述是「直接的」，該關係可為沒有其它中間元件存在在第一元件和第二元件之間的直接關係，但亦可為一或多個中間元件（空間性或功能性的）存在於第一元件和第二元件之間的間接關係。如本文所用，用語 A、B、以及 C 中的至少其一應理解是意指邏輯（A 或 B 或 C），利用非排他性邏輯「或」，並且不應被理解為「至少一 A、至少一 B，以及至少一 C」。

【0072】 在一些實施方式中，控制器係為系統的部分，其可為上述範例的部分。此類系統可包含半導體處理設備，包含一或多個處理工具、一或多個反應室、用於處理的一或多個工作站、及/或特定處理元件（晶圓基座、氣流系統等）。該等系統可與電子裝置整合，以於半導體晶圓或基板之處理前、處理期間、及處理後控制其操作。可將該等電子裝置稱為「控制器」，其可控制一或多個系統的各種元件或子部件。依據處理之需求及/或系統之類型，可將控制器程式化以控制本說明書中所揭露之製程的任一者，包含處理氣體之輸送、溫度設定（例如加熱及/或冷卻）、壓力設定、真空設定、功率設定、射頻（RF）產生器設定、射

頻匹配電路設定、頻率設定、流率設定、流體輸送設定、位置及操作設定、進出工具及連接至特定系統或與特定系統介面接合的其它傳送工具及/或負載鎖室之晶圓傳送。

【0073】廣義來說，可將控制器定義為具有接收指令、發送指令、控制操作、允許清潔操作、允許終點量測等之各種積體電路、邏輯、記憶體、及/或軟體的電子設備。該積體電路可包含儲存程式指令的韌體形式之晶片、數位信號處理器（DSP）、定義為特殊應用積體電路（ASIC）之晶片、及/或執行程式指令（如：軟體）之一或更多的微處理器或微控制器。程式指令可為以各種個別設定（或程式檔案）之形式傳送到控制器的指令，其定義用以在半導體晶圓上、或針對半導體晶圓、或對系統執行特定製程的操作參數。在一些實施例中，該操作參數可為由製程工程師所定義之配方的部分，該配方係用以在一或更多的層、材料、金屬、氧化物、矽、二氧化矽、表面、電路及/或晶圓之晶粒的製造期間，完成一或更多的處理步驟。

【0074】在一些實施方式中，控制器可為電腦的部分或連接至電腦，該電腦係與系統整合、連接至系統、或透過網路以其他方式連接至系統、或上述之組合。舉例而言，控制器係可位於「雲端」、或為晶圓廠主機電腦系統的全部或部分，其可允許晶圓處理之遠端存取。該電腦能達成對該系統之遠端存取，以監視製造操作之目前製程、查看過去製造操作之歷史、查看來自多個製造操作之趨勢或性能指標，來改變目前處理之參數，以設定處理步驟來接續目前的處理、或開始新的製程。在一些範例中，遠端電腦（如伺服器）可透過網路將製程配方提供給系統，該網路可包含區域網路或網際網路。該遠端電腦可包含可達成參數及/或設定之輸入或編程的使用者介面，該等參數或設定接著自該遠端電腦傳送至該系統。在一些範例中，控制器接收資料形式之指令，在一或更多的操作期間，其針對該待執行的處理步驟之每一者而指定參數。應瞭解，該等參數可特定於待執

行之製程的類型、及工具（控制器係配置成與該工具介面接合或控制該工具）的類型。因此，如上所述，控制器可為分散式，例如藉由包含一或更多的分離的控制器，其透過網路連接在一起並朝共同的目標而作業，例如本說明書中所敘述之製程及控制。用於此類目的之分開的控制器之範例可為反應室上之一或更多的積體電路，其與位於遠端（例如為平台等級、或為遠端電腦的部分）之一或更多的積體電路連通，其結合以控制該反應室上的製程。

【0075】 在不限定的情況下，範例系統可包含電漿蝕刻反應室或模組、沉積反應室或模組、旋轉沖洗反應室或模組、金屬電鍍反應室或模組、潔淨反應室或模組、斜邊蝕刻反應室或模組、物理氣相沉積（PVD）反應室或模組、化學氣相沉積（CVD）反應室或模組、原子層沉積（ALD）反應室或模組、原子層蝕刻（ALE）反應室或模組、離子植入反應室或模組、軌道反應室或模組、及可與半導體晶圓之製造及/或生產有關或用於其中的任何其它半導體處理系統，但不限於此。

【0076】 如上所述，依據待由工具執行之製程步驟或複數製程步驟，控制器可與下列一或多者通訊：其它工具電路或模組、其它工具元件、群集工具、其它工具介面、鄰接工具、附近工具、位於整個工廠的工具、主要電腦、另一控制器、或將晶圓之容器帶往或帶離半導體製造廠中的工具位置及/或載入埠的用於材料傳送之工具。

【符號說明】

【0077】

100　量測系統

110　獨立量測站

112　基板支撐件

114	基板
126	光學量測站
128	基板運輸和搬運系統
130	基板支撐件
136-1	光學感測器
136-2	光學感測器
136-X	光學感測器
138-1	光纜
138-2	光纜
138-X	光纜
140	多工器
142-1	斷續器
142-2	斷續器
142-X	斷續器
150	光譜儀
152	感測器
154	控制器
158	資料庫
162	模型化模組
170	空間模型化模組
172-1	光學感測器定位裝置
172-X	光學感測器定位裝置
174	光學感測器定位裝置
173	基板支撐件定位裝置

178-1　光學感測器

178-Y　光學感測器

180　晶粒

182　缺口

200　方法

220～242　步驟

300　量測系統

310　質量量測站

400　方法

410～440　步驟

500　方法

510～540　步驟

【發明申請專利範圍】

【第1項】一種用於基板處理的量測系統，包括：

一光學量測站，包括：

複數個光學感測器，量測來自一基板上的複數個量測位置的光譜；

複數個光纜，連接該複數個光學感測器；及

一光譜儀，選擇性地連接該複數個光纜；

一質量量測站，量測該基板的質量或質量變化其中至少一者；及

一控制器，包括：

一模型化模組，基於來自該複數個量測位置的該等光譜、及一學習模型，產生該複數個量測位置的厚度值；及

一空間模型化模組，基於來自該模型化模組的該複數個量測位置的該等厚度值、及來自該質量量測站的該質量或該質量變化的其中至少一者，產生用於該基板的一空間厚度分佈模型，其中該空間厚度分佈模型使用該質量作為限制。

【第2項】如請求項 1 之用於基板處理的量測系統，更包括複數個斷續器，分別連接該複數個光纜，其中該複數個斷續器係用以依序地每次將來自該複數個光纜之其中一者的光譜輸出到該光譜儀。

【第3項】如請求項 1 之用於基板處理的量測系統，其中該學習模型係使用機器學習產生。

【第4項】如請求項 3 之用於基板處理的量測系統，其中該機器學習包括一監督式學習模型，其係選自於由線性模型、支援向量機模型、決策樹模型、隨機森林模型和高斯模型所組成的群組。

【第5項】如請求項 1 之用於基板處理的量測系統，其中該學習模型係以一第一原理模型為基礎。

【第6項】如請求項 5 之用於基板處理的量測系統，其中該第一原理模型係選自於由菲涅耳多光束干涉、嚴格耦合波分析（Rigorous Coupled-Wave Analysis ，RCWA）及時域有限差分（Finite-Difference Time-Domain， FDTD）所組成的群組。

【第7項】如請求項 1 之用於基板處理的量測系統，其中該基板包括複數個晶粒且其中該等光學感測器具有從複數個鄰接晶粒的部分 產生樣本的一光束直徑。

【第8項】如請求項 1 之用於基板處理的量測系統，其中該學習模型係藉由以下方式而產生：將來自複數個樣本基板的複數個量測位置的光譜，與由一獨立量測站針對該複數個樣本基板的該複數個量測位置產生的厚度數據、臨界尺寸數據、深度數據和材料密度數據中的至少一者加以相關聯。

【第9項】如請求項 1 之用於基板處理的量測系統，其中該學習模型係藉由執行主成分分析加以產生。

【第10項】如請求項 1 之用於基板處理的量測系統，其中該空間模型化模組係使用該質量或該質量變化的至少一者作為迴歸分析期間的限制或邊界條件的至少一者。

【第11項】如請求項 1 之用於基板處理的量測系統，其中該學習模型係使用一自動編碼器產生。

【第12項】如請求項 1 之用於基板處理的量測系統， 更包括一光學感測器定位器，用以調整該等光學感測器之至少一者的一位置。

【第13項】如請求項 1 之用於基板處理的量測系統，更包括一基板支撐件定位器，用以調整一基板支撐件的一位置。

【第14項】如請求項 1 之用於基板處理的量測系統，其中該複數個光學感測器量測來自該基板的相對之表面的光譜。

【第15項】 如請求項 1 之用於基板處理的量測系統，其中該空間模型化模組更基於在膜處理前的該基板的一厚度而產生用於該基板的該空間厚度分佈模型。

【第16項】 一種用於提供基板處理的量測的方法，包括：

提供一光學量測站，該光學量測站包括複數個光學感測器以量測來自一基板上的複數個量測位置的光譜；

量測該基板的質量或質量變化其中至少一者；

基於來自該複數個量測位置的該等光譜、和一學習模型，產生在該基板的該複數個量測位置的厚度值；及

基於該複數個量測位置的該等厚度值、及該質量或該質量變化的其中至少一者，產生用於該基板的一空間厚度分佈模型，其中該空間厚度分佈模型使用該質量作為限制。

【第17項】 如請求項 16 之用於提供基板處理的量測的方法，其中該學習模型係使用機器學習產生。

【第18項】 如請求項 17 之用於提供基板處理的量測的方法，其中該機器學習包括一監督式學習模型，其係選自於由線性模型、支援向量機模型、決策樹模型、隨機森林模型和高斯模型所組成的群組。

【第19項】 如請求項 16 之用於提供基板處理的量測的方法，其中該模型係以一第一原理模型為基礎。

【第20項】 如請求項 19 之用於提供基板處理的量測的方法，其中該第一原理模型係選自於由菲涅耳多光束干涉、嚴格耦合波分析（Rigorous Coupled-Wave Analysis ，RCWA）及時域有限差分（Finite-Difference Time-Domain， FDTD）所組成的群組。

【第21項】 如請求項 16 之用於提供基板處理的量測的方法，其中該基板包括複數個晶粒且其中該等光學感測器具有足以從複數個鄰接晶粒的部分產生樣本的一光束直徑。

【第22項】 如請求項 16 之用於提供基板處理的量測的方法，更包括藉由以下方式來產生該學習模型：將來自複數個樣本基板的複數個量測位置的光譜，與由一獨立量測站針對該複數個樣本基板的該複數個量測位置產生的厚度數據、臨界尺寸數據、深度數據和材料密度數據中的至少一者加以相關聯。

【第23項】 如請求項 16 之用於提供基板處理的量測的方法，更包括藉由執行主成分分析以產生該模型。

【第24項】 如請求項 16 之用於提供基板處理的量測的方法，更包括在該空間厚度分佈模型之迴歸分析期間，使用該質量或該質量變化的至少一者作為限制或邊界條件的至少一者。

【第25項】 如請求項 16 之用於提供基板處理的量測的方法，更包括使用自動編碼來產生該學習模型。

【第26項】 如請求項 16 之用於提供基板處理的量測的方法，更包括在量測該基板的該等光譜期間，調整該等光學感測器之至少一者的一位置。

【第27項】 如請求項 16 之用於提供基板處理的量測的方法，更包括在量測該基板的該等光譜期間，調整支撐該基板之一基板支撐件的一位置。

【第28項】 如請求項 16 之用於提供基板處理的量測的方法，其中產生來自該基板的相對之表面的光譜。

【第29項】 如請求項 16 之用於提供基板處理的量測的方法，更包括：

在膜處理前，產生該基板的一厚度；及

更基於在膜處理前之該基板的該厚度，產生用於該基板的該空間厚度分佈模型。

【發明圖式】

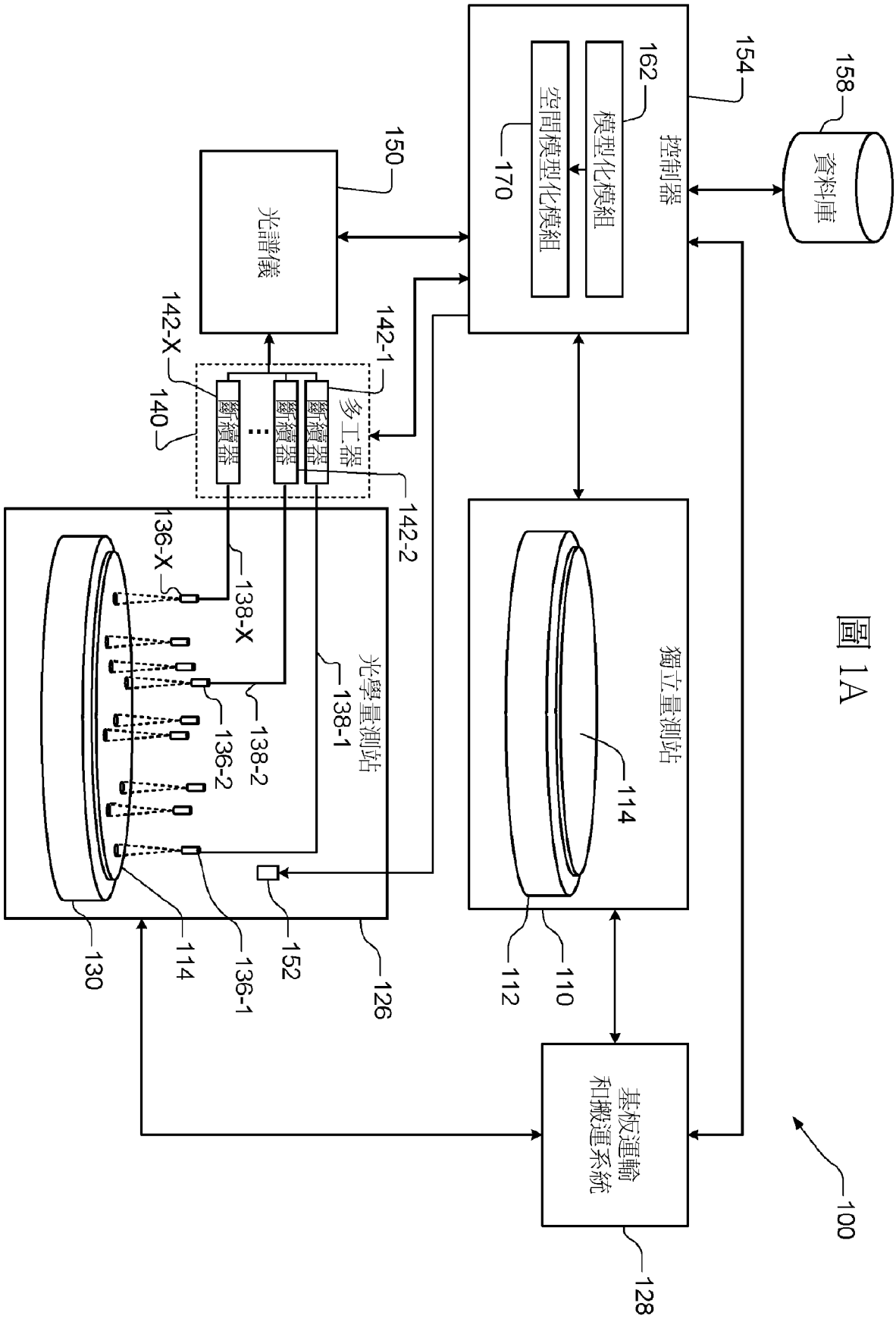

控制器
162
模型化模組
空間模型化模組
170
154
158
資料庫
150
光譜儀
142-X
140
142-1
多工器
斷續器
斷續器
斷續器
142-2
136-X
138-X
光學量測站
138-1
138-2
136-2
136-1
152
126
130
114
獨立量測站
114
112
110
基板運輸
和搬運系統
128
100

圖 1A

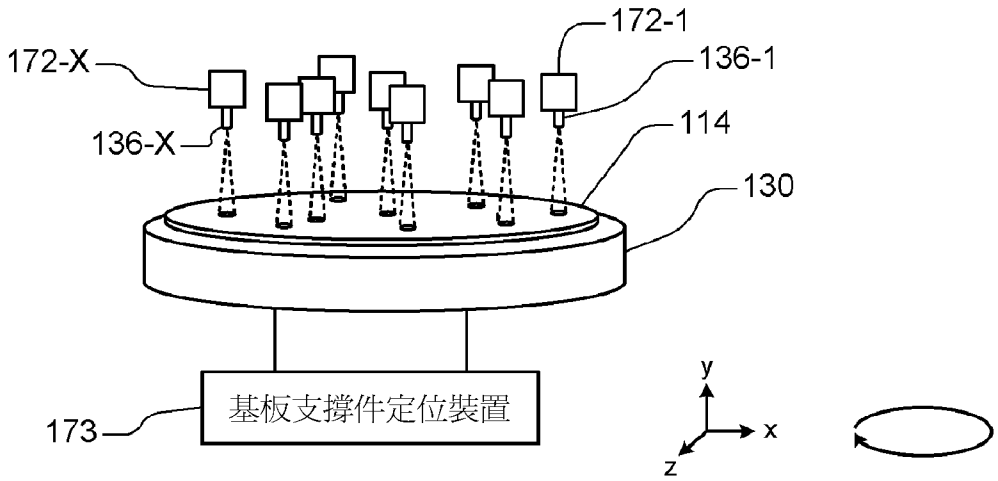

172-1
172-X
136-1
136-X
114
130
基板支撐件定位裝置
173
y
x
z

圖 1B

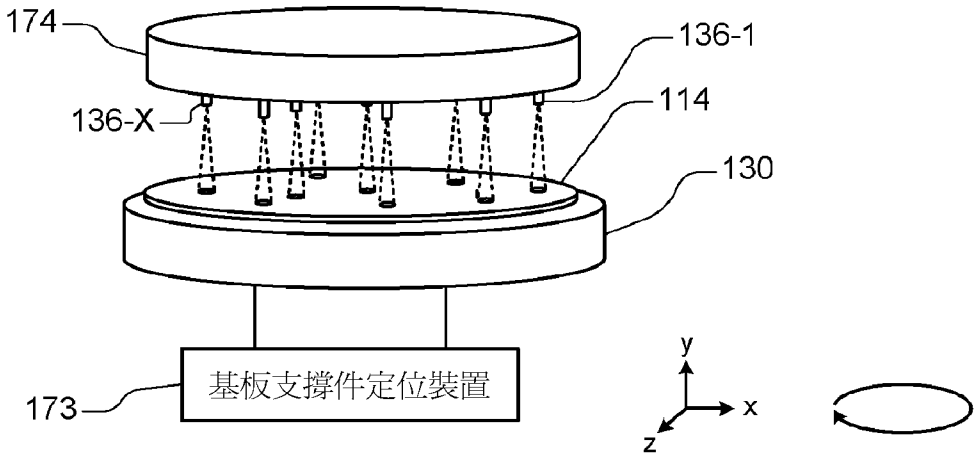

174
136-1
136-X
114
130
基板支撐件定位裝置
173
y
x
z

圖 1C

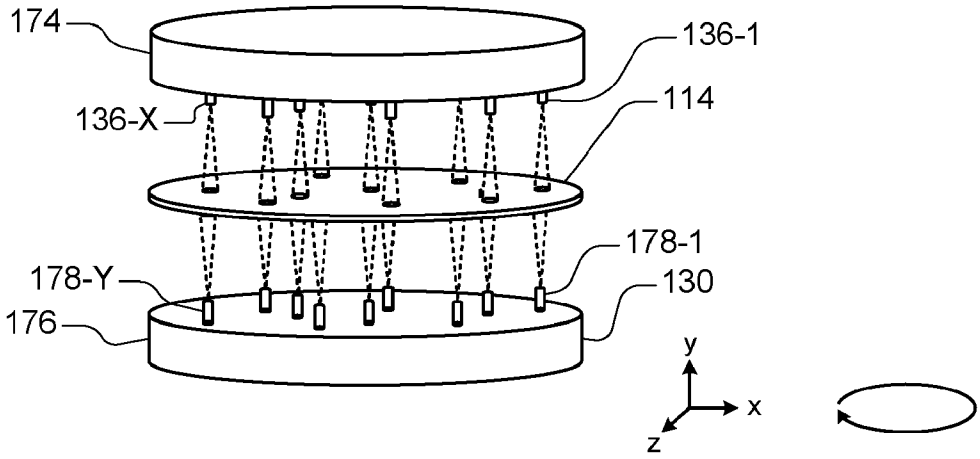


圖 1D

圖 2A

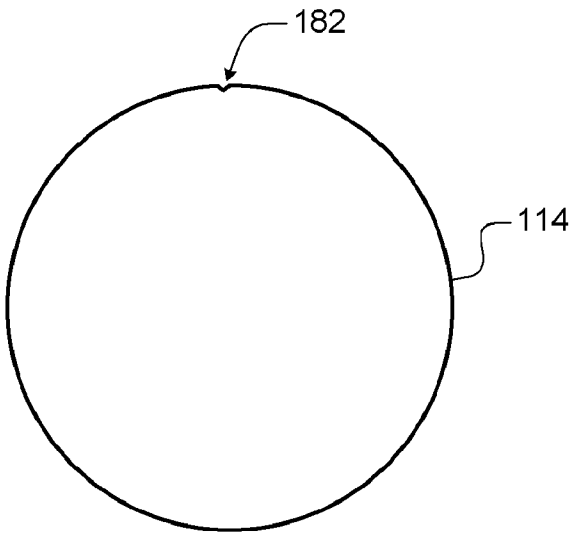


圖 2B

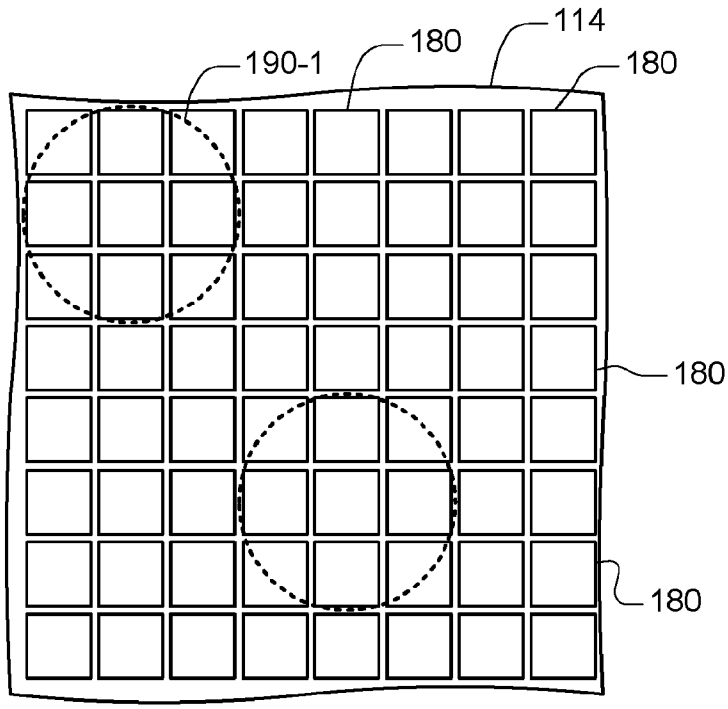
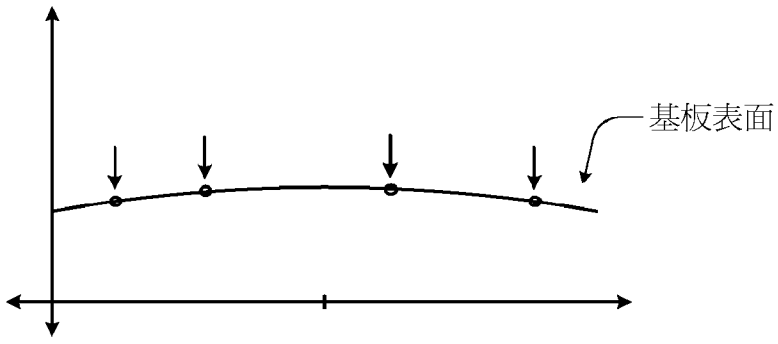


圖 3



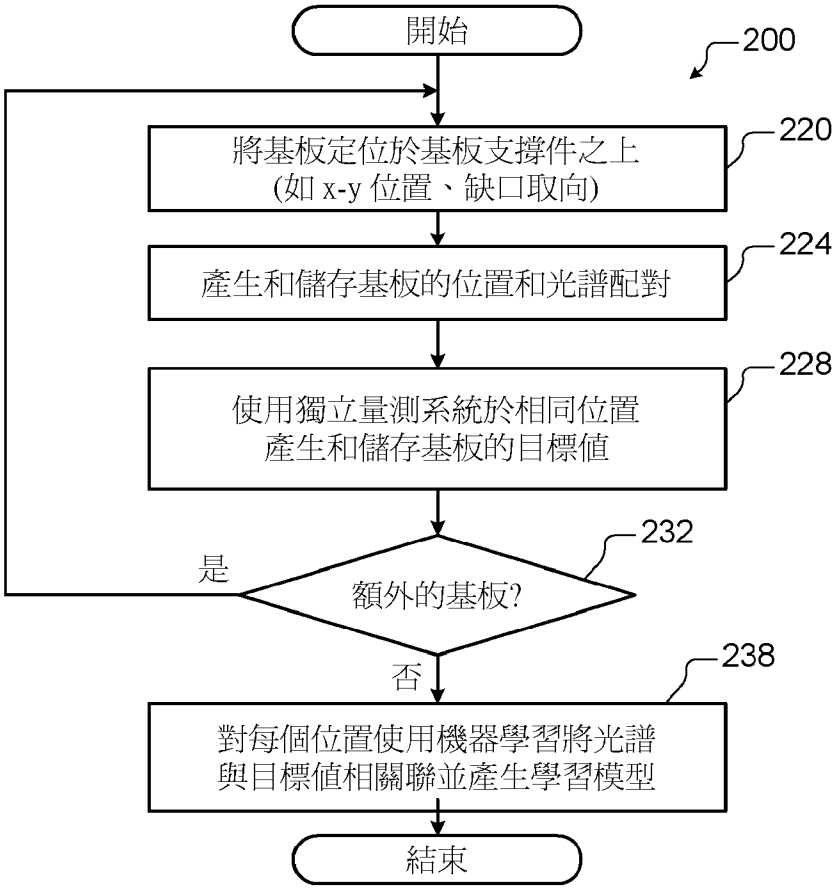

開始
200
將基板定位於基板支撐件之上
(如 x-y 位置、缺口取向)
220
產生和儲存基板的位置和光譜配對
224
使用獨立量測系統於相同位置
產生和儲存基板的目標值
228
額外的基板?
232
是
否
對每個位置使用機器學習將光譜
與目標值相關聯並產生學習模型
238
結束

圖 4A

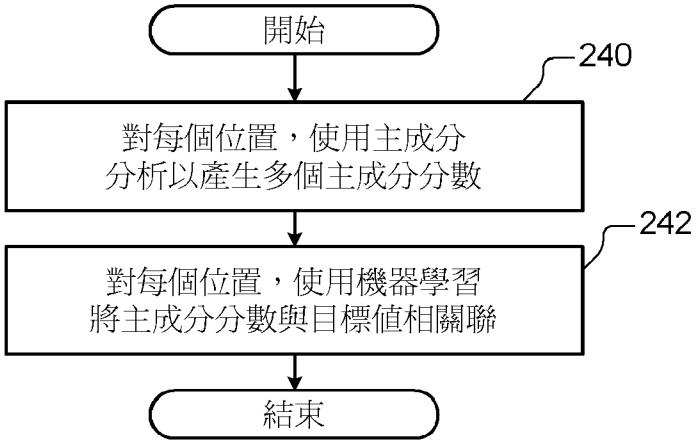

開始
對每個位置，使用主成分
分析以產生多個主成分分數
240
對每個位置，使用機器學習
將主成分分數與目標值相關聯
242
結束

圖 4B

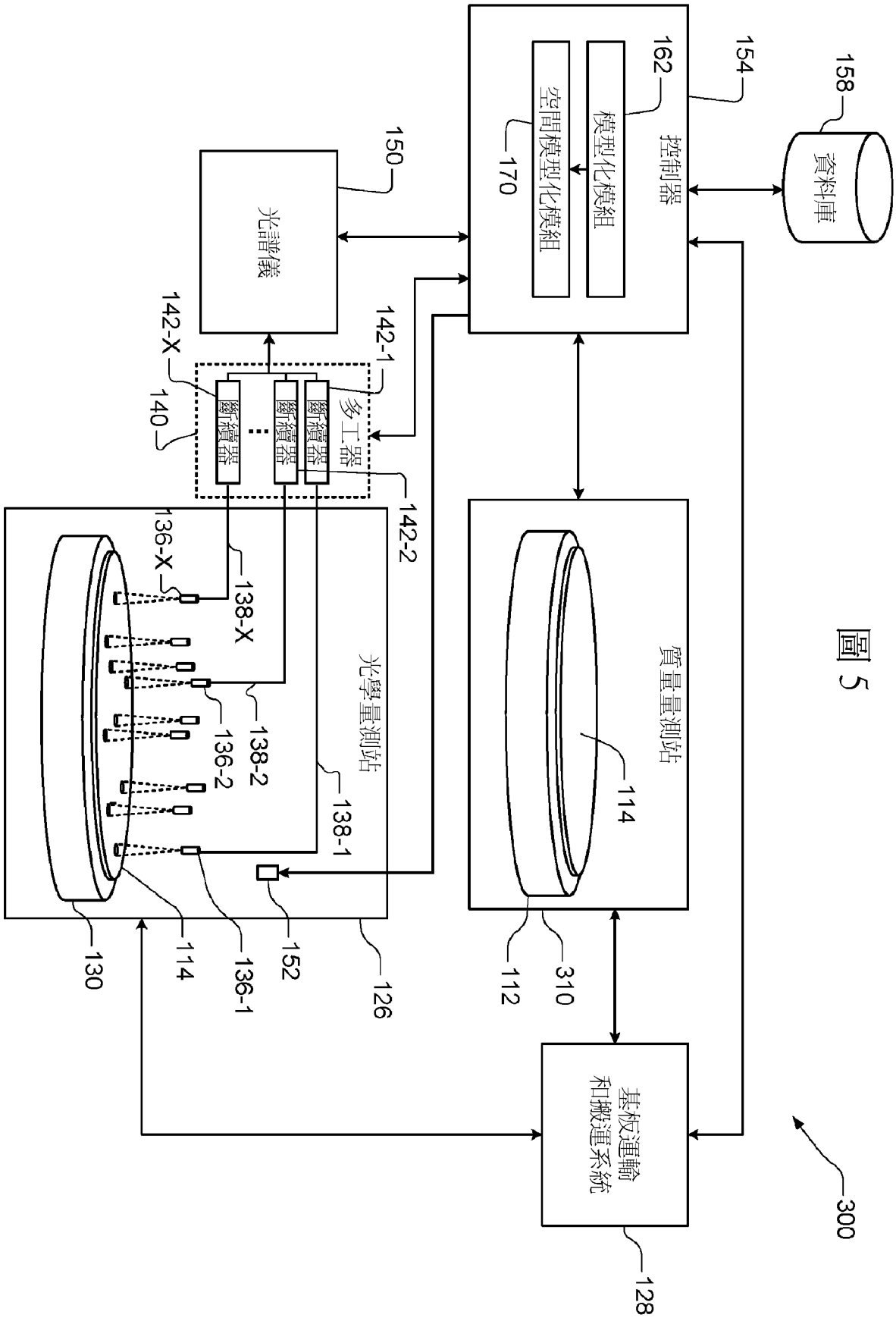

158
資料庫
154
162
控制器
模型化模組
空間模型化模組
170
150
光譜儀
142-X
142-1
140
多工器
斷續器
斷續器
斷續器
142-2
136-X
138-X
光學量測站
138-2
136-2
138-1
130
114
136-1
152
126
質量量測站
114
112
310
基板運輸
和搬運系統
128
300

圖 5

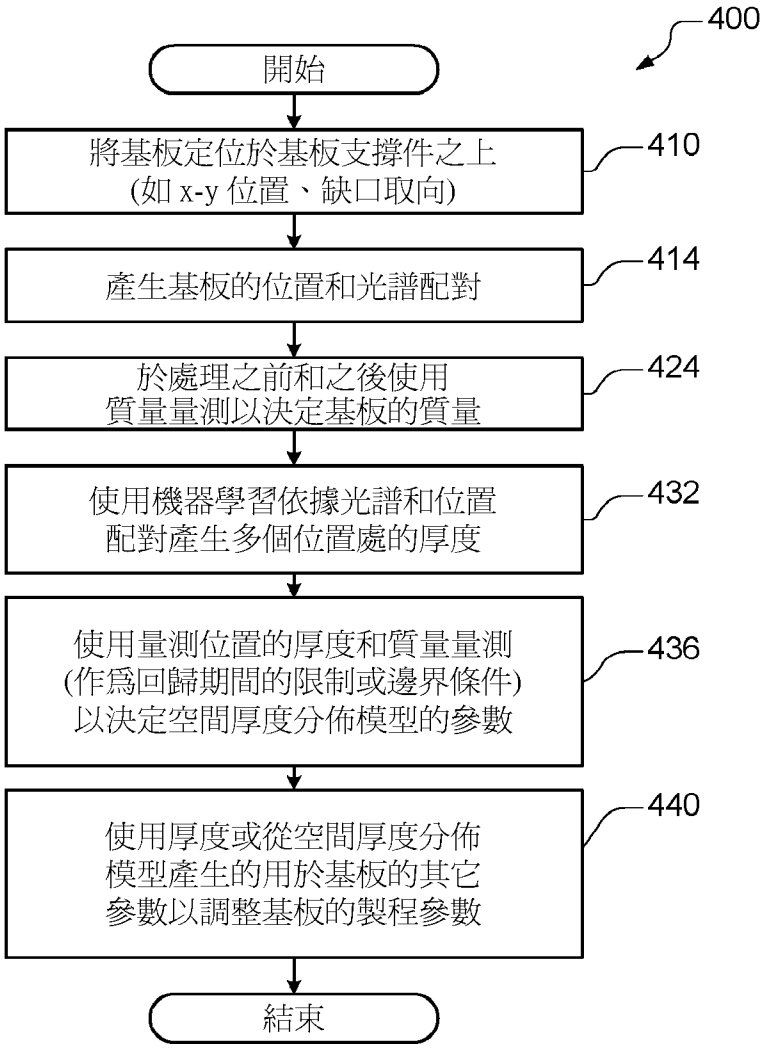

400
開始
將基板定位於基板支撐件之上
(如 x-y 位置、缺口取向)
410
產生基板的位置和光譜配對
414
於處理之前和之後使用
質量量測以決定基板的質量
424
使用機器學習依據光譜和位置
配對產生多個位置處的厚度
432
使用量測位置的厚度和質量量測
(作爲回歸期間的限制或邊界條件)
以決定空間厚度分佈模型的參數
436
使用厚度或從空間厚度分佈
模型產生的用於基板的其它
參數以調整基板的製程參數
440
結束

圖 6

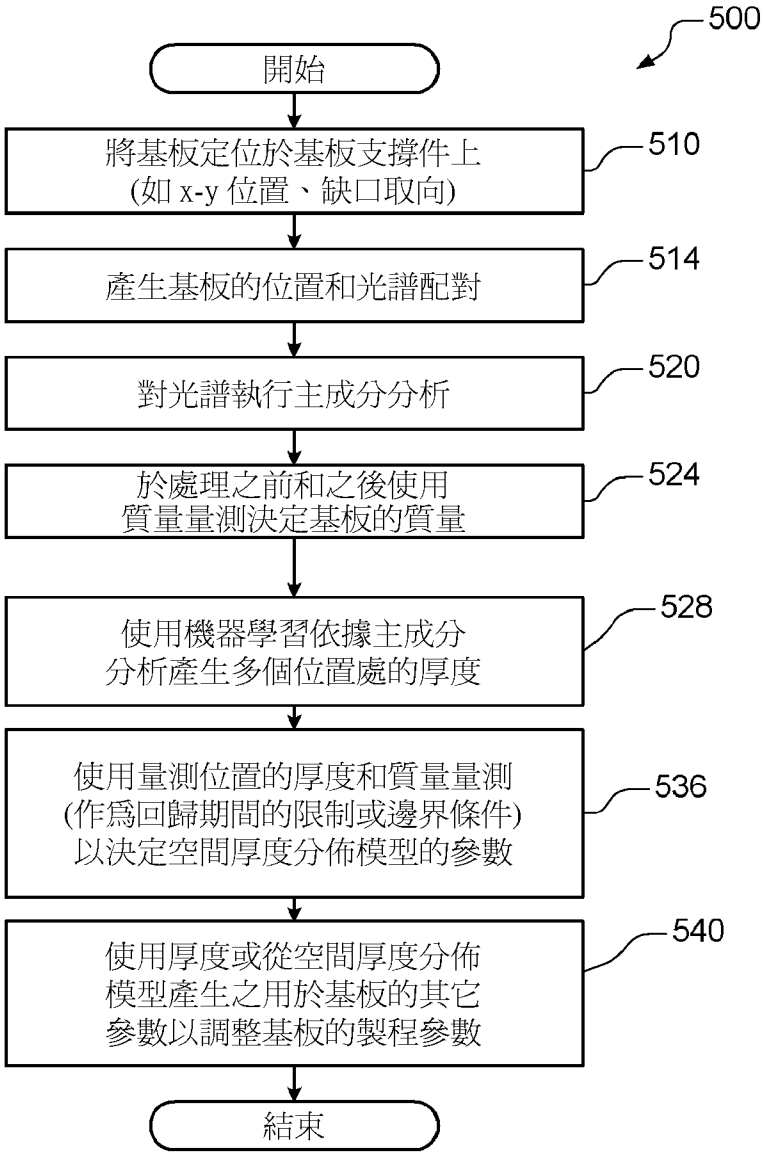

500
開始
將基板定位於基板支撐件上
(如 x-y 位置、缺口取向)
510
產生基板的位置和光譜配對
514
對光譜執行主成分分析
520
於處理之前和之後使用
質量量測決定基板的質量
524
使用機器學習依據主成分
分析產生多個位置處的厚度
528
使用量測位置的厚度和質量量測
(作爲回歸期間的限制或邊界條件)
以決定空間厚度分佈模型的參數
536
使用厚度或從空間厚度分佈
模型產生之用於基板的其它
參數以調整基板的製程參數
540
結束

圖 7