



(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 I887455 B

(45)公告日：中華民國 114 (2025) 年 06 月 21 日

(21)申請案號：110127131

(22)申請日：中華民國 110 (2021) 年 07 月 23 日

(51)Int. Cl. : **H01L21/66 (2006.01)** **G05B19/418 (2006.01)**
G06N3/08 (2023.01) **G06N20/00 (2019.01)**
G06T7/00 (2017.01)

(30)優先權：2020/07/23 美國 63/055,893

(71)申請人：美商 P D F 對策公司 (美國) PDF SOLUTIONS, INC. (US)
美國

(72)發明人：伯奇 理查 BURCH, RICHARD (US)；國俊一樹 KUNITOSHI, KAZUKI (JP)

(74)代理人：李世章；彭國洋

(56)參考文獻：

TW	201732690A	TW	201842457A
TW	201941328A	TW	202015858A
US	2018/0025483A1	US	2020/0104639A1

審查人員：王安邦

申請專利範圍項數：7 項 圖式數：5 共 20 頁

(54)名稱

從處理追蹤預測裝備故障模式

(57)摘要

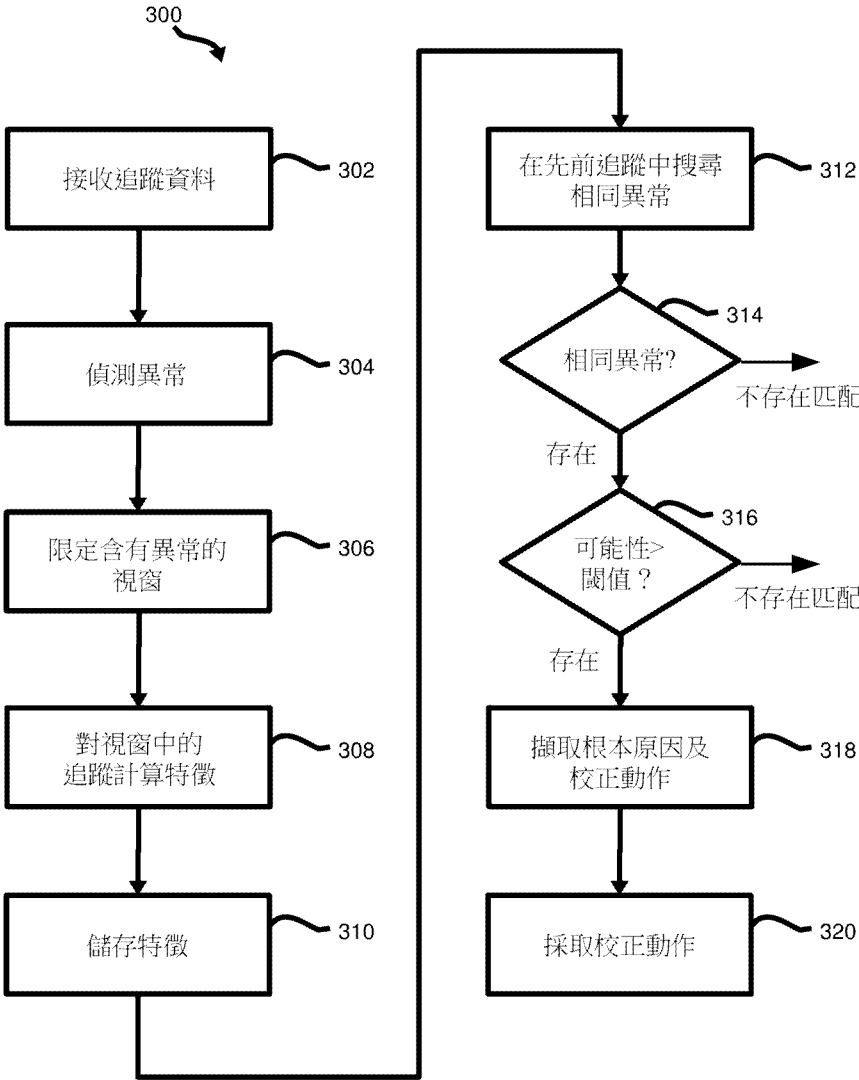
一種用於裝備故障模式的預測模型。在追蹤資料的集合中偵測到異常，然後計算關鍵特徵。在過去追蹤資料的資料庫中對具有相同關鍵特徵的相同或類似異常進行搜尋。若相同異常之前發生過並且在資料庫中，則可自資料庫擷取異常的類型、其根本原因以及校正的動作步驟。

A predictive model for equipment fail modes. An anomaly is detected in a collection of trace data, then key features are calculated. A search is conducted for the same or similar anomalies having the same key features in a database of past trace data. If the same anomaly occurred before and is in the database, then the type of anomaly, its root cause, and action steps to correct can be retrieved from the database.

指定代表圖：

符號簡單說明：

- 300:處理
- 302:步驟
- 304:步驟
- 306:步驟
- 308:步驟
- 310:步驟
- 312:步驟
- 314:步驟
- 316:步驟
- 318:步驟
- 320:步驟



第4圖



I887455

【發明摘要】

【中文發明名稱】從處理追蹤預測裝備故障模式

【英文發明名稱】PREDICTING EQUIPMENT FAIL MODE FROM PROCESS

TRACE

【中文】

一種用於裝備故障模式的預測模型。在追蹤資料的集合中偵測到異常，然後計算關鍵特徵。在過去追蹤資料的資料庫中對具有相同關鍵特徵的相同或類似異常進行搜尋。若相同異常之前發生過並且在資料庫中，則可自資料庫擷取異常的類型、其根本原因以及校正的動作步驟。

【英文】

A predictive model for equipment fail modes. An anomaly is detected in a collection of trace data, then key features are calculated. A search is conducted for the same or similar anomalies having the same key features in a database of past trace data. If the same anomaly occurred before and is in the database, then the type of anomaly, its root cause, and action steps to correct can be retrieved from the database.

【指定代表圖】第（ 4 ）圖。

【代表圖之符號簡單說明】

3 0 0：處 理

3 0 2：步 驟

3 0 4：步 驟

3 0 6：步 驟

3 0 8：步 驟

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

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】從處理追蹤預測裝備故障模式

【英文發明名稱】PREDICTING EQUIPMENT FAIL MODE FROM PROCESS TRACE

【技術領域】

【0001】 本申請案係關於在半導體裝備故障的偵測和分類中使用處理追蹤分析，並且更特定而言，係關於用於預測裝備故障模式的基於機器的方法。

【先前技術】

【0002】 半導體製造應用的高效處理控制對於改善可靠性及降低現場故障至關重要。一種處理控制的方法為故障偵測和分類(「fault detection and classification, FDC」)，其中重點關注監測處理裝備中所安裝的幾千個裝備感測器，以用於快速地辨識及校正處理不穩定性。然而，使用FDC技術來驅動對裝備問題的快速響應的一個關鍵挑戰在於辨識所偵測的處理追蹤異常的根本原因。

【0003】 藉由監測裝備感測器的時間序列追蹤來偵測裝備故障為半導體製造業界中長期認識到但相當困難的問題。通常，FDC方法以將複雜追蹤分解為邏輯「視窗」，然後計算視窗中追蹤資料的統計值(通常稱為指示符或關鍵數字)開始。可使用統計處理控制(「statistical process control, SPC」)技術來監測指示符，以便主要基於工程知識來辨識異常，並且指示符可用作預測模型及根本原因分析的輸入。指示符的品質判定所有後續分析的值。高品

質指示符要求高品質視窗。然而，用於異常偵測的指示符分析在本質上仍然主要為單變數，其中以逐特徵方式考慮異常，並且大體不足以辨識與所偵測異常相關的裝備故障模式。

【0004】 因此，將期望改善異常偵測系統辨識裝備故障模式的能力，例如經由追蹤資料的多變數分析。

【發明內容】

【0005】 一種用於裝備故障模式的預測模型自半導體處理裝備的追蹤資料中偵測及辨識異常。計算與異常相關聯的關鍵特徵，並且在先前追蹤資料中搜尋具有該些關鍵特徵的先前偵測異常。一旦在類似先前異常中找尋到該些特徵，判定有關該異常是否充分類似先前異常的可能性。若是，則自資料庫擷取異常的類型、其根本原因以及校正的動作步驟。

【圖式簡單說明】

【0006】 第1圖為處理顯示器介面，例示裝備感測器追蹤的圖形集合，其中第一視窗集經限定以用於第一類型的異常追蹤。

【0007】 第2圖為第1圖的處理顯示器介面，其中第二視窗集經限定以用於感測器追蹤的不同區域中第二類型的異常追蹤。

【0008】 第3圖為用於第1圖和第2圖所示的追蹤的概述結果的表。

【0009】 第4圖為例示用於預測裝備故障模式的處理的一個實施例的流程圖。

【0010】 第5圖為例示用於預測裝備故障模式的處理的另一實施例的流程圖。

【實施方式】

【0011】 如本文所使用，術語「感測器追蹤」意指在操作一件半導體處理裝備期間週期性地量測重要物理量的時間序列資料，例如，物理感測器在每一時間點的取樣值。取樣率可變化，並且樣本之間的時間週期並不總是相同。術語「追蹤」或「裝備追蹤」意指針對特定處理例子辨識的所有重要感測器的感測器追蹤集合。術語「步驟」意指相異的裝置處理週期，例如，處理配方中的步驟中的一者。

【0012】 本文揭示用於裝備故障模式的預測模型。模型偵測及辨識追蹤資料中的當前異常、計算與當前異常相關聯的關鍵特徵，並且在過去的追蹤資料的資料庫中搜尋具有該些關鍵特徵的異常。若在過去追蹤資料中找尋到相同或類似的異常，則可判定有關當前異常是否可根據那些過去異常準確地分類的可能性；例如，當前異常非常類似過去追蹤資料中的先前異常。若是，則有可能自過去追蹤資料的資料庫擷取異常的類型、其根本原因以及校正的動作步驟。然而，若否，則模型返回錯誤，意謂著之前未出見過該異常。然而，將儲存異常及其特徵以供將來參照；並且若此後判定出根本原因及校正動作，則更新資料庫。

【0013】 參照第 1 圖，例示追蹤資料的示範性曲線圖 100，示範性曲線圖 100 表示自執行以用於生產半導體晶圓的半導體製造處理的相異步驟期間獲取的個別感測器獲得的近似兩百個個別追蹤（亦即，時間序列值）。在 y 軸上繪製感測器值，並且在 x 軸上量測時間（以秒為單位）。應認識到，儘管處理步驟正常在特定時間點起始，處理步驟的長度可以為變化的。

【0014】 對於大多數介於近似 40 至 90 秒的週期而言，預期正常處理操作產生逐漸下降並且因此相對地穩定及一致的追蹤資料。然而，在介於近似 45 至 60 秒的此種狀況下，追蹤的頂部分組 110 中的第一追蹤集 112 及追蹤的底部集 120 中第二追蹤集 122 均展示在值上突然高漲，然後下降，然後回漲，然後回退至逐漸下降圖案的感測器讀數。這一追蹤行為非預期的，並且指示與處理相關的一些種類的問題。因此，為了分析異常行為，在曲線圖 100 的相應的頂部分組 110 及底部分組 120 中的這些 I 型異常區域上限定視窗 115 及 125，其中針對一些數目個晶圓發生非預期 I 型異常。

【0015】 第 2 圖展示追蹤資料的同一曲線圖 100，但重點關注追蹤資料的不同部分，其中僅針對頂部分組 110 中的第三追蹤集 132 發生 II 型異常。在此種狀況下，追蹤中的一些表現為在一路下降至標稱之前提早下降，然後直平，然後再次下降，然後再次直平。因此，為了分析這一類型的異常行為，在追蹤的頂部分組 110 中的第一下降區域上限

定視窗 135，並且在頂部分組中的第二下降區域上限定視窗 136。

【0016】 通常，技術人員手動地建立視窗以用於僅基於圖形結果的視覺查看而分析追蹤資料的特定區域，大體查看以便手動地限定用於穩定處理操作的視窗，其中(i)追蹤資料一致，及/或(ii)變化率相同。追蹤資料在值或變化率上快速變化的區域視為過渡視窗，並且將大體定位在一對穩定視窗之間。然而，異常(諸如本文中描述為實例的I型及II型異常)可以出現在追蹤資料的原本正常的穩定視窗中，如第1圖及第2圖所例示，並且可經選擇以用於經由視窗化相關區域來處理並分析。

【0017】 機器學習模型用以使用已知方法(包括使用來自視窗分析的資料)來偵測異常。例如，晶圓屬性及其追蹤位置特徵的組合可以提供為簡單的多類別機器學習模型的輸入(諸如，梯度-增大模型)，該模型對資料集進行訓練以便偵測追蹤資料中的異常行為。然而，一旦偵測到異常，知曉相同異常之前是否已發生，以及(若是)致使原因，以及校正問題應採取的動作步驟至關重要。

【0018】 在限定異常視窗115、125、135及136之後，自視窗中的每一者中的追蹤計算指示符。然後，將指示符儲存為與視窗、那些晶圓上的追蹤資料的例子，以及所選擇的晶圓屬性以及追蹤中異常位置相關聯的特徵。可執行特徵工程及選擇以將特徵集縮小至經判定以對藉由偵測模型偵測及辨識特定異常極其重要的那些關鍵特徵。

【0019】 對於第1圖及第2圖所相應地例示的I型及II型異常而言，來自偵測模型的預測分類(包括正常晶圓)在第3圖的表200中概述，其中五個晶圓具有辨識為I型異常的異常；七個晶圓具有辨識為II型異常的異常；以及一個晶圓具有I型及II型異常兩者。儘管所偵測異常的數目較少，但辨識並特徵化異常至關重要，特別是用於訓練預測模型以監測追蹤資料，以使得可以導致缺陷晶圓的處理不穩定性的情況最少化。

【0020】 對於每一類型的異常而言，藉由將關鍵特徵作為模型的輸入，模型亦用於(i)在先前追蹤資料的資料庫中搜尋相同或類似的異常，以及(ii)將一或多個先前異常辨識為與當前異常最類似，或指示資料庫中不存在與當前異常類似的異常。

【0021】 若在過去追蹤資料的資料庫中找尋到相同或類似的異常，則其根本原因及校正異常行為所採用的動作步驟有可能亦儲存在資料庫中，並且可經擷取以與當前異常比較。藉由比較異常的特徵及圖案，模型做出有關當前追蹤異常非常類似在過去追蹤中觀測到的一或多個類似或相同的異常的可能性的判定。若可能性超出閾值，則對異常分類，並且自資料庫擷取有關根本原因及校正動作的先前知識。

【0022】 第4圖中用圖形概述這一處理，例示用於辨識異常的根本原因的處理300的一個實施例。在步驟302，將追蹤資料接收至預測模型中並且加以處理。在步驟304，在所

接收的追蹤資料中偵測到至少一個異常，並且辨識該至少一個異常在追蹤中的位置。然後，在步驟306限定視窗，該視窗含有追蹤中包括異常的部分，並且在步驟308計算異常追蹤的特徵(包括統計值)，並且在步驟310儲存。然後，在步驟312，在具有過去追蹤資料的資料庫中搜尋具有與當前異常相關聯的相同特徵的異常。若在步驟314，在過去追蹤資料中找尋到相同或類似的異常，則在步驟316，可判定有關是否可根據該些過去異常正確地對當前異常分類的可能性。若有可能，則在步驟318，可自相同或類似的過去發生的資料庫擷取異常的類型、其根本原因以及校正的動作步驟，並且在步驟320，採取適當的校正動作。然而，若沒有可能，則模型返回錯誤，意謂著之前未出見過該異常。然而，將儲存異常及其特徵以供將來參照；並且若此後判定出根本原因及校正動作，則更新資料庫。

【0023】 第5圖呈現處理400中的更通用方法。在步驟402，將追蹤資料接收至預測模型中並且加以處理。在步驟404，在追蹤資料中偵測到異常圖案。在步驟406，計算所偵測異常圖案的特徵，並且在步驟408，與儲存在過去追蹤資料的資料庫中的先前異常圖案的特徵比較。在步驟410，若判定出特徵匹配，則在步驟412，自資料庫擷取有關來自過去追蹤資料的異常圖案的資訊，包括異常的一或多個根本原因以及針對根本原因的校正動作。在步驟414，採取適當的校正行動。

【0024】 並行處理架構的出現及機器學習演算法的推進，促進了追蹤資料的多變數分析，機器學習演算法允許使用者獲取洞察並且使用大量資料以高速做出使此類方法相關及合理的預測。機器學習為人工智慧的分支，該分支涉及可自其學習資料的模型化系統的構造及研究。這些類型的ML演算法以及並行處理能力允許處理大更多的資料集，並且更適用於進行多變數分析。此外，異常追蹤偵測及分類的高效機器學習方法應有助於主動學習，並且使用所獲取的資訊來持續地改善故障偵測及分類兩者的準確性。

【0025】 用於追蹤分析的基於處理器的模型的創建及使用可為基於桌面(亦即，獨立)的，或聯網系統的一部分；但是在給定藉由一些交互能力處理及顯示的大量資訊的情況下，處理器能力(CPU、RAM，等等)應為當前最新技術以使效果最大化。在半導體製造廠環境中，Exensio®分析平台為建立互動GUI模板的可用選擇。在一個實施例中，處理常式的編碼可使用Spotfire®分析軟體版本7.11或更高版本來完成，該軟體與主要用於編碼機器語言模型的Python物件導向程式設計語言相容。

【0026】 前述描述僅出於例示的目的而呈現，並非意欲為詳盡的或將本揭示案限制於所描述的精確形式。根據上述教示，許多修改及變化為可能的。

【符號說明】

【0027】

100: 曲線圖

- 1 1 0 : 頂 部 分 組
- 1 1 2 : 第 一 追 蹤 集
- 1 1 5 : 視 窗
- 1 2 0 : 底 部 分 組
- 1 2 2 : 第 二 追 蹤 集
- 1 2 5 : 視 窗
- 1 3 2 : 第 三 追 蹤 集
- 1 3 5 : 視 窗
- 1 3 6 : 視 窗
- 3 0 0 : 處 理
- 3 0 2 : 步 驟
- 3 0 4 : 步 驟
- 3 0 6 : 步 驟
- 3 0 8 : 步 驟
- 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
- 4 0 0 : 處 理
- 4 0 2 : 步 驟
- 4 0 4 : 步 驟
- 4 0 6 : 步 驟

4 0 8 : 步 驟

4 1 0 : 步 驟

4 1 2 : 步 驟

4 1 4 : 步 驟

【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】一種用於預測一裝備故障模式的基於機器的方法，包含以下步驟：

在一半導體處理中的複數個步驟期間將來自複數個半導體裝備感測器的裝備追蹤資料接收至一基於電腦的機器學習模型中；

由該機器學習模型在該裝備追蹤資料中偵測到一第一異常，該第一異常具有在該裝備追蹤資料內的一相關聯位置；

由該機器學習模型限定一視窗，該視窗含有該裝備追蹤資料中包括該第一異常的一時間週期；

由該機器學習模型對該視窗中的該裝備追蹤資料的該週期計算統計值；

將該第一異常的計算的該統計值及該相關聯位置作為與該第一異常相關聯的複數個關鍵特徵儲存在記憶體中；

藉由將該第一異常的該複數個關鍵特徵提供為該機器學習模型的輸入，搜尋遍歷過去追蹤資料的一資料庫，該機器學習模型用以找尋具有該複數個關鍵特徵的過去追蹤資料；

由該機器學習模型判定該過去追蹤資料的一例子具有該第一異常的該複數個關鍵特徵；

由該機器學習模型辨識有關該過去追蹤資料的該例子具有該第一異常的該些關鍵特徵的一根本原因；以及

在該半導體處理中採取一動作以校正該根本原因。

【請求項 2】如請求項 1 所述之方法，進一步包含以下步驟：

自該資料庫擷取該根本原因以及針對該根本原因的一校正動作。

【請求項 3】如請求項 1 所述之方法，其中該判定步驟進一步包含以下步驟：

由該機器學習模型判定有關該資料庫中該過去追蹤資料的該例子具有該第一異常的該些關鍵特徵的一可能性；以及

若該可能性超出一閾值，則擷取該根本原因。

【請求項 4】如請求項 3 所述之方法，其中擷取一根本原因的該步驟進一步包含以下步驟：

自該資料庫擷取針對該根本原因的一校正動作。

【請求項 5】一種用於預測半導體處理裝備故障的方法，包含以下步驟：

由包括一機器學習模型的一處理器在一半導體處理中的複數個步驟期間偵測在從複數個半導體裝備感測器中獲得的一第一組追蹤中的一第一異常圖案，該機器學習模型被訓練為使用多變數分析來偵測在追蹤資料集中的異常；

由該處理器辨識包含在該第一組追蹤中的該第一異常圖案的一時間週期視窗；

由該處理器使用多變數分析計算來自位於該視窗內的該第一組追蹤中的複數個特徵；

由該處理器搜尋過去追蹤資料的一資料庫；

由該處理器辨識該資料庫中的至少一組過去追蹤資料，該過去追蹤資料具有在一相關聯的異常圖案中的該複數個特徵；

由該處理器使用在該相關聯的異常圖案中的該複數個特徵的多變數分析來判定有關該至少一組過去追蹤資料的該相關聯的異常圖案與該第一異常圖案相同的一可能性；

如果該可能性超過一閾值，則由該處理器自該資料庫擷取針對該至少一個先前異常圖案的一根本原因；及

在該半導體處理中採取一動作以校正該根本原因。

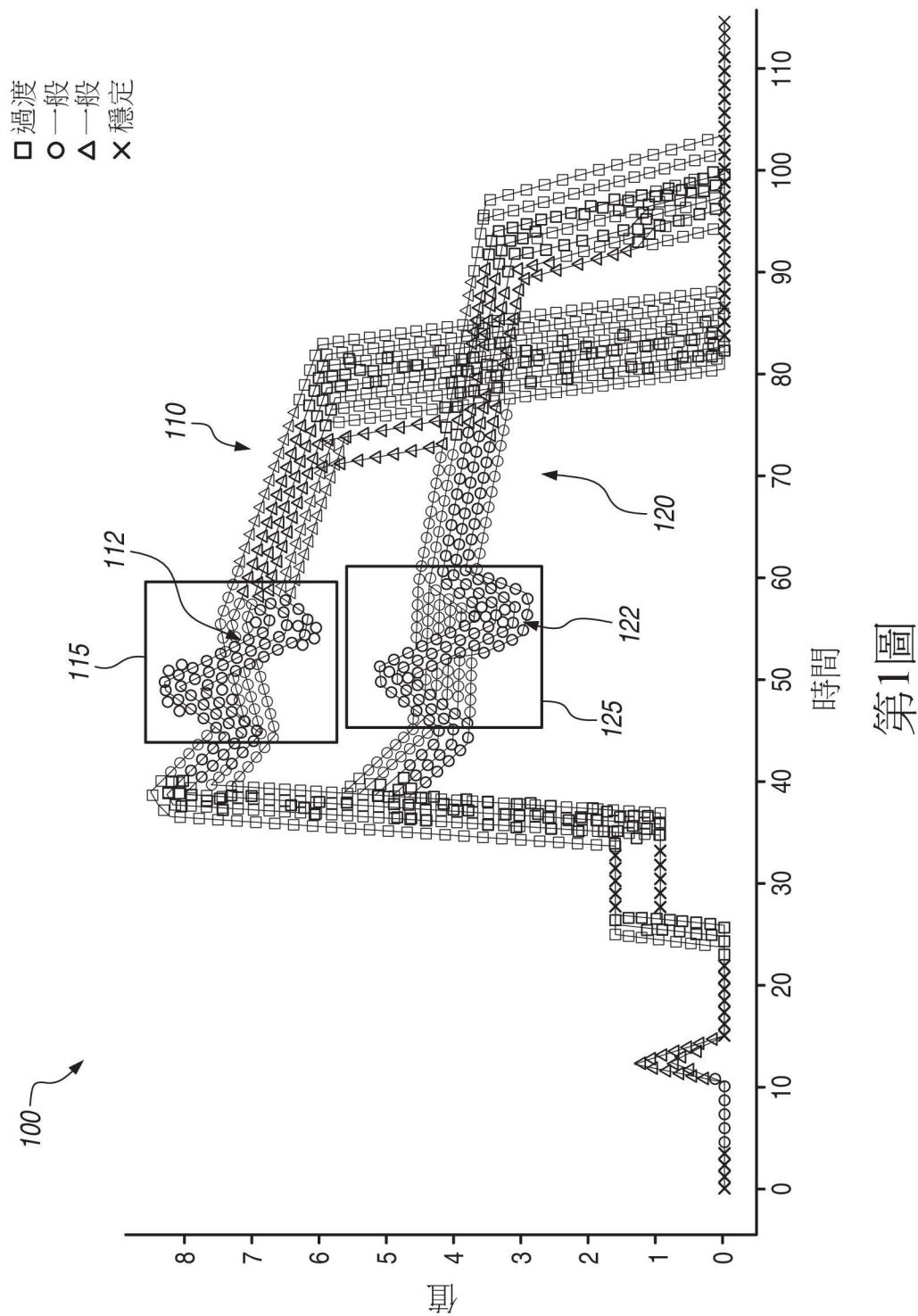
【請求項 6】如請求項 5 所述之方法，其中辨識一時間週期視窗的步驟進一步包含以下步驟：

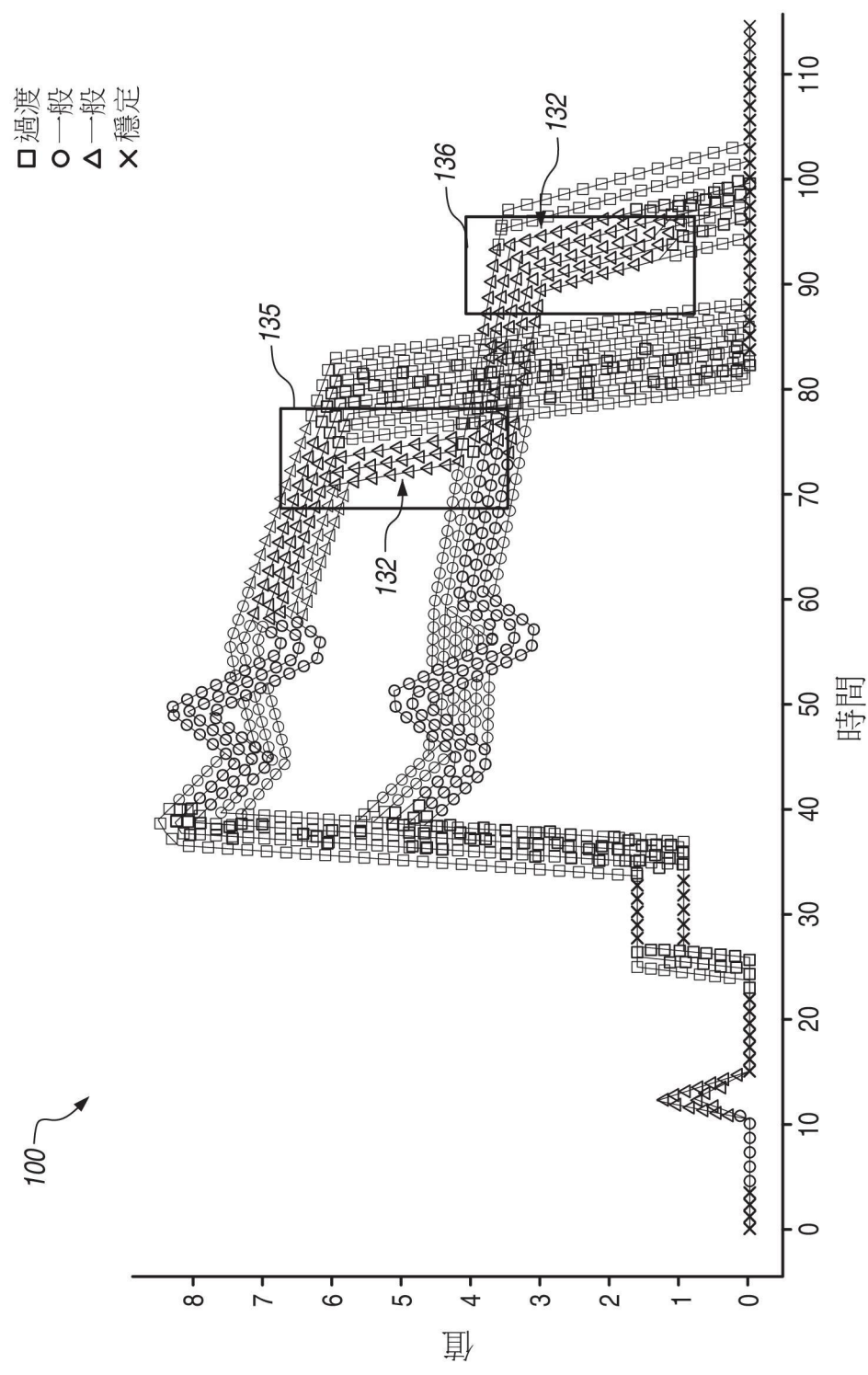
將該時間週期視窗定義為該第一組追蹤中的值快速變化的一區域。

【請求項 7】如請求項 5 所述之方法，其中辨識一時間週期視窗的步驟進一步包含以下步驟：

將該時間週期視窗定義為該第一組追蹤中的值的變化率快速變化的一區域。

【發明圖式】





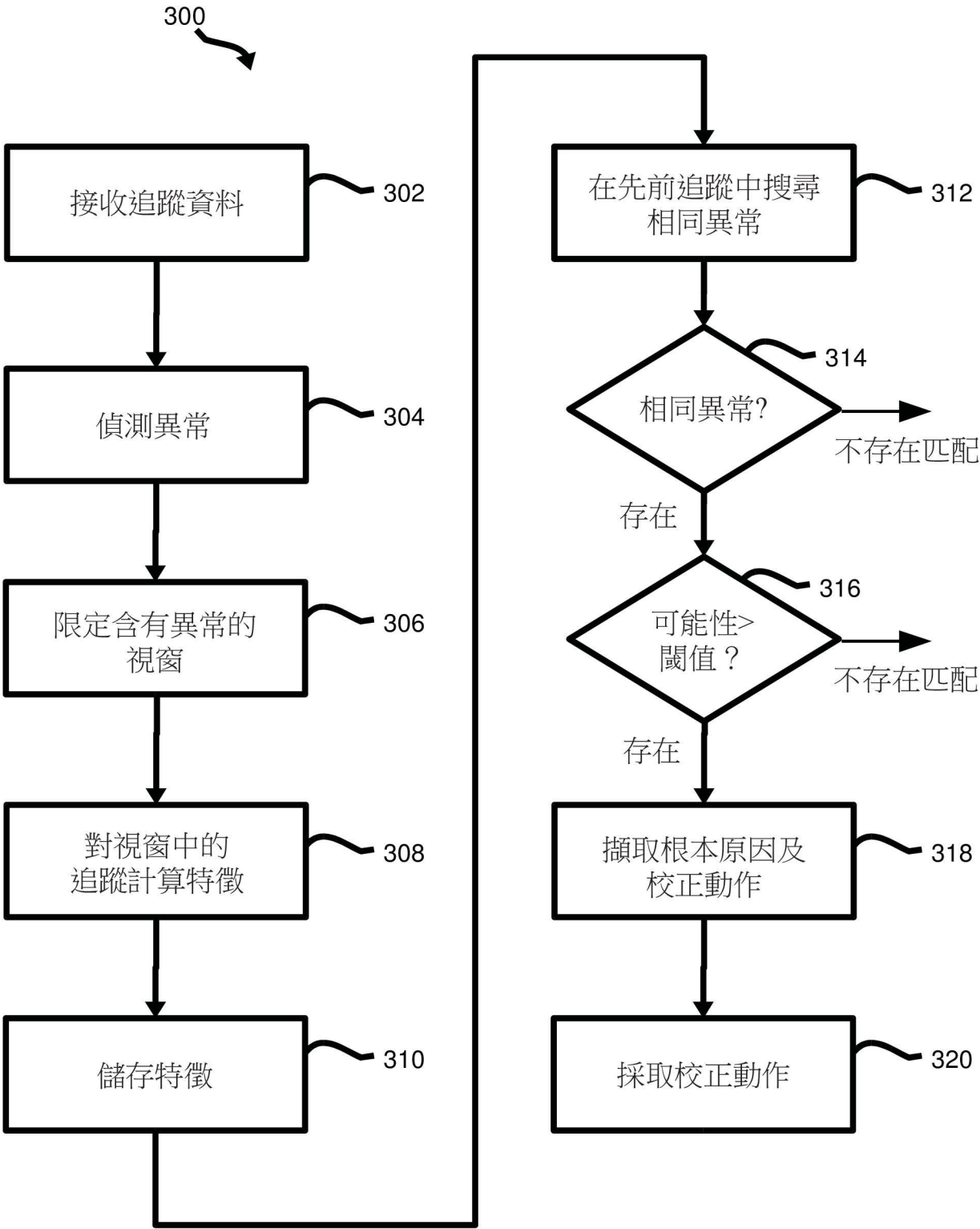
第2圖

200

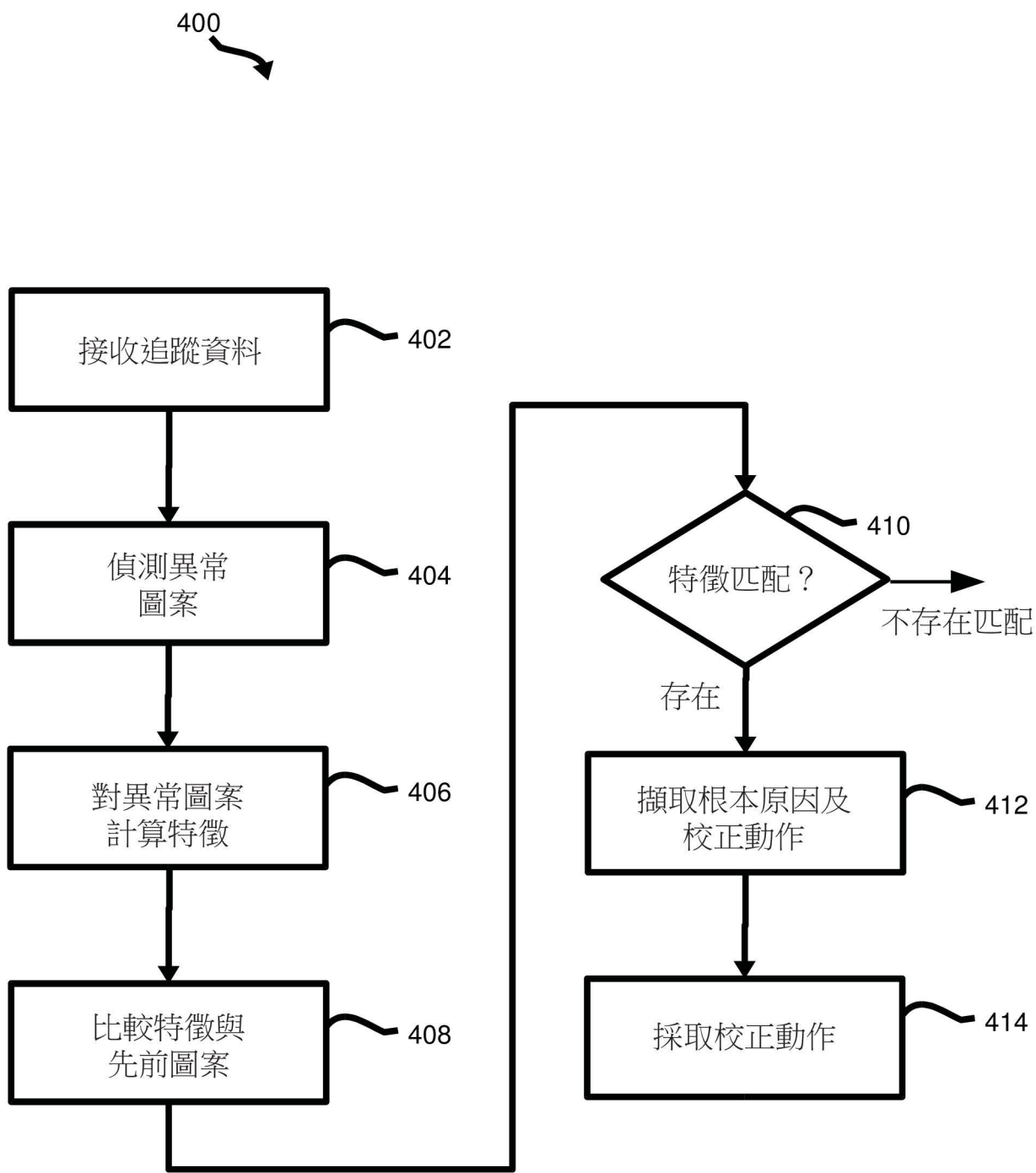


		預測類別			
		正常	1型	2型	1&2型
審查類別	正常	186	0	0	0
	1型	0	5	0	0
	2型	0	0	7	0
	1&2型	0	0	1	1

第3圖



第4圖



第5圖