

發明專利說明書

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：96109107

※申請日期：96.7.16

※IPC 分類：H01L 24/00 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

內含無線感測器網路監測系統之半導體處理系統/ SEMICONDUCTOR
PROCESSING SYSTEM WITH WIRELESS SENSOR NETWORK
MONITORING SYSTEM INCORPORATED THEREWITH

二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

東京威力科創股份有限公司/TOKYO ELECTRON LIMITED

代表人：(中文/英文) (簽章) 佐藤 潔/SATO, KIYOSHI

住居所或營業所地址：(中文/英文)

日本國 107 東京都港區赤坂五丁目 3 番 6 號 TBS 放送中心/TBS
Broadcast Center, 3-6 Akasaka 5-chome, Minato-ku, Tokyo 107, JAPAN

國籍：(中文/英文) 日本/JP

三、發明人：(共 3 人)

姓名：(中文/英文)

1. 桑吉 高斯豪/KAUSHAL, SANJEEV

2. 杉島 賢次/SUGISHIMA, KENJI

3. 登西葉尼 拉米斯 庫馬 萊歐/RAO, DONTINENI RAMESH KUMAR

國籍：(中文/英文)

1. 印度/INDIA 2. 日本/JP 3. 英國/UK

四、聲明事項：

主張專利法第二十二條第二項 第一款或 第二款規定之事實，其事實發生日期為： 年 月 日。

申請前已向下列國家（地區）申請專利：

【格式請依：受理國家（地區）、申請日、申請案號 順序註記】

有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

1.美國/US 2006/3/24 11/277,467

無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】

主張專利法第三十條生物材料：

須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼 順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼 順序註記】

不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

九、發明說明：

【交叉參考之相關申請案】

本發明係關於與本案同日申請之同在審理中之美國專利申請案號為 11/277,448 且名為「Method of Monitoring a Semiconductor Processing System Using a Wireless Sensor Network」的申請案，特將其整體揭露內容包含於此作為參考。

【發明所屬之技術領域】

本發明之實施例係大致上關於一種監測系統及半導體製造中用之處理系統的非侵入式感測及監測方法。該方法及系統能夠偵測及診飛處理系統中的漂移及錯誤並採取適當的修正手段。

【先前技術】

半導體製造中所用之處理(製造)系統的處理條件改變可導致因報廢或非生產系統之停工所造成的巨額收入損失。在此考量下，焦點已聚集在能夠監測製造系統之操作且在發生不可接受之處理偏移或遇到其他錯誤條件時能夠產生警報的系統軟體。

然而，真正需要的是一種持續或即時決定處理系統之「健康」或綜合條件的方法及系統，俾以偵測出現的錯誤條件。在過去，系統製造者及裝置製造者兩者皆依賴處理系統的排程預防性維護(scheduled preventative maintenance, PM)，否則災難的事件便會發生。然而，使用排程預防性維護的方法係簡單地基於自平均特性如平均故障間隔時間(mean time between failures, MTBF)所推導出的「經驗法則」，因此無法滿足單獨處理系統元件或整體處理系統之錯誤條件的偵測、診斷或預測。此外，此方法無法解決處理系統之處理條件的逐漸下降或偏移。

習知地，感測技術的成本及體積意味著可對多數的處理系統佈署僅具有低彈性及網路能力的少數硬體線路感測器。自少數感測器所收集的資訊僅提供了相對少量的數據，並未提供對於處理

系統之處理條件之綜合瞭解所需的所欲即時監測及分析能力。

【發明內容】

本發明之實施例提供了用以非侵入式感測及監測半導體製造中所用之處理系統的一種監測系統及一種監測方法。本方法能夠偵測及診斷處理系統中的偏移及故障，並採取適當的修正措施。

本方法包含：將複數非侵入式之感測器設置到半導體處理系統中之複數系統元件中的一或多者的各個外表面上。該些感測器形成無線感測網路。本方法更包含：自無線感測器網路之複數非侵入式感測器獲得感測器訊號，其中該感測訊號在處理氣體於處理系統中流動的期間追蹤系統元件中之一者之處理狀態的逐漸或驟然改變。接著自該無線感測器網路擷取該感測器訊號，並對該感測器訊號進行儲存及處理。

在一實施例中，非侵入式之感測器可為加速計感測器，而該無線感測器網路可為微塵系(motes-based)。

半導體處理系統包含：複數系統元件，用以使處理氣體流過半導體處理系統；無線感測器網路，包含位於複數系統元件之一或多者之各個外表面上的複數非侵入式感測器。感測器係用以獲得感測器訊號，此感測器訊號在處理氣體流過處理系統期間追蹤一或多個系統元件之處理狀態的逐漸或驟然改變。該處理系統更包含：一系統控制器，用以自無線感測器網路擷取感測器訊號並儲存及處理感測器訊號。

【實施方式】

本發明之實施例提供了工業自動化中的無線感測器網路，以在半導體處理系統中進行預防維護及條件監測。無線感測器網路可監測參數如振動、溫度及負載，且可輔助處理系統元件層次的前攝、即時處理系統「健康」監測，並可降低未排程之維護與停機時間。無線感測器可藉由降低為了使資訊同步化而使用連接裝

置用之適當電纜所帶來的成本，以精簡安裝及擴展條件系維護解決方案所涉及的費用。

本發明之一實施例提供一種無線感測器網路平台，以在處理用以製造電子裝置之基板的期間，即時監控半導體處理系統之一或多個系統元件的處理狀態。複數個無線感測器係非侵入性地安裝於一或多個系統元件上，並共同形成無線感測器網路。此半導體處理系統可為涉及氣體於系統內流動之半導體製造用的任何處理系統，例如：熱處理系統、蝕刻系統、單晶圓沈積系統、批次處理系統或光阻處理系統。

在一實施例中，系統元件之處理狀態可由於與系統元件接觸之氣流的衰減或漂移而改變，而其係因材料沈積物形成於系統元件內所造成。隨著時間經過，材料沈積物會限制氣體流過該系統元件，藉此導致氣體流動相對緩慢地衰減或漂移，但卻不會造成驟然的災難事件。

本發明之實施例可應用於半導體處理系統之製造過程期間與氣流相關之一或多個(例如兩個或多個)系統元件中。例如但卻非限制性，系統元件可為：氣體供應管路，用以將處理氣體輸送至處理室中，一或多塊基板(晶圓)係於此處理室中受到處理；排氣管，用以自該處理室移除處理副產物；流量調整器(例如質量流量控制器(MFC))，用以控制流入處理室之處理氣體的流量；或自動壓力控制器(例如可變閥，如閘閥或蝶形閥)，用以控制處理室中之氣體壓力。

在一實施例中，提供了一種在半導體處理系統中感測、監控、判斷與預測系統元件之衰減或漂移狀態的方法，若未對該衰減或漂移狀態採取適當行動，則可能會導致錯誤狀態。

在另一實施例中，提供了一種在半導體處理系統中感測、監控、判斷、與預測的方法，若未對該衰減或漂移狀態採取適當行動，則可能會導致一或多片基板的錯誤處理。

現將參照附圖來敘述本發明之實施例。圖 1 為根據本發明一

實施例之半導體熱處理系統的等視角圖。熱處理系統 100 包含：外殼 101，當熱處理系統被用於潔淨室時，此外殼形成熱處理系統的外壁。外殼 101 的內部被分隔件(隔牆)105 分隔為載具傳送區 107 及裝載區 124，載具 102 係載入及載出該載具傳送區 107 並滯留於該載具傳送區 107，而位於載具 102 中之待處理基板(未圖示)如半導體晶圓 W 係在載入區處被傳送至晶舟 103。晶舟 103 係載入或載出垂直式熱處理爐管(室)104。

如圖 1 中所示，入口 106 係設置在外殼 101 的前端中，用以使操作者或自動傳送機器人(未圖示)能夠載入及卸載載具 102。入口 106 係設有可垂直移動以開啟及關閉入口 106 的門(未圖示)。座臺 108 係設置在載具傳送區 107 中之入口 106 附近，用以將載具 102 放置於其上。

如圖 1 中所示，感測器機構 109 係設置於該座臺 108 的後部處，用以開啟載具 102 之罩蓋(未圖示)並偵測載具 102 中半導體晶圓 W 的位置與數量。此外，在座臺 108 上可存在架狀儲存部 110，用以儲存複數載具 102。

在垂直間隔部分中設置兩載具放置部(傳送座臺)111，作為將載具 102 放置其上以傳送半導體晶圓 W 的桌臺。由於在一載具放置部 111 處可交換一載具 102 並同時在另一載具放置部 111 處將半導體晶圓傳送至另一載具 102，因此可改善熱處理系統 100 的生產率。

載具移轉機構 112 係設置在載具傳送區 107 中，用以將載具 102 傳送出、入座臺 108、儲存部 110 及載具放置部 111。載具移轉機構 112 包含：舉升臂 112b，其可藉由設置在載具傳送區 107 之一側上的舉升機構 112a 而垂直移動；及傳送臂 112c，安裝於用以支撐載具底部的舉升臂 112b 上以水平地傳送載具 102。

例如，載具 102 可為封閉式，其可容納 13 或 25 片晶圓且其可藉由一罩蓋(未圖示)密封地加以關閉。載具 102 可包含可攜式塑膠容器，以將晶圓 W 容納及存放於具有預定間隔垂直隔開關係的

水平式多梯級中。在一實施例中，晶圓 W 的直徑可為 300 mm。或者，可使用其他晶圓尺寸。該罩蓋(未圖示)係以俾使其可密封地關閉晶圓入口的方式，以可移除方式固定在形成於載具前方的晶圓入口處。

可將已通過過濾器(未圖示)的潔淨的環境空氣提供至載具傳送區 107，俾使載具傳送區 107 充滿潔淨的環境空氣。此外，潔淨的環境空氣亦可被提供至裝載區 124，俾使裝載區 124 充滿潔淨的環境空氣。或者，將惰性氣體如氮氣(N₂)供給至裝載區 124，俾使裝載區 124 充滿該惰性氣體。

如圖 1 中所示，分隔件 105 具有上及下之兩開口 113 以傳送載具 102。開口 113 可與載具放置部 111 對準。每一開口 113 係設有用以開啟及關閉開口 113 的一罩蓋(未圖示)。開口 113 係以俾使開口 113 之尺寸係實質上與載具 102 之晶圓入口之尺寸相同的方式形成，以使半導體晶圓 W 可經由開口 113 及晶圓入口而被傳送進、出載具 102。

此外，槽口對準機構 115 係設置在載具放置部 111 的下方且沿著載具放置部 111 的垂直中線設置，以對準設置在半導體晶圓 W 之圓周處的槽口(切口部)，即，以對準半導體晶圓 W 之結晶方向。槽口對準機構 115 係對準自載具放置部 111 上之載具 102 受到傳送機構 122 傳送之半導體晶圓 W 槽口。

槽口對準機構 115 具有在垂直間隔位置上的兩裝置，且每一裝置可對準晶圓 W 的槽口。由於一裝置可將已對準之晶圓 W 傳回晶舟 103 同時另一裝置可對準其他晶圓 W，因此熱處理系統 100 的生產率可受到改善。每一裝置一次可用以對準複數如三或五片晶圓，因此可實質上減少傳送晶圓 W 的時間。

熱處理爐管 104 係設置在裝載區 124 中的後上部。熱處理系統爐管 104 在其底部具有爐管開口 104a。罩蓋 117 係設置在爐管 104 的下方。罩蓋 117 係用以藉由舉升機構(未圖示)而垂直移動，以將晶舟 103 載入及載出爐管 104 及開啟及關閉爐管開口 104a。

可在垂直分隔多梯級件中容納大量如 100 或 150 半導體晶圓 W 的晶舟 103 係適合放置在罩蓋 117 上。晶舟 103 係以水晶等所製成。熱處理爐管 104 在爐管開口 104a 處設有擋件 118，以在熱處理後罩蓋 117 脫離且卸載晶舟 103 時關閉爐管開口 104a。擋件 118 適合水平地旋轉以開啟及關閉爐管開口 104a。擋件驅動機構 118a 係設置以使擋件 118 旋轉。

仍參照圖 1，晶舟放置部(晶舟臺)119 係設置在裝載區 124 的一側區域中，以在半導體晶圓傳送出、入晶舟 103 時將晶舟 103 放置於其上。晶舟放置部 119 具有第一放置部 119a 及設置於第一放置部 119a 與罩蓋 117 間的第二放置部 119b。換氣通風單元(未圖示)係與晶舟放置部 119 相鄰設置，以使用過濾器來清理裝載區 124 中的循環氣體(環境氣體或惰性氣體)。

晶舟傳送機構 121 係設置於裝載區 124 之下部中之載具放置部 111 與熱處理爐管 104 之間，以在晶舟放置部 119 與罩蓋 117 之間傳送晶舟。具體而言，晶舟傳送機構 121 係設置用以在第一放置部 119a 或第二放置部 119b 與經降低之罩蓋 117 之間及在第一放置部 119a 與第二放置部 119b 之間傳送晶舟 103。

傳送機構 122 係設置在晶舟傳送機構 121 之上方，用以在載具放置部 111 上之載具與晶舟放置部 119 上之晶舟間傳送半導體晶圓 W，更具體而言，在載具放置部 111 上之載具 112 與槽口對準機構 115 與第一放置部 119a 上之晶舟 103 之間以及在第一放置部 119a 上之熱處理後的晶舟 103 與載具放置部 111 上之空載具 102 之間。

如圖 1 中所示，晶舟傳送機構 121 具有臂 123，此臂 123 可垂直地支撐一晶舟 103 且水平地移動(擴張與收縮)。例如，同步地旋轉臂 123 及支撐臂(未圖示)可在相對於臂 123 之旋轉軸的徑向方向(水平線性方向)上傳送晶舟 103。因此，用以傳送晶舟 103 的區域可最小化，且熱處理系統 100 的寬度及深度可減少。

晶舟傳送機構 121 自第一置部 119a 將載有未處理之晶圓 W 的

晶舟 103 傳送至第二放置部 119b。接著，晶舟傳送機構 121 將載有未處理晶圓 W 的晶舟 103 傳送至罩蓋 117 上。以此方式，可防止未處理晶圓 W 受到來自載有已處理晶圓 W 之晶舟 103 之粒子或氣體的污染。

當載具 102 經由入口 106 放置到座臺 108 上時，感測器機構 109 偵測到載具 102 的放置狀態。接著，載具 102 的罩蓋開啟，且感測器機構 109 偵測載具 102 中之半導體晶圓 W 位置及數目。接著載具 102 的罩蓋再次關閉，且載具 102 藉由載具移轉機構 112 而傳送進入儲存部 110。

在適當的時間處，被儲存在儲存部 110 中的載具 102 經由載具移轉機構 112 被傳送至載具放置部 111 上。在載具放置部 111 上之載具 102 的罩蓋以及分隔件 105 之開口 113 的門開啟後，轉移機構 122 自載具 102 取出半導體晶圓 W。接著，轉移機構 122 藉由槽口對準機構 115 而連續地將該些晶圓轉移至晶舟放置部 119 之第一放置部 119a 上的空晶舟 103 中。當晶圓 W 受到轉移時，晶舟傳送機構 121 下降以自轉移機構 122 排空轉移機構 122，因此避免晶舟傳送機構 121 及轉移機構 122 的干擾。在此方式下，可減少轉移半導體晶圓 W 的轉移時間，因此可實質上改善熱處理系統 100 的生產率。

在完成晶圓 W 的轉移後，轉移機構 122 可自開啟位置橫向地移動至外殼 101 之另一側區域中的支撐位置。

在熱處理完成後，罩蓋 117 下降，晶舟 103 及已經過熱處理的晶圓移出爐管 104 而移至裝載區 124 中。在罩蓋 117 已移出晶舟 103 後，擋件 118 立即密封地關閉爐管的開口 104a。此最小化了傳出爐管 104 而進入裝載區 124 中的熱，且最小化了傳遞至裝載區 124 中之裝置的熱。

在容納已經過處理之晶圓 W 的晶舟 103 被傳出爐管 104 後，晶舟傳送機構 121 將載有未處理之晶圓 W 的另一晶舟自第一放置部 119a 傳送至第二放置部 119b。接著，晶舟傳送機構 121 將載有

未處理晶圓 W 之晶舟 103 自第二置部 119b 傳送至罩蓋 117 上。因此，避免晶舟 103 中之未處理半導體晶圓 W 受到當晶舟 103 移動時來自載有已處理晶圓 W 之晶舟 103 之粒子或氣體的污染。

在載有未處理晶圓 W 之晶舟 103 被傳送至罩蓋 117 上後，於擋件 118 開啟後，晶舟 107 及罩蓋 117 係經由開口 104a 而載入至爐管 104 中。接著可熱處理晶舟 103 中之未處理晶圓。此外，在載有已處理晶圓 W 之晶舟 103 被傳送至第一放置部 119a 上後，晶舟 103 中之已處理半導體晶圓 W 係藉由轉移機構 122 而自晶舟 103 被轉移回載具放置部 111 上的空載具 102 中。接著，重覆上述循環。

設定、配置及/或操作資訊可藉由熱處理系統 100 加以儲存，或自操作者或另一系統如工廠系統可加以獲得。可利用處理配方來具體指定正常處理所採取的行動以及對異常狀況應採取的行動。配置螢幕可用以定義及維護處理配方。處理配方可依所需而加以儲存及更新。可針對如何產生、定義、分派及維護處理配方來提供使用說明及協助螢幕。

在一實施例中，熱處理系統 100 可包含：系統控制器 190，可包含處理器 192 及記憶體 194。記憶體 194 可耦合至處理器 192，並可用以儲存資訊以及待由處理器 192 所執行的指令。或者，可使用不同的控制器配置。此外，系統控制器 190 可包含：接口 195，可用以將熱處理系統 100 耦合至另一系統(未圖示)。又，控制器 190 可包含輸入及/或輸出裝置(未圖示)，以將控制器 190 耦合至熱處理系統 100 的其他元件。該輸入及/或輸出裝置可具有自與熱處理系統 100 整合之感測器發送與接收無線輸出訊號的能力。

此外，熱處理系統 100 的其他元件可包含在處理期間用以執行及/或儲存資訊及待執行之指令的處理器及/或記憶體(未圖示)。例如，記憶體可用以儲存在系統中之各種處理器執行指令期間的臨時變數或其他中間資訊。一或多個系統元件可包含用以自電腦可讀媒體讀取數據及/或指令的裝置。此外，一或多個系統元件可

包含用以將數據及/或指令寫入電腦可讀媒體的裝置。

記憶體裝置可包含至少一電腦可讀媒體，或用以容納電腦可執行指令及用以包含數據結構、表格、記憶或此文中所述之其他數據的記憶體。系統控制器 190 可使用來自電腦可讀媒體記憶體的數據，以產生及/或執行電腦可執行指令。熱處理系統 100 可施行本發明之方法的部分或全部，以回應系統控制器 190 執行被容納於記憶體中之一或多個電腦可執行指令的一或多個程序。此類指令可自另一電腦、電腦可讀媒體或網路連結所接收。

本發明之實施例包含儲存於電腦可讀媒體之任一者或組合上之熱處理系統 100 的控制軟體，用以驅動施行本發明實施例用之一裝置或複數裝置，並用以致使熱處理系統 100 與人類使用者及/或其他系統如工廠系統互動。此類軟體可包含但不限制為，裝置驅動軟體、操作系統、發展工具及應用軟體。此類電腦可讀媒體更包含本發明之程式產品，用以執行在施行本發明實施例時所使用之全部或部分(若處理為離散的)處理。

又，熱處理系統 100 之元件中的至少一者可包含圖型使用者介面(GUI)元件(未圖示)及/或資料庫元件(未圖示)。在另一實施例中，GUI 元件及/或資料庫元件並非必需。系統之使用者介面可經由網路使用，且可提供系統狀態及警報狀態的顯示。例如，GUI 元件(未圖示)可提供易使用的介面，讓使用者能夠：觀看狀態；產生並編輯處理控制圖；觀看警報數據；定義數據收集應用軟體之組態；定義數據分析應用軟體之組態；檢視歷史數據；檢查目前的數據；產生電子郵件警告；執行多變數模型；及觀看診斷螢幕。

圖 2 為根據本發明實施例之半導體熱處理系統 200 的一部份的部分切除示意圖。在所示之實施例中，顯示了爐管系統 205、排放系統 210、氣體供給系統 260 及控制器 290。爐管系統 205 可為熱處理系統 100 中之爐管系統 104，且系統 100 可包含系統 200 的其他元件。爐管系統 205 包含垂直位向之處理室(反應管 202)及圓柱形的金屬歧管 221，處理室 202 具有包含例如可由石英所形成

之內管 202a 及外管 202b 的雙重結構，而歧管 221 係設置在處理室 202 的下部上。內管 202a 係藉由歧管 221 所支撐且具有開放之上部。外管之下端以氣密方式密封至歧管 221 之上端的封閉上部。

在處理室 202 中，大量(例如，150)晶圓 W 係裝載至晶舟 223(晶圓支撐件)上，晶圓水平地在特定間隔下以架狀方式逐一向上堆疊。晶舟 223 經由熱絕緣圓柱(熱絕緣體)225 受支撐於一罩蓋 224 上，而罩蓋 224 係連接至移動裝置 226。

爐管系統 205 亦包含圍繞處理室 202 設置的加熱器 203，例如電阻器形式之加熱器。加熱器 203 可包含五階層加熱器 231-235。或者，可使用不同的加熱器配置。各個加熱器階層 231-235 彼此獨立地自相關的電源控制器 236-240 受到電能供給。加熱器階層 231-235 可用以將處理室 202 的內部分割為五個區域。

所示之氣體供給系統 260 係連接至控制器 290 及爐管系統 205。歧管 221 具有複數氣體饋送線路 241-243，以將處理氣體饋送至用以處理晶圓 W 之內管 202a 中。處理氣體可經由流量調整件 244、245、246(其可為質量流量控制器，MFCs)而饋送至各個氣體饋送線路 241、242、243。在另一或更進一步之實施例中，系統 260 可為液體供給系統 260。來自液體供給系統 260 的液體可被蒸發，以形成流經流量調整件 244、245、246 的處理氣體。

氣體排放線路 227 係連接至歧管 221，以經由內管 202a 與外管 202b 之間隙來進行氣體排放。氣體排放線路 227 係連接至包含真空泵浦的排放系統 210。包含可變位置閥件如閘閥或蝶形閥的自動壓力控制器 228 係插入至氣體排放線路 227 之中，以自動地控制處理室 202 中之氣體壓力。

在圖 2 所示之實施例中，半導體熱處理系統 200 包含複數非侵入式感測器 247a-247d、248a-248b、249a-249b 及 250a-250c，以感測及監測處理系統 200 之元件的處理狀態及熱處理系統 200 的總處理狀態。如此處所用之處理系統的元件代表：包含氣體饋送線路或氣體排放線路的氣體線路；自動壓力控制器；質量流量控

制器；真空泵浦等。感測器可用以施行連續、週期性或觸發性的感測。此外，感測器可用於空間或時間的感測。本發明之實施例考慮使用相同或不同感測器的陣列，包含用以量測光發射/吸收、溫度、振動、壓力、濕度、氣流、電壓或傾斜的感測器。許多感測器可輕易地被裝設而對熱處理系統 200 的現有系統元件產生最小的影響，或者，可在熱處理系統 200 之設計及建構期間被包含於其中。

在一實施例中，複數感測器係位於一系統元件的外表面上，例如感測器 247a-247d 係位於氣體排放線路 227 上。在另一實施例中，一感測器係位於複數系統元件之每一者的外表面上，例如，感測器 247a、248a、249a 及 250a 係分別位於排放線路 227、自動壓力控制器 228、排放系統 210 之真空泵浦及氣體饋送線路 242 上。在更另一實施例中，複數感測器係位於複數系統元件之每一者的外表面上，如圖 2 中所示。

此文中所用之處理系統 200 之元件的處理狀態可包含元件相對於基準操作條件的即時操作條件。在一實例中，處理狀態可為，可能會因為材料沈積物形成在氣體線路之內表面上而改變之氣體線路的傳導性。在另一實例中，包含一閥件之自動壓力控制器的處理狀態可為，閥件穩定其動作以回應增加或減少處理室 202 中之壓力之指令所需的時間。在更另一實例中，包含一閥件之自動壓力控制器的處理狀態可為閥件動作的方向(即，開啟或關閉閥件)或閥件的相對開啟或關閉。

根據本發明之實施例，複數感測器形成無線感測器網路，其可大幅地改善半導體製造商更有效率及更綜合地監測其系統元件、整個處理系統及半導體裝置製造處理的能力。無線感測器網路特別有利於不方便、有困難、有危險、需花高成本佈署有線感測器的應用。使用無線感測器網路來監測此類參數如振動及/或溫度可促進系統元件層級之系統處理「健康」的前攝、即時監測，並能夠減少未排程之維護及停機時間。

在習知的狀況下，來自系統元件如氣體線路、真空泵浦系統、自動壓力控制器及流量調整件等之感測器數據係受限於此些系統元件之製造商所提供為何。此外，數據速率為固定的，且解析度並不足以特徵化許多的系統層級事件。根據本發明之實施例，無線感測器可藉由降低為了使資訊同步化而使用連接裝置用之適當電纜所帶來的成本，以精簡安裝及擴展條件系維護解決方案所涉及的費用。又，無線網路感測器促進了製造資產的更佳、綜合管理，且無線感測器可用以提供較有成本效率的數據獲取並在網際網路或內部網路上提供廣泛散佈之系統元件或處理相關的即時資訊。

根據本發明之一實施例，無線感測器網路之感測器可包含加速計。例如，加速計感測器可為壓電式加速計，但可使用其他類型的加速計感測器。壓電式加速計在受到壓縮、收縮或受到剪力時會產生電荷輸出。在壓電式加速計中，一質量係固定在壓電晶體上，而壓電晶體則是裝設至加速計的外殼。當加速計的本體受到振動時，裝設在晶體上的質量由於慣性而欲在空間中維持靜止，因此壓縮及伸展壓電晶體。此力使得電荷產生，且由於牛頓定律($F=m*a$)，故此力會與加速度成比例。藉著使用整合電子元件可將電荷輸出轉換為低阻抗電壓輸出，或在電荷輸出壓電加速計中可使用電荷輸出來作為電荷輸出(單位為微微庫倫/克)。目前，最常見之可使用加速計為電容式微機電系統系(MEMS系)加速計，其特徵在於在電容器內移動且調變電容的碟。此電容會被偵測為變動電壓。根據本發明之一實施例，MEMS系之感測器可與無線電、處理器及記憶體整合。

振動訊號分析可在時域或頻域中完成。在時域中的振動特徵分析可包含型樣分析(analysis of patterns)、使用標準差特徵化振動特徵位準的統計分析、或型樣匹配用之子波。自感測器所收集的時域振動數據可使用傅立葉轉換而被轉換至頻域。接著，可比較已收集到的振動數據與利用相同組感測器所收集到的歷史或基準

數據。因此，對於校正標準而言，可重複性可比準確性更有用。

將加速計裝設至系統元件(例如，氣體線路 242 或自動壓力控制器 228)上的方法會影響其頻率響應。安裝的自然頻率係直接取決於安裝的剛性。剛性愈高，則安裝自然頻率愈接近其最大值。例如，使用磁性安裝可獲得加速計的低剛性安裝，而使用鎖緊至安裝於硬平坦表面上之校正轉矩的高抗拉固定螺絲可獲得高剛性安裝。

實例：在處理室中之壓力控制期間自動壓力控制器的振動特徵

圖 3 為根據本發明一實施例之具有無線感測器網路之自動壓力控制器 228 的示意圖。在所示實例中，加速計感測器 248a、248b、248c 係設置用以監測自動壓力控制器 228 的振動訊號，以回應在處理氣體 255 流動通過自動壓力控制器 228 期間增加或減少自自動壓力控制器 228 上游之氣體壓力的指令。例如，氣體壓力可介於自 1.5 Torr 至 9 Torr 之範圍中。例如，加速計感測器 248a、248b、248c 可用以感測及量測 x、y、z 振動。

例如，自動壓力控制器 228 可為來自德州 Huffman 之 Valve & Equipment Consultants, Inc. 的 CKD VEC 氣動驅動閘閥。自動壓力控制器 228 通常在自動壓力控制下操作以到達設定點之壓力，但其亦可在全開/全關控制下操作。藉由在壓力控制期間監測自動壓力控制器 228 的振動訊號，可高準確性地判斷出自動壓力控制器 228 的條件改變，包含閘動作方向(即，閘閥之開啟或關閉)、閘閥的相對開啟及閘閥之開啟/關閉動作(包含全開啟及全關閉動作)所需的時間。

在一實例中，自動壓力控制器 228 之振動訊號的監測可用以測量自所欲開啟/關閉設定點的偏移。若所欲之閘開啟/關閉位置不正確，則可產生誤差訊號並採取適當的動作。換言之，振動訊號可用以測量自動壓力控制器 228 之期望位置及自動壓力控制器 228 之真實位置間的誤差。此測量方法可較藉由自動壓力控制器

228 之電子元件對自動壓力控制器位置的習知控制更靈敏，且誤差訊號及自動壓力控制器 228 的真實位置可被中繼至操作者以採取適當的動作。

在另一實例中，材料沈積物及/或粒子形成在自動壓力控制器 228 的內表面上可能會使自動壓力控制器 228 「濕黏」，此現象隨著時間的推移可能會因此摩擦力增加而改變全面或部分關閉或開啟所需的時間。自動壓力控制器 228 之處理狀態的此改變可藉由無線感測器網路所感測及監測到。

為了模擬圖 2 中之氣體排放線路 227 之堵塞的各種程度，將具有不同孔(通孔)數目(因此具有不同的傳導)的固體凸緣插入至氣體排放線路 227 與自動壓力控制器 228 之間。接著在固定氣體流量下減少/增加自動壓力時自動壓力控制器 228 的操作期間，針對不同的凸緣測量自動壓力控制器 228 的振動訊號。接著比較測量到的振動訊號與使用「全開」凸緣(代表無堵塞)的設定。不同固體凸緣具有 2、4 或 6 孔，其中具有 2 孔之凸緣模擬最嚴重的堵塞，而具有 4 孔之凸緣模擬最輕微的堵塞等。結果係顯示於圖 4A-4D 中。

圖 4A-4D 顯示了根據本發明之壓力控制期間自自動壓力控制器 228 的振動訊號。振動訊號係在自 6 Torr 至 3 Torr 之自動壓力控制期間藉由圖 3 中之無線加速計感測器所測量。振動訊號係顯示為來自無線加速計感測器 248b 的壓力輸出，其為經過時間之計數(100 計數=1 秒)的函數。

圖 4A 顯示了使用包含 2 孔之固體凸緣自 6 Torr 至 3 Torr 之壓力控制期間的振動訊號 410。在時間記號 412 處，自系統控制將氣體壓力自 6 Torr 減少至 3 Torr 的指令被中繼至自動壓力控制器 228。在時間記號 414 處，由已不存在來自自動壓力控制器 228 之高於雜訊位準的振動來看，壓力已穩定。介於時間記號 412 與 414 之間的振動特徵 410' 係與自動壓力控制步驟期間自動壓力控制器 228 之荒阜的作動相關。振動特徵 410' 具有約 17.5 秒的時間長度。

在圖 4A 中，時間記號 412 與 414 的位置可藉由標準數學技術來決定。在一實例中，在振動訊號 410 的開始處，可計算振動訊號 410 中之雜訊的標準差，在時間記號 412 處之振動特徵 410' 的開始判斷振動訊號 410 的振動振幅在何時會是雜訊之標準差的三倍。類似地，自振動訊號 410 的末端可及時反向判斷時間記號 414。

又，在振動特徵 410' 內之子部可被識別出並用於型樣辨識。例如，子部之時間長度及振幅可被用來決定子部的形狀及適合訊號包絡(signal envelope)的形狀。若取樣頻率夠高，則振動特徵 410' 內的子波可用以識別相較於基準圖型的鈴響圖型(ringing patterns)及子波數目。

圖 4B-4D 顯示了分別使用具有 4 孔之凸緣(圖 4B)、具有 6 孔之凸緣(圖 4C)及「全開」凸緣(圖 4D)自 6 Torr 至 3 Torr 之壓力控制期間之振動訊號 430、450、470。在圖 4B 中，介於時間記號 432 與 434 之間的振動特徵 430' 具有約 2.5 秒之時間長度。在圖 4C 中，介於時間記號 452 與 454 之間的振動特徵 450' 具有約 1.7 秒之時間長度。在圖 4D 中，介於時間記號 472 與 474 之間的振動特徵 470' 具有約 1.2 秒之時間長度。振動特徵 410'、430'、450'、470' 之比較顯示：較低的傳導(增加堵塞)導致了振動特徵的較長長度。因此，振動特徵的長度係與壓力穩定的時間長度相關。除了具有不同的長度之外，振動特徵 410'、430'、450'、470' 具有不同的結構，包含頻率及振動強度。

圖 5A-5D 顯示了根據本發明另一實施例之壓力控制期間來自自動壓力控制器 228 的振動訊號。振動訊號係於自 3 Torr 至 9 Torr 之自動壓力控制期間所量測。實驗設定係與圖 4A-4D 中相同。圖 5A 顯示使用包含 2 孔之凸緣在自動壓力控制期間的振動訊號 510。在時間記號 512 處，自系統控制將氣體壓力自 5 Torr 增加至 9 Torr 的指令中繼至自動壓力控制器。在時間記號 514 處，壓力已穩定。介於時間記號 512 與 514 之間的振動特徵 510' 具有約 13 秒的時間長度。

圖 5B-5D 顯示了分別使用具有 4 孔之凸緣(圖 5B)、具有 6 孔之凸緣(圖 5C)及「全開」凸緣(圖 5D)於壓力控制期間來自自動壓力控制器的振動訊號 530、550、570。在圖 5B 中，介於時間記號 532 與 534 之間的振動特徵 530' 具有約 11.4 秒之時間長度。在圖 5C 中，介於時間記號 552 與 554 之間的振動特徵 550' 具有約 12.5 秒之時間長度。在圖 5D 中，介於時間記號 572 與 574 之間的振動特徵 570' 具有約 12.5 秒之時間長度。圖 5A-5D 顯示了振動特徵 510'、530'、550'、570' 之長度相對地對凸緣孔數不敏感。然而，振動特徵 510'、530'、550'、570' 具有不同的振動結構，包含頻率及振動強度，其可用以監測氣體線路傳導的變化。

實例：在全閥開啟及全閥關閉步驟期間自動壓力控制器的振動特徵

圖 6A-6B 顯示了根據本發明實施例分別自閥關閉位置之全閥開啟期間(圖 6A)及自全開啟位置之全閥關閉期間(圖 6B)來自自動壓力控制器 228 之振動訊號 610、620。振動訊號 610、620 係藉由使用取樣頻率 5 kHz 之無線加速計感測器 248b 所測量。振動訊號 610、620 係顯示為來自無線加速計感測器 248b 之電壓輸出，其為經過時間之計數(500 計數=1 秒)的函數。

圖 6A 顯示了包含振動特徵 610' 之振動訊號 610，介於時間記號 612 與 614 間之振動特徵 610' 具有 0.5 秒之時間長度。圖 6B 顯示了包含振動特徵 620' 之振動訊號 620，介於時間記號 622 與 624 間之振動特徵 620' 具有 1 秒之時間長度。振動特徵 610' 之特徵在於靠近時間記號 612 與 614 之尖銳振動特色。然而，振動特徵 620' 之特徵在於靠近時間記號 622 之寬廣振動特色及靠近時間記號 624 之尖銳振動特色。

根據本發明之一實施例，振動特徵 610' 與 620' 間的差異可用以決定自動壓力控制器 228 之閥件是否正在自關閉位置進行全開或是正在自全開位置進行全關閉。又，可比較振動特徵的持續時間與基準持續時間，以決定振動特徵的持續時間是否由於例如自

自動壓力控制器中之材料沈積物而增加摩擦力而隨著時間改變。在一實例中，在閥開啟或閥關閉期間之振動特徵之持續時間的改變可能會影響其中快速閥開啟或閥關閉對於同步化氣體流動而言相當重要的處理。此外，若振動特徵之持續時間相較於基準持續時間存在著變化，則真實處理條件可能會不同於期望的處理條件。例如，自全開啟位置之不完全關閉可導致氣體的小量滲漏，其可影響處理室中的氣體濃度。

實例：在處理氣體流動期間之氣體線路的振動特徵

在某些氣體條件下，在半導體製造系統(例如，圖 2 中之熱處理系統 200)中經由氣體線路所建立的處理氣體流量可發展出高位準之雜訊及擺動。例如，經由氣體供給線路 242 或氣體排放線路 227 之處理氣體流可引起導致氣體線路中之振動的駐波，若發生聲共振或結構共振則可被大幅地增強。潔淨的氣體線路在處理氣體流過系統元件時可產生基準振動特徵，且氣體線路之振動特徵的改變可代表氣體線路及整體處理系統的動態特性的改變(例如，在氣體線路中形成了材料沈積物)。該改變可被分析並與基準振動特徵比較，以診斷處理系統中的漂移或故障俾採取適當的修正措施。

圖 7A-7B 為根據本發明之一實施例之具有無線感測器網路之氣體饋送線路 242 的示意透視圖。例如，氣體饋送線路 242 可為 4 英吋直徑的鋼管，且可具有任何形狀。如參照圖 2 中所示，無線加速計感測器 250a-250c 可設置在氣體饋送線路 242 的外部上，以在處理氣體 255 流至內管 202a 時監測來自氣體饋送線路 242 的振動訊號。當處理氣體 255 流過圖 7A 中之潔淨氣體饋送線路 242 時，自無線加速計感測器 250a-250c 的振動訊號測量來決定基準振動特徵。由每一感測器 250a-250c 所測量的振動特徵可由彼此及由存在於氣體饋送線路 242 上的其他振動(例如，來自於熱處理系統 200 中之真空泵浦及其他機械裝置的振動)來解耦合。雖然顯示加速計感測器 250a-250c 係裝設至氣體饋送線路 242 之線性部分上，但此並非為必須，加速計感測器 250a-250c 之一或多者可被裝設在

氣體饋送線路 242 之一或多個非線性部分上。或者，可使用不同數目及/或類型之感測器。

氣體饋送線路 242 所常遇到的問題為，由於材料沈積物累積於氣體饋送線路之內壁上而造成線路的堵塞。在線路中材料沈積累積的通常位置包含了直角彎折處、加熱較少或未加熱的區域、及遠離處理室 202 的位置。藉由處理氣體流經氣體饋送線路所產生的振動、藉由真空泵浦或自動壓力控制器所產生的振動、或手動引發的振動，可被感測、監測及判斷出累積在氣體饋送線路 242 中的材料。

圖 7B 概略地顯示了藉由處理氣體流經氣體饋送線路 242 所造成之形成於氣體饋送線路 242 之內表面上的材料沈積物 252。例如，材料沈積物 252 可自化學氣相沈積(CVD)處理之處理氣體流動所造成。在一實例中，處理氣體 255 可包含金屬前驅物如 $\text{Hf}(\text{OBU})_4$ ，且材料沈積物 252 之累積可由於 $\text{Hf}(\text{OBU})_4$ 前驅物在氣體饋送線路 242 中經時過早分解所造成。在另一實例中，材料沈積物 252 可為氮化物如 SiN 。材料沈積物 252 的存在降低了氣體饋送線路 242 的有效內直徑且增加了氣體饋送線路的總質量，藉此改變了經過氣體饋送線路 242 之氣流 255 的特性及由處理氣體流 255 所產生及由無線加速計感測器 250a-250c 所量測到的振動特徵。又，氣體饋送線路 242 的質量增加可減少基本振動頻率的振幅或其諧波。如圖 7B 中所示，材料沈積物 252 的厚度可沿著氣體饋送線路 242 的長度作變化，藉此導致了加速計感測器 250a-250c 所測量到的不同振動特徵。可比較振動特徵與基準值及所決定的材料沈積位準。例如，基準值可包含閾值(包含歷史閾值)。

圖 8A-8B 為根據本發明另一實施例之具有無線感測器網路之氣體饋送線路的示意透視圖。在圖 8A-8B 中，氣體饋送線路 242 更包含設置在氣體饋送線路 242 之外表面上的振動源 256。例如，振動源 256 可為超音波振動源，用以在氣體饋送線路 242 中產生能夠被無線加速計感測器 250a-250c 感測及監測到的振動。材料沈

積物 252 的存在可改變振動源所產生且由加速感測器 250a-250c 所感測及監測到的振動特徵。由振動源 256 及氣流 255 所產生的振動訊號可利用標準數學分析方法來解耦合。

參照回圖 2，在另一或更一實施例中，四個感測器 247a-247d 係設置在氣體排放線路 227 之外部上。例如，感測器 247a-247d 可測量氣體排放線路 227 的溫度及/或振動。或者，可使用不同數目及/或類型的感測器。感測器 247a-247d 可對應至氣體排放線路 227 上的預定裝設圖型來加以設置。類似地，如參照圖 7A-7B 所示，在氣體排放線路 227 之內表面上所累積的材料沈積物減少了氣體排放線路 227 的有效內直徑(因此減少了傳導)，並增加了氣體排放線路 227 的總質量，藉此改變了流過氣體排放線路 227 之廢氣的特性以及由廢氣所產生且由加速計感測器 247a-247d 所測量到的振動特徵。此外，氣體排放線路 227 之內部表面上的材料沈積物形成及/或粒子形成可增加粒子逆流進入處理室 202。根據本發明之一實施例，氣體排放線路 227 更可包含設置在氣體排放線路 227 之外部表面上的超音波振動源(未圖示)。

根據本發明之實施例，振動特徵的改變可用以估計氣體饋送線路或氣體排放線路中的堵塞程度。此堵塞程度的估計可接著被用來較佳地管理處理系統的維護排程。在一實施例中，當已估計了堵塞程度時，可決定在施行系統維護(例如，處理系統之清理)前施行額外的沈積處理。

根據本發明之一實施例，在氣體線路如氣體饋送線路或氣體排放線路上所施行之振動測量，可顯示處理系統之處理室中的系統元件處理狀態或一事件。例如，在氣體線路上所測量到的振動訊號可用以偵測包含晶圓的基板支持件是否存在於處理室中，以及存在多少片晶圓。此類偵測可提供額外程度的安全及處理控制。

根據本發明之另一實施例，在氣體線路如氣體饋送線路或氣體排放線路上或真空泵浦上所施行的振動測量，可用以偵測真空泵浦的處理狀態以及真空泵浦的總健康及行為。

根據本發明之另一實施例，氣體饋送線路及氣體排放線路兩者的振動特徵可相關於處理室的行為及/或處理氣體流量，且可顯示出應採取的適當動作。為了比較，若僅測量氣體饋送線路或氣體排放線路之振動特徵，可採取不同的動作。

根據本發明之一實施例，在圖 2-8 中所示之例示性感測器 247a-247d、248a-248c、249a-249b、250a-250c 可為微塵系感測器 (motes)，其可作為建立無線感測器網路的平臺。微塵系感測器 (motes) 為感測應用之開放硬體/軟體平臺。微塵平臺係由四個基本的元件所構成：電源、計算器、感測器(例如，加速計或溫度感測器)及通訊裝置。利用此些元件，一微塵系感測器(mote)便能夠自治及與其他微塵系感測器(motes)內部連接。微塵系感測器(motes) 為具有無線電連結且自己自足、由電池供電的電腦，此使其能夠彼此通訊及交換數據、將數據傳輸至所欲之目的地如一腦、及自我組織成為特定網路。

使用微塵系感測器(motes)來形成無線感測器網路允許感測器的輕易佈署、提供添加及替換感測器的彈性，並允許實體或邏輯地定義感測器叢集作為虛擬叢集。當無線感測器網路被裝設至處理系統之元件上時，可藉由基於處理系統之元件的處理系統知識的硬體定義來定義無線感測器網路的組態。此外，可在硬體層級處(實體重新定義組態)或軟體層級處(邏輯或虛擬重新定義組態)動態地重新定義無線感測器網路的組態。

使用微塵系感測器(motes)形成無線感測器網路允許使用各種不同的感測器並收集綜合的感測器數據。已收集之數據可提供關於處理系統之效能或條件的洞察，包含關於處理系統之效能或條件的直接或已增強/已處理情資。數據可藉由短、中或長期的數據收集所獲得，且可自在空間或時間上分散的感測器所獲得。此外，數據可自類似或不類似感測器之叢集在相同或不同速率下受到取樣所獲得。又，使用微塵系感測器(motes)，在需要時可提供處理系統之識別及替換適當元件的新方法。此係由於相較於使用較普

通之方法而無法精確指出問題的先前方法，本發明使用了數目較多的感測器。

關於半導體處理系統之效能或條件的資訊更能增加處理系統之特性之監測及結果分析的細節。此可包含增加處理系統之效能或條件預測的準確度及信心值。預測處理系統之效能或條件除了增加維護及服務處理系統的效率外，能夠監測正常的系統效能並識別處理系統之處理狀態的漂移或驟然的故障。又，對於處理系統之效能或條件的更詳細瞭解可有助於選擇、添加及配置額外的感測器。

根據本發明之實施例，在半導體處理系統上使用微塵系感測器(motes)及無線感測器網路提供了到目前為止尚未被使用之各種新式數據的收集方法。根據待施行的處理，此新式數據可基於位在處理系統上之單一或數個關注點附近之不同類型的微塵系感測器(mote)。例如，可在一關注點處收集溫度數據，但在另一關注點處收集振動數據。在另一實例中，可自位於單一關注點附近的相同或相似類型的感測器收集數據並提供多餘資料。在更另一實例中，可自位在數個關注點處之相同或相似類型感測器收集數據，藉此提供處理系統之效能或條件或處理系統之元件在特定瞬間時的快照。

無線感測器網路可包含複數微塵系感測器(mote)感測器，此些感測器可具有網狀網路(mesh network)、星形網路(star network)、叢集網路(cluster network)或其他網路組態。根據本發明之一實施例，施加先進網路技術至量產的無線感測器如微塵系感測器(mote)可形成一新型的監測系統，其中該網路其實成為了感測器。在一實例中，感測器可連續地監測系統元件的處理狀態，且當感測器訊號超過閾值時可將一詢問發送至系統控制器(例如，電腦)，其中詢問的時間點可不受控制器支配而藉由感測器網路來加以控制。微塵系感測器(motes)特性、多跳(multihop)網路能力能夠佈署以往所無法佈署的大量網路感測器。此提供了更接近物理現象的感測

並伴隨著較以往所能達到者更高的粒化(granularity)。此外，新穎的軟體致使由感測器所收集到的原始數據即使是在離開網路前亦能受到各種方式的分析。

圖 9 為根據本發明一實施例之無線感測器網路配置的示意圖。例示性之無線感測器網路(WSN)902 為網狀網路，其包含了：複數無線感測器 906，設置在處理系統的一或多個元件上，每個無線感測器 906 包含感測器 906a 及 motes 906b。無線網路 902 可與伺服器 904 交換感測器訊號。由於微塵系感測器(motes)906b 的數據處理能力，在將感測器訊號(數據)擷取至伺服器(控制器)904 作更進一步之處理及分析前，無線感測器網路 902 可至少對感測器訊號作部分處理。感測器訊號可用以診斷及預測半導體處理系統之系統元件的處理動態及總條件，包含預測處理系統中之任何潛在的退化或漂移及任何驟然的故障。

至於軟體，微塵系感測器(motes)平臺可使用 TinyOS，其為無線嵌入式感測器網路用之開放源、小事件驅動式(event-driven)操作系統，支持有效率、模組化及同步強化(concurrency-intensive)操作。在其最基本的層級處，TinyOS 為排程者，管理其各種模組化元件的活動並管理微塵系感測器(mote)上的能量。網路層及選路層(routing layer)屬於 TinyOS 系的上部中以提供多跳功能。無線網路在起動上為自我組織型，且具有修復故障連結及繞過故障節點的機制。

為了廣泛地佈署無線感測器網路，必須相對簡單地利用網路上的低帶寬負載來自網路擷取數據。例如，TinyDB 為可用以擷取數據的資料庫系統。在其最基本的層級處，TinyDB 可將不同類型的無線感測器網路轉變為具有使用者親和力及處理系統之資訊的資料庫。TinyDB 藉由讓使用者只要藉由以 SQL(一種常見的資料庫語言)貼出簡單的詢問便能夠收集相同的資訊，而大幅地簡化了數據擷取處理。經由圖型化使用者介面(GUI)，軟體敘述了可用的感測器讀數。同時，TinyDB 的宣告式查詢語言讓使用者能夠描述

所欲之數據而毋需告訴軟體如何獲得該數據。接著將該查詢發送至預先安裝在每一微塵系感測器(mote)上的 TinyDB 的查詢處理器。若微塵系感測器(mote)碰巧正在中繼與一陌生查詢相關的訊息，則其簡單地要求發送該信息的鄰近微塵系感測器(mote)給予該查詢的副本，故其亦可收集數據。一旦查詢受到執行，TinyDB 自動地自網路擷取數據，並將其拋入習知的資料庫。接著可使用標準工具及形象化技術來分析該資訊。

每一感測器可提供某種形式的識別，以允許控制器分辨正在報告(即，發送訊號)的感測器。識別方法可包含廣播獨特的位址調(address tone)或位元序列(bit sequence)、以預先分派的時槽(time slot)來廣播、或以分配的頻率來廣播。

根據本發明之一實施例，微機電系統(MEMS)可用以形成各種可為針尺寸的感測器，例如加速計感測器、溫度計及低能量的無線電元件。MEMS 可用以結合感測器、邏輯及在感測器位置處的計算能力。

參照回圖 2，控制器 290 可用以控制處理參數，如處理氣體的溫度、氣體流量、及處理室 202 中的壓力。控制器 290 可自感測器 247a-247c、248a-248b、249a-249b、250a-250c 接收輸出訊號，且可將輸出控制訊號發送至自動壓力控制器 228 及流量調整件 244、245、246。此外，控制器 290 可接收爐管系統 205 中之溫度感測器(未圖示)的輸出訊號，並可將輸出控制訊號發送至電能控制器 236-140。在申請於 2005 年 9 月 1 日之美國專利申請案號 11/217,276 名為「Built-In Self-Test(BIST) for a Termal Processing System」的申請案中敘述了一種使用爐管 205 中之溫度感測器即時監測熱處理系統的方法，將其所有內容包含於此作為參考。

設定、組態及/或操作資訊可為控制器 290 所儲存，或自操作者或另一控制器如控制器 190(圖 1)所獲得。控制器 290 亦可使用歷史數據來決定在正常處理期間應採取的動作及在異常條件時應採取的動作。

控制器 290 可決定處理何時暫停及/或停止，及當處理被暫停及/或停止時已完成者為何。此外，控制器 290 可決定何時改變一處理及如何改變該處理。又，控制器 290 規則可基於處理系統之動態狀態來決定何時允許系統操作改變。

在一實施例中，控制器 290 可包含：處理器 292 及記憶體 294。記憶體 294 可連接至處理器 292，且可用以儲存資訊及處理器 292 待執行之指令。或者，可使用不同的控制器配置。此外，系統控制器 290 可包含一接口 295，其可用以將控制器 290 連接至另一電腦及/或網路(未圖示)。又，控制器 290 可包含輸入及/或輸出裝置(未圖示)，以將控制器連接至爐管系統 205、排放系統 210 及氣體供給系統 260。

記憶體 294 可包含至少一電腦可讀媒體或記憶體，以容納根據本發明實施例之教示所程式化的電腦可執行指令，並以容納數據結構、表格、規則及其他此文中所述之數據。控制器 290 可使用來自電腦可讀媒體記憶體之數據，以產生及/或執行電腦可執行指令。爐管系統 205、排放系統 210、氣體供給系統 260 及控制器 290 可施行本發明實施例之方法的部分或全部，以回應被容納於記憶體中之一或多個電腦可執行指令之一或多個程序。此類指令可由控制器自另一電腦、電腦可讀媒或網路連結所接收。

儲存在電腦可讀媒體之任一者或組合上的本發明實施例包含：用以控制爐管系統 205、排放系統 210、氣體供給系統 260 及控制器 290 的軟體；用以驅動施行本發明用之單一裝置或複數裝置；及用以致使系統元件中之一或多者與人類使用者及/或其他系統互動。此類軟體可包含但不限制為：裝置驅動軟體、操作系統、發展工具及應用軟體。此類電腦可讀媒體更包含本發明之電腦程式產品，用以施行在施行本發明時所用之處理的全部或一部分(若處理為離散的)。

控制器 290 可包含 GUI 元件(未圖示)及/或資料庫元件(未圖示)。在其他實施例中，GUI 元件及/或資料庫元件並非必須。系統

之使用者介面可經由網路使用，且可提供系統狀態及警報狀態的顯示。例如，GUI 元件(未圖示)可提供易使用的介面，讓使用者能夠：觀看狀態；產生並編輯圖；觀看警報數據；定義數據收集應用軟體的組態；定義數據分析應用軟體的組態；檢視歷史數據；檢查目前的數據；產生電子郵件警告；觀看/產生/編輯/執行動態及/或靜態模型；及觀看診斷螢幕，以更有效率地進行問題分析、診斷及報告。

圖 10 顯示了根據本發明一實施例之半導體處理系統之系統元件之處理狀態的監測方法的簡化流程圖。

在步驟 1002 中，將複數(即兩或更多個)之非侵入式感測器設置在處理系統中欲監測之一或多個系統元件的外表面上。例如，非侵入式之感測器可為形成無線感測器網路的微塵系加速計感測器及/或熱偶感測器。

在步驟 1004 中，自步驟 1002 之無線感測器網路中的感測器獲得感測器訊號。感測器訊號追蹤在處理氣流與處理系統中之一或多個系統元件接觸期間受監測系統元件中之至少一者之處理狀態的逐漸或驟然改變。在一實例中，氣體線路的處理狀態可與氣體線路(如氣體排放線路或氣體饋送線路)的傳導成比例，其中傳導可由於材料沈積物形成於氣體線路的內表面上而改變。在另一實例中，包含一閥件的自動壓力控制器的處理狀態可為其使閥件穩定其動作所需的時間，此動作係用以回應處理室中壓力增加或減少的指令、閥件動作的方向(即，閥件的開啟或關閉)、或閥件的相對開啟或關閉。

在步驟 1106 中，自無線感測器網路將感測器訊號擷取至識別、儲存及處理該感測器訊號的系統控制器。已處理後的訊號可用以建議線路的動作，包含：調整處理參數、或基於歷史資料施行維護及修復、及其他預測方法。

在一實例中，感測器訊號可代表基準條件，例如不具材料沈積物時之自動壓力控制器的振動特徵。因此，自振動特徵之改變

可識別出基準條件的改變，以診斷自動壓力控制器的處理狀態並採取適當的動作。此類程序的自動化最後將改善維護方法。

除了感測、監測、診斷及預測獨立系統元件的處理狀態外，本發明之實施例更包含在處理來自系統元件之處理狀態的期間診斷及預測基板(晶圓)的處理條件。例如，由於材料沈積物 252 形成於氣體饋送線路 242 中所造成之氣體饋送線路 242 的傳導改變將導致由處理氣體 255 輸送至處理室 202 之前驅物(例如， $\text{Hf}(\text{OBu}^t)_4$)的量減少，因此在半導體晶圓 W 上將會形成厚度較薄的膜層。在另一實例中，由於材料沈積物及/或粒子形成在氣體排放線路 227 之內表面上而造成之氣體排放線路 227 的傳導改變可相關於自處理室 202 所移除之副產物的量以及形成在半導體晶圓 W 上之膜層的厚度。

因此，根據本發明實施例，基板處理條件及基板處理結果(例如，沈積膜厚或蝕刻膜厚)可相關於至處理室 202 的前驅物輸送及/或自處理室的副產物移除。因此，基板處理條件可受到調整，以達到所欲的基板處理結果，即，自無線感測器網路的資訊可用作為處理控制方法。

圖 11 顯示了根據本發明一實施例之半導體處理系統之基板處理條件之監測方法的簡化流程圖。

在步驟 1102 中，將複數之非侵入式感測器設置在處理系統中欲監測之一或多個系統元件的外表面上。例如，非侵入式之感測器可為形成無線感測器網路的微塵系加速計感測器及/或熱偶感測器。

在步驟 1104 中，自步驟 1102 之無線感測器網路獲得感測器訊號。感測器訊號追蹤在處理氣流與處理系統中之一或多個系統元件接觸期間受監測系統元件中之至少一者之處理狀態的逐漸或驟然改變。根據本發明之一實施例，該感測器訊號可為位於氣體線路如氣體饋送線路或氣體排放線路上之加速計感測器所感測及監測到的振動特徵，且該處理狀態可為氣體線路之內表面上之材

料沈積物的厚度。根據本發明之另一實施例，該感測器訊號可為位於氣體線路如自動壓力控制器或流量調整件上之加速計感測器所感測及監測到的振動特徵。

在步驟 1106 中，自無線感測器網路將感測器訊號擷取至儲存及處理感測器訊號的系統控制器。

在步驟 1108 中，使系統元件之處理狀態與處理系統之處理室中所施行之製造處理中的基板處理條件相關聯。

在步驟 1110 中，持續、中斷或調整製造處理以回應基板處理條件。

圖 12 為根據本發明一實施例之無線感測器網路結構圖。例示性之無線感測器網路結構包含複數(N)無線感測器網路叢集(WSNC)，而此複數叢集包含 WSNC #1 1200、WSNC #2 1230、及 WSNC #N 1240。WSNC #1-WSNC #N 與 WSNC 伺服器常駐程式(daemon)1220 交換數據，此 WSNC 伺服器常駐程式(daemon)1220 依次與客戶 1250(例如，網際網路系之客戶端)交換數據。

現將敘述 WSNC #1 1200 之子系統。子系統包含：系統元件 1202 上的感測器系統(一或複數感測器)；感測器訊號分析及分類模組 1204；GUI 及演算法模組 1206；用以選擇感測器叢集模組之叢集工具 1208；感測器數據儲存、開採及分析模組 1210；及群組控制器模組 1212。

如上所述，本發明之實施例考慮在系統元件 1202 上使用相同或不同感測器的陣列，包含：測量光發射/吸收、溫度、振動、壓力、濕度、氣流、壓力或傾斜的感測器。測量振動的感測器的實例為微塵系加速計感測器，而測量溫度的感測器的實例為微塵系熱偶感測器。

感測器數據儲存、開採及分析模組 1210 可用於使模組 1202 與群組控制器 1212 及模組 1210 互動，以收集及儲存原始及已處理之數據。考慮模組 1204 可提供針對半導體處理之最佳化方法及手段，而以多重格式檢視及分析數據及允許多變數分析。在一實

例中，感測器模組 1204 可施行可在時域或頻域(或兩者)上完成的振動特徵分析及分類。時域中的振動特徵分析可包含型樣分析、使用標準差特徵化振動訊號位準的統計分析、或型樣匹配用之子波。自感測器收集到的時域振動數據可使用傅立葉轉換而被轉換為頻域。因此，可比較收集到的振動數據與使用相同組感測器所收集到的歷史或基準數據。

GUI 及演算法模組 1206 代表無線系統結構的使用者介面。GUI 元件可提供便於使用的介面，致使使用者能夠：觀看狀態；產生並編輯處理控制圖；觀看警報數據；定義數據收集應用軟體之組態；定義數據分析應用軟體之組態；檢視歷史數據及新數據；產生電子郵件警告；執行多變數模型；及觀看診斷螢幕。GUI 及演算法模組 1206 可對感測器系統 1202 提供介面的功能。且施行程序包含藉由由感測器系統 1202 起動的事件及結果數據的分析。原始數據及/或已處理的數據接著被發送至感測器數據儲存、開採及分析模組 1210。數據分析允許產生可儲存在模組 1208 中的叢集感測器規則。

叢集工具模組 1208 包含用以叢集感測器用之規覓及施行細節。叢集的選擇可手動或自動地基於來自感測器系統 1202 及感測器訊號分析模組 1204 的數據。叢集的更進一步選擇可基於來自模組 1210 及/或來自 WSNC 伺服器常駐程式 1220 的歷史數據來加以選擇。

群組控制器 1212 可用以經由 WSNC 伺服器常駐程式 1220 將 WSNC #1 接合至其他無線感測器網路(例如，WSNC #2、...WSNC #N)，其中該接合可使用例如內部網路。WSNC 伺服器常駐程式 1220 可「聽從」來自客戶端 1250 的要求、處理要求及將感測器訊號的要求轉交給 WSNC #1 1200、WSNC #2 1230、...WSNC #N 1240 中的一或多者。WSNC 伺服器常駐程式 1220 可連續執行且常在背影中執行。當接收到感測器訊號時，WSNC 伺服器常駐程式 1220 可用以決定中繼至客戶端 1250 檢視的結果為何。客戶的

檢視可如應用程式所定義的來加以限制。WSNC 伺服器常駐程式 1220 的結果組態可包含感測器數據儲存模組 1210、叢集工具模組 1208 及/或感測器系統 1202。又，結果組態可在模組 1202-1212 之任一者或所有者處產生產生更進一步的動作，及產生傳播回 WSNC 伺服器常駐程式 1220 的結果，此結果可重新格式化資訊以呈現予客戶端 1250。資訊可為直接數據與已處理之數據的組合，以偵測及診斷處理系統中之漂移及故障，並採取適當的修正措施。

雖然以上僅就本發明的某些實施例作詳細敘述，但熟知此項技藝者當瞭解：在實質上不脫離本發明之新穎教示及優點下可在例示性實施例中進行許多修改。因此，所有此類修正應包含於本發明之範疇內。

【圖式簡單說明】

參考下列尤其是結合考慮了附圖之詳細敘述，將更完整地瞭解本發明及本發明的許多隨附優點。

圖 1 為根據本發明實施例之半導體熱處理系統的等視角圖。

圖 2 為根據本發明實施例之半導體熱處理系統之一部份的部分截取示意圖。

圖 3 為根據本發明實施例之具有無線感測網路之自動壓力控制器的示意圖。

圖 4A-4D 顯示了根據本發明實施例之壓力控制期間自自動壓力控制器的振動訊號。

圖 5A-5D 顯示了根據本發明另一實施例之壓力控制期間自自動壓力控制器的振動訊號。

圖 6A-6B 顯示了根據本發明實施例之自關閉閥件位置之全閥件開啟期間及自全開啟位置之全閥件關閉期間自自動壓力控制器的振動訊號。

圖 7A-7B 為根據本發明實施例之具有無線感測網路之氣體饋送線路的示意透視圖。

圖 8A-8B 為根據本發明另一實施例之具有無線感測器網路之氣體饋送線路的示意透視圖。

圖 9 為根據本發明一實施例之無線感測器網路配置的概圖。

圖 10 顯示了根據本發明一實施例之半導體處理系統之系統元件之處理狀態監測方法的簡化流程圖。

圖 11 顯示了根據本發明一實施例之半導體處理系統之基板處理條件監測方法的簡化流程圖。

圖 12 為根據本發明一實施例之無線感測網路架構的示意圖。

【主要元件符號說明】

- 100：熱處理系統
- 101：外殼
- 102：載具
- 103：晶舟
- 104：垂直式熱處理爐管(室)
- 104a：爐管開口
- 105：分隔件(隔牆)
- 106：入口
- 107：載具傳送區
- 108：座臺
- 109：感測器機構
- 110：架狀儲存部
- 111：載具放置部(傳送座臺)
- 112：載具移轉機構
- 112a：舉升機構
- 112b：舉升臂
- 112c：傳送臂
- 113：開口
- 115：槽口對準機構

- 117：罩蓋
- 118：擋件
- 119：晶舟放置部(晶舟臺)
- 119a：第一放置部
- 119b：第二放置部
- 122：轉移機構
- 123：臂
- 124：裝載區
- 190：系統控制器
- 192：處理器
- 194：記憶體
- 195：接口
- 200：半導體熱處理系統
- 202：處理室(反應管)
- 203：加熱器
- 202a：內管
- 202b：外管
- 205：爐管系統
- 210：排放系統
- 221：金屬歧管
- 223：晶舟
- 224：罩蓋
- 225：熱絕緣圓柱(熱絕緣體)
- 226：移動裝置
- 227：氣體排放線路
- 228：自動壓力控制器
- 231-235：加熱器
- 236-240：電源控制器
- 241-243：氣體饋送線路

- 244-246：流量調整件
- 247a-247d：非侵入式感測器
- 248a-248b：非侵入式感測器
- 249a-249b：非侵入式感測器
- 250a-250c：非侵入式感測器
- 252：材料沈積物
- 255：處理氣體流
- 256：振動源
- 260：氣體供給系統/液體供給系統
- 290：控制器
- 292：處理器
- 294：記憶體
- 295：接口
- 410：振動訊號
- 410'：振動特徵
- 412：時間記號
- 414：時間記號
- 430：振動訊號
- 430'：振動特徵
- 432：時間記號
- 434：時間記號
- 450：振動訊號
- 450'：振動特徵
- 452：時間記號
- 454：時間記號
- 470：振動訊號
- 470'：振動特徵
- 472：時間記號
- 474：時間記號

- 510：振動訊號
- 510'：振動特徵
- 512：時間記號
- 514：時間記號
- 530：振動訊號
- 530'：振動特徵
- 532：時間記號
- 534：時間記號
- 550：振動訊號
- 550'：振動特徵
- 552：時間記號
- 454：時間記號
- 570：振動訊號
- 570'：振動特徵
- 572：時間記號
- 574：時間記號
- 610：振動訊號
- 610'：振動特徵
- 612 時間記號
- 614：時間記號
- 620：振動訊號
- 620'：振動特徵
- 622 時間記號
- 624：時間記號
- 902：無線感測器網路(WSN)
- 904：伺服器
- 906：無線感測器
- 906a：感測器
- 906b：mote

- 1002 : 步驟
- 1004 : 步驟
- 1006 : 步驟
- 1102 : 步驟
- 1104 : 步驟
- 1106 : 步驟
- 1108 : 步驟
- 1110 : 步驟
- 1202 : 系統元件
- 1204 : 感測器訊號分析及分類模組
- 1206 : GUI 及演算法模組
- 1208 : 叢集工具
- 1210 : 感測器數據儲存、開採及分析模組
- 1212 : 群組控制器模組
- 1200 : WSNC #1
- 1220 : WSNC 伺服器常駐程式(daemon)
- 1230 : WSNC #2
- 1240 : WSNC #N 1240
- 1240 : 客戶
- W : 半導體晶圓

五、中文發明摘要：

本發明提供了用以非侵入式感測及監測半導體製造中所用之處理系統的一種監測系統及一種監測方法。本方法能夠偵測及診斷處理系統中的偏移及故障，並採取適當的修正措施。本方法包含：將複數非侵入式感測器的至少一者設置到半導體處理系統中之系統元件中的外表面上，其中至少一排侵入式感測器形成無線感測網路；自該至少一非侵入式感測器獲得感測器訊號，其中該感測訊號在處理氣體流與系統元件接觸的期間追蹤系統元件中之處理狀態的逐漸或驟然改變；及自該無線感測器網路擷取該感測器訊號以對該感測器訊號進行儲存及處理。在一實施例中，該非侵入式感測器可為加速計感測器，而該無線感測器網路可為微塵系(motes-based)。

六、英文發明摘要：

A method and system for non-invasive sensing and monitoring of a processing system employed in semiconductor manufacturing. The method allows for detecting and diagnosing drift and failures in the processing system and taking the appropriate correcting measures. The method includes positioning at least one non-invasive sensor on an outer surface of a system component of the processing system, where the at least one invasive sensor forms a wireless sensor network, acquiring a sensor signal from the at least one non-invasive sensor, where the sensor signal tracks a gradual or abrupt change in a processing state of the system component during flow of a process gas in contact with the system component, and extracting the sensor signal from the wireless sensor network to store and process the sensor signal. In one embodiment, the non-invasive sensor can be an accelerometer sensor and the wireless sensor network can be motes-based.

十、申請專利範圍：

1. 一種電腦可讀媒體，包含用以執行下列步驟的電腦可執行指令：

獲取感測器訊號，該感測器訊號在處理氣體於處理系統中流動的期間追蹤該處理系統之系統元件之處理狀態的逐漸或驟然改變，該感測器訊號源自於包含複數非侵入式感測器的無線感測器網路，該複數非侵入式感測器係設置於該一或多個系統元件的各個表面上；及

自該無線感測器網路擷取該感測器訊號以進行儲存及處理。

2. 一種半導體處理系統，其內部包含非侵入式監測系統，此半導體處理系統包含：

複數系統元件，用以使處理氣體流過該半導體處理系統；

無線感測器網路，包含設置在該複數系統元件中之一或多者之各個外表面上的複數非侵入式感測器，該感測器係用以獲取感測器訊號，該感測器訊號在該處理氣體於該處理系統中流動的期間追蹤該複數處理系統元件中之一者之處理狀態的逐漸或驟然改變；及

系統控制器，用以自該無線感測器網路擷取該感測器訊號，並儲存及處理該感測器訊號。

3. 如申請專利範圍第 2 項之半導體處理系統，其中該一或多個系統元件係選自氣體饋送線路、氣體排放線路、自動壓力控制器、流量調整件、或真空泵浦，或其組合。

4. 如申請專利範圍第 2 項之半導體處理系統，其中該複數非侵入式感測器係用以感測振動、溫度、光發射、光吸收、壓力、濕度、電流、壓力或傾斜中的至少一者。

5. 如申請專利範圍第 2 項之半導體處理系統，其中該複數非侵入式感測器中的一者包含微塵系感測器(motes)。

6. 如申請專利範圍第 2 項之半導體處理系統，其中該處理狀態包含該一系統元件相對於基準條件的即時條件。

7. 如申請專利範圍第 2 項之半導體處理系統，其中該處理狀態包含形成在該一系統元件之內表面上的材料沈積物的量。

8. 如申請專利範圍第 2 項之半導體處理系統，其中該處理狀態包含氣體線路在該處理期間相對於基準傳導的傳導量。

9. 如申請專利範圍第 2 項之半導體處理系統，其中該複數感測器中的至少一者包含加速計(accelerometer)感測器，而該感測器訊號包含振動特徵(vibrational signature)。

10. 如申請專利範圍第 9 項之半導體處理系統，其中該振動特徵包含自動壓力控制器在壓力控制步驟期間的振動。

11. 如申請專利範圍第 10 項之半導體處理系統，其中該壓力控制步驟包含壓力增加步驟或壓力減少步驟。

12. 如申請專利範圍第 9 項之半導體處理系統，其中該振動特徵包含自動壓力控制器在自關閉位置全開啟該自動壓力控制器的步驟或自開啟位置關閉該自動壓力控制器的步驟期間的振動。

13. 如申請專利範圍第 9 項之半導體處理系統，其中該振動特徵包含氣體線路回應該處理氣體流動通過該氣體線路的振動。

14. 如申請專利範圍第 2 項之半導體處理系統，其中該氣體線路包含氣體排放線路或氣體饋送線路。

15. 如申請專利範圍第 9 項之半導體處理系統，其中該振動特徵的時間長度係與形成在該一系統元件之內表面上之材料沈積物的量成比例。

16. 如申請專利範圍第 2 項之半導體處理系統，更包含：
使該一系統元件的該處理狀態與該處理期間的基板處理條件相關聯；及
連續、中斷或調整該處理以回應該基板處理條件。

17. 如申請專利範圍第 2 項之半導體處理系統，其中該複數感測器中的每一者對該系統控制器提供感測器識別方法以擷取該感測器訊號。

18. 如申請專利範圍第 2 項之半導體處理系統，其中該感測器訊號在受到擷取前，至少部分受到該無線感測器網路處理。

19. 如申請專利範圍第 2 項之半導體處理系統，其中該擷取包含將該感測器訊號傳送至該系統控制器。

20. 如申請專利範圍第 2 項之半導體處理系統，其中該半導體處理系統包含熱處理系統、蝕刻系統、單晶圓沈積系統、批次處理系統或光阻處理系統。

21. 如申請專利範圍第 2 項之半導體處理系統，其中該非侵入式感測器之至少一者包含與無線電、處理器及記憶體整合的 MEMS 感測器。

十一、圖式：

圖式

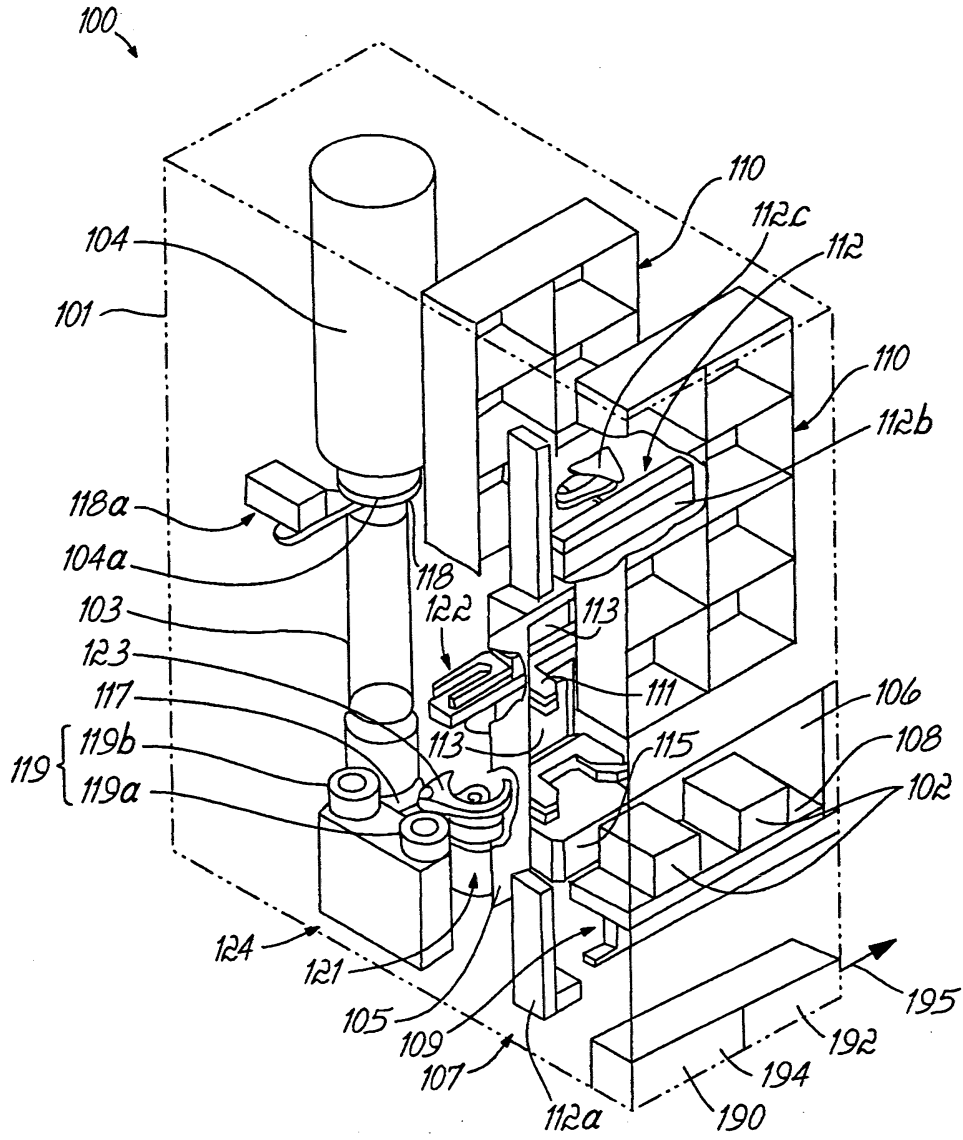


圖 1

圖式

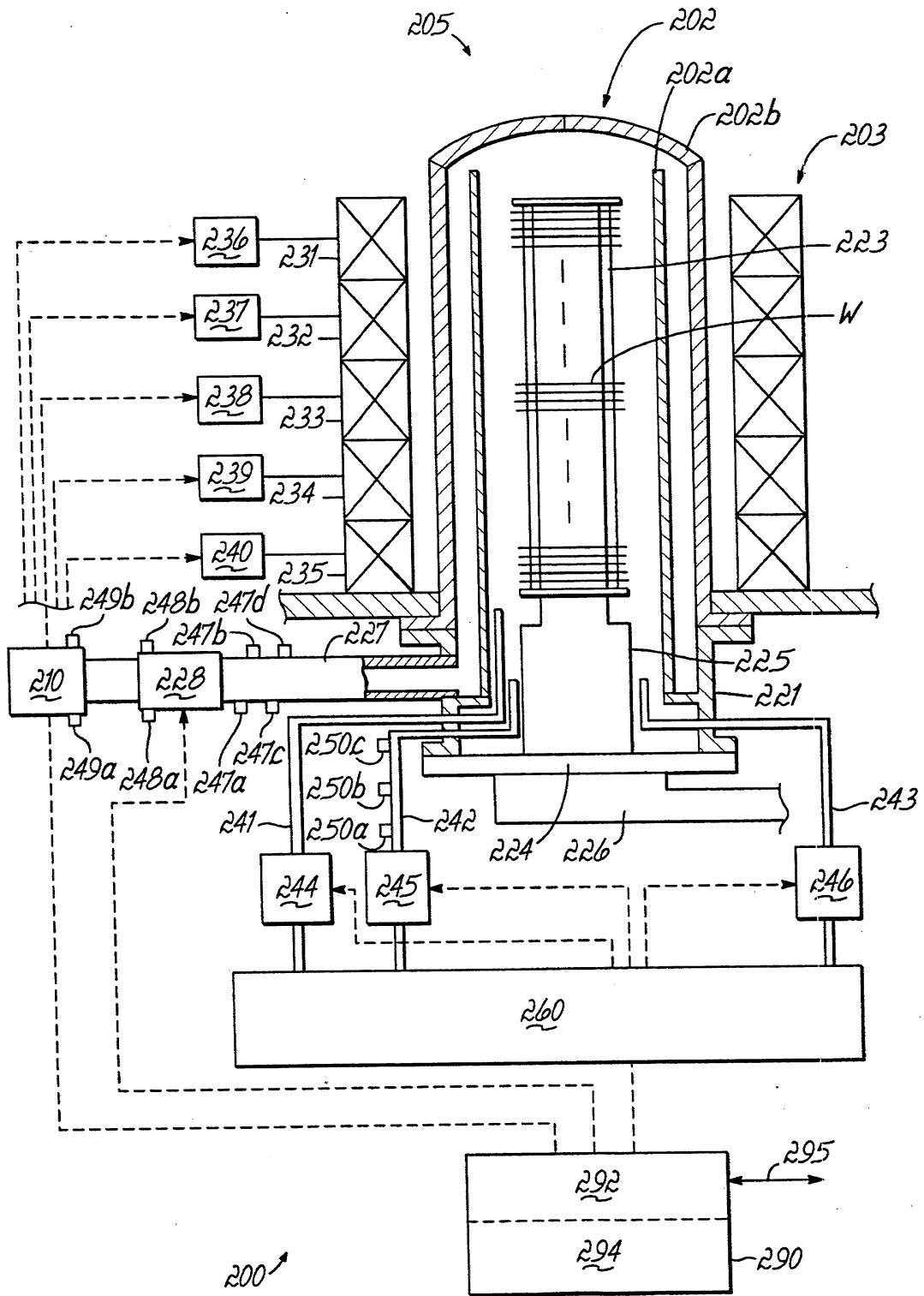


圖 2

圖式

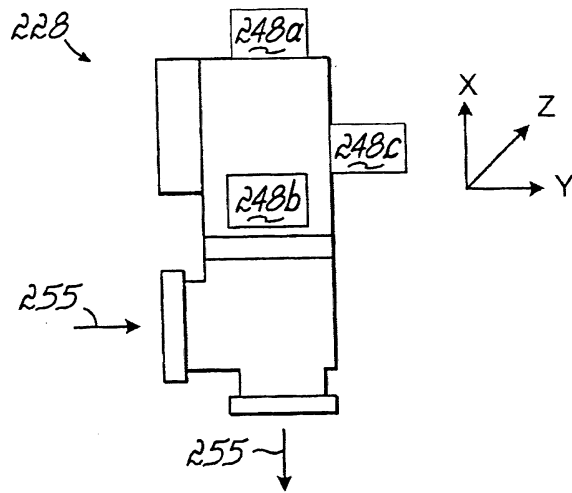


圖 3

圖式

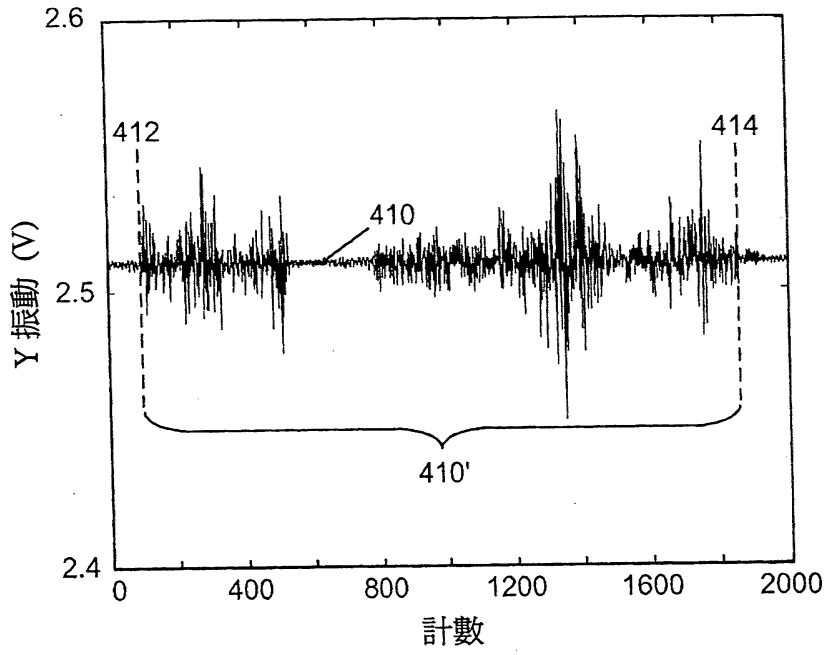


圖 4A

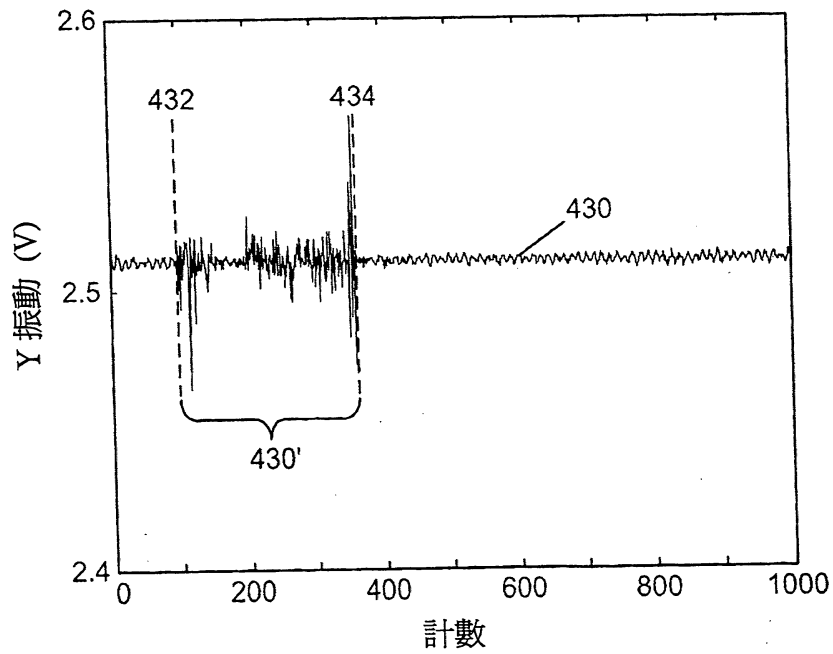


圖 4B

圖式

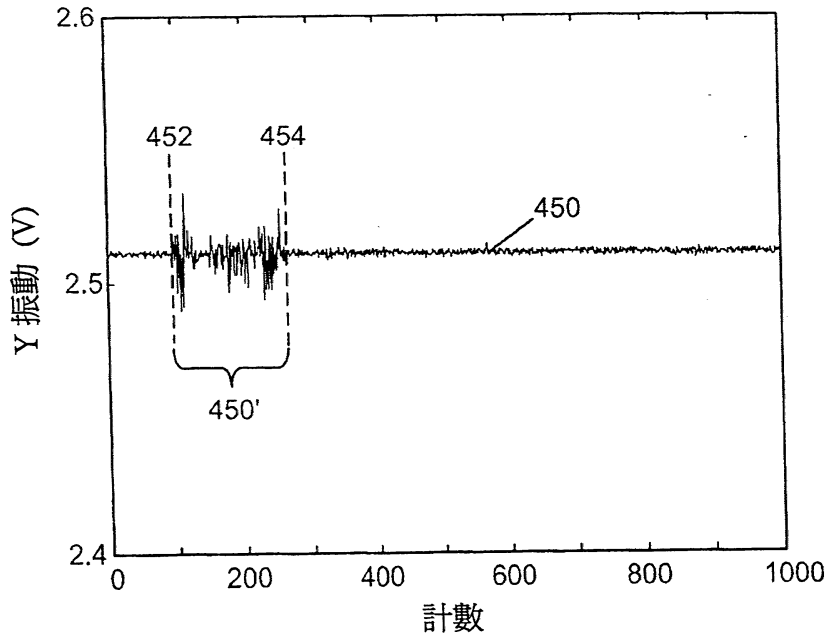


圖 4C

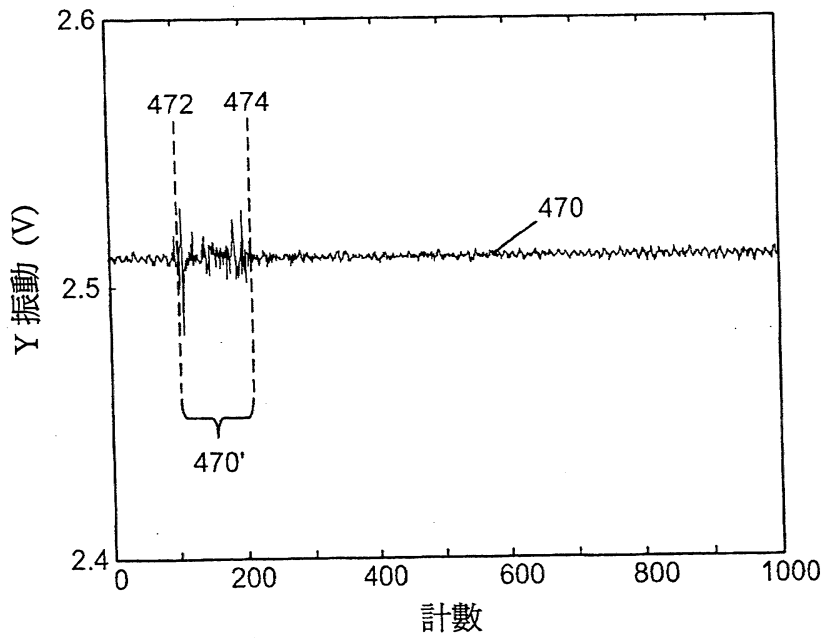


圖 4D

圖式

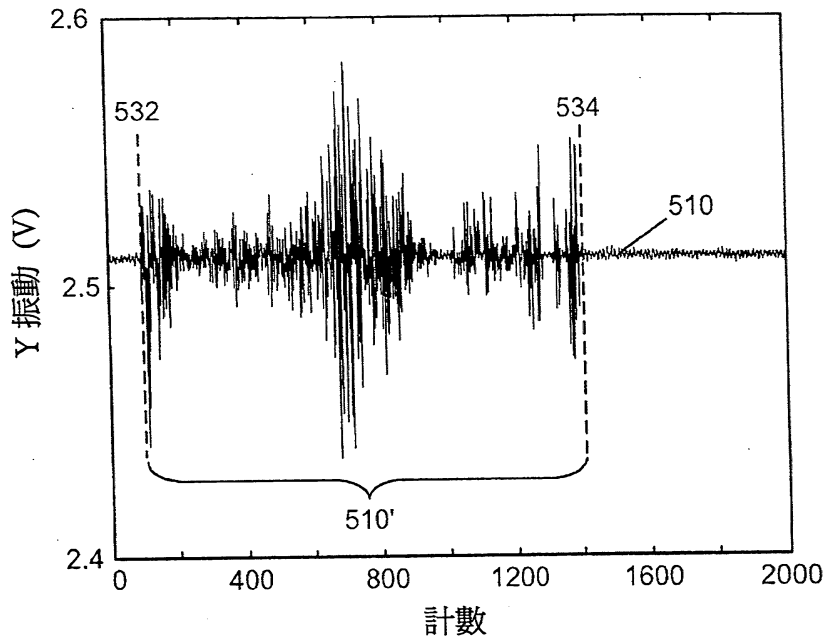


圖 5A

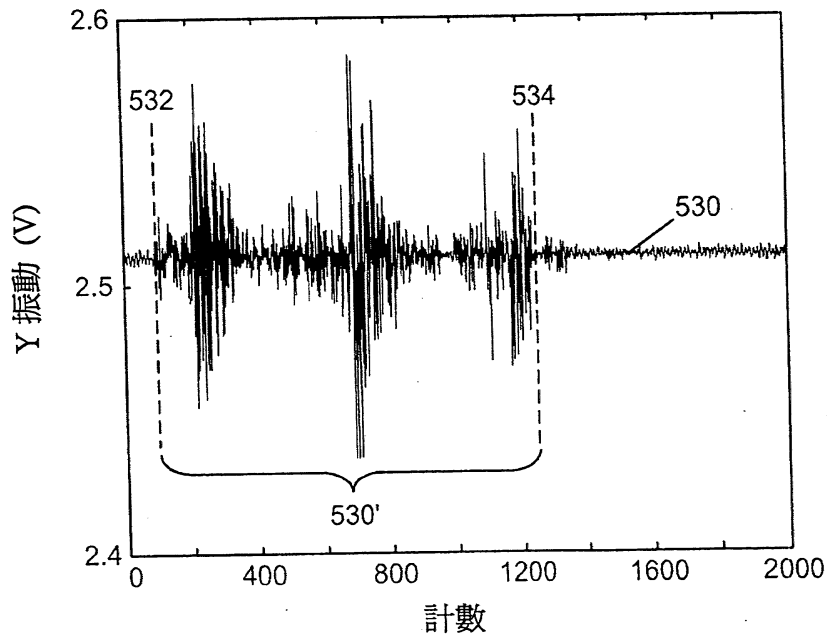


圖 5B

圖式

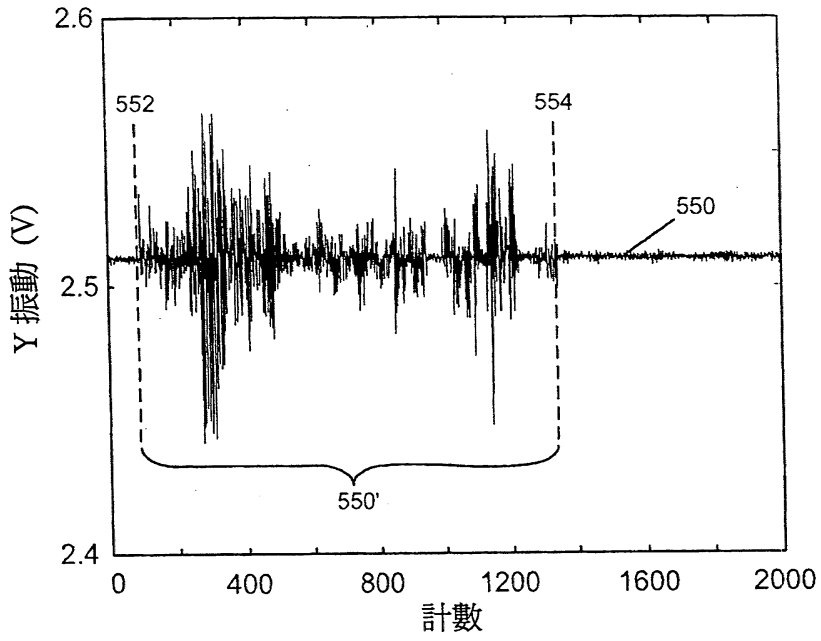


圖 5C

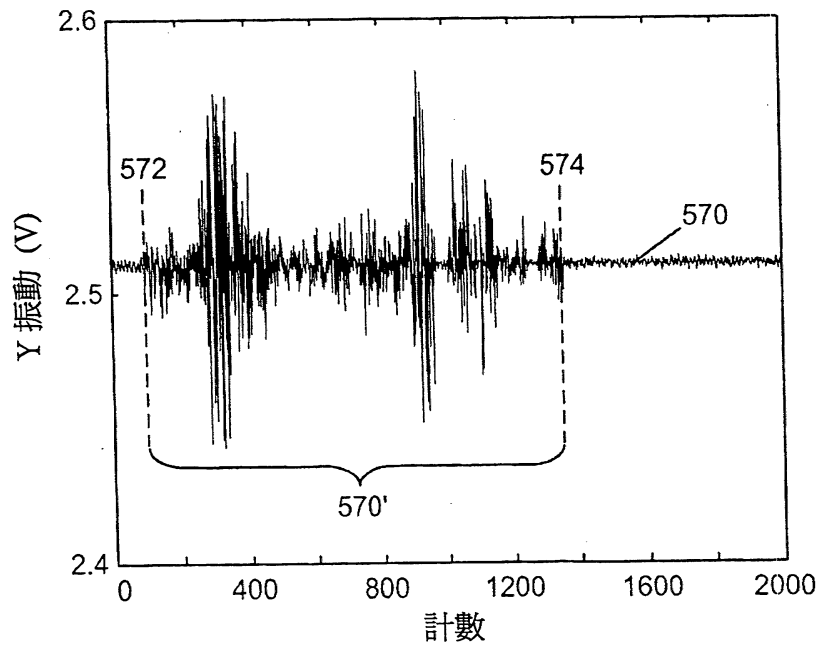


圖 5D

圖式

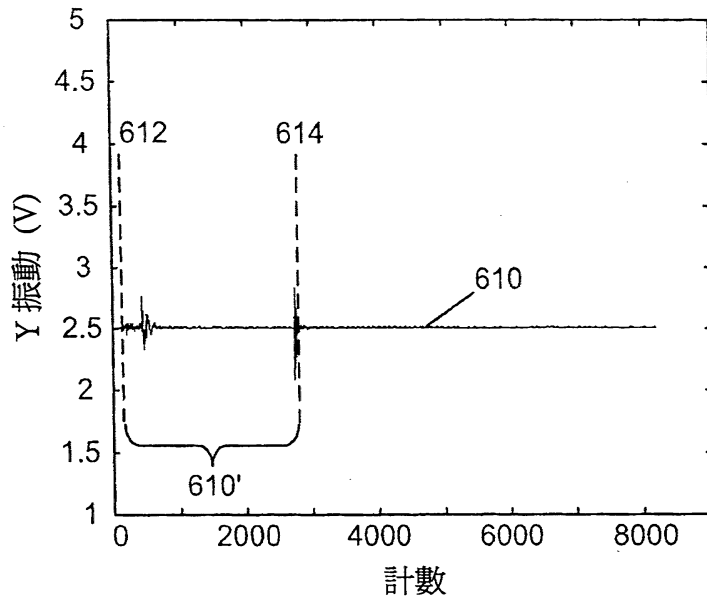


圖 6A

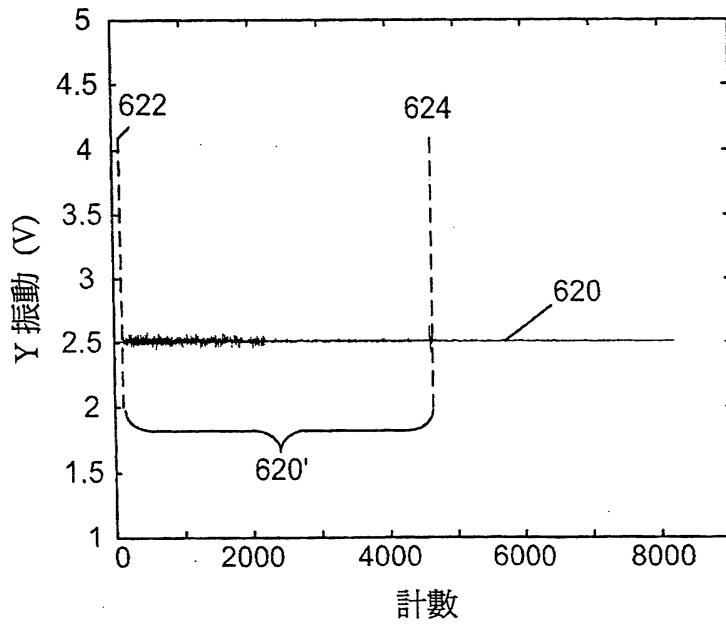


圖 6B

圖式

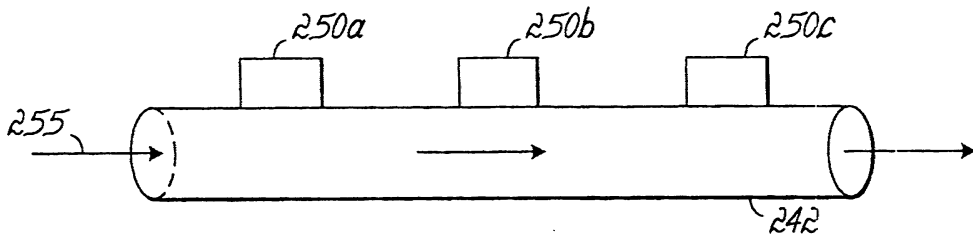


圖 7A

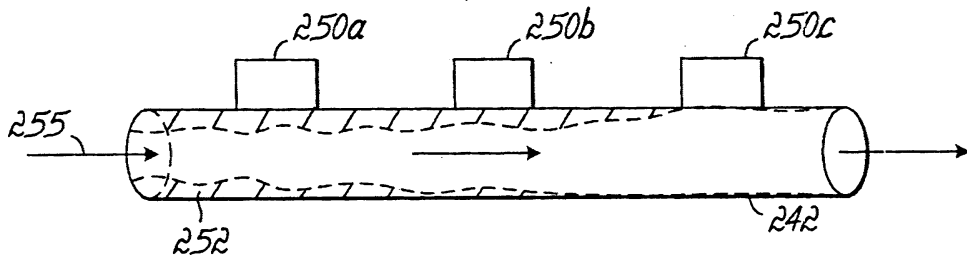


圖 7B

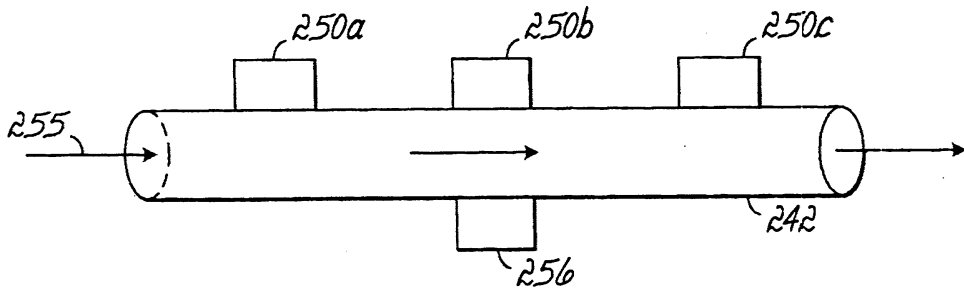


圖 8A

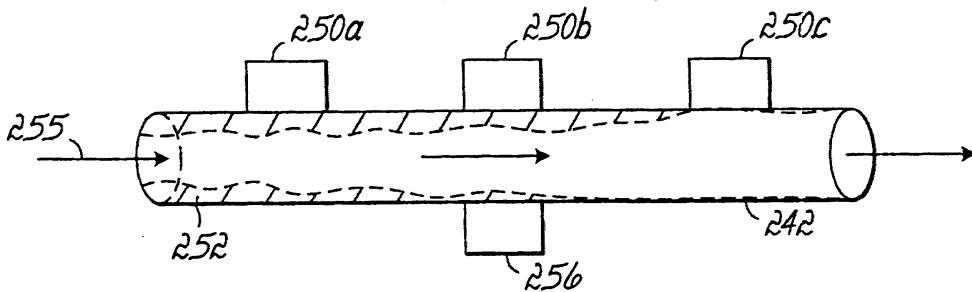


圖 8B

圖式

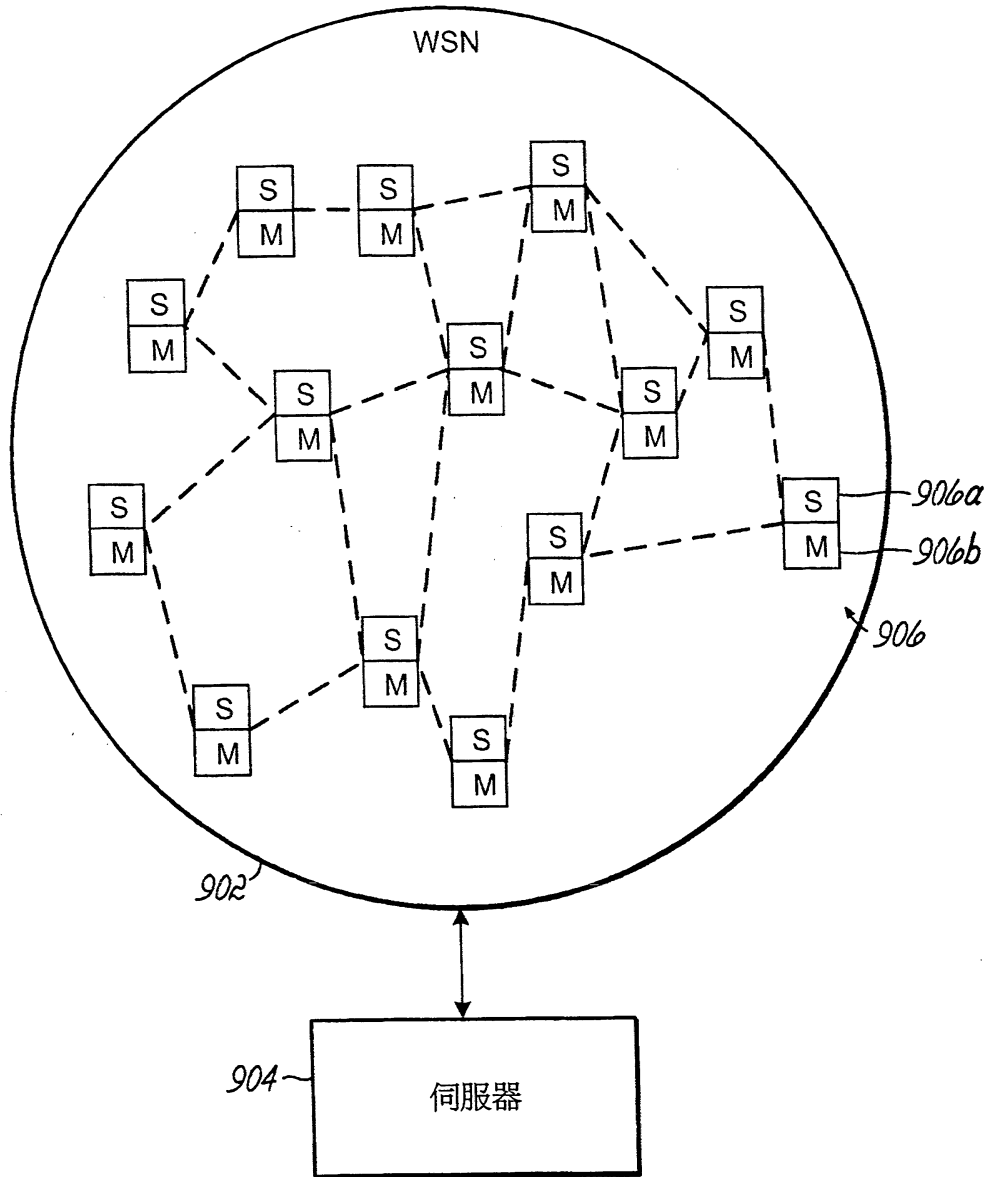


圖 9

圖式

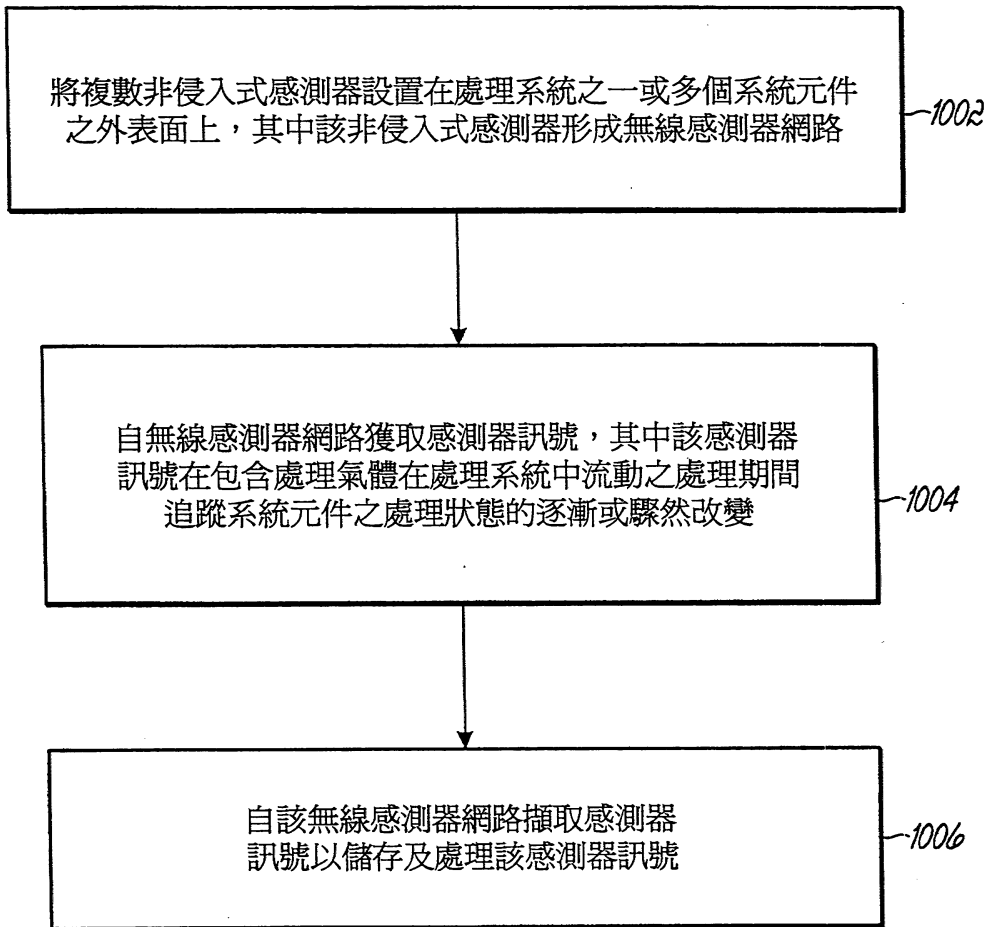


圖 10

圖式

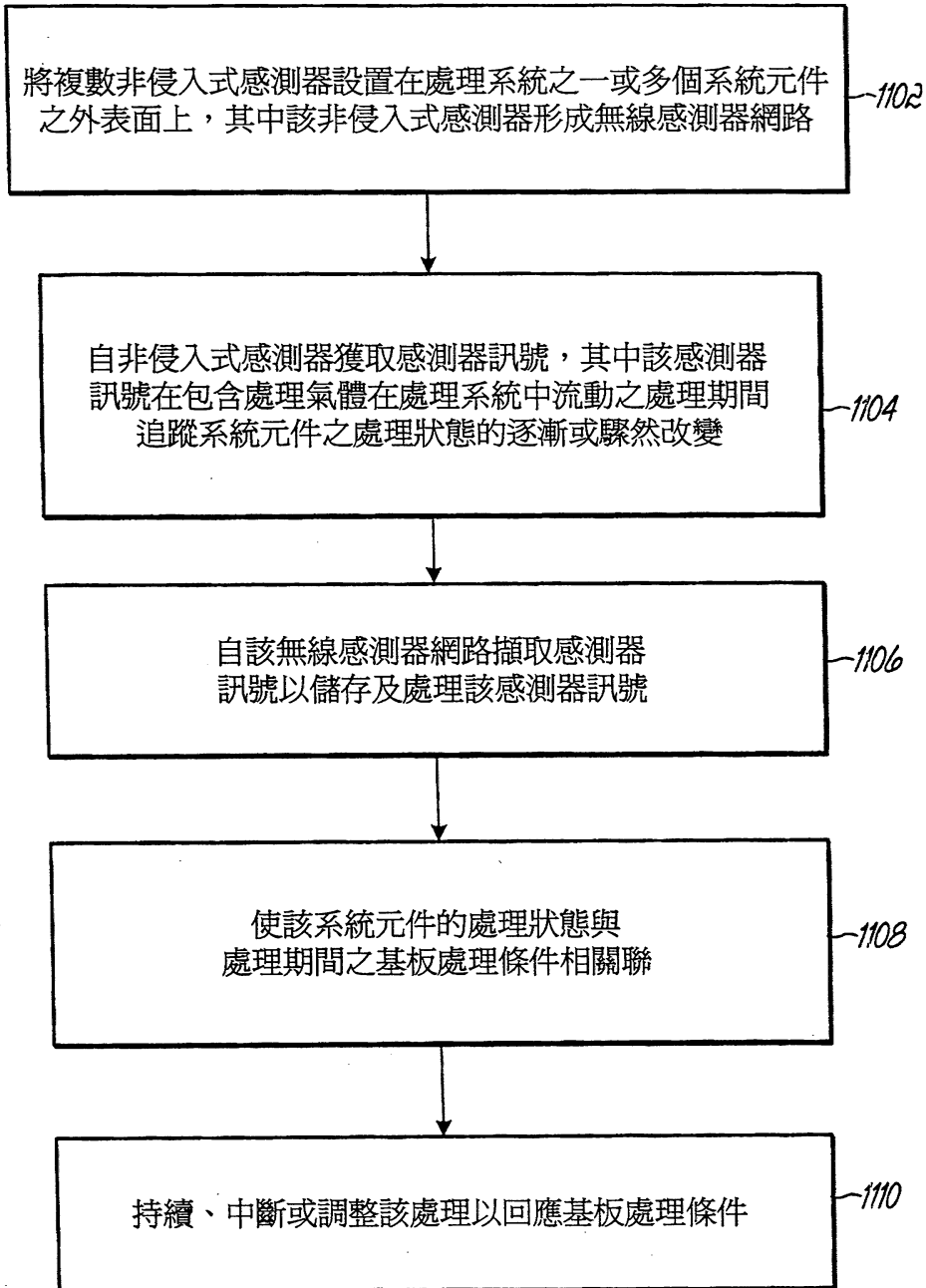


圖 11

圖式

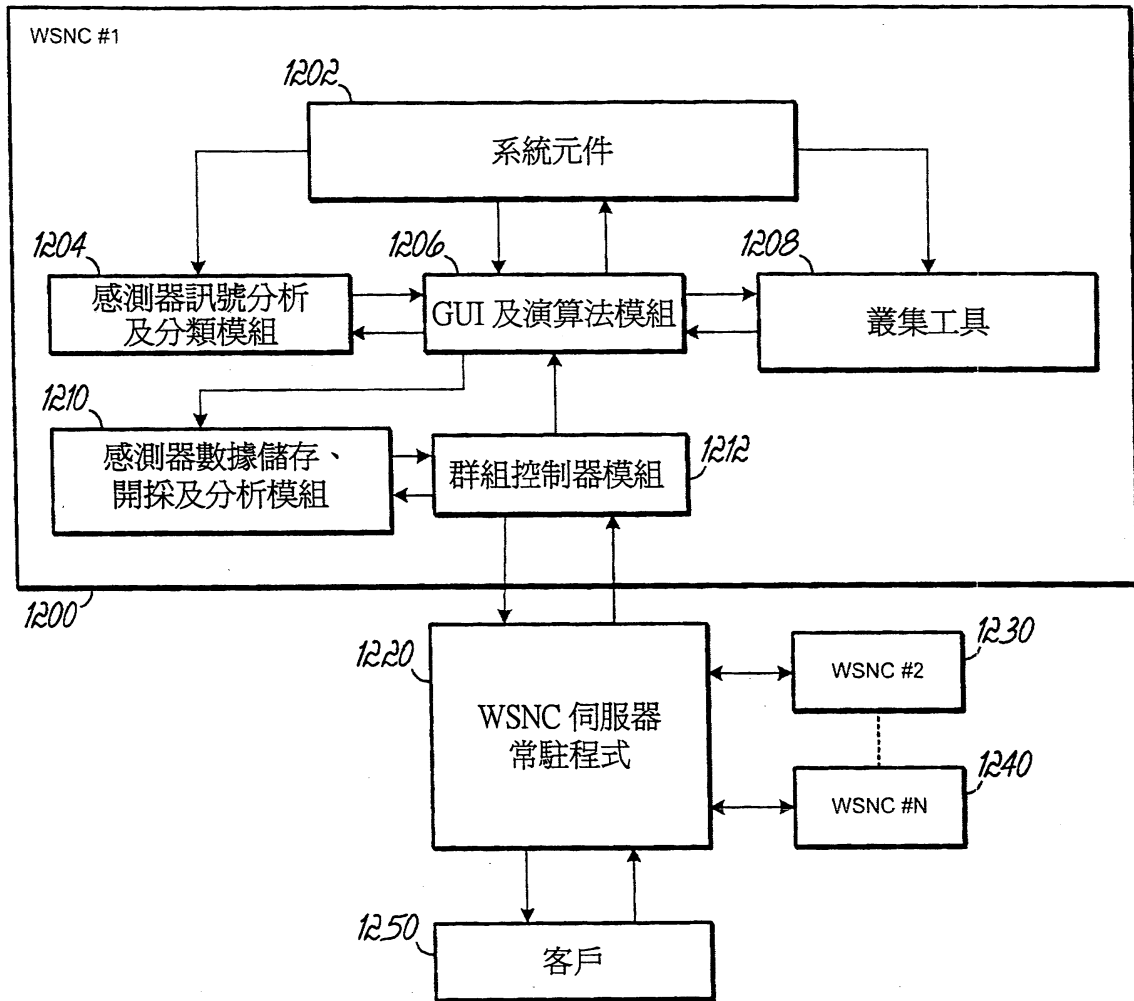


圖 12

七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 (10) 圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

1002：步驟

1004：步驟

1006：步驟

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

無。