



(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 I477938 B

(45)公告日：中華民國 104 (2015) 年 03 月 21 日

(21)申請案號：098120734

(22)申請日：中華民國 98 (2009) 年 06 月 19 日

(51)Int. Cl. : G05D7/06 (2006.01) G01F1/86 (2006.01)

(30)優先權：2008/06/20 美國 61/074,539

2009/06/03 美國 12/477,196

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

美國

(72)發明人：雲 岡蘇 YUN, GUNSU (US)；沙瑞夫 艾克柏 A SHAREEF, IQBAL A. (US)；喬治森 寇特 JORGENSEN, KURT (US)；察瑞頓 羅伯特 CHARATAN, ROBERT (US)

(74)代理人：許峻榮

(56)參考文獻：

US 2001/0029888A1

US 2002/0092564A1

US 2004/0031564A1

US 2006/0130649A1

US 2007/0181255A1

審查人員：吳柏鋒

申請專利範圍項數：15 項 圖式數：4 共 30 頁

(54)名稱

處方的質量流量控制器控制方案的確定方法和建立方法、及其最佳過衝強度之測定方法

METHODS FOR ASCERTAINING AND ESTABLISHING A MASS FLOW CONTROLLER CONTROL SCHEME FOR A RECIPE, AND METHOD FOR DETERMINING AN OPTIMAL OVERSHOOT STRENGTH THEREOF

(57)摘要

本發明提供一種處方的質量流量控制器(MFC, mass flow controller)控制方案的建立方法，在已提供一處方的情況下，該 MFC 控制方案係用以降低氣體輸送至處理室內的時間標度。該方法包括確認用於執行處方期間所使用之延遲的氣體種類組，其具有慢於目標輸送時間標度之一輸送時間組。該方法亦包括建立延遲的氣體種類組之各者的初始過衝強度及初始過衝期間。該方法更包含藉由在執行處方期間，調整各氣體種類的 MFC 硬體，而建立 MFC 控制方案。調整 MFC 硬體包括在初始過衝期間施加初始過衝強度，以測定 MFC 控制方案對於各氣體種類，是否提供落在處理室之平衡壓力之目標準確度內的壓力輪廓。

A method for establishing a mass flow controller (MFC) control scheme, which is configured for reducing a time scale for gas delivery into a processing chamber, for a recipe is provided. The method includes identifying a set of delayed gas species utilized during execution of the recipe with a set of delivery time slower than a target delivery time scale. The method also includes establishing an initial overshoot strength and an initial overshoot duration for each gas specie of the set of delayed gas species. The method further includes establishing MFC control scheme by adjusting an MFC hardware for each gas specie during the execution of the recipe. Adjusting the MFC hardware includes applying the initial overshoot strength

for the initial overshoot duration to determine if the MFC control scheme provides for each gas specie a pressure profile within a target accuracy of an equilibrium pressure for the processing chamber.

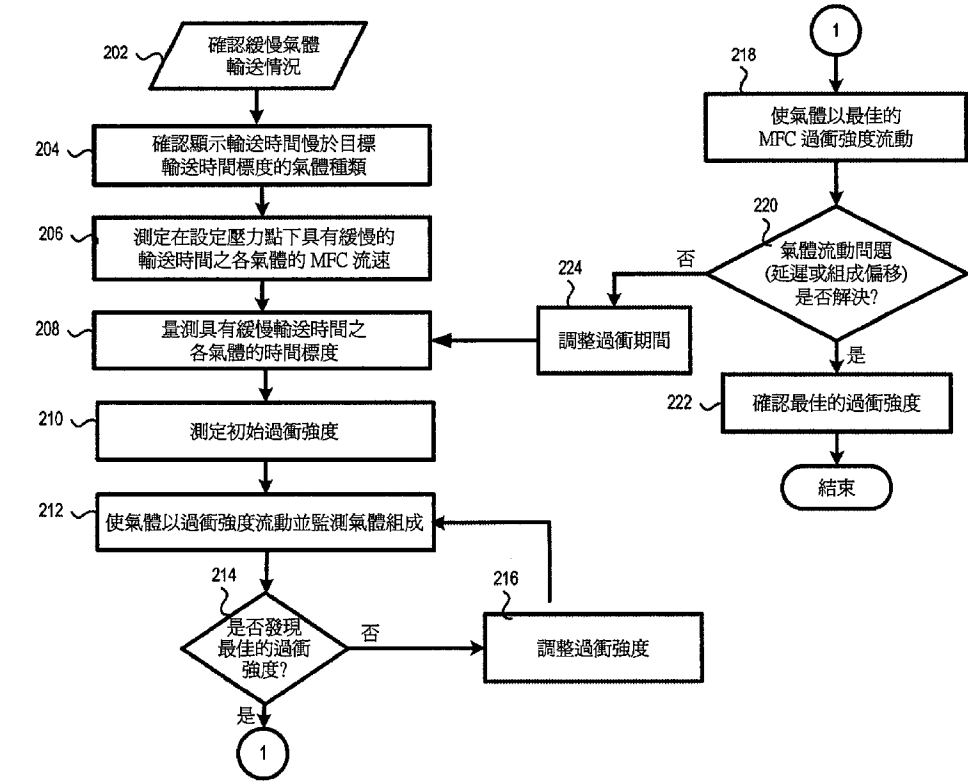


圖 2

202 . . . 確認緩慢的氣體輸送情況
204 . . . 確認顯示輸送時間慢於目標輸送時間標度的氣體種類
206 . . . 測定在設定壓力點下具有緩慢輸送時間之各氣體之MFC 流量
208 . . . 量測具有緩慢輸送時間之各氣體的時間標度
210 . . . 測定初始過衝強度
212 . . . 使氣體以過衝強度流動並監測氣體組成
214 . . . 是否發現最佳的過衝強度?
216 . . . 調整過衝強度
218 . . . 使氣體以最佳的 MFC 過衝強度流動
220 . . . 氣體流動問題(延遲或組成偏移)是否解決?
222 . . . 確認最佳的過衝強度
224 . . . 調整過衝期間
END . . . 結束

發明專利說明書

公告本

(本說明書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：98120734

※申請日：98.6.19

※IPC 分類：

G05D 7/06 (2006.01)

G01F 1/86 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

處方的質量流量控制器控制方案的確定方法和建立方法、及其最佳過衝強度之測定方法

METHODS FOR ASCERTAINING AND ESTABLISHING A MASS FLOW CONTROLLER CONTROL SCHEME FOR A RECIPE, AND METHOD FOR DETERMINING AN OPTIMAL OVERSHOOT STRENGTH THEREOF

二、中文發明摘要：

本發明提供一種處方的質量流量控制器(MFC, mass flow controller)控制方案的建立方法，在已提供一處方的情況下，該MFC 控制方案係用以降低氣體輸送至處理室內的時間標度。該方法包括確認用於執行處方期間所使用之延遲的氣體種類組，其具有慢於目標輸送時間標度之一輸送時間組。該方法亦包括建立延遲的氣體種類組之各者的初始過衝強度及初始過衝期間。該方法更包含藉由在執行處方期間，調整各氣體種類的MFC 硬體，而建立MFC 控制方案。調整MFC 硬體包括在初始過衝期間施加初始過衝強度，以測定MFC 控制方案對於各氣體種類，是否提供落在處理室之平衡壓力之目標準確度內的壓力輪廓。

三、英文發明摘要：

A method for establishing a mass flow controller (MFC) control scheme, which is configured for reducing a time scale for gas delivery into a processing chamber, for a recipe is provided. The method includes identifying a set of delayed gas species utilized during execution of the recipe with a set of delivery time slower than a target delivery time scale. The method also includes establishing an initial

overshoot strength and an initial overshoot duration for each gas specie of the set of delayed gas species. The method further includes establishing MFC control scheme by adjusting an MFC hardware for each gas specie during the execution of the recipe. Adjusting the MFC hardware includes applying the initial overshoot strength for the initial overshoot duration to determine if the MFC control scheme provides for each gas specie a pressure profile within a target accuracy of an equilibrium pressure for the processing chamber.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第(2)圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

- 202 確認緩慢的氣體輸送情況
- 204 確認顯示輸送時間慢於目標輸送時間標度的氣體種類
- 206 測定在設定壓力點下具有緩慢輸送時間之各氣體的
MFC 流量
- 208 量測具有緩慢輸送時間之各氣體的時間標度
- 210 測定初始過衝強度
- 212 使氣體以過衝強度流動並監測氣體組成
- 214 是否發現最佳的過衝強度?
- 216 調整過衝強度
- 218 使氣體以最佳的 MFC 過衝強度流動
- 220 氣體流動問題(延遲或組成偏移)是否解決?
- 222 確認最佳的過衝強度
- 224 調整過衝期間
- END 結束

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

(無)

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係關於氣體輸送進入處理室內之時間標度的控制方法。

【先前技術】

電漿處理的進展已促進半導體產業的成長。在競爭的半導體產業中，如果製造商能具有使生產量最大化及/或生產優質裝置的能力，那麼製造商可以獲得具競爭力的優勢。控制生產量的一個方法為控制進入處理室內的氣體流量。

典型上，關於基板處理，一種處方可能需要用到一種以上的氣體種類。理想上，在同一時間，這些氣體種類在處理室內被混合並達到一平衡壓力(例如設定壓力)。然而，數個因素可能造成氣體種類具有相異的時間標度(即輸送時間)。

可能影響氣體輸送時間的一個因素為氣體種類的質量。熟習本技藝者明瞭，具有較重分子量的氣體種類可能比具有較輕分子量的氣體種類移動的慢些。在低壓環境中，氣體種類之間的質量差異可能影響各氣體種類的流速。在低壓環境中，氣體流可能變成氣體分子，且各氣體種類可能變得實際上互相獨立。因此，氣體種類的分離可能發生，而導致在腔室之氣體組成的偏移。換言之，氣體種類可能在不同的時間達到平衡狀態。因此，各氣體的時間標度(例如輸送時間)可能不同。

可能影響氣體輸送時間標度的另一個因素為氣體管線的幾何形狀。如上述，處方可能需要用到一種以上的氣體種類，以施行基板處理。各氣體可自氣體管線流入混合歧管(主氣體管線)。各氣體管線的幾何形狀可能影響氣體的流動。例如，對於流經較長氣體管線的氣體而言，輸送時間將會較長。

若干處方可能具有低流量氣體與高流量氣體混合的情況。此種氣體輸送型態被認知為載體氣體驅動之輸送，其中高流量氣體(載體氣體)經由分子碰撞而驅動低流量氣體(處理氣體)流。為了使

處理氣體能進入載體氣體流動的混合歧管，處理氣體必須建立與混合歧管處之壓力可比擬的壓力。然而，如果載體氣體以高於處理氣體非常多的流速流動，對於處理氣體而言，則需要過長的時間來增進足夠的壓力，然後與載體氣體混合。在此情況下，載體氣體將在沒有攜帶處理氣體的狀態下到達處理室。因此，載體氣體將比處理氣體較早到達平衡狀態，而導致氣體組成偏移。

由前述可明瞭，因為氣體組成偏移可能導致非期望的結果。對於大多數的處方而言，當處理室內已達到壓力穩定時，基板處理就可能開始，而不管氣體組成偏移。在沒有適當的氣體混合物下施行基板處理，可能導致不合規格的裝置產生。其他處方則要求在處理開始之前，處理室內的各氣體種類需達到要求的平衡狀態。然而，所需的額外時間可能導致較長的處理時間，及較少的基板被處理。

【發明內容】

本發明在一實施例中係關於一種處方的質量流量控制器(MFC, mass flow controller)控制方案的建立方法，其中該 MFC 控制方案係用以降低氣體輸送至電漿處理系統之處理室內的時間標度。該方法包括確認在執行處方期間所使用之一延遲的氣體種類組，其具有一慢於目標輸送時間標度之輸送時間組。該方法亦包括為延遲的氣體種類組之各者建立一初始過衝強度，其中初始過衝強度為 MFC 流速增大之一倍數。該方法更包含測定延遲的氣體種類組之各者之初始過衝期間。初始過衝期間為一對 MFC 流速施加初始過衝強度的時間區間。該方法更亦包括藉由調整延遲的氣體種類組之各者之 MFC 硬體來執行處方以確認 MFC 控制方案，其中調整 MFC 硬體包括在初始過衝期間施加初始過衝強度，以測定 MFC 控制方案對於延遲的氣體種類組之各者，是否提供落於處理室之平衡壓力之目標準確度內的壓力輪廓。

上述之總結僅關於在此揭露之本發明之許多實施例之其一，且不意謂限制在申請專利範圍中提出之本發明之範疇。在本發明

之詳細說明中並結合隨附圖式，本發明之這些及其他特徵將更詳細的說明如下。

【實施方式】

本發明今將參考其如附圖所示之幾個實施例加以詳述。在接下來的敘述中，提出許多特定細節以提供對於本發明的全盤瞭解。然而，明顯地，熟習本技藝者應理解，本發明可在沒有部分或全部此等特定細節下被實施。在其他情況中，並未詳細敘述熟知的處理步驟及/或結構，以避免不必要地混淆本發明。

於此，各種實施例將敘述如下，這些實施例包含方法及技術。吾人應謹記，本發明亦可涵蓋製造之商品，包含電腦可讀取媒體，在其上儲存了可執行本發明技術之實施例的電腦可讀取指令。這些電腦可讀取媒體可例如包含：半導體、磁性、光磁性、光學、或其他形式之用於儲存電腦可讀取碼之電腦可讀取媒體。再者，本發明亦可涵蓋用於實行本發明之實施例的設備。此等設備可包含專用的及/或可編程的電路，以實行有關本發明之實施例的任務。此等設備的例子包含一般用途的電腦及/或適當編程之專用電腦裝置，且可包含電腦/計算裝置與專用/可編程的電路之組合，這些組合適於各種有關本發明之實施例的任務。

如上述，在先前技術中，在處理室已達到平衡狀態(即設定壓力點)之後，當一個以上之氣體種類流入處理室時，可能發生輸送延遲。因為不同的氣體種類可能在不同時間到達腔室，可能發生氣體組成的偏移。為便於討論，圖 1A 顯示氣體輸送系統之局部圖的簡要圖式。

處理工具 100 可包含輸送氣體進入處理室 114 內的氣體輸送系統。氣體輸送系統可包含主氣體管線 102(即混合歧管)及一個以上之氣體管線(104 或 106)。流經各氣體管線的氣體流可藉由質量流量控制器(MFC, mass flow controller)(例如 MFC 110 及 MFC 112)加以控制。

典型上，流入處理室 114 的氣體流係藉由來自高壓氣體混合

物與低壓處理室 114 之間的壓力差所驅動。處理室 114 的壓力係由一感測器所監控。根據感測器的讀值，真空幫浦 118 可調整裝置在真空幫浦入口處的節流閥 130。藉由調整節流閥 130，真空幫浦 118 可控制處理室 114 內的壓力。節流閥 130 的位置控制自處理室 114 至真空幫浦 118 的氣體傳導量(容積氣體流速)，藉此維持處理室 114 內的壓力在一特定的平衡壓力。下列數學式 1 顯示：在平衡狀態下，給定氣體種類的分壓(P_2)，在腔室達到平衡壓力(P_e)時，其等於以 MFC(Q)控制的氣體流與腔室至幫浦的傳導量(K_2)的比值。

$$p_2 = \frac{Q}{k_2} \equiv P_e \quad (\text{數學式 1})$$

實際上，為了替節流閥 130 設定初始閥位置，在給定的流速及壓力下，關於各氣體的氣體傳導量曲線可以依照經驗而判定。一旦處理室 114 內的壓力達到設定壓力點，基板處理便可以開始。

$$p_2(t) = (1 - \frac{\tau_1 \text{Exp}[-t/\tau_1] - \tau_2 \text{Exp}[-t/\tau_2]}{\tau_1 - \tau_2}) Q / k_2 \quad (\text{數學式 2})$$

然而，即使腔室壓力變得穩定，處理環境對於基板處理可能不是理想的。理想上，不同的氣體種類在到達處理室 114 之前，應先混合在一起。然而，輸送至處理室 114 的氣體混合物可能並非具有正確比例之需求氣體種類。換言之，氣體組成在處理室 114 中可能偏移。上列數學式 2 顯示：在特定時間(t)的分壓(P_2)取決於經過氣體管線的氣體流時間標度(τ_1)、自處理室至幫浦的氣體流時間標度(τ_2)、MFC 氣體流速(Q)、及腔室與幫浦之間的傳導量(k_2)。

在典型的處理環境中，時間標度(τ_2)及氣流傳導量(k_2)通常不會改變，因為其兩者皆為處理室幾何形狀及抽吸速度的函數。因此，在時間 t 的分壓(P_2)主要取決於氣體管線的時間標度(τ_1)及給定氣體的 MFC 流速(Q)。

$$\tau_1 \approx 10^{-4} L^2 / D x \sqrt{M / M_{N_2}} \quad (\text{數學式 3})$$

$$\tau_1 \equiv V_1 / k_1 = \frac{\pi D^2 L / 4}{10^4 D^3 / L} \approx 10^{-4} L^2 / D \quad (\text{數學式 4})$$

(L 及 D 的單位為[cm]及 τ_1 的單位為[秒])

氣體管線的時間標度(τ_1)由氣體管線幾何形狀所決定，並與氣體種類之質量的平方根成反比，如數學式 3 所示。為了方便討論，假設氣體的質量並非一變因。在一例子中，流經氣體管線 104 及氣體管線 106 的氣體是相同的。如果氣體的質量並非一變因，氣體管線的時間標度(τ_1)便為氣體管線幾何形狀的變因，如上列數學式 4 所示。

根據上列數學式 4，氣體管線的時間標度(τ_1)為氣體管線容積(V_1)及氣體管線傳導量(k_1)的函數。因為氣體管線的容積及氣流傳導量兩者皆為氣體管線的長度及/或直徑的函數，氣體管線的時間標度(τ_1)亦為氣體管線的長度及/或直徑的函數。在一例子中，假設氣體管線 106 具有較氣體管線 104 為短的長度。根據上列數學式 4，氣體管線 104 的容積較氣體管線 106 的容積大，且氣體管線 104 的氣流傳導量較氣體管線 106 小。因此，氣體管線 104 的氣體輸送時間標度大於氣體管線 106 的氣體輸送時間標度。

回頭參照數學式 3，除了氣體管線幾何形狀之外，氣體管線的時間標度(τ_1)亦為氣體分子質量的函數。在生產環境中，處方所需求的氣體種類通常具有相異的分子量。氣體的質量在低壓環境中特別重要。在低壓環境中，氣體流可能變成分子。換言之，氣體流可能變成彼此獨立(即氣體分子之間的碰撞動量傳導可能變得最小)。對於具有數個不同氣體種類的處方而言，氣體的質量可能決定氣體的輸送時間。在給定相同物理條件下(例如各氣體管線具有相同氣體管線幾何形狀、各氣體種類以相同質量流速流動等等)，較重的氣體種類比較輕的氣體種類以較慢的速度流動。例如， H_2 的輸送時間將約比 C_4F_8 快三倍。因此，較輕的氣體種類可能在較重的氣體種類之前，在處理室中達到平衡壓力。換言之，氣體種類可能分離，且各氣體可在不同時間達到平衡狀態。

因此，即使正確的氣體混合物仍未輸送至處理室內，處理室 114 內亦可能達到壓力平衡。對於某些處方而言，即使適當的氣體

混合物尚未出現，亦可開始進行基板處理，因此導致不合規格的裝置產生。但對於其他處方來說，基板處理可能延遲，直到適當的氣體混合物出現；然而，因為較長的處理時間，延遲時間可能導致生產的較高成本。

即使處理環境不是低壓環境，如果處理氣體的壓力顯著地小於載體氣體的壓力，則氣體輸送仍會延遲。圖 1B 顯示說明在載體氣體驅動流動環境中的氣體流的簡要方塊圖。在此例子中，可將例如氬氣的載體氣體，以甚高於處理氣體的流速注入主氣體管線 102(例如混合歧管)。在載體氣體驅動的流動環境中，處理氣體通常經由碰撞動量傳送而由載體氣體攜帶進入處理室 114。然而，如果在交叉部 150(氣體管線與混合歧管交叉部分)的載體氣體壓力(P_c)高於處理氣體壓力(P_1)，處理氣體可能無法與載體氣體混合。因此，處理氣體會卡在交叉部 150，直到處理氣體壓力(P_1)達到載體氣體壓力(P_c)。

換言之，在氣體管線 104 中的處理氣體能與流經主氣體管線 102 的載體氣體混合之前，在氣體管線(例如氣體管線 104)中可能必須增進足夠的壓力。在若干個例中，從處理氣體自 MFC 110 釋放進入氣體管線 104 的時間起直到增進至足夠的壓力而使處理氣體能夠與載體氣體混合，會發生非常長的延遲。下列數學式 5 顯示在交叉部 150 之壓力增進所需的時間標度。如數學式 5 所示，對於較大的氣體管線容積及較小的流速(Q)，延遲時間會較長。

$$t_c = p_c V_1 / Q$$

數學式 5

如圖 1A 及 1B 中所探討，進入低壓腔室環境內的處理氣體延遲，可能造成處理氣體流的穩定在設定壓力點之後才達到。換言之，特定氣體種類的氣體輸送時間標度可能造成氣體組成偏移。為了使延遲最小化及/或控制處理室內的平衡壓力，至少一個參數(氣體管線傳導量、MFC 流量、或幫浦速率)可能需要修改。在本發明的一實施態樣中，本發明者已體認出：藉由增加 MFC 流速達一短暫脈衝，氣體輸送時間標度可在不需硬體改變下被控制。

根據本發明之實施例，茲提供一種降低氣體輸送至處理室之時間標度的質量流量控制器(MFC, mass flow controller)方案。本發明的實施例包括使 MFC 過衝(overshooting)以降低有效氣體輸送之時間標度。本發明的實施例亦包括多步驟處理，用以在載體氣體驅動流動環境中，實施減低輸送時間的過衝。

在本發明的實施例中，提供一種單一步驟過衝方法，用以使 MFC 過衝，以降低氣體進入處理室內的輸送延遲。為了使輸送延遲最小化，可決定最佳的過衝強度。最佳的過衝強度為可增大 MFC 流速的一個倍數，以確保處理室內的氣體組成偏移最小化。因為減少輸送延遲可提升基板處理的品質，因此需要最佳的過衝強度。為了決定最佳的過衝強度，可計算初始過衝強度。初始過衝強度為過衝期間及延遲之氣體種類的時間標度(τ_1)的函數。如在此所探討，過衝期間指的是施加過衝強度至 MFC 流速所消耗之時間區間。

在一實施例中，過衝期間係設定為 MFC 的反應時間(例如，MFC 對於一組指令反應的速度)。對於典型 MFC 而言，當 MFC 設定改變時，可能存在反應延遲的情況。換言之，當 MFC 設定改變時，在氣體流速改變之前會有幾秒會消逝。在一例子中，假設 MFC 有 2 秒的反應延遲。如果工具操作者首先設定 MFC 至 20 sccm 然後立即改變 MFC 設定至 10 sccm，MFC 可能在以 10 sccm 釋放氣體之前，會以 20 sccm 釋放氣體達 2 秒。此延遲是因為 MFC 反應時間，而不是因為工具操作者的故意目的。因為，目的為使氣體輸送進入處理室內的時間標度最小化，設定在 MFC 反應時間的過衝期間，可能對於總輸送時間增加少許或無額外的時間，藉此使過衝強度可用作控制氣體輸送之時間標度的方法，同時使施加至過衝期間所需的時間最小化。

如可由前述所明瞭，反應時間對於 MFC 可能為特定。換言之，如果第一 MFC 具有與第二 MFC 相異的反應時間，則關聯於第一 MFC 之第一氣體種類的初始過衝強度可能與關聯於第二 MFC 之第二氣體種類的初始過衝強度不同。因此，過衝期間受到

MFC 反應時間的限制。

如上述，過衝強度亦為延遲之氣體種類的時間標度(τ_1)之函數。因為時間標度 τ_1 取決於氣體管線幾何形狀及氣體分子質量，過衝強度可能必須增加以應付較長的氣體管線。相似地，對於具有較重分子量的氣體，過衝強度亦可能必須增加。

一旦初始過衝強度決定之後，便可利用初始過衝強度的倍數來增加 MFC 流速以實施試驗。在一例子中，如果設定的 MFC 流速為 20 sccm 及初始過衝強度為 1.5，那麼 MFC 將初始地設定於 30 sccm。在測試期間，可持續觀察腔室壓力輪廓一段預定的時間區間(例如 10 秒)。藉由分析腔室壓力輪廓，可調整初始過衝強度以確認最佳的過衝強度。在一實施例中，可藉由調整初始過衝強度來決定過衝強度，直到過衝強度產生一腔室壓力輪廓，在此輪廓中，在預定目標時間區間(例如 2 秒)中的腔室壓力係落在目標準確度內(例如設定壓力點的百分之 1)。由於建立穩定的壓力環境通常設有限制的時間，預定的目標時間區間可能必須設定為小於分配給處理室壓力平衡的時間之時間區間內。

或者或此外，如果初始過衝強度不在 MFC 的能力內，則過衝期間可能要調整。如上述，可設定過衝期間為 MFC 的反應時間，以使因為過衝的額外時間最小化。然而，如果修改後的 MFC 流速(即以過衝強度的倍數增加之質量流速)過於接近 MFC 的最大流速，為了減低過衝強度，過衝期間可能必須增加。換言之，如果修改後的質量流速並未小於最大 MFC 流速的預定百分比(例如 95 百分比)，則可修改過衝期間。在一實施例中，預定的百分比乃小於百分之 100，以應付可能存在 MFC 中之潛在硬體不準確度。由於各 MFC 可能具有不同的規格，最大的 MFC 流速可取決於不同的 MFC 而變化。

在一實施例中，可能造成輸送延遲的變因及/或物理條件(例如氣體管線幾何形狀、氣體的分子量、氣體的動量等等)均可藉由使 MFC 流速過衝達一定時間區間(過衝期間)而受到控制。因此，可修改進入處理室內的氣體時間標度，以使氣體種類之間的時間

差最小化，而達到平衡壓力。

在一實施例中，可在載體氣體驅動流動環境中應用多步驟過衝方法。雖然單一步驟過衝方法亦可應用於載體氣體驅動流動環境中以降低輸送延遲，多步驟過衝方法則提供降低輸送延遲的替代方法。

如上述，在載體氣體驅動流動環境中，低流量處理氣體在與高流量載體氣體混合之前，必須先增進足夠的壓力。為了加速壓力的增進，在一實施例中，可施加初始過衝至低流量處理氣體之 MFC 流速。在一實施例中，增進的過衝期間可為增進之時間區間的時間標度與初始過衝強度的比值之函數。在一實施例中，由於施加第一過衝強度(初始過衝強度)以使增進的時間區間最小化，增進的過衝期間小於增進的時間區間。然而在一實施例中，為了防止無法控制的壓力輪廓(例如尖峰(spiking))，增進的過衝期間至少設定為 MFC 的反應時間。相似於單一步驟過衝方法，初始過衝強度可能為低流量處理氣體的過衝期間及時間標度的函數。

在對低流量氣體加速了壓力增進之後，可以第二過衝強度修改 MFC 流速達一時間區間。在一實施例中，第二過衝強度的第二過衝期間可設定為 MFC 的反應時間。相似於單一步驟過衝方法，可憑經驗判定第二過衝強度。換言之，可調整第二過衝強度直到確認為最佳的過衝強度。

因此，多步驟過衝方法能夠應用多過衝強度來適應不同的處理條件，這些不同的處理條件可能因為氣體種類之間的流速差異而存在。相似於單一步驟過衝方法，多步驟過衝方法可使氣體輸送較為快速，同時使過衝方案的施加所需的時間最小化。

藉由參考圖式及隨後的討論，本發明的特徵與優點可更加明瞭。

圖 2 顯示，在本發明的實施例中，說明實施壓力控制方案的簡要流程圖。

在第一步驟 202 中，確認一緩慢之氣體輸送情況。緩慢的氣體輸送可能因為許多原因而造成。在一例子中，緩慢的氣體輸送

可能因一已知之氣體組成偏移的情況，其中氣體種類乃在不同時間點而在處理室內達到平衡狀態。如上述，氣體組成偏移可能發生在低壓環境及/或載體氣體驅動流動環境。熟習本技藝者可具有各種用來確認何時此情況會發生的技術。

一方法可包括量測壓力時間輪廓。藉由使用放置於處理室內的量測工具，便可量測在處理室內各氣體的壓力。如果某一氣體種類到達設定壓力點的時間區間長於其他氣體種類，則氣體組成偏移可能發生。

載體氣體驅動流動環境中的氣體組成偏移亦可藉由觀測電漿工具的配置來確認。若干電漿工具具有配置在處理氣體的氣體管線下游的載體氣體的氣體管線。因為載體氣體設置在下游，載體氣體不能夠攜帶處理氣體至下游處理室，除非處理氣體能夠達到載體氣體的壓力。

氣體組成偏移亦可能因為氣體管線配置而發生。長的氣體管線通常會增加氣體輸送時間。此外，如果氣體種類為相異的質量，先前技術顯示，因為較重的氣體傾向於以比較輕氣體為慢的速度流動，所以較重氣體在處理室內可能以較慢的速度達到平衡狀態。此外或或者，氣體管線配置可能需要大量的處理氣體分子累積在氣體管線容積內，以使處理氣體增進至足夠的壓力，而能與通常以較高流速流動的載體氣體適當的混合。因此，對於給定氣體種類，氣體管線愈長，輸送延遲可能愈大。

在下一個步驟 204 中，可判別出具有較目標輸送時間為慢的氣體種類。儘管對於處方而言，目標輸送時間通常為特定，但對於小於 10 秒的目標輸送時間並非不尋常的。在一例子中，可分析分壓輪廓組，以判別出可能具有緩慢輸送時間的氣體種類組。

在下一步驟 206 中，可測定出在設定壓力點下(即平衡壓力)，給定氣體種類的 MFC 流速(Q)。在一實施例中，藉由參照傳導量曲線，可確認 MFC 流速。可藉由針對給定流速來量測腔室壓力而確認氣體種類的傳導量曲線。熟悉本技藝者可明瞭，在給定設定壓力下，給定氣體種類的流速可被預先量測且可輕易取得。由傳

導量曲線及/或流速圖中，對於具有緩慢輸送時間的各氣體種類，可確定其在給定設定壓力下的流速。

在下一步驟 208 中，計算確認為緩慢輸送氣體的各氣體種類之時間標度(τ_1)。測定時間標度(τ_1)的一方法為：對於一給定 MFC 流速(Q)，追蹤具有一固定節流閥位置(即恆定抽吸速率)之處理室中壓力增加的情形。

在下一步驟 210 中，可在特定 MFC 中對於一特定氣體種類設定初始過衝強度(α)。在一實施例中，初始過衝強度可以使用下列數學式 6 來設定。

$$\alpha_s = \frac{1}{1 - \exp(-t_0 / \tau_1)} \quad \text{數學式 6}$$

根據上列數學式 6，過衝強度(α)為過衝期間(t_0)及延遲之氣體種類的時間標度(τ_1)的函數。在一實施例中，氣體種類的過衝期間(t_0)可能取決於控制氣體流速的 MFC。典型上，MFC 可具有延遲的反應時間。在一實施例中，可切換 MFC 控制至 40 sccm 的流速。在 MFC 開始以新流速流動氣體之前，處理工具可能經歷幾秒的延遲。典型上，延遲約 0.5 - 2 秒；然而，延遲可能取決於特定 MFC 而變動。因此，過衝期間(t_0)可能取決於 MFC 規格而改變。

在另一實施例中，過衝期間(t_0)可取決於延遲之氣體種類的時間標度(τ_1)而變化。如上述，氣體種類的時間標度(τ_1)可能取決於氣體管線幾何形狀及氣體種類的質量。在載體氣體驅動流動環境中，氣體種類的時間標度(τ_1)亦可取決於載體氣體的流速。因為載體氣體通常以相較於處理氣體為高的流速流動，在與載體氣體能夠成功混合之前，處理氣體可能需要增進足夠的壓力。額外的時間延遲因而為處理氣體增進足夠壓力所需的時間之函數，如先前在上列數學式 5 中所探討。

在下一步驟 212 中，藉由以初始過衝強度(α)修改 MFC 流速(Q)來進行試驗。當進行試驗的同時，亦可量測處理室內的氣體組成。

在下一步驟 214 中，作出過衝強度(α)是否足夠的判定。在一

實施例中，藉由持續追蹤處理室內的壓力輪廓達一預定時間區間(例如 10 秒)，便可作出此判定。

如果在預定目標時間區間內之壓力輪廓中所顯示的壓力係落於平衡壓力的目標準確度內，則該過衝強度可能對於最小化該氣體之輸送延遲為足夠的或最佳的。由於建立穩定的壓力環境通常設有限制的時間，預定的目標時間區間可能必須設定在小於分配給處理室壓力穩定之時間。

圖 3 顯示，在本發明的實施例中，說明數個過衝強度(α)的簡要圖表。考量例如將平衡壓力設定在 1.00 的情況。在一實施例中，如果腔室壓力在預定目標時間區間落在在目標準確度內(即 1%)，則過衝強度可視為最佳的。在此例子中，假設過衝期間為 1 秒而預定目標時間區間為過衝期間的兩倍(即 2 秒)。如可在圖式所見，因為在目標時間(2 秒)時，壓力在目標準確度內達到設定壓力(1.00)，因此 2.52 的過衝強度(α)(曲線 302)可視為最佳的。因此便可設定目標準確度，使得氣體的壓力輪廓在該設定之壓力點內與其非常逼近，並在預定時間區間之前使氣體的壓力輪廓達到平衡。

如果並未辨識出最佳的過衝強度，例如曲線 304 及 306，那麼在下一步驟 216 中，如下列數學式 7 所示，可根據目標平衡壓力(p_e)及在時間 t_0 處所獲得之過衝強度(α)的壓力來調整過衝強度(α)。步驟 212-216 重覆進行，直到測定出最佳的過衝強度。

$$\alpha_* = \alpha p_e / p(2t_0)$$

數學式 7

如果已找出過衝強度(α)，接著在下一步驟 218 中，氣體以最佳的 MFC 過衝強度(α_*)再次測試。

儘管可測定出最佳的過衝強度，但如果最佳的過衝強度導致 MFC 流速設定得過高，則不準確可能發生。理想上，硬體(例如 MFC)可無機能失常的運作。熟悉本技藝者可明瞭，大部分硬體的設計並非用於極端的範圍(例如最大及最小)。為了應付可能存在 MFC 中的潛在錯誤，期望之修改後的 MFC 流速可能小於最大 MFC 流速。在下一步驟 220 中，必須判定出緩慢氣體輸送的情況是否

解決而不經歷硬體的不準確。施行此分析的一方法為：計算修改後之 MFC 流速(即 $Q \times \alpha_*$)是否小於最大 MFC 流速的預定百分比(例如，95%)。在一實施例中預定百分比係設定在小於 100%。因為最大 MFC 流速可能取決於 MFC 規格而變化，可接受的範圍係設定為最大 MFC 流速的一個百分比，而非一實際常數。

如果情況吻合，那麼特定處方之特定氣體的最佳的過衝強度(α_*)便可確認(步驟 222)。

然而，如果情況未吻合，那麼在下一步驟 224 中，便可增加過衝時間(t_0)。如上述，過衝期間可設定為 MFC 反應時間，以使輸送氣體至處理室的時間增加的可能性最小化。然而，如果修改後的 MFC 流速過於接近 MFC 的最大流速，便可能存在潛在的硬體不準確度。在一實施例中，為了使因為硬體限制所產生之不準確度的可能性最小化，過衝期間可能必須增加，為了降低最佳的過衝強度，因此降低修改後的 MFC 流速。

步驟 208 – 224 可以重覆，直到測定出最佳的過衝強度。

如可由圖 2 所明瞭，特定氣體之最佳的過衝強度(α_*)可加以測定出。藉由辨識出最佳的過衝強度(α_*)，輸送延遲可以明顯減少。因此，藉由操作一個以上之氣體種類的 MFC 流速，便可使用最佳的過衝強度來使氣體組成偏移最小化。

關於載體氣體驅動流動，圖 2 所說明的方法可減少與氣體相關聯的時間標度。然而，由於額外的時間延遲的發生可能導因於與增進的壓力(t_c)相關聯的時間標度，吾人可調整圖 2 中所述的方法，以允許可進一步減低輸送延遲的多步驟過衝處理。圖 4 顯示，在一實施例中，說明施行多步驟過衝處理的步驟的簡要流程圖。考量例如在載體氣體驅動流動環境中確認具有緩慢輸送時間之氣體的情況。

在第一步驟 402 中，首先測定初始過衝強度(α)。如上述，在載體氣體驅動流動環境中，除了因為氣體管線幾何形狀及/或氣體的分子質量造成之輸送延遲之外，低流量處理氣體的輸送延遲可能亦取決於低流量氣體為了增進足夠壓力以與高流量載體氣體混

合所需的時間標度。針對此種輸送，在一實施例中，第一過衝強度可被設定為最大 MFC 流速。

在下一步驟 404 中，計算第一過衝期間。在一實施例中，第一過衝期間(即增進過衝期間)可為壓力增進時間區間及初始過衝強度比例的函數。在一實施例中，因為已施加初始過衝強度使增進時間區間最小化，增進過衝期間便小於增進時間區間。可使用下列數學式 8 來計算第一過衝步驟的過衝期間。在一實施例中，為了使未控制的壓力輪廓(例如尖峰)最小化，第一過衝期間(t_{ca})可被設定為大於或等於 MFC 反應時間(t_0)的值。

$$t_{ca} = \frac{t_c}{\alpha} = \frac{p_c V_1}{\alpha Q}$$

數學式 8

在加速低流量處理氣體的壓力增進之後，可修改 MFC 流速以控制相關於氣體管線幾何形狀及/或氣體分子質量之時間標度。在下一步驟 406 中，可類似單一步驟過衝，測定第二過衝期間。因為第二過衝期間為管理與氣體幾何形狀及/或氣體的分子質量相關聯之時間所需的時間，第二過衝期間可設定為 MFC 反應時間(與圖 2 的過衝期間相同)，在一實施例中，使將增加至總壓力穩定時間的額外時間最小化。

在第二過衝期間已被測定之後，在下一步驟 408 中，測定第二過衝強度。在一實施例中，藉由施行試驗，可測定第二過衝強度。在一實施例中，試驗可包括藉由初始過衝強度(即第一過衝強度)來增加 MFC 流速(Q)。相似於單一步驟過衝方法，第二過衝強度亦可憑經驗測定。在一例子中，可調整第二過衝強度，直到確認出最佳的過衝強度(α^*)(俾使在預定目標時間區間的腔室壓力落於平衡壓力的目標準確度內)。步驟 406 係相似於圖 2 之步驟 212-216。

一旦第二過衝強度測定之後，然後在下一步驟 410 中，便可施行另一測試。在一實施例中，此試驗可能包括多個過衝強度及過衝期間。

在下一步驟 412 中，可判定出緩慢的氣體輸送情況是否已解

決。類似於圖 2，藉由測定第一過衝期間及第二過衝期間之修改後的 MFC 流速，是否落在最大 MFC 流速的預定百分比內，而作出判定。

如果情況吻合，特定處方之特定氣體的最佳的過衝強度(α_*)便可確認(步驟 414)，然後處理結束。

然而，如果情況未吻合，接著在下一步驟 416 中，可改變第二過衝期間。

步驟 406-416 可重覆，直到測定出最佳的 MFC 方案。

因此，多步驟過衝方法可使多個過衝強度得以應用並適應可能影響氣體的整體輸送時間的相異時間標度。相似於單一步驟過衝方法，多步驟過衝方法提供一種方法，其可用以判定可減低輸送延遲之修改後的 MFC 流量，同時可最小化施加過衝強度所需的時間。圖 2 及圖 4 中所述的方法兩者皆可經技術人員手動施行。在一實施例中，MFC 方案(如圖 2 及 4 所述)亦可自動施行(例如，軟體應用)，因而減低人力成本及使人為疏失的風險最小化。

如可自本發明之一個以上之實施例所明瞭，本發明提供了用於管理氣體種類的時間標度的方法。藉由測定最佳的過衝強度，可調整 MFC 流速以顯著地降低氣體組成偏移。有了修改後的 MFC 流速，便可提供較佳的氣體產出控制，因而促使製造較少之不合規格的基板。因此，過衝方法提供了一種花費不多的解決方案，而可在增加少許或不增加整體處理時間的情況下製造出較高品質的基板。

雖然本發明已就幾個較佳實施例加以描述，仍有落入本發明範疇內之變更、替換、及等效物。儘管在此提供了許多實施例，但其用意僅用於說明而非限制本發明。

並且，在此提供之標題及總結係為了方便解釋而非用於推斷在此之申請專利範圍的範疇。再者，摘要係以非常簡要的方式書寫，並為了方便提供於此，因此不應用來解釋或限制陳述在申請專利範圍中的整體發明。如果用語「組」使用於此，此等用語具有其公知的數學含義，含括零、一、或多於一個構件。吾人亦須

注意，有許多替代方式可以實施本發明之方法及設備。因此意謂下附之申請專利範圍應解釋為包含落入本發明之真實精神及範疇內的所有此等變更、替換、及等效物。

【圖式簡單說明】

本發明在隨附圖式之圖中以範例而非限制的方式說明，且其中類似參考數字乃表示相似元件，且其中：

圖 1A 顯示氣體輸送系統之局部圖的簡要圖式。

圖 1B 顯示說明在載體氣體驅動流動環境中之流動的簡要方塊圖。

圖 2 顯示，在本發明的實施例中，說明實施壓力控制方案的簡要流程圖。

圖 3 顯示，在本發明的實施例中，說明數個過衝強度的簡要圖表。

圖 4 顯示，在一實施例中，說明施行多步驟過衝處理的步驟的簡要流程圖。

【主要元件符號說明】

- 100 處理工具
- 102 主氣體管線
- 104 氣體管線
- 106 氣體管線
- 110 MFC
- 112 MFC
- 114 處理室
- 118 真空幫浦
- 130 節流閥
- 150 交叉部
- 202 確認緩慢氣體輸送情況
- 204 確認顯示輸送時間慢於目標輸送時間標度的氣體種類

- 206 測定在設定壓力點下具有緩慢輸送時間之各氣體的
MFC 流速
- 208 量測具有緩慢輸送時間之各氣體的時間標度
- 210 測定初始過衝強度
- 212 使氣體以過衝強度流動並監測氣體組成
- 214 是否發現最佳的過衝強度?
- 216 調整過衝強度
- 218 使氣體以最佳的 MFC 過衝強度流動
- 220 氣體流動問題(延遲或組成偏移)是否解決?
- 222 確認最佳的過衝強度
- 224 調整過衝期間
- 302 曲線
- 304 曲線
- 306 曲線
- 402 測定初始過衝強度
- 404 測定第一過衝期間
- 406 測定第二過衝期間
- 408 測定第二過衝強度
- 410 使氣體以最佳的 MFC 過衝強度流動
- 412 氣體流動問題(延遲或組成偏移)是否解決?
- 414 處理結束
- 416 調整過衝期間

七、申請專利範圍：

1.一種處方的質量流量控制器(MFC, mass flow controller)控制方案的確定方法,該 MFC 控制方案之建置係用以降低將氣體輸送至一電漿處理系統之一處理室內之一時間標度,該方法包含以下步驟：

確認在執行該處方期間所使用之一延遲氣體種類組,其具有慢於一目標輸送時間標度之一輸送時間組；

建立該延遲氣體種類組之各者之一初始過衝強度,其中該初始過衝強度為提高 MFC 流速之倍數；

測定該延遲氣體種類組之該各者之一初始過衝期間,該初始過衝期間為一時間區間,用以將該初始過衝強度施加至該 MFC 流速；

建立該 MFC 控制方案,其係藉由為該延遲的氣體種類組之該各者調整一 MFC 硬體,以執行該處方,其中該調整該 MFC 硬體的步驟包括在該初始過衝期間施加該初始過衝強度,以測定該 MFC 控制方案對於該延遲的氣體種類組之該各者,是否提供一落在該處理室之一平衡壓力之一目標準確度內的壓力輪廓；及

若該延遲的氣體種類組之該各者的該壓力輪廓並未落在該處理室之該平衡壓力的該目標準確度內時,則調整該初始過衝強度；

其中若一調整後之 MFC 流速大於該 MFC 硬體之一最大 MFC 流速的一預定百分比,則修改該延遲的氣體種類組之該各者的該初始過衝期間,其中該調整後之 MFC 流速為以該初始過衝期間之該初始過衝強度修改之該 MFC 流速。

2.如申請專利範圍第 1 項之處方的質量流量控制器控制方案的確定方法,其步驟更包含：

確認該延遲的氣體種類組之該各者之該 MFC 流速；及

測定該延遲的氣體種類組之該各者之一時間標度,其中該時間標度為一氣體管線幾何形狀、該各氣體種類的質量、及該各氣體種類的該 MFC 流速三者中至少其中之一的一函數。

3.如申請專利範圍第 1 項之處方的質量流量控制器控制方案

的確定方法，其中該初始過衝期間為以下至少其中之一的一變因：

該 MFC 硬體的一延遲反應時間，及

該延遲的氣體種類組之該各者的一時間標度，其中該時間標度為一氣體管線幾何形狀、該各氣體種類的質量、及該各氣體種類的該 MFC 流速三者至少其中之一的一函數。

4.如申請專利範圍第 1 項之處方的質量流量控制器控制方案的確定方法，其中該初始過衝強度為該初始過衝期間及該延遲的氣體種類組之該各者的一時間標度的一函數，其中該時間標度為一氣體管線幾何形狀、該各氣體種類的質量、及該各氣體種類的該 MFC 流速三者至少其中之一的一函數。

5.如申請專利範圍第 1 項之處方的質量流量控制器控制方案的確定方法，其中當該初始過衝強度落在該平衡壓力之該目標準確度內，及該調整後之 MFC 流速小於該 MFC 硬體之該最大 MFC 流速的該預定百分比時，則測定為該延遲的氣體種類組之該各者的一最佳過衝強度。

6.一種處方的質量流量控制器(MFC)控制方案的建立方法，該 MFC 控制方案用以降低氣體輸送至一電漿處理系統之一處理室內的一時間標度，該方法包含以下步驟：

確認在執行該處方期間使用之一延遲的氣體種類組，其具有一慢於一目標輸送時間標度的輸送時間組；

建立該延遲的氣體種類組之各者之一初始過衝強度，其中該初始過衝強度為在一初始過衝期間提高 MFC 流速之第一倍數，該初始過衝期間為一第一時間區間，用以將該初始過衝強度施加至該 MFC 流速；

建立該延遲的氣體種類組之各者之一第二過衝強度，其中該第二過衝強度為在一第二過衝期間提高該 MFC 流速之第二倍數，該第二過衝期間為一第二時間區間，用以將該第二過衝強度施加至該 MFC 流速；及

藉由調整該延遲的氣體種類組之該各者之一 MFC 硬體，而執行該處方來建立該 MFC 控制方案，其中該調整該 MFC 硬體的

步驟包括施加該初始過衝強度及該第二過衝強度，以測定該 MFC 控制方案對於該延遲的氣體種類組之該各者，是否提供落在該處理室之一平衡壓力之一目標準確度內之一壓力輪廓。

7.如申請專利範圍第 6 項之處方的質量流量控制器控制方案的建立方法，其步驟更包含：

確認該延遲的氣體種類組之該各者之該 MFC 流速；及

測定該延遲的氣體種類組之該各者之一時間標度，其中該時間標度為一氣體管線幾何形狀、該各氣體種類的質量、及該各氣體種類的該 MFC 流速三者至少其中之一的一函數。

8.如申請專利範圍第 7 項之處方的質量流量控制器控制方案的建立方法，其中該各氣體種類的該初始過衝強度設定為該 MFC 硬體之一最大 MFC 流速。

9.如申請專利範圍第 8 項之處方的質量流量控制器控制方案的建立方法，其中該各氣體種類的該初始過衝期間為該初始過衝強度及一壓力增進時間區間的一變因，其中該壓力增進時間區間為一時間區間，在該時間區間中，該各氣體種類的壓力乃累積至至少與一載體氣體匹配之壓力，該載體氣體係以較該各氣體種類為高的流速流動。

10.如申請專利範圍第 9 項之處方的質量流量控制器控制方案的建立方法，其中該第二過衝期間為該 MFC 硬體之一延遲反應時間的一變因。

11.如申請專利範圍第 10 項之處方的質量流量控制器控制方案的建立方法，其中該第二過衝強度初始地設定為該初始過衝強度，其中該第二過衝強度乃應用收集到的經驗資料進行調整，其中如果該延遲的氣體種類組之該各者的該壓力輪廓並不落在該處理室內之該平衡壓力之該目標準確度內時，則調整該第二過衝強度。

12.如申請專利範圍第 11 項之處方的質量流量控制器控制方案的建立方法，其中如果基於該第二過衝強度及該第二過衝期間所調整之一調整後 MFC 流速大於該 MFC 硬體之該最大 MFC 流速

的一預定百分比，則修改該延遲的氣體種類組之該各者之該第二過衝期間。

13.如申請專利範圍第 12 項之處方的質量流量控制器控制方案的建立方法，其中當該第二過衝強度落在該平衡壓力之該目標準確度內，及該調整後之 MFC 流速小於該 MFC 硬體之該最大 MFC 流速的該預定百分比時，則判定該延遲的氣體種類組之該各者具有一最佳的過衝強度。

14.一種最佳過衝強度之測定方法，用以在執行一處方期間，減低進入一電漿處理系統之一處理室的氣體輸送時間標度，該方法包含以下步驟：

確認在執行該處方期間所使用之一延遲的氣體種類組，其具有慢於一目標輸送時間標度之一輸送時間組；

建立各氣體種類之一初始過衝強度，其中該初始過衝強度為提高一質量流量控制器(MFC)流速之倍數；

測定該各氣體種類之一初始過衝期間，該初始過衝期間為一時間區間，該時間區間係用以將該初始過衝強度施加至該各氣體種類之該 MFC 流速；

藉由在該初始過衝期間施加該初始過衝強度，而執行具有該各氣體種類之一調整後之 MFC 流速的該處方；

將在執行該處方期間所建立之該各氣體種類之一壓力輪廓與該處理室內之平衡壓力的目標準確度相比較，以判定該初始過衝強度是否為該最佳之過衝強度；

如果該各氣體種類的該壓力輪廓並不落在該處理室之該平衡壓力的該目標準確度內，則調整該初始過衝強度；

確認該延遲的氣體種類組之該各者之該 MFC 流速；及

測定該延遲的氣體種類組之該各者之一時間標度，其中該時間標度為一氣體管線幾何形狀、該各氣體種類的質量、及該各氣體種類的該 MFC 流速三者至少其中之一的一函數；

其中該初始過衝強度為該初始過衝期間及該延遲的氣體種類組之該各者之該時間標度的一函數；且

其中若該調整後之 MFC 流速大於一 MFC 硬體之一最大 MFC 流速的一預定百分比，則修改該延遲的氣體種類組之該各者的該初始過衝期間。

15.如申請專利範圍第 14 項的最佳過衝強度之測定方法，其中當該初始過衝強度落在該平衡壓力之該目標準確度內，及該調整後之 MFC 流速小於該 MFC 硬體之該最大 MFC 流速的該預定百分比時，則判定該延遲的氣體種類組之該各者具有該最佳過衝強度。

八、圖式：

圖式

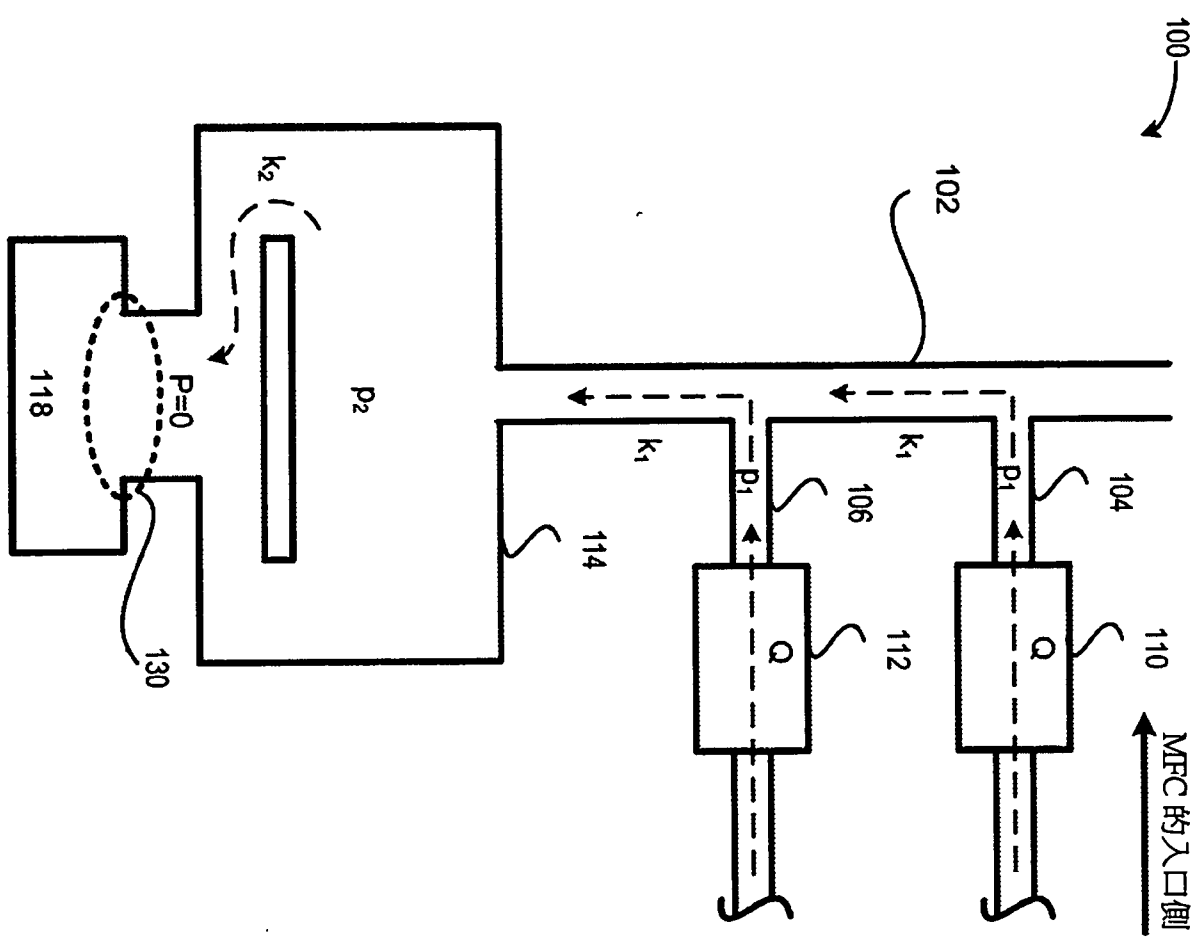


圖 1A

圖式

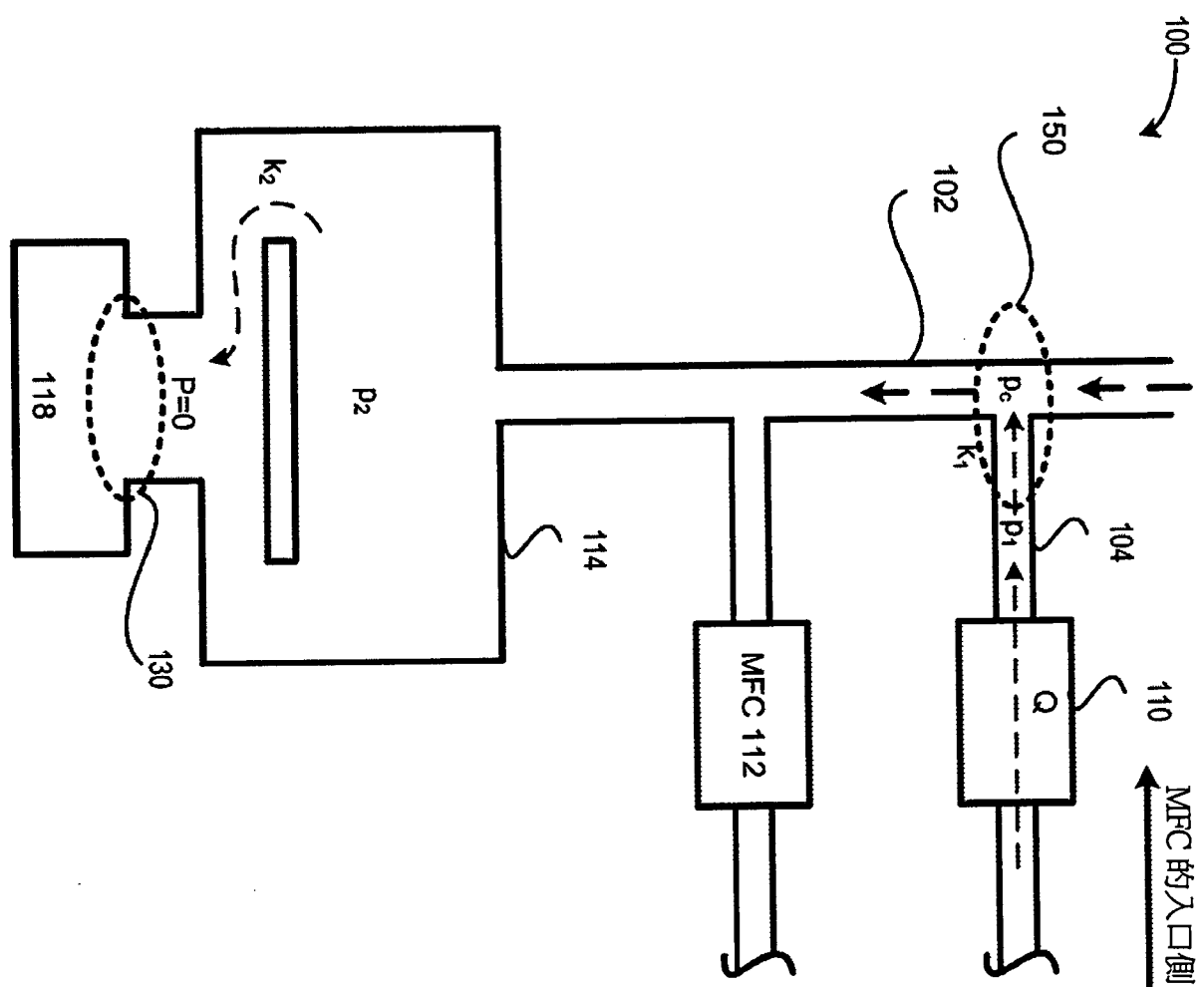
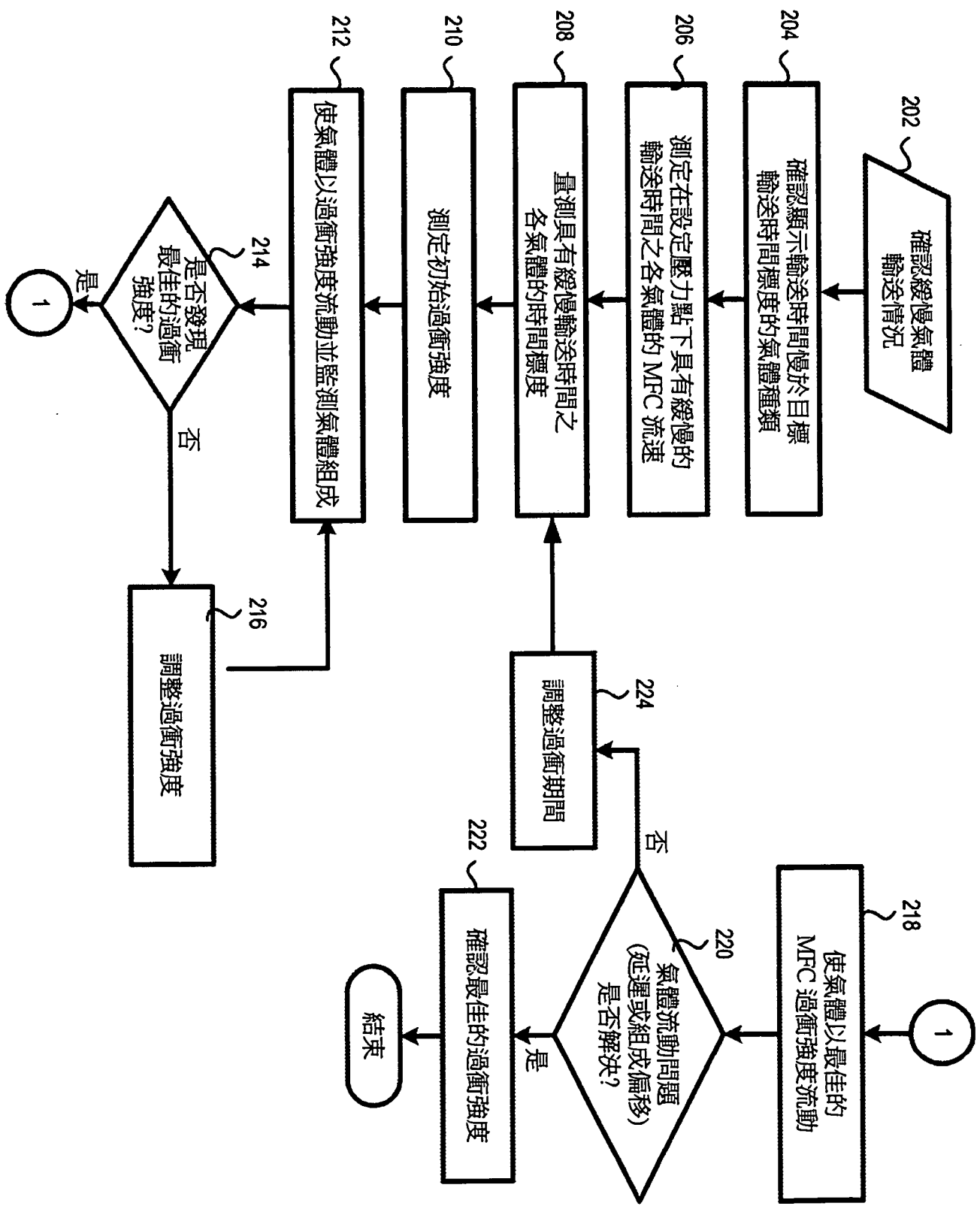
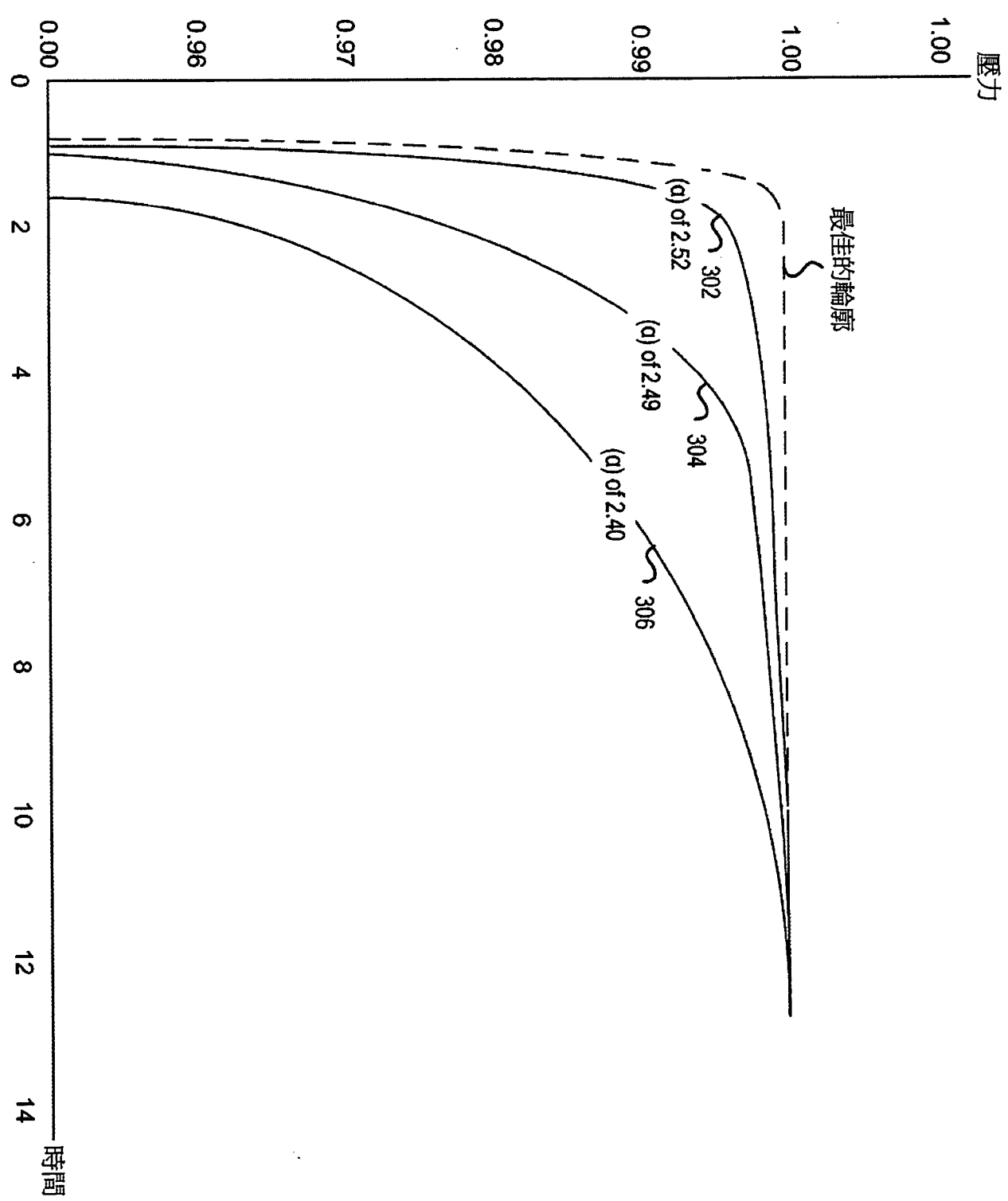


圖 1B



圖式

圖 2



圖式

圖 3

圖式

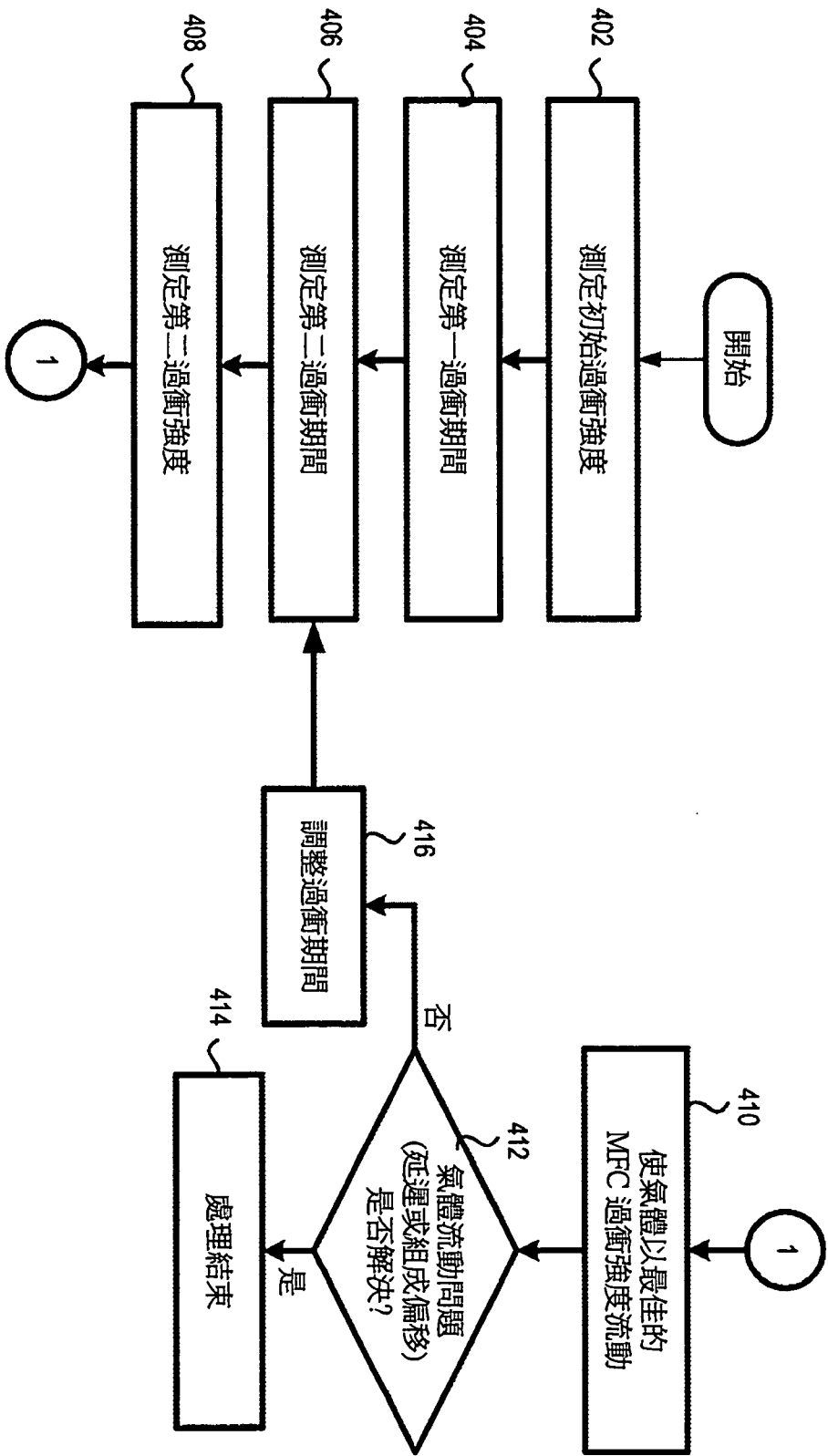


圖 4