

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

半導體混貨製程之干擾預測與控制(II) 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 97-2221-E-216-024-
執行期間：97年08月01日至98年07月31日
執行單位：中華大學機械工程學系

計畫主持人：陳俊宏

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：蔡順安

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 98 年 10 月 28 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

半導體混貨製程之製程干擾預測與控制(II)

Disturbance Estimation and Process Control for Mix-product
Semiconductor Processes (II)

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫
計畫編號：NSC -97 -2221-E-216-024
執行期間：97 年 8 月 1 日 至 98 年 7 月 31 日

計畫主持人：陳俊宏
計畫參與人員：張偉麒、蔡順安

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：中華大學機械工程學系

中 華 民 國 98 年 10 月 28 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

半導體混貨製程之製程干擾預測與控制(II)

Disturbance estimation and process control for mix-product semiconductor processes (II)

計畫編號：NSC 97-2221-E-216-024

執行期限：97年8月1日至98年7月31日

主持人：陳俊宏 中華大學機械工程學系

計畫參與人員：張偉麒、蔡順安 中華大學機械工程學系

一、中文摘要

本計畫針對高度混貨的半導體製程，發展出一套多重輸入輸出(MIMO, multi-input multi-output)批次控制技術。由目前習慣沿用單機、單產品與利用後量測值調整製程參數，轉變成多機、多產品之批次控制，估計分別因為不同機台或產品所造成的製程干擾。本文對於當量測延誤與部分量測情況下具有漂移干擾的半導體混貨製程，推導適用的 D-JADE 演算法，使混貨製程中製程漂移的現象，能更有效的控制在穩定的狀態中，並與 D-EWMA 演算法比較其控制效能。由模擬結果可知，對於量測延誤與部分量測情況下具有漂移干擾的混貨製程，本文提出的 D-JADE 控制方法有較好的預測效能。

關鍵詞：混貨、半導體製程、多重輸入輸出、批次控制、漂移、量測延誤、部分量測。

Abstract

This project developed a technique for controlling MIMO (multi-input multi-output) mix-product semiconductor processes. The conventional run-to-run process control for single-tool and single-type-product processes was improved to that for mix-tool and mix-product processes through individually estimating the disturbances induced by tools and products. The project for D-JADE not only developed the measurement-delay predictor and partial-measurement predictor, but also compared their performances with that of the D-EWMA controller. The simulation results demonstrate that the performance of the proposed controller is higher than those of existed controllers for the drifting mix-product semiconductor processes.

Key Words: mix-product, semiconductor processes, multi-input multi-output, run-to-run, drift, measurement-delay, partial-

measurement.

二、緒論

2.1 研究動機

近十年來，批次控制技術開始被導入半導體產業，許多關於製程控制演算法的研究相繼提出[1-11]。文獻[1-11]之研究，皆假設在單一產品在單一機台上之控制，但在實際之晶圓廠中同時有數十到數百種產品在同一條生產線上生產，這種一台機台需針對多產品、多層進行製程的情況被稱為高度混貨生產(High-mix Production)。在高度混貨的情況下，傳統的單一機台單一產品控制，將會出現控制效能不足，甚至控制失敗的情形產生。因此 Pasadyn 等人[12]提出混貨製程的適應控制，區別製程干擾或是混貨所造成的製程變異，藉以更新製程的參數並補償製程的變異。Firth 等人[13]提出在半導體製程中混貨的狀況下，提出(Just-in-time Adaptive Disturbance Estimation, JADE)的控制方法估計分別因為不同機台或產品所造成的製程干擾，快速修正干擾所造成的製程變異。

本計劃改良 Firth 等人[13]提出的 JADE 控制器，希望能同時估計混貨製程中因製程變異所產生的製程位移與漂移，進而修改下一批次的製程輸入，使得製程輸出維持在目標值。

2.2 文獻回顧

為了使製程維持穩定，許多關於製程控制演算法的研究相繼提出。Castillo[1] 討論 DEWMA 控制器在暫態與穩態下性能之表現。Chen 和 Guo[2]考慮在 CMP 製程中，批次量測時中間有間隔時間才批次量測的情況下，在 D-EWMA 的模型中加入量測時間的變化量，使控制器在補償因為漂移造成的製程變異時能更加準確。Good 和 Qin[3]分析 D-EWMA 控制方法在有量測延遲時的穩定

性，並提出在製程有固定漂移干擾時控制參數的選擇方法。Wang 等人[4] 分析 D-EWMA 控制方法在 CMP 製程有量測延遲時的穩定性，並比較量測延遲對 D-EWMA 控制器的效能影響。Guo 等人[5]對於控制固定性的漂移干擾，提出權重函數法來得到控制器的最佳權值，使用 D-EWMA 控制器修正漂移現象，並且與 PCC 和 EWMA 控制器的效能做比較。Wang 等人[6]探討在蝕刻製程中因為蝕刻率會隨時間產生遞減的情況，利用遞迴最小平方方法(Recursive Least Square, RLS)估計製程的參數，以調整蝕刻時間來達到所要的蝕刻深度。Tseng 等人[7]針對具有漂移干擾之製程提出 (Initial Intercept Iteratively Adjusted, IIIA) 的控制方式，其結合 D-EWMA 與 RLS 兩種方法估計製程參數，並與 D-EWMA 控制器作比較，在 SISO 的製程中 IIIA 控制器能快速修正漂移干擾所造成的製程變異。Good 和 Qin[8]分析 MIMO D-EWMA 控制方法在有量測延遲與模型誤差時的穩定性，並提出在製程有固定漂移干擾時控制參數的選擇方法。Wang 和 Peter[9]提出 (Bayesian enhanced EWMA ,B-EWMA) 的控制方法應用在 (Low Pressure Chemical Vapor Deposition, LPCVD) 製程並與 EWMA 的控制方法作比較，以提高製程良率。Chen 等人[10]針對金屬濺鍍製程，利用控制器使得金屬薄膜在製程中穩定的製作，並運用時間序列分析 (Time Series Analysis) 與預測的方法，預測下一個時間點的製程干擾，藉由調整輸入項，使其沈積率都維持在製程沈積率的目標上。Chen 等人[11] 針對金屬濺鍍製程，將時間序列之製程模型轉換為狀態空間形式，利用延伸卡曼濾波器 (Extended Kalman Filter) 同時估計沈積率與更新製程模型參數，並解決非等間距量測資料時，預測靶材沈積率的方法。由於上述所提出的控制理論皆是對單一機台、單一產品的批次即時監控的策略，Pasadyn 等人[12]提出混貨製程的適應控制，區別製程干擾或是混貨所造成的製程變異，藉以更新製程的參數並補償製程的變異。Firth 等人[13]提出在半導體製程中混貨的狀況下，提出 (Just-in-time Adaptive Disturbance Estimation, JADE) 的控制方法估計分別因為不同機台或產品所造成的製程干擾，快速修正干擾所造成的製程變異，有效的降低混貨

製程中製程干擾所導致的影響。

三、應用在混貨製程的批次控制方法

3.1 Double-Exponential Weight Moving Average 控制方法

在半導體製程中由於機器設備的磨損、材料的消耗，通常會使製程輸出值隨著批次增加，而慢慢偏離預設的目標值。D-EWMA [5]對於單一產品與單一機台製程，能有效的將具有漂移干擾的製程輸出控制在目標值。如要將 D-EWMA 應用於混貨製程，可假設每一製程執行序為獨立製程，如果混貨製程總共有 n 個執行序，則每一執行序的製程模型可表示為：

$$y_{i,k} = \alpha + \beta u_{i,k} + \delta_i \times k + \varepsilon_{i,k} \quad i=1,2,\dots,n. \quad (1)$$

其中 y 為製程輸出， u 為製程輸入， δ 為批次飄移量， α 為截距項， β 為輸入靈敏度， k 為批次， ε 為製程干擾， i 為執行序。控制模型為：

$$\hat{y}_{i,k} = a_{i,k-1} + d_{i,k-1} + b_i u_{i,k} \quad i=1,2,\dots,n \quad (2)$$

其中 a 為 α 的估計值， d 為 δ 的估計值。每當獲得一個輸出的量測值之後，使用指數加權移動平均的方法來估計控制模型的截距項 a_k 與單位漂移量 d_k ，其方法如下：

$$\begin{aligned} a_{i,k} &= w_1 (y_{i,k} - b_i u_{i,k}) + (1-w_1)(a_{i,k-1} + d_{i,k-1}) \\ &= a_{i,k-1} + d_{i,k-1} + w_1 (y_{i,k} - b_i u_{i,k} - a_{i,k-1} - d_{i,k-1}) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} d_{i,k} &= w_2 (y_{i,k} - b_i u_{i,k-1} - a_{i,k-1}) + (1-w_2)d_{i,k-1} \\ &= d_{i,k-1} + w_2 (y_{i,k} - b_i u_{i,k-1} - a_{i,k-1} - d_{i,k-1}) \end{aligned} \quad (4)$$

然後依據新的預測模型調整下一批次的輸入值，使其預測值能達到目標值 T ：

$$u_{i,k+1} = (b_i)^{-1} [T - (a_{i,k} + d_{i,k})] \quad (5)$$

如果量測值落後製程 m 批次時，當第 k 批次對產品進行量測，但是製程已經進行至 $k+m$ 批次，則第 i 個執行序的第 $(k+m)$ 批次的估計值為：

$$\hat{y}_{i,k+m} = a_{i,k} + m d_{i,k} + b_i u_{i,k+m} \quad (6)$$

第 i 個執行序的第 $(k+m)$ 批次的輸入值可利用下式計算：

$$u_{i,k+m} = (b_i)^{-1} [T - (a_{i,k} + m d_{i,k})] \quad (7)$$

當第 i 個執行序的下一批次 ($k+1$ 批次) 量測值

獲得時，修正方程式為：

$$\begin{aligned} \mathbf{a}_{i,k+1} &= w_1 (\mathbf{y}_{i,k+1} - \mathbf{b}_i \mathbf{u}_{i,k+1}) + (1-w_1)(\mathbf{a}_{i,k} + \mathbf{d}_{i,k}) \\ &= \mathbf{a}_{i,k} + \mathbf{d}_{i,k} + w_1 (\mathbf{y}_{i,k+1} - \mathbf{b}_i \mathbf{u}_{i,k+1} - \mathbf{a}_{i,k} - \mathbf{d}_{i,k}) \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{d}_{i,k+1} &= w_2 (\mathbf{y}_{i,k+1} - \mathbf{b}_i \mathbf{u}_{i,k+1} - \mathbf{a}_{i,k}) + (1-w_2)\mathbf{d}_{i,k} \\ &= \mathbf{d}_{i,k} + w_2 (\mathbf{y}_{i,k+1} - \mathbf{b}_i \mathbf{u}_{i,k+1} - \mathbf{a}_{i,k} - \mathbf{d}_{i,k}) \end{aligned} \quad (9)$$

考慮半導體製程並非對每一批次產品進行量測，如果在第 k 批次對產品進行量測，但是下一量測值在 $k+m$ 批次才能獲得，則第 i 個執行序的第 $(k+1)$ 至 $(k+m)$ 批次的估計值為：

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{y}}_{i,k+j} &= \mathbf{a}_{i,k+j-1} + \mathbf{d}_{i,k+j-1} + \mathbf{b}_i \mathbf{u}_{i,k+j} \\ & \quad i=1,2,\dots,n \quad j=1,2,\dots,m \end{aligned} \quad (10)$$

其中

$$\mathbf{a}_{i,k+j} = \mathbf{a}_{i,k+j-1} + \mathbf{d}_{i,k+j-1}$$

$$\mathbf{d}_{i,k+j} = \mathbf{d}_{i,k+j-1}$$

第 i 個執行序的第 $(k+1)$ 至 $(k+m)$ 批次的輸入值可利用下式計算：

$$\mathbf{u}_{i,k+j} = (\mathbf{b}_i)^{-1} \left[\mathbf{T} - (\mathbf{a}_{i,k+j-1} + \mathbf{d}_{i,k+j-1}) \right] \quad (11)$$

當第 i 個執行序的第 $(k+m)$ 批次量測值獲得時，修正方程式為：

$$\begin{aligned} \mathbf{a}_{i,k+m} &= \mathbf{a}_{i,k+m-1} + \mathbf{d}_{i,k+m-1} \\ & \quad + w_1 (\mathbf{y}_{i,k+m} - \mathbf{b}_i \mathbf{u}_{i,k+m} - \mathbf{a}_{i,k+m-1} - \mathbf{d}_{i,k+m-1}) \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{d}_{i,k+m} &= \mathbf{d}_{i,k+m-1} + w_2 (\mathbf{y}_{i,k+m} - \mathbf{b}_i \mathbf{u}_{i,k+m} - \mathbf{a}_{i,k+m-1} - \mathbf{d}_{i,k+m-1}) \end{aligned} \quad (13)$$

3.2 D-JADE 控制方法

由於 independent D-EWMA 將混貨製程每一執行序視為獨立製程，然而不同執行序可能用到相同機台或生產相同產品，因此將混貨製程每一執行序視為獨立製程並不適合。Firth 等人[13]針對混貨製程的問題，將各個可能造成製程變異的種類做區分，分別估計因為不同產品或機台所造成的干擾，並且依據其估計的干擾來補償下一批次的製程干擾，但對具飄移特性的混貨製程控制效果並不顯著，因此本計畫改良其所發展的 JADE 控制器，增加一個估計器來估計製程單位飄移量。假設真實的製程模型為：

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{b} \mathbf{u}_k + \mathbf{A}_k^T \boldsymbol{\alpha} + \mathbf{A}_k^T \boldsymbol{\delta} \cdot k + \boldsymbol{\varepsilon}_k \quad (14)$$

其中

$$\boldsymbol{\alpha} = [\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_m]^T$$

$$\boldsymbol{\delta} = [\boldsymbol{\delta}_1, \boldsymbol{\delta}_2, \dots, \boldsymbol{\delta}_m]^T$$

$$\mathbf{A}_k^T = [\mathbf{A}_1(k), \mathbf{A}_2(k), \dots, \mathbf{A}_m(k)]_{1 \times m}$$

$\boldsymbol{\alpha}$ 和 $\boldsymbol{\delta}$ 為個別項目如所有機台或產品所造成的截距及單位飄移向量， $\mathbf{A}_i(k)$ 代表在第 k 批次所使用的項目，有使用到的項目設為 1，沒有使用到的項目設為 0，控制模型為：

$$\hat{\mathbf{y}}_k = \mathbf{A}_k^T (\mathbf{a}_{k-1} + \mathbf{D}_{k-1}) + \mathbf{b} \mathbf{u}_k \quad (15)$$

其中 \mathbf{a} 為 $\boldsymbol{\alpha}$ 的估計值， \mathbf{D} 為 $\boldsymbol{\delta}$ 的估計值。在品質函數最小的情況下，即在估計值變動最小的情況下，而預測的估計值能最接近製程量測值的目標，得到新的估計值。下列為品質函數：

$$\begin{aligned} J_1(\mathbf{a}_k) &= \frac{\lambda_1}{2} (\mathbf{y}_k - \mathbf{b} \mathbf{u}_k - \mathbf{A}_k^T \mathbf{a}_k)^T \\ & \quad \cdot (\mathbf{y}_k - \mathbf{b} \mathbf{u}_k - \mathbf{A}_k^T \mathbf{a}_k) + \frac{1-\lambda_1}{2} \\ & \quad \cdot (\mathbf{a}_{k-1} + \mathbf{A}_k \cdot \mathbf{D}_{k-1} - \mathbf{a}_k)^T (\mathbf{a}_{k-1} + \mathbf{A}_k \cdot \mathbf{D}_{k-1} - \mathbf{a}_k) \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} J_2(\mathbf{D}_k) &= \frac{\lambda_2}{2} (\mathbf{y}_k - \mathbf{b} \mathbf{u}_k - \mathbf{A}_k^T \mathbf{a}_{k-1} - \mathbf{A}_k^T \mathbf{D}_k)^T \\ & \quad \cdot (\mathbf{y}_k - \mathbf{b} \mathbf{u}_k - \mathbf{A}_k^T \mathbf{a}_{k-1} - \mathbf{A}_k^T \mathbf{D}_k) \\ & \quad + \frac{1-\lambda_2}{2} (\mathbf{D}_{k-1} - \mathbf{D}_k)^T (\mathbf{D}_{k-1} - \mathbf{D}_k) \end{aligned} \quad (17)$$

為了使品質函數有極小值，令 $\frac{\partial J_1(\mathbf{a}_k)}{\partial \mathbf{a}_k} = 0$ ，

$$\frac{\partial J_2(\mathbf{D}_k)}{\partial \mathbf{D}_k} = 0, \text{ 可得到遞迴式:}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{a}_k &= \mathbf{a}_{k-1} + \mathbf{A}_k \cdot \mathbf{D}_{k-1} + \frac{\lambda_1}{1+(s-1)\lambda_1} \\ & \quad \cdot \left[(\mathbf{y}_k - \mathbf{b} \mathbf{u}_k) - (\mathbf{A}_k^T (\mathbf{a}_{k-1} + \mathbf{D}_{k-1})) \right] \mathbf{A}_k \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{D}_k &= \mathbf{D}_{k-1} + \frac{\lambda_2}{1+(s-1)\lambda_2} \\ & \quad \cdot \left[(\mathbf{y}_k - \mathbf{b} \mathbf{u}_k - \mathbf{A}_k^T \mathbf{a}_{k-1}) - (\mathbf{A}_k^T \mathbf{D}_{k-1}) \right] \mathbf{A}_k \end{aligned} \quad (19)$$

將兩者所估計的製程干擾程度，反應在預測模型的截距項，於是求出機台在 $k+1$ 個批次的控制(輸入)參數：

$$\mathbf{u}_{k+1} = (\mathbf{b})^{-1} \left[\mathbf{T} - \mathbf{A}_{k+1}^T (\mathbf{a}_k + \mathbf{D}_k) \right]. \quad (20)$$

如果量測值落後製程 m 批次時，當第 k 批次

對產品進行量測，但是製程已經進行至 $k+m$ 批次，則第 $(k+m)$ 批次的估計值為：

$$\hat{\mathbf{y}}_{k+m} = \mathbf{A}_{k+m}^T (\mathbf{a}_k) + \mathbf{A}_{k+m}^T \left(\sum_{j=1}^m \mathbf{A}_{k+j} \cdot \mathbf{D}_{k+j} \right) + \mathbf{b} \mathbf{u}_{k+m} \quad (21)$$

第 $(k+m)$ 批次的輸入值可利用下式計算：

$$\mathbf{u}_{k+m} = (\mathbf{b})^{-1} \left[\mathbf{T} - \mathbf{A}_{k+m}^T (\mathbf{a}_k) - \mathbf{A}_{k+m}^T \left(\sum_{j=1}^m \mathbf{A}_{k+j} \cdot \mathbf{D}_{k+j} \right) \right] \quad (22)$$

當下一批次 $(k+1)$ 批次量測值獲得時，修正方程式為：

$$\begin{aligned} \mathbf{a}_{k+1} &= \mathbf{a}_k + \mathbf{A}_{k+1} \cdot \mathbf{D}_k + \frac{\lambda_1}{1+(s-1)\lambda_1} \mathbf{A}_{k+1} \\ &\cdot \left[(\mathbf{y}_{k+1} - \mathbf{b} \mathbf{u}_{k+1}) - (\mathbf{A}_{k+1}^T (\mathbf{a}_k + \mathbf{D}_k)) \right] \\ \mathbf{D}_{k+1} &= \mathbf{D}_k + \frac{\lambda_2}{1+(s-1)\lambda_2} \\ &\cdot \left[(\mathbf{y}_{k+1} - \mathbf{b} \mathbf{u}_{k+1} - \mathbf{A}_{k+1}^T \mathbf{a}_k) - (\mathbf{A}_{k+1}^T \mathbf{D}_k) \right] \mathbf{A}_{k+1} \end{aligned} \quad (23)$$

如果在第 k 批次對產品進行量測，但是下一量測值在 $k+m$ 批次才能獲得，則第 $(k+1)$ 至 $(k+m)$ 批次的估計值為：

$$\hat{\mathbf{y}}_{k+j} = \mathbf{A}_{k+j}^T (\mathbf{a}_{k+j-1} + \mathbf{D}_{k+j-1}) + \mathbf{b} \mathbf{u}_{k+j} \quad (25)$$

其中

$$\mathbf{a}_{k+j} = \mathbf{a}_{k+j-1} + \mathbf{A}_{k+j} \cdot \mathbf{D}_{k+j-1}$$

$$\mathbf{D}_{k+j} = \mathbf{D}_{k+j-1}$$

第 $(k+1)$ 至 $(k+m)$ 批次的輸入值為：

$$\mathbf{u}_{k+j} = (\mathbf{b})^{-1} \left[\mathbf{T} - \mathbf{A}_{k+j}^T \mathbf{a}_k - \mathbf{A}_{k+j}^T \mathbf{D}_k \right] \quad (26)$$

當第 $(k+m)$ 批次量測值獲得時，修正方程式為：

$$\begin{aligned} \mathbf{a}_{k+m} &= \mathbf{a}_{k+m-1} + \mathbf{A}_{k+m} \cdot \mathbf{D}_{k+m-1} + \frac{\lambda_1}{1+(s-1)\lambda_1} \\ &\cdot \left[(\mathbf{y}_{k+m} - \mathbf{b} \mathbf{u}_{k+m}) - (\mathbf{A}_{k+m}^T (\mathbf{a}_{k+m-1} + \mathbf{D}_{k+m-1})) \right] \mathbf{A}_{k+m} \\ \mathbf{D}_{k+m} &= \mathbf{D}_{k+m-1} + \frac{\lambda_2}{1+(s-1)\lambda_2} \\ &\cdot \left[(\mathbf{y}_{k+m} - \mathbf{b} \mathbf{u}_{k+m} - \mathbf{A}_{k+m}^T \mathbf{a}_{k+m-1}) - (\mathbf{A}_{k+m}^T \mathbf{D}_{k+m-1}) \right] \mathbf{A}_{k+m} \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{D}_{k+m} &= \mathbf{D}_{k+m-1} + \frac{\lambda_2}{1+(s-1)\lambda_2} \\ &\cdot \left[(\mathbf{y}_{k+m} - \mathbf{b} \mathbf{u}_{k+m} - \mathbf{A}_{k+m}^T \mathbf{a}_{k+m-1}) - (\mathbf{A}_{k+m}^T \mathbf{D}_{k+m-1}) \right] \mathbf{A}_{k+m} \end{aligned} \quad (28)$$

四、模擬驗證

製程模擬的方式選擇四個種類 (A,B,C,D)，每個種類包含兩個項目，以黃光製程為例，四個種類 (A,B,C,D) 分別代表(本

層機台，本層光罩，前層機台，前層光罩)，每一批次執行序的選擇由各個項目出現的機率決定，共有十六個執行序。各個項目出現機率與參考文獻[13]相同。在本節中，將模擬混貨製程中，對於位移或漂移干擾以及量測延誤的影響下，比較 D-EWMA 與 D-JADE 的控制效能。

針對漂移干擾模擬的，在 A1 項目給予一單位漂移量大小為 0.0003 和 0.0007，A2 項目給予一單位漂移量大小為 0.0002 和 0.0005 的干擾，控制結果如圖 1-4 所示。量測延遲為每一批次機台的輸出值無法在下一批次前得到量測結果，本計畫模擬量測資料落後製程 3 批次的控制結果，控制結果如圖 5-8 所示。部分量測為間隔每幾個批次無法得到量測結果，本計畫模擬量測資料間隔 3 批次的控制結果，控制結果如圖 9-12 所示。

五、結論

由模擬結果得知，無論在何種製程受到何種干擾，D-JADE 控制器皆比 D-EWMA 控制器具有更好的控制效能，原因為由於 independent D-EWMA 將混貨製程每一執行序視為獨立製程，然而不同執行序可能用到相同機台或生產相同產品，因此將混貨製程每一執行序視為獨立製程並不適合，而 D-JADE 控制器將各個可能造成製程變異的種類做區分，分別估計因為不同產品或機台所造成的干擾，並且比 JADE 控制器增加一個估計器來估計製程單位飄移量，因此獲得更好的控制效能。

六、計畫成果自評

本研究從傳統的單一機台單一產品控制方式發展至多機台多產品之研究，正可以配合時代潮流趨勢，可預知診斷可能發生的製程異常偏離，並進一步的調整製程機台參數，使得製程機台回歸正常狀態，避免無預警停機而造成的製品損失。研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標、研究成果具學術與應用價值、適合在學術期刊發表。

七、參考文獻

- [1] E. D. Castillo, "Long Run and Transient Analysis of a Double EWMA Feedback Controller," IIE Transactions, Vol. 31, pp. 1157-1169, 1999.
- [2] A. Chen and R. S. Guo, "Age-Based Double EWMA Controller and Its

- Application to CMP Processes,” IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Vol. 14, No. 1, pp. 11-19, 2001.
- [3] R. Good and S. J. Qin, “Stability Analysis of Double EWMA Run-to-Run Control With Metrology Delay,” Proceedings of American Control Conference, Alaska, pp.2156-2161, 2002.
- [4] G. B. Wang, E. Lin, H. You, M. W. Lee, F. Hsiao, C. Lai, ”Wafer by Wafer Control in CMP System With Metrology Delay,” IEEE Department of Chemical and Materials Engineering, pp. 178-181, 2004.
- [5] R. S. Guo, A. Chen, and J. J. Chen, “Run-to-Run Control Schemes for CMP Process Subject to Deterministic Drifts,” Semiconductor Manufacturing Technology Workshop, Hsinchu, ROC, pp. 251-258, 2000.
- [6] J. Wang, Q. Peter, S. J. Qin, C. A. Bode, and M. A. Purdy, “Recursive Least Squares Estimation for Run-to-Run Control with Metrology Delay and Its Application to STI Etch Process,” IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Vol. 18, No. 2, pp. 309-319, 2005.
- [7] S. T. Tseng, W. Song, and Y. C. Chang, “An Initial Intercept Iteratively Adjusted (IIIA) Controller : An Enhanced Double EWMA Feedback Control Scheme,” IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Vol. 18, No. 3, pp. 448-457, 2005.
- [8] R. Good and S. J. Qin, “On the Stability of MIMO EWMA Run-to-Run Controllers With Metrology Delay,” IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Vol. 19, No. 1, pp. 78-86, 2006.
- [9] J. Wang, and Q. Peter, “A Bayesian Approach for Disturbance Detection and Classification and Its Application to State Estimation in Run-to-Run Control,” IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Vol. 20, No. 2, pp. 126-136, 2007.
- [10] J. H. Chen, T. W. Kuo, and T. C. Chen “Advanced Process Control of Metal Sputter Deposition Using A Time Series Analysis,” The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 36(5), pp. 501-509, 2008.
- [11] J. H. Chen, T. W. Kuo, and A. C. Lee, “Run-by-Run Process Control of Metal Sputter Deposition: Combining Time Series and Extended Kalman Filter,” IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Vol. 20, No. 3, 2007. (to be published)
- [12] A. J. Pasadyn, A. J. Toprac, and T. F. Edgar “Adaptive Control of Multiple Product Processes,” SPIE Vol.4182, pp. 22-30, 2000.
- [13] S. K. Firth, W. J. Campbell, A. Toprac, and T. F. Edgar, “Just-in-Time Adaptive Disturbance Estimation for Run-to-Run Control of Semiconductor Processes,” IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Vol. 19, No. 3, pp. 298-315, 2006.
- [14] R. Rajagopal and E. Del Castillo, “An analysis and MIMO extension of a double EWMA run-to-run controller for non-squared systems,” International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, 10(4), pp. 417-428, 2003.
- [15] E. D. Castillo, and R. Rajagopal, “A Multivariate Double EWMA Process Adjustment Scheme for Drifting Processes” IIE Transactions Vol. 34, No. 12, pp. 1055-1068, 2002.
- [16] C. T. Su, C. C. Hsu, “A Time-Varying Weights Tuning Method of The Double EWMA Controller,” Department of Industrial Engineering and Management, National Chiao Tung University , Vol.32, pp. 473-480, 2004.
- [17] S. T. Tseng, A. Yeh, F. Tsung, Y. Y. Chan, “A Study of Variable EWMA Controller,” IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Vol. 16, No. 4, pp. 633-643, 2003.

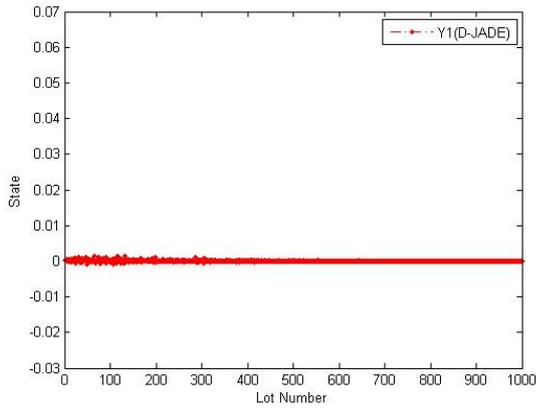


圖 1 漂移干擾時 D-JADE 的控制結果 (模型一)

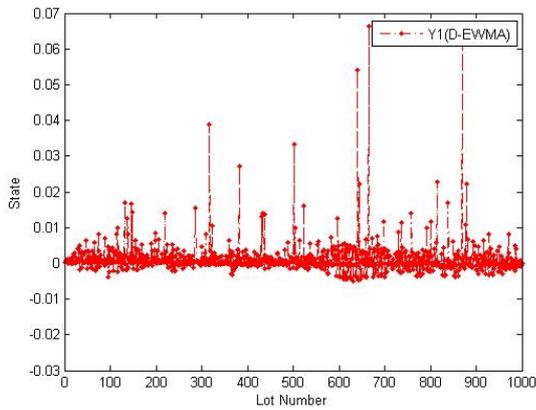


圖 2 漂移干擾時 D-EWMA 的控制結果 (模型一)

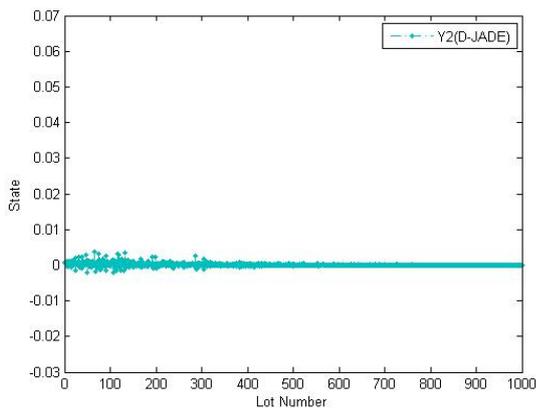


圖 3 漂移干擾時 D-JADE 的控制結果 (模型二)

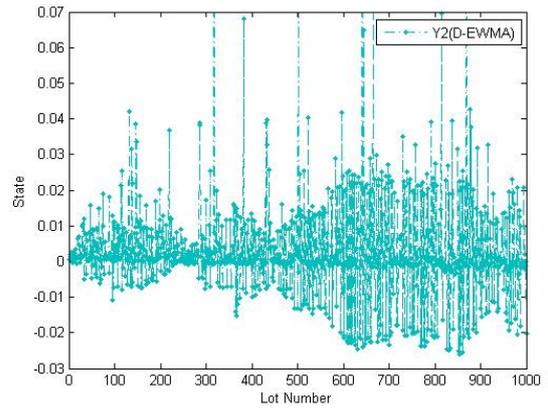


圖 4 漂移干擾時 D-EWMA 的控制結果 (模型二)

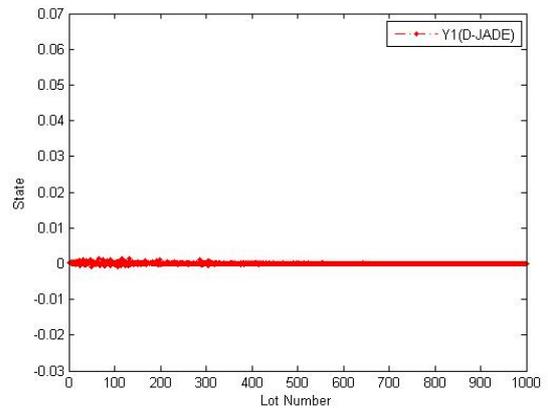


圖 5 量測延遲時 D-JADE 的控制結果 (模型一 lag=3)

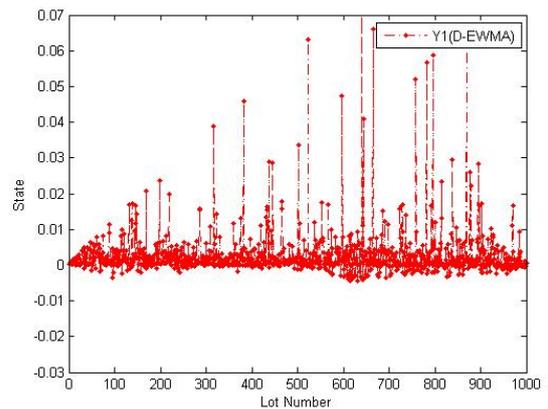


圖 6 量測延遲時 D-EWMA 的控制結果 (模型一 lag=3)

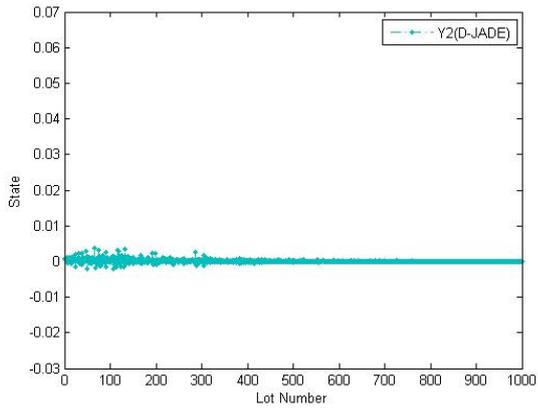


圖 7 量測延遲時 D-JADE 的控制結果
(模型二 lag=3)

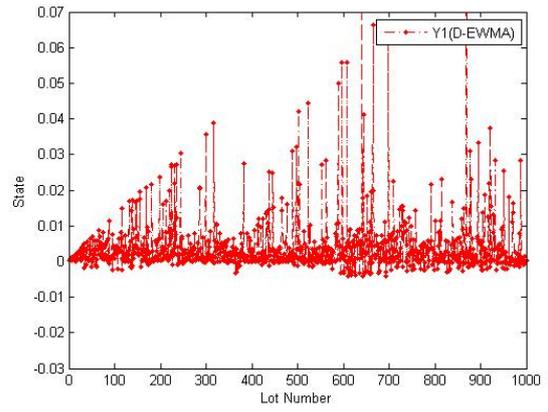


圖 10 部分量測時 D-EWMA 的控制結果
(模型一 間隔數為 3)

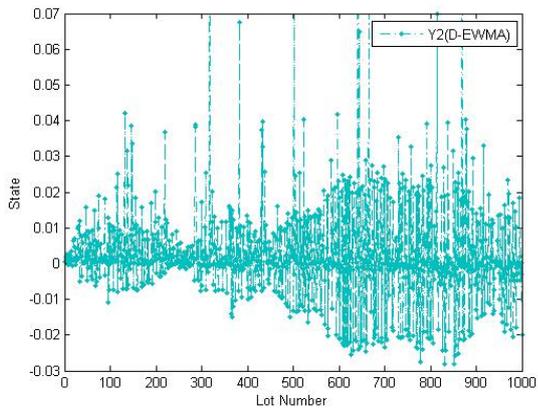


圖 8 量測延遲時 D-EWMA 的控制結果
(模型二 lag=3)

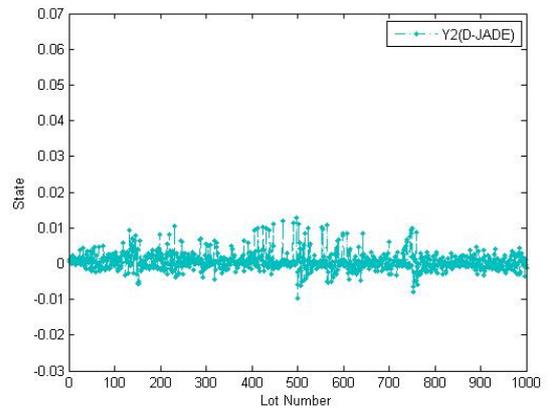


圖 11 部分量測時 D-JADE 的控制結果
(模型二 間隔數為 3)

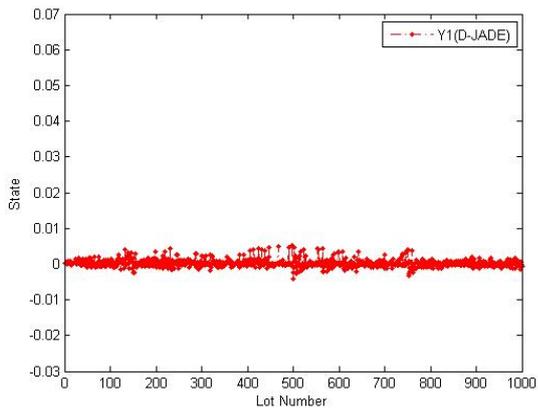


圖 9 部分量測時 D-JADE 的控制結果
(模型一 間隔數為 3)

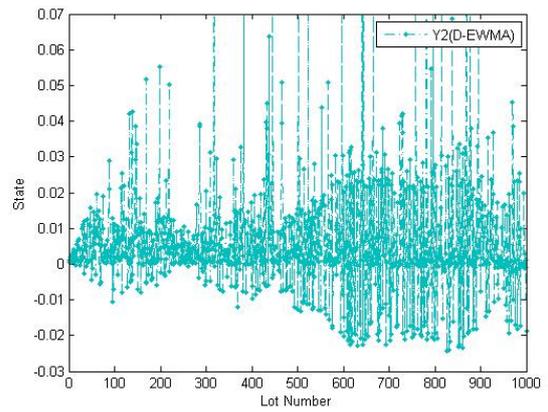


圖 12 部分量測時 D-EWMA 的控制結果
(模型二 間隔數為 3)

可供推廣之研發成果資料表

 可申請專利

 可技術移轉

日期：98 年 10 月 28 日

國科會補助計畫	計畫名稱：半導體混貨製程之製程干擾預測與控制(II) 計畫主持人：陳俊宏 計畫編號： NSC 97-2221-E-216-024 學門領域：生產自動化技術
技術/創作名稱	半導體混貨製程控制器
發明人/創作人	陳俊宏
技術說明	中文：本計畫針對高度混貨的半導體製程，發展出一套先進混貨製程控制技術。由目前習慣沿用單機、單產品與利用後量測值調整製程參數，轉變成多機、多產品之批次控制，估計分別因為不同機台或產品所造成的製程干擾。本文對於具有漂移干擾的半導體混貨製程，採用兩個演算方法，一個用來補償製程位移干擾所造成的變異，一個用來補償批次與批次之間漂移干擾所造成的變異，此種的控制方式稱為 D-JADE，能更有效的將混貨製程中製程漂移的現象，控制在穩定的狀態中。由模擬結果可知，對於具有漂移干擾的混貨製程，本文提出的 D-JADE 控制方法有較好的預測效能。 英文：This project developed an advanced control technology for mix-product semiconductor processes. The conventional run-to-run process control for single-tool and single-type-product processes was improved to that for mix-tool and mix-product processes through individually estimating the disturbances induced by tools and products. The proposed controller, termed D-JADE, can estimate the shift and drift disturbances simultaneously for the drifting semiconductor processed by two estimators, one for shifts and the other for drifts. The simulation results demonstrate that the performance of the proposed controller is higher than those of existed controllers for the drifting mix-product semiconductor processes.
可利用之產業及可開發之產品	半導體產業、混貨製程控制器
技術特點	應用於半導體製程多機台混貨製程控制
推廣及運用的價值	應用於半導體製程多機台混貨製程控制

※ 1. 每項研發成果請填寫一式二份，一份隨成果報告送繳本會，一份送 貴單位研發成果推廣單位（如技術移轉中心）。

※ 2. 本項研發成果若尚未申請專利，請勿揭露可申請專利之主要內容。

※ 3. 本表若不敷使用，請自行影印使用。