

多變量製程品質監控技術在蒸鍍製程上的應用

李銘偉 賴志維 蕭輔寬 陳丁碩

製程模擬與異常狀態診斷實驗室 工業安全科技研究組

環境與安全衛生技術發展中心

摘要

隨著光電、半導體產業的製造系統之日趨複雜，為求系統能夠穩定運作，避免因製程異常偏離正常操作狀態，而造成製程良率下降或生產線停機等嚴重損失，所以製程異常之即時偵測與診斷變成相當重要的課題。本文將以光電廠的蒸鍍製程為例，以期透過多變量製程品質監控技術，有效整合廠內工程師的製程知識與經驗，以建立預測製程的即時狀況，迅速掌握製程動態，協助工程師及早找出影響製程良率的重要變因，降低異常發生的機率，因而有效減少因產品品質不良的損失。

1 前言

在生產製造過程中，不同階段的製造參數資料或分析的資訊會被儲存至資料庫中，以進行產品的監控或是製程分析。產品工程師或製程工程師可以從這些資料中，根據統計分析的報表及過去的經驗選擇最有可能造成製程良率不佳的參數、機臺或是特定製程區段，再利用實驗設計及實驗性批量生產來驗證所選擇之參數、機臺或特定製程區段，是否確實為影響良率的主因。這也就是所謂的工程資料分析(Engineering Data Analysis, EDA)。但隨著製程技術的不斷提升，製程也愈趨複雜，過程中所累積的大量的製程參數，及參數間愈來愈複雜的相互影響關係，以一般傳統的統計方法已經無法滿足資料分析在時間壓力下的需求，因為工程師所面對的統計分析報表數量大幅成長，使得良率問題根本原因分析所需的時間愈來愈長，困難度愈來愈高。

由於目前在國內業界中對於工程資料分析的作法多是由資深工程師提供規則，再利用商用套裝統計分析軟體，將製程的工程師的經驗法則應用在良率分析上，來找出可能的製程變因。由於對統計圖模式的判斷是由人為的經驗法則來完成，分析的結果也無法做經驗的累積，因而常常成為資深工程師的口袋技術。此外，工廠的工程資料庫與商用套裝統計軟體間也沒有很緊密的結合，儘管有些商用套裝軟體雖然功能強大，但因不是依產業的製造特性來設計，反而因太過於複雜而造成工程師不知如何使用。因此若能提供一自動化的有效分析工具，以期透過製程資料的分析，並有效整合廠內工程師的製程知識與經驗，以建立預測製程的即時狀況，迅速掌握製程動態，協助工程師及早找出影響製程良率的

重要變因，降低異常發生的機率，因而有效減少因產品品質不良的損失。

2 多變量統計製程管制技術

在製程中，有許多看似獨立的變數，彼此間存在著關連性或共線性(Collinearity)，我們可以将原變數用線性組合方式對應至新變數關係中，如此可在新變數各自獨立的情形下，經過維度的簡化，以較簡潔的變數群表現原始資料，主成分分析法(Principal Component Analysis)即是以此技巧分析數據。

在多維問題裏，變數間若存在高度相依(highly dependent)，則去除某些這種變數，對於問題並沒有太大的影響，但是卻能使問題維度大大減少，使得問題變得容易分析、處理。而 PCA 的主要理念就是要將原本變數眾多，且相互關聯的問題，在盡可能保留變數間變異(variance)的情況下，減少問題的維數。PCA 的作法是以數學轉換的方式，將原本相互關聯的變數集，轉換成彼此不相關聯的變數集，這些彼此不相關聯的變數稱為 Principal Components (PCs)。以幾何的角度來看，PCA 是將原來多維空間的點，投影到較低維的空間裏。

2.1 主成份分析法

主成分分析法的作法可以在很多的著作裏找到[1, 2]，在此只簡單地描述。令 Y 代表一個 $n \times m$ 的資料矩陣(n 為樣本的個數， m 為變數個數)，PCA 將 Y 分解成：

$$Y = TP' + E \quad (1)$$

式(1)中 P' 代表 P 的轉置, $T = [t_1 \ t_2 \ \dots \ t_f]$, 維度為 $n \times f$, 稱為 Score 矩陣, 而 $P = [p_1 \ p_2 \ \dots \ p_f]$, 維度為 $m \times f$, 稱為 Loading 矩陣, E 為殘值(Residual)部分。在矩陣 P 中, p_i 為 Y 的共變異(Covariance)矩陣的 Eigenvector, 其中 p_1 對映到最大的 Eigenvalue, 為第一個 PC (First Principal Component), p_2 對映到第二大的 Eigenvalue, 為第二個 PC, 其它依此類推。 t_i 則為 Y 投影到 p_i 方向的投影值, 一般而言, f 的值會遠小於 m , 因而達到減少變數的目的, 又因為 p_i 為 Eigenvectors, 彼此間互相正交, 所以轉換之後的新變數可以達到完全不互相關聯。

由於 Loading 矩陣是由一群 Eigenvectors 所組成, 因此 $P'P = I$, 若式(1)的殘值部分 E 可以忽略, 則 Score 矩陣為:

$$T = YP \quad (2)$$

我們也可以由 T 和 P 反推算資料矩陣 Y :

$$\hat{Y} = TP' \quad (3)$$

式(3)中 $\hat{Y} = Y - E$ 。式(2)為資料由高維度空間投影到較低維度的空間, 可視為資料壓縮(Mapping), 而式(3)為式(2)的反運算, 可視為資料解壓縮(De-mapping)過程。

2.2 T^2 檢定

PCA 可同時管制製程多變數操作的範圍和變數的關連性, 數據經 PCA 處理之後, 原數據會分佈在幾個主要 PCs 所組成的超平面(Hyper-plane)上, 利用原數據投影在超平面上(即 Score)與原點距離平方做統計檢定, 辨識數據是否在正常的管制範圍內, 稱為 T^2 檢定(T^2 Test), 其計算方式為:

$$T^2 = T_j T_j' \quad (4)$$

其中 T_j 為一個 $1 \times f$ 的向量, 為第 j 個樣本 y ($1 \times m$ 的向量)的 Score ($T_j = yP$)。 T^2 檢定的控制上限可由 F 分佈(F-distribution)計算得到:

$$T_{\alpha(n,f)}^2 = \frac{f(n-1)}{n-f} F_{\alpha(f,n-f)} \quad (5)$$

式(5)中 n 為樣本的個數, f 及 $n-f$ 為 F 分佈的自由度(Degree of Freedom), α 值表示在這樣的控制上下限, 發生錯誤警報(False Alarm)的機率為 $100(1-\alpha)$, 通常其值為 0.99 或 0.95。因此, 無論製程有多少個變數(維度), 利用 PCA 能將 SPC 對於每個變數的管制圖簡化成 T^2 檢定管制圖。

3 案例研究—蒸鍍製程

3.1 製程簡介

平面顯示器(Flat Panel Display / FPD)為全球目前最重要之電子資訊應用產品之一。在人類對於多媒體資訊的依賴度日益提高的現代生活中, 針對高視覺品質且輕薄省電之可攜式平面顯示器產品的需求更為殷切。有機電激發光二極體(Organic Light-Emitting Diode, OLED), 又稱為有機 EL, 所製成之平面顯示器因具有自發光、無視角限制、應答速度快、低操作電壓、低耗電量及製程簡易等優點, 自然成為擁有相當潛力且深具各界矚目之科技新寵。

基本的有機 EL 顯示元件構造如圖 1 所示[3], 在鍍有 ITO 薄膜的玻璃基板上, 利用真空熱蒸鍍方式分別將多種有機材料蒸鍍成膜, 再將作為陰極的金屬薄膜形成於有機層之上。接著, 為防止外部水氣對有機 EL 元件造成壽命劣化, 用 UV 接著劑將貼有乾燥劑的封蓋與有機 EL 基板緊密接合以阻擋水氣侵入。

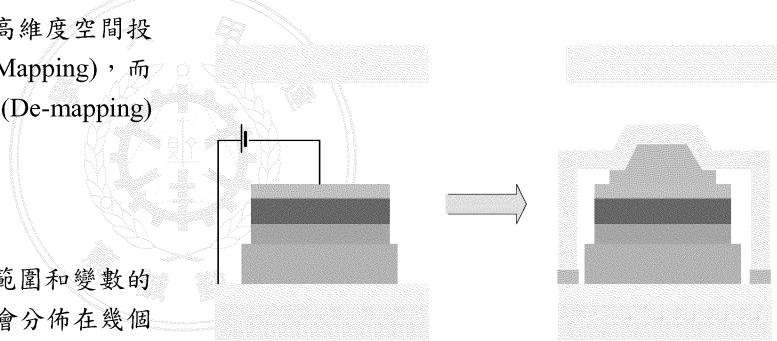


圖 1 有機 EL 顯示元件構造

儘管 OLED 的生產流程較為簡單(參照圖 2), 但任一製程控制的不穩定, 往往可能會影響到接下來的製程, 因而造成不可彌補的損失如何。因此如何在製程發生不穩定的現象時, 能即使偵測出異常的原因, 並於異常前提出正確地操作方式, 來提升產品品質以有效提高產品良率則為其決定其產品競爭力的重要成功關鍵因素。

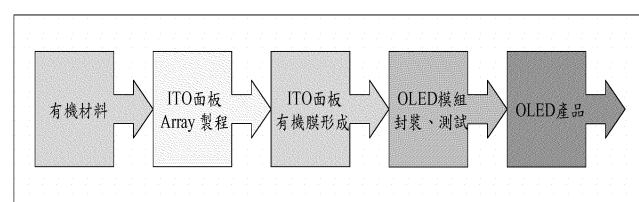


圖 2 OLED 生產流程

3.2 異常狀態偵測與分類

首先針對所收集到的蒸鍍製程資料，將同一 Substrate 中所有資料取最大值、最小值、平均值與標準差代表該變數於此批次之所有數據，並利用 MSPC 的主成份分析方法進行數據解析，可以得到如圖 3 所示的分析結果：

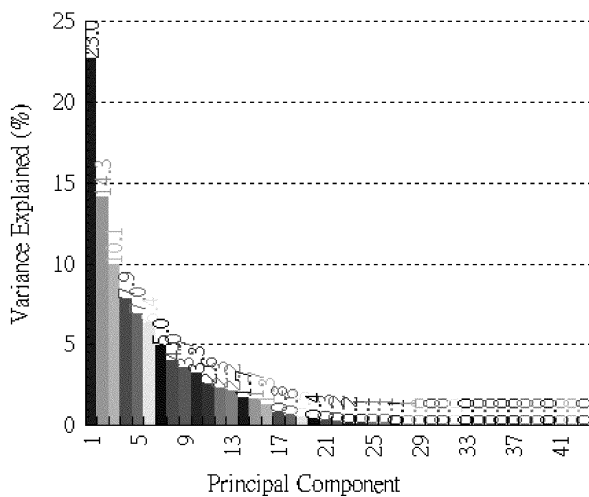


圖 3 主成份分析結果

在本案例中，MSPC 選擇 7 個主成份(掌握約 74% 的製程變異)，可得到如圖 4 所示的 Hotelling's T^2 管制圖(選擇 $\alpha = 0.0027$ ，相當於 SPC 的上下各 3 個標準差)。

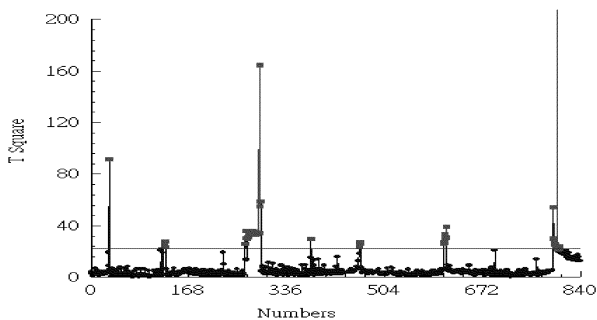


圖 4 Hotelling's T^2 管制結果

再根據如圖 5~圖 7 所示的異常點變數變異貢獻圖，可歸納出導致良率降低的 10 種基本類型：

- I. Rate_1 偏離所致(如圖 5 所示)，通常會造成 Thickness_1、Thickness_2 與 Evaporation_Time 的偏離，其他變數則無顯著偏離。
- II. Rate_2 偏離所致(如圖 6 所示)，通常會造成 Thickness_1、Thickness_2 與 Evaporation_Time 的偏離，其他變數則無顯著偏離。

- III. Degree of Vacuum 的偏離現象(如圖 7 所示)。
- IV. Degree of Vacuum_Pump 的偏離現象。Degree of Vacuum_Pump 在製程中，幾乎保持不變，僅 Sample 800 與 959 有少許的變化，也許不致於影響蒸鍍的品質，但從製程變異的角度來看，製程偏離的情形非常顯著。此變數有所偏離時，Type III 也伴隨發生。
- V. Power_1 的偏離現象，通常也導致 Rate_1 的偏離。
- VI. Depo Power_1 的偏離，通常此變數偏離時，Rate_1 也有偏離的現象。
- VII. Crucible_1_Temp 的偏離，通常此變數偏離時，Rate_1 也有偏離的現象。
- VIII. Power_2 的偏離現象，通常也導致 Rate_2 的偏離。
- IX. Depo Power_2 的偏離，通常此變數偏離時，Rate_2 也有偏離的現象。
- X. Crucible_2_Temp 的偏離，通常此變數偏離時，Rate_2 也有偏離的現象。

製程偏離的情形除了基本形態外，尚有多種基本形態的組合：I+II、II+VIII+X、II+X、I+II+VI+VII、I+III、I+II+III+VI、II+III+X 和 II+III 等複合式製程異常類型。

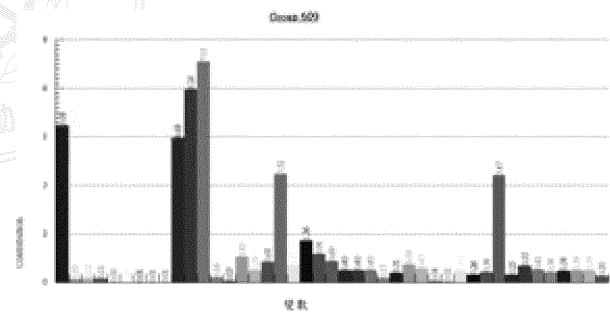


圖 5 Type I 類型異常模式

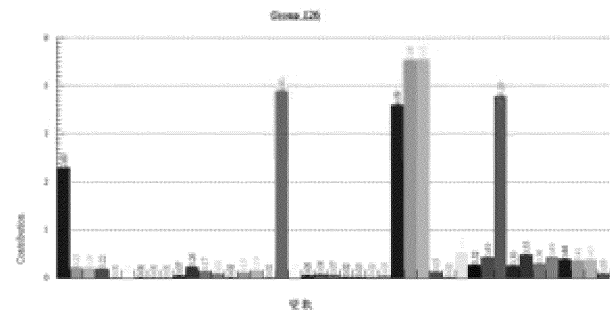


圖 6 Type II 類型異常模式

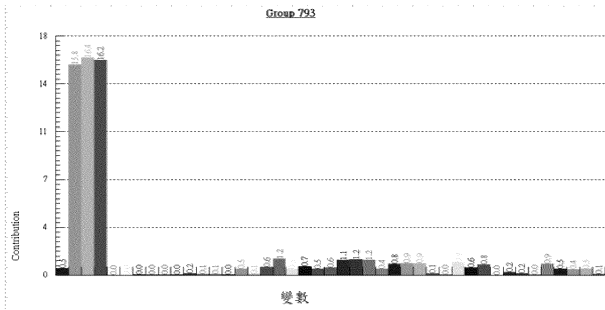


圖 7 Type III 類型異常模式

4 先進製程控制技術暨整廠即時製程資訊系統解決方案

隨著工業化程度的提昇與電腦通訊技術的進步，以往在製程中被認為極難取得與保存應用的數據，如今都已能經由資訊整合系統輕鬆取得並轉送到個人電腦上加以運用。由於生產的數據是製程現況的重要表徵，經由這些數據的分析結果，最能真實反應工廠的現況，故其為工廠安全操作的重要資訊來源。工業技術研究院環境與安全衛生技術發展中心深切體認此類資訊對於生產操作安全的重要性，故於製程模擬與異常狀態診斷實驗室分項計畫下發展先進製程控制技術暨整廠即時製程資訊系統解決方案，提供業者導入全方位設備工程系統(Equipment Engineering System, EES)所需之系統基礎平臺與應用技術，並可同時解決廠務即時資訊整合、高階應用、即時效能監視等應用需求。此技術將可使複雜的產業製造過程自動化，可幫助降低成本、增進生產力，提升業者即時掌握製程與設備異常狀態管理能力，來減少異常狀態可能對品質、效率以及良率所產生的不良影響。

在先進製程控制技術暨整廠即時製程資訊系統解決方案中(圖8)，MSPCFine 技術模組是製程資料分析之專業模組，分析結果可以用來發現製程問題、瞭解製程特性。在離線分析中，與 SPC 做結合，方便使用者可以同時進行單變數與多變數的分析；另外，也提供主成份分析(PCA)，用來監控制製程。其主要分析功能有：賀德林 T-square(Hotelling's T2)及平方預測誤差(Squared Prediction Error, SPE)。

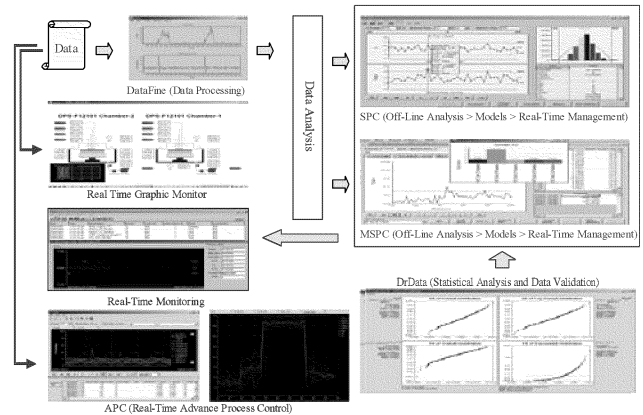


圖 8 先進製程控制技術暨整廠即時製程資訊系統解決方案分析流程

5 結論

隨著光電、半導體產業的製造系統之日趨複雜，為求系統能夠穩定運作，避免因製程異常偏離正常操作狀態，而造成製程良率下降或生產線停機等嚴重損失，所以製程異常之即時偵測與診斷變成相當重要的課題。

本文以光電廠的蒸鍍製程為例，以期透過多變量製程品質監控技術，分析製程生產資料，及早發現異常狀況，降低危害發生的機率，以避免因產品品質不良所造成的損失。此外，透過資訊平臺之建立，可以迅速掌握製程動態，並藉由客製模組之開發，能將製程資訊迅速透過電腦化應用，在自動化程度提升後，工程師可以挪出更多的時間照顧其他的事情而衍生更多的效益出現，並透過解決方案及資訊科技之應用加值，可提高良率分析的效率、更能減少不良率產品的影響，以致提高生產效能。工程師可以即時的進行分析，更快更準確的找到影響良率的參數，節省 50% 以上的分析時間，讓工作更有效率。

References

- [1] Kourti, T. and J. F. MacGregor; "Multivariate SPC Methods for Process and Product Monitoring," *Journal of Quality Technology*, 28, pp. 409-428, 1996.
- [2] Russell, E., Chiang, L. H. and R. D. Braatz; *Data-driven Methods for Fault Detection and Diagnosis in Chemical Process*, Springer, 2000.
- [3] 袁建華, "有機 EL 顯示元件製作技術", *Micro-Electronics*, pp.205-209, 2002.