

虛擬量測技術開發

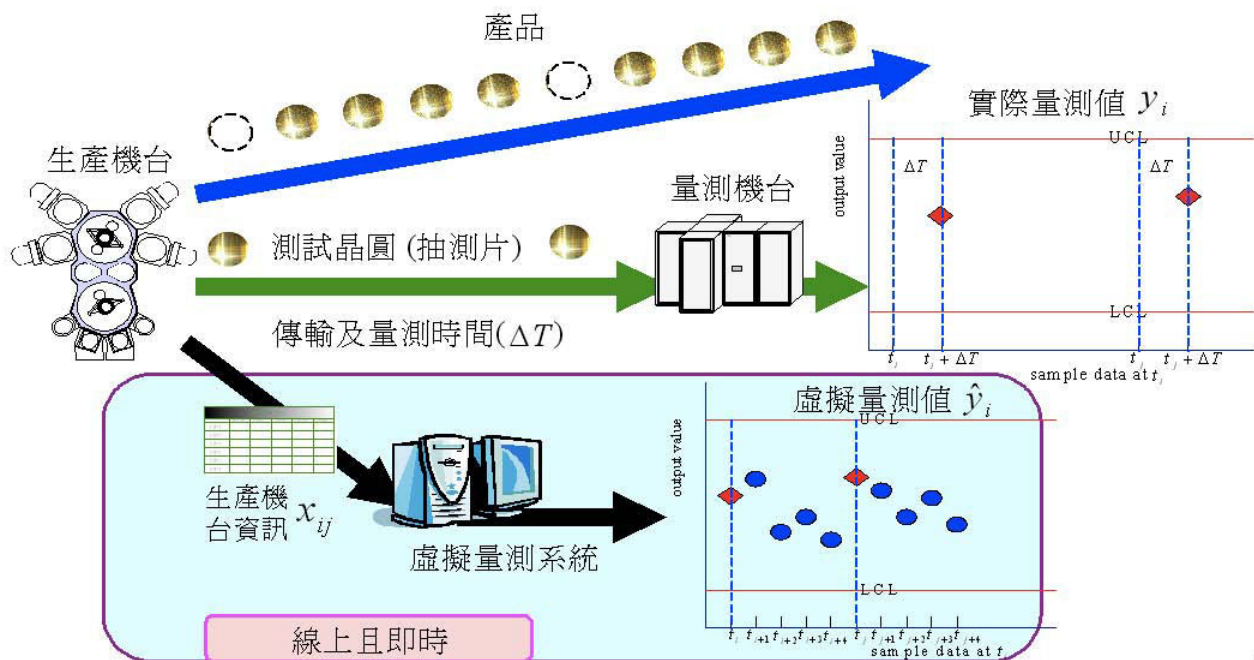
鄭芳田*、林東河

成功大學製造工程研究所

chengft@mail.ncku.edu.tw

國科會95年度傑出產學合作獎得獎主要依據且將刊登於 IEEE Trans. Semicond. Manuf., Nov. 2007.

在半導體與TFT-LCD廠，生產機台皆需進行週期性監控，以確保製程穩定及高良率之產品（半導體廠為晶圓，TFT-LCD廠為玻璃）。以半導體廠為例，一般做法為在每個卡匣（半導體廠稱為FOUP，TFT-LCD廠稱為Cassette）內抽測乙片晶圓，以進行週期性品質監測。然週期性監控並無法達到即時監測每片晶圓品質，以致無法及時發現機台效能漂移等問題，因此仍可能導致晶圓品質不良，而造成極高之成本損失。其解決方案為運用虛擬量測（VM）技術，在無實際量測值之情況下，利用生產機台參數，即時推估其晶圓品質，以進行機台效能監控，並避免晶圓缺陷產生。



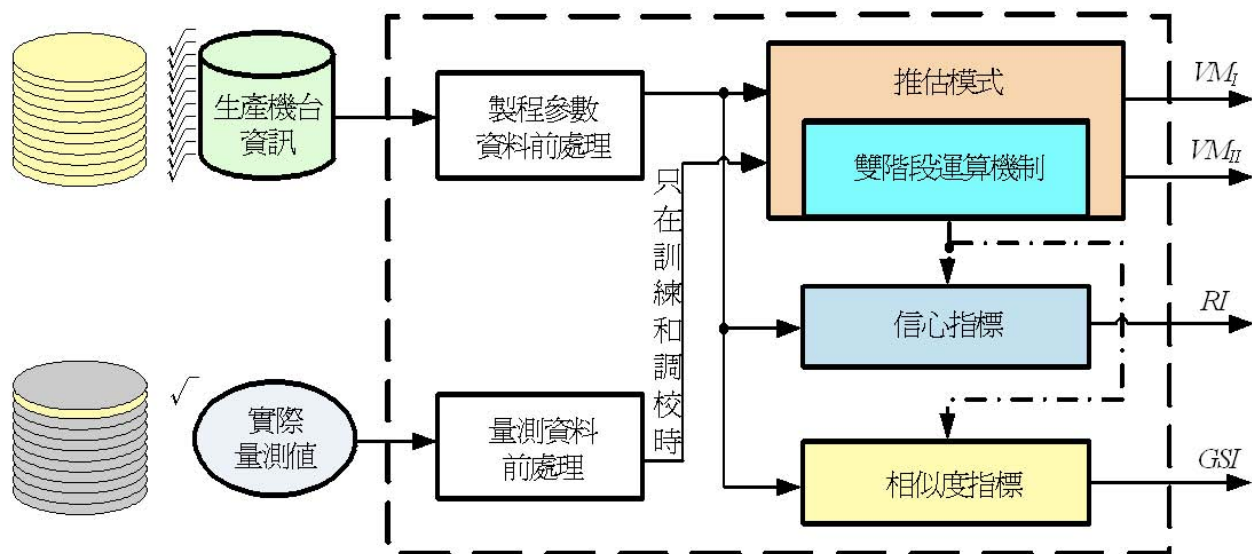
圖一. 虛擬量測概念圖

虛擬量測系統(VMS)對於半導體與TFT-LCD廠之最大功效為能線上即時推估每片工件之品質狀況。圖一所示為虛擬量測概念，該圖上半部份所示為目前多數半導體廠之製程品質監測作法。在其生產機台上，每個卡匣內計25片晶圓，並非每片均執行量測，而是僅固定抽測其中之一片，以監控機台是否異常及確保晶圓品質。該圖所示之 t_j 與 $t_j + T$ 係二片抽測片完成加工時間點，而 $t_j + T$ 與 $t_j + T$ 分別為取得量測值時間點，亦即當抽測片完成加工後須等 T (約6小時)時間才能取得量測值。此種監控方式係假設機台製程品質不會突然發生異常，且抽測片之抽測結果可代表該段期間之晶圓品質。因此，該方式僅能瞭解抽測片之品質，而無法得知抽測片以外時段之其它晶圓品質。

該圖下半部份則顯示以VMS取代實際量測之效益，其做法僅需即時取得生產機台參數資料並透過VMS即可獲得晶圓品質之預測值(\hat{y})，該圖顯示監控片及所有晶圓均可得到預測值。由於在完成加工後，須再等待

大約6小時，才能取得量測值，且除抽測片之外其它晶圓均無量測值。上述問題，當採用VMS後，均可解決。

本研究提出雙階段VM架構如圖二所示，該架構包含下列五個模組，茲說明其目的如下所述：

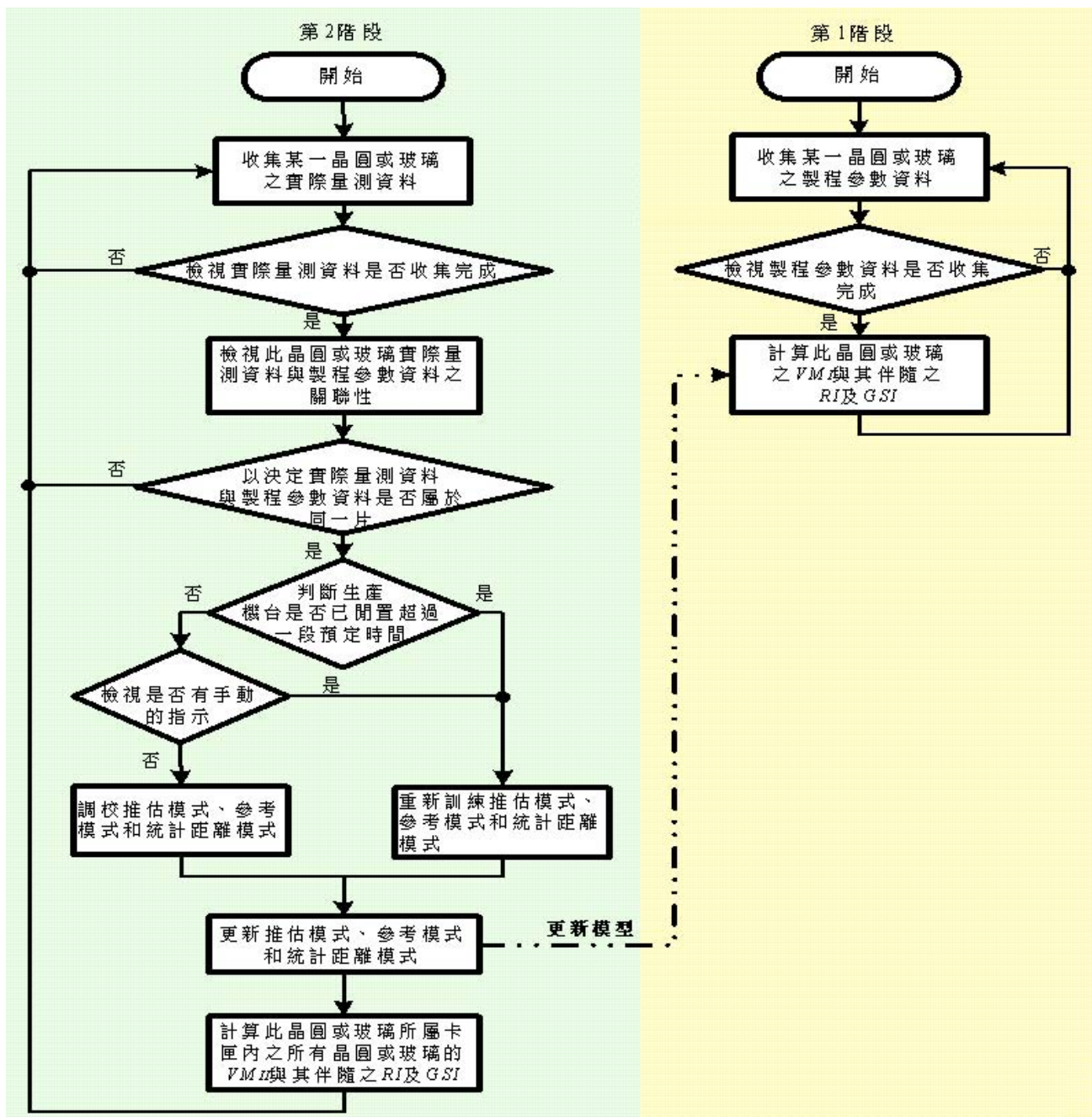


圖二. 雙階段虛擬量測架構圖

■資料前處理在VMS進行預測值 (\hat{y}) 及信心指標 (RI)/製程參數整體相似度指標 (GSI) 等運算之前，須進行資料前處理，以確保資料品質及高預測精度。

■預測模型此預測模型為VMS之核心，並選用簡易循環式類神經網路(SRNN)及複迴歸(MR)作為建構VM預測模型之演算法。

■雙階段演算法雙階段演算法如圖三所示。Phase-I (VM_I) 係當完成每片晶圓或玻璃之製程資料接收後，立即計算出其 \hat{y} / RI / GSI，由於耗費時間少於1秒，因此符合即時預測需求；Phase-II (VM_{II}) 則是當完成量測資料接收，並與製程資料比對其序號，當二者序號比對成功之後，此組製程及量測資料則作為調校或再訓練預測模型後提供預測值。當進行調校或再訓練之後， \hat{y} / RI / GSI 模型將會更新，且該整個卡匣內之每片晶圓或玻璃之 \hat{y} / RI / GSI 值會重新計算，而更新後模型則作為計算新進晶圓或玻璃的 VM_I 之 \hat{y} / RI / GSI 值。 VM_{II} 預測值會比 VM_I 更加準確。



圖三. 雙階段虛擬量測演算法

■信心指標 (**RI**) 表示預測值準確度之可信度。RI之目的係藉由分析生產機台之製程參數資料，計算出一個介於0與1之間的信心值，以判斷VMS預測結果是否可被信賴。其原理係運用製程參數資料並利用NN與MR預測值及其分配，再利用上述二個分配之覆蓋率求出RI值 (如圖四所示)；其次，運用最大可容忍誤差上限 (E_L) 相對應RI值，求得信心指標門檻值 (RI_T)。若RI值大於 RI_T 時，代表該預測值可被信賴；反之，當RI值低於 RI_T 時，則發出警訊，作為設備工程師進行機台檢查或製程工程師進行參數調校，以確認製程是否穩定。

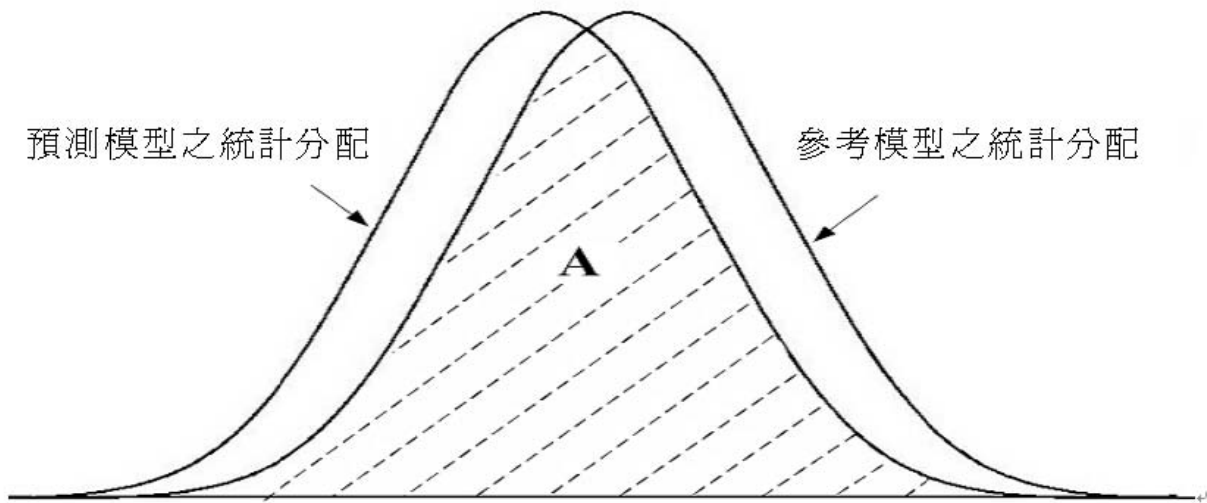


圖 四. 定義RI之統計分佈圖

■製程參數相似度指標 (**SI**)SI之主要目的係比較預測段與建模段製程參數資料之相似程度。該指標包含二部份，其一為前述之GSI，其二為製程參數個體相似度指標(ISI)。GSI為預測段之製程參數與建模段所有參數的相似程度。而ISI則為預測段之任一製程參數與建模段之該參數所有樣本經標準化之絕對相似程度，此SI係作為輔助信心指標之判斷。

根據上述之VM架構，本研究提出RI/GSI判斷流程如圖五所示，並說明其意義如下所述：

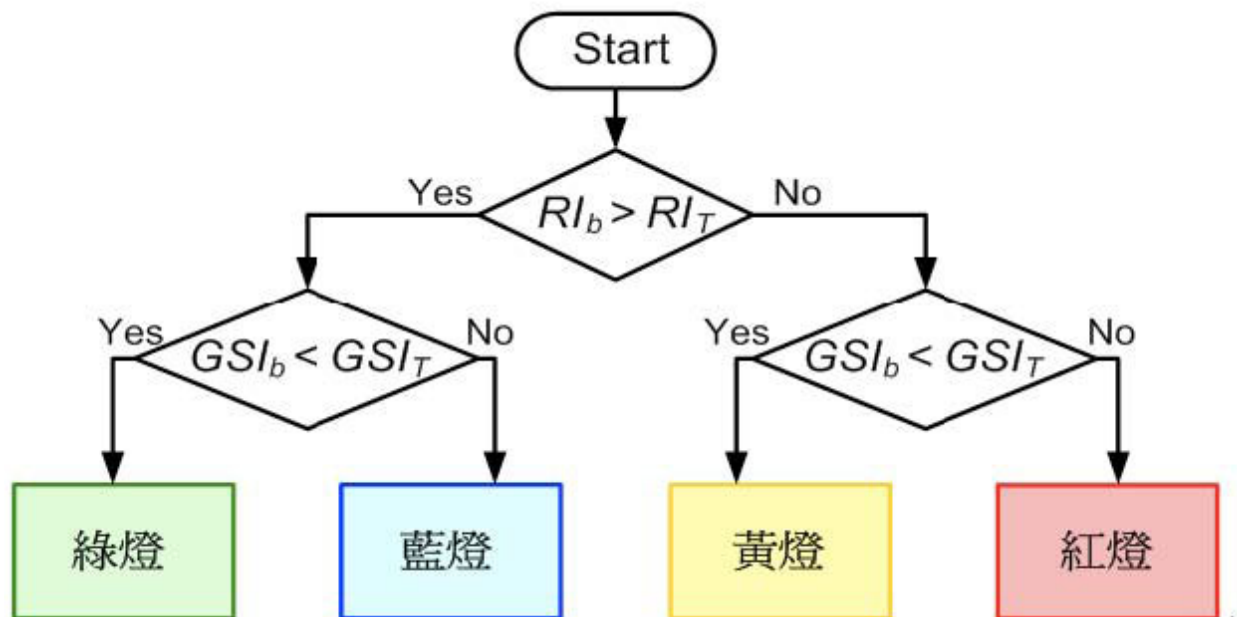
■綠燈: 若 RI_b (b 代表預測點)高於 RI_T 且 GSI_b 低於 GSI_T 時，表示NN與MR預測結果相似，且新進與建模製程參數資料相似度高，因此對預測值具備高度信心。

■藍燈:若 RI_b 高於 RI_T 且 GSI_b 高於 GSI_T 時，由於GSI 值較高，需檢查ISI顯示之製程參數是否異常。

■黃燈: 若 RI_b 低於 RI_T 且 GSI_b 低於 GSI_T 時，因RI值低顯示預測值可能不準確，但由於 GSI_b 值低，表示新進與建模參數資料相似度高，此時可能會有MR預測值不佳之狀況。

■紅燈: 若 RI_b 低於 RI_T 且 GSI_b 高於 GSI_T 時，表示NN與MR預測結果差異甚大，且由於 GSI_b 值高，表示新進與建模製程參數資料相似程度低，因此可認定為預測值不準確。

■ISI柏拉圖: 當各預測點亮藍燈或紅燈時(即 GSI_b 大於 GSI_T)，表示製程參數可能異常，可藉由ISI柏拉圖得知異常參數之權重排序。



圖五. RI/GSI判斷流程

本研究所提出久雙階段VM架構，其中 VM_I 強調速度，而 VM_{II} 則為提昇精度，此架構適用於逐片檢測先進製程控制 (W2W APC)，並能有效降低監控片使用量，進而大幅降低半導體及TFT-LCD廠生產成本。

由於半導體及TFT-LCD廠均採抽測晶圓或玻璃方式以監測其產品品質，大多數晶圓及玻璃均無量測值，因此無法評估VMS預測值之準確度。本研究提出有效評估預測值信心度之方法，該方法藉由分析生產設備的製程參數資料，計算出一個介於零與壹之間的信心值，以判斷預測結果是否可被信賴。另製程參數相似度指標，可輔助信心指標之判斷及找出異常之製程參數。該指標分為整體及個體相似性指標，其中整體相似性指標係判斷生產機台是否異常，當該指標顯示異常時，個體相似性指標可顯示異常之參數名稱，此時系統發出警訊通知設備工程師進行機台檢查或製程工程師進行參數調校，如此可降低機台故障率並提昇製程穩定性，故能有效提高半導體及TFT-LCD廠晶圓及玻璃之生產良率，進而增加其獲利。因此，本研究所提出之信心指標及製程參數相似度指標，可有效解決VMS之可製造性(Manufacturability)問題。

半導體晶圓尺寸日益增大，而製程亦日漸精密，為維持高生產良率，必須採用虛擬量測藉以達成W2W APC，且VM技術亦可應用於降低監控片消耗量 (預估目前一座12吋晶圓廠每月監控片消耗量約需新台幣壹億元以上)，並能降低量測次數及產品製程時間。此虛擬量測技術已技轉至奇美電子與台積電，且此二公司均對先導測試結果甚為滿意，目前正協助奇美電子進行全廠導入之工作。本項技術已完成申請中華民國、美國、日本、韓國、及大陸之專利的程序。