

私立東海大學資訊工程與科學研究所  
碩士論文

指導教授:許玫斌 博士

運用 FTPCA 錯誤偵測系統於液晶顯示器製造

**Fault Detection in TFT-LCD Manufacturing Using  
FTPCA**

研究生:楊政欽

中華民國九十八年六月十八日

## 摘要

先進製程控制(Advanced Process Control, APC)在半導體製造業已經是一個不可缺少的製程應用系統，用來改善良率、降低生產成本。最近幾年來薄膜電晶體-液晶顯示器 (Thin Film Transistor Liquid Crystal Display, TFT-LCD) 製造業也嚐試導入此系統，期望能獲得相同的結果，但是因為製程機台普遍缺少製程資料收集系統，導致初期的機台改造成本居高不下。若以加裝感測器或類比數位轉換器的方式來收集設備資訊，會因為缺少產品的邏輯相關資料使得在分析應用上相對的困難，以致於成果不如預期。

我們以 TFT-LCD 製程設備端常見的真空系統為例，利用外掛感測器的方式實做一套 APC 系統。系統主要分為三個部分：第一部分為資料的前置處理，將感測器所擷取到的連續性的電壓訊號利用偵測到的製程開始及結束的事件以及產品的資訊轉換為週期性的壓力訊號，第二部分將週期性資料轉換成邏輯性的序列資料，我們利用傅立葉轉換將壓力訊號分解，並且分割為 3 個子步驟，接著計算各子步驟的殘差值與殘差變異數做為訊號的特徵值。第三部分將各步驟的殘差值及製程結束時的壓力與總製程時間利用主成份分析將正常與異常的訊號鑑別出來傳入異常控制系統。經過驗證，本系統可以有效的鑑別出異常的真空壓力曲線，及監控設備老化的狀況，使得工廠端可以建置低成本高效率的先進控制系統。

關鍵詞：先進製程控制，錯誤偵測，品質控制，生產力改善，傅立葉轉換，主成份分析。

## **Abstract**

In Semiconductor manufacturing industry, Advanced Process Control (APC) is a vital practice for enhancing yield and reducing the production cost. Recently, Thin Film Transistor Liquid Crystal Display (TFT-LCD) industry has tried implementing APC and is expected to be able to obtain the same result. In TFT-LCD manufacturing the producing process generally lack of data collection systems. Since cost remained high in the initial stage of establishing data acquisition system. If we set up external sensors to collect the operation data, such as pressure, temperature, chemical flow rate etc., past experiences indicated that the performance of segmenting sensor data at the start and end of processes are not acceptable.

In our research, we established an APC on the vacuum system in TFT-LCD manufacturing. First the data pre-processing, the sensed time sequenced data were converted into a periodic series by a mechanism of detecting process start and process end events. At this stage, known signals of physical properties of vacuum pressures and product information were transformed into a logical data set. Next, this logical data were fitted by a Fourier transform, segmented into three sub-steps, and calculated the residues. Finally, combine the residues, error variance and end point pressure in each sub-step, then classified into normal/abnormal curve using principal component analysis. We run an experiment using the data collect from a vacuum system. The results show that the proposed FTPCA can discriminate normal/abnormal pressure curve and monitor equipment wearing. So that FTPCA is a capable low cost and effective APC System.

Keywords: Advanced Process Control (APC), Fault Detection & Classification (FDC),  
Quality and Productivity improvement, Fourier Transform, Principal Component  
Analysis (PCA), FTPCA

## 致謝

大學畢業後的第一份工作開始接觸先進製程控制的相關工作，先後也投入了 DRAM 與 TFT-LCD 產業，並經歷參與了茂德 12 吋晶圓廠與友達 8.5 代廠的 APC 系統建置與規劃，在工作及學業上十分感謝茂德科技的邱皇文副處長與友達光電的林文迪經理，在他們的鼓勵與指導下使我更加清楚 APC 發展與趨勢。修業期間分別經歷了兩次不同產業的建廠工作。經歷了前所未有的濟蕭條與產業快速沒落感謝在這期間內許多工作夥伴的協助與支持讓我得以順利完成學業。

感謝老師在這段時間內耐心的指導與糾正，使我對許多統計學上的理論與方法有更深層的認知，使我不管在學業或工作上對於問題的掌握與處理更加的順手。也要感謝實驗室成員玉杏，玉洲這段時間的幫忙與鼓勵。

最後感謝內人淑綺在這段時間對於家庭新成員庭華與宸睿的細心照料，體諒我這段時間對家庭的疏離，努力的讓家充滿了溫馨與快樂，使我能安心的完成學業。

楊政欽 謹誌於

東海大學資訊工程研究所

中華民國九十八年六月

## 目錄

摘要.....	I
Abstract.....	II
致謝.....	IV
目錄.....	V
圖目錄.....	VII
表目錄.....	IX
第一章 緒論.....	1
1.1. 研究動機.....	1
1.2. 研究目的.....	5
1.3. 研究方法與資料流程.....	8
1.4. 論文結構.....	10
第二章 文獻探討.....	11
2.1. 統計製程管制與先進製程控制.....	11
2.2. 先進製程控制的分類.....	14
2.2.1. 批次控制.....	16
2.2.2. 先進設備控制.....	17
2.2.3. 虛擬量測.....	19
2.2.4. APC 系統整合.....	20
第三章 研究步驟與方法.....	22
3.1 資料分析的流程.....	22
3.2. 傅立葉轉換.....	24
3.3 主成分分析.....	26
第四章 實驗分析與探討.....	28
4.1 資料的前置處理.....	28
4.2 錯誤偵測與分類.....	32

4.3 實驗與分析.....	33
第五章 結論與未來研究.....	36
第六章 參考文獻.....	37
附錄.....	39

## 圖目錄

圖 1 生產效率改善曲線 .....	2
圖 2 TFT-LCD 設備使用狀態 .....	5
圖 3 SEMI 設備通訊協定 .....	6
圖 4 時間序列的感測器資料 .....	7
圖 5 資料探勘的流程 .....	9
圖 6 統計製程管制架構圖 .....	11
圖 7 SEMI EES 架構圖 .....	12
圖 8 APC 系統概念示意圖 .....	13
圖 9 典型的 APC 系統示意圖 .....	15
圖 10 化學機械研磨的批次控制 .....	16
圖 11 多變數系統示意圖 .....	18
圖 12 分群與分類的方式 .....	19
圖 13 智慧型 APC 系統 .....	21
圖 14 資料探勘的流程圖 .....	22
圖 15 系統架構圖 .....	23
圖 16 週期性方波 .....	24
圖 17 前 3 次諧波 .....	25
圖 18 原始方波與前 3 次諧波比較圖 .....	25
圖 19 二維資料投影到 L .....	26
圖 20 感測器取得的連續性資料 .....	29
圖 21 依每片玻璃所切割出來的壓力曲線 .....	29
圖 22 特徵化後的真空壓力曲線 .....	30

圖 23 真空壓力的前 3 次諧波 .....	31
圖 24 真空壓力曲線依製程步驟切割 .....	31
圖 25 正常與異常的真空抽氣壓力曲線 .....	34
圖 26 2 個主成份的正常與異常壓力訊號.....	34
圖 27 加入時間因素的主成分分析 .....	35

## 表目錄

表 1 2001~2004 半導體重大異常事件 .....	3
表 2 1998~2015 年全球平面顯示器製造業規模 .....	4
表 3 主成份分析 .....	32

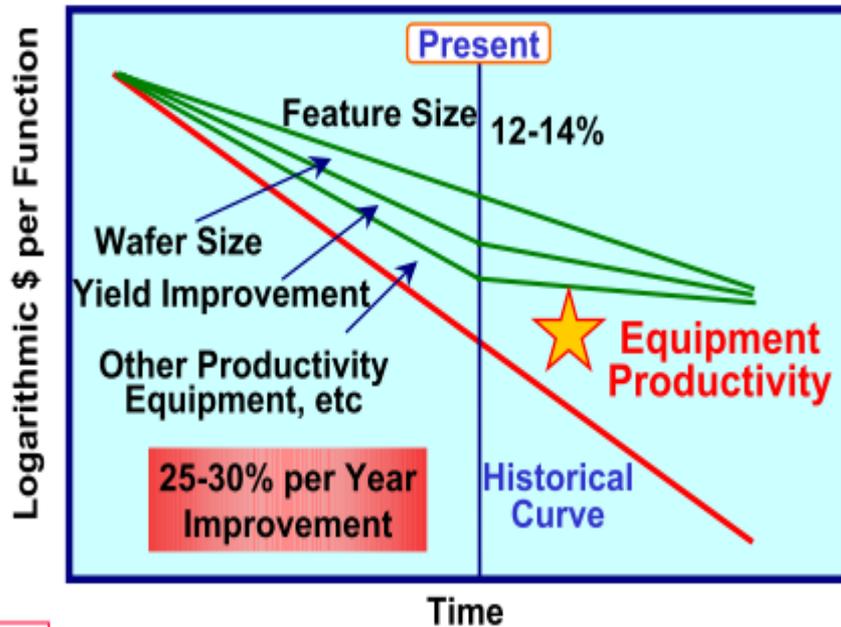
# 第一章 緒論

## 1.1. 研究動機

先進製程控制(Advanced Process Control, APC)是 1993 年由美國德州儀器公司與美國軍方合作提出，歷經十年來的測試及改良，目前已經頗具成熟度，並被廣泛的應用於半導體相關產業用來提高生產力降低製造成本[4][6][9]。台灣 APC 的發展起於 2000 年間由工研院開始研究並推廣到產業界。半導體相關產業是由 DRAM 產業開始慢慢擴展到晶圓代工廠。若是以整廠性的 APC 系統導入來說，茂德科技的 12 吋晶圓廠是首先在建廠時期就將 APC 納入整廠系統規劃中的半導體廠，因為有幸參與茂德在 APC 系統的規劃與建置與後續的維護作業，個人深刻的感覺在半導體製造業 APC 是一個不可缺少的系統。圖 1 為半導體協會 (Semiconductor Equipment and Materials International , SEMI) 對於製造效率與製程微縮的預估曲線，以生產效率改善的曲線來看。製程微縮以每年約 12%~14% 的速度進行中，但是製程微縮會因為物理極限及設備開發的腳步逐漸趨於緩和，而且在設備與生產效率也以每年 25%~30% 的比例在改善中，我們希望生產效率的改善的曲線不會因此而減緩，而 APC 是一個有效的策略與方式可以讓工廠跟上生產力改善的腳步。

半導體製造業每年產值約成長百分之十五，而且必須需降低百分之二十五到三十的生產成本[11]。APC 系統已經被證實可以有效的降低生產成本，增加產出良率並防止製程偏離(Production Excursion)，以半導體製程動輒 300~400 道的製程，一旦發生製程偏離所導致的損失都是十分巨大的，表 1 為 2001~2004 年間半導體相關產業因製程偏離所導致的損失。如果我們可以有效的防止製程偏離的發生對於公司的獲利與競爭力是十分有價值的。

## Tactics for Improving Productivity



SEMI Workshop on e-manufacturing &amp; APC/FDC—H.Enami— Slide 5

圖 1 生產效率改善曲線(資料來源: SEMI APC Workshop)

APC 其實就是大家所熟悉的 e 化製造(E-Manufacturing) , 它是由許多的資訊系統所構成的, 原先的發展主要是各製程控制的子系統, 一般而言是用來控制單一機台或單一製程的穩定性, 演化後來結合了許多工程資訊系統如製造執行系統(Manufacturing Execution System, MES)、工程資料分析系統(Engineer Data Analysis, EDA)等。提供了設計、測試、製造、裝配、檢驗、物料控制、人員操作管理等資訊讓產品的品質提高、生產力提升、降低人力的成本。目前 APC 系統也可以用來評估不同廠別的製程能力, 與新產品導入量產時的評估依據, 讓公司可以快速的轉換不同的產品到需要的廠區生產, 或是提供工製造能力供研發人員做為新產品設計的參考依據。

年	公司	影響
2001	茂德科技	1.5 萬片晶圓報廢
2004	美光	1 萬片晶圓報廢
2005	英飛凌	2~3 萬片晶圓報廢
2005	三星電子	製程轉換不順，DRAM 價格飆漲 1 季
2005	海力士	70、90 奈米 NAND Flash 製程變異，引發市場缺貨
2005	三星電子	70、90 奈米 NAND Flash 製程變異，引發市場缺貨
2006	台積電	1 萬片晶圓良率受影響損失約 3 億新台幣
2006	三星電子	製程轉換不順，DRAM 供貨不足核階價格調漲 10 %
2006	三星電子	製程轉換不順，DRAM 供貨不足 30~50 %

表 1 2001~2006 半導體重大異常事件(資料來源:中時電子報，經濟日報)

據美國研究機構 Display Search 報告[16]，預測到 2015 年全球平面顯示器產業(Flat Panel Display ,FPD) 如表 2 自 2008 後每年約有 1200 億美金的產值而且 2009 以前每年最少成長 10%，但是在製造端每年卻必須降低 20%~30%的生產成本，所以如何提高生產效益、降低製造成本是這個產業面臨的重要課題，又因為薄膜電晶體液晶顯示器製造業(Thin Film Transistor Liquid Crystal Display, TFT-LCD) 前段陣列製程(Array)與半導體產業特性十分相近，所以近年來廠商也積極導入 APC 希望藉此改善生產製造的技術流程來提高生產力[12][13]。然而因為設備端普遍缺少製程資料收集系統導致 APC 系統的架設並不普遍，若是請設備商改造機台每台機台約 300~400 萬的改造費用會讓工廠端裹足不前。所以我們想要研究發展出一套成本低廉，安裝迅速而且容易維護的 APC 系統，讓工廠能夠更加的容易評估並且導入系統。

### 1998-2015 年全球平面顯示器產業規模

單位：十億美元

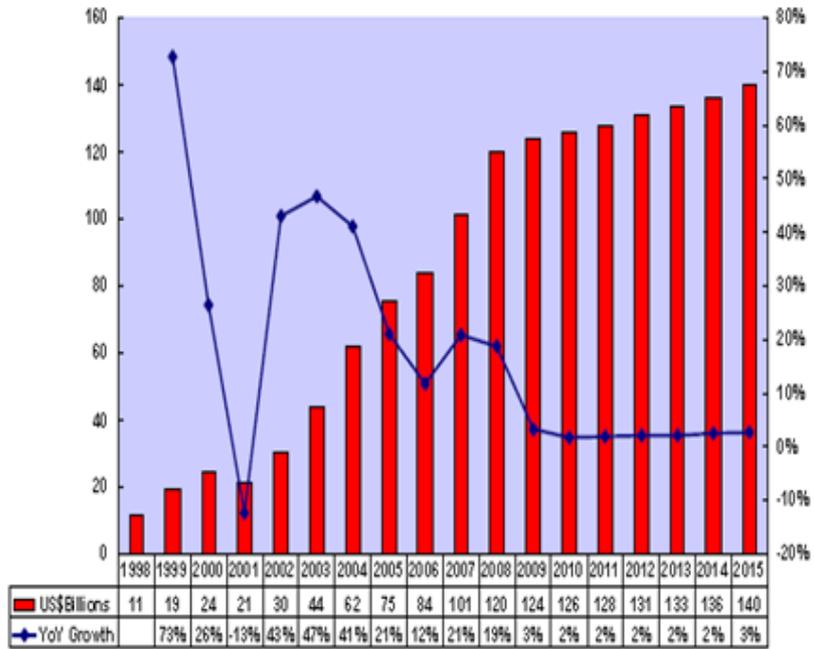


表 2 全球平面顯示器製造業規模（資料來源：Display Search, 2008/01）

## 1.2. 研究目的

在 TFT-LCD 產業中機器設備是占資產總合的最大的部分，如何有效的利用設備使得效率及效果及大化，並盡可能的填滿產能是業界最重視的議題。然而機台運轉時的磨損，加工時原物料的消耗，以及定期維修工作皆會影響到產出的品質與機台的有效使用時數。我們以 TFT-LCD 設備有效使用率(Overall Equipment Effectiveness, OEE) 如圖 2，假設機台端可以提供設備在運轉時的製程及設備狀態，我們便能利用這些機台端的資訊來監控機台的健康度，改善非預期的當機與減少測試調整機台狀況的時間，改善 OEE，提升設備效能。

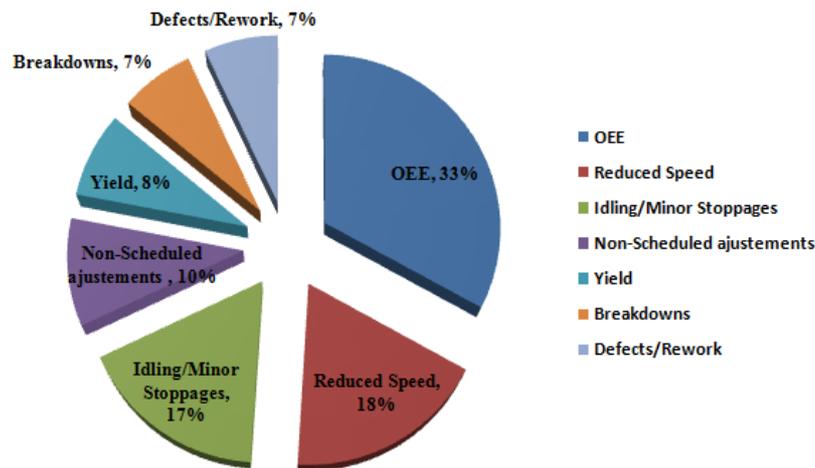


圖 2 TFT-LCD 設備使用狀態(資料來源:SEMI)

自 1999 年開始半導體協會就提出希望藉由設備開發端提供強而有力的資料收集系統，透過標準的通訊協定如圖 3，由最底層通訊的硬體實體訊號開始定義，機台通訊標準協定(SEMI Equipment Communication Standard, SECS) 就是因此而產生的，接下來逐層的往上定義到最上層的機台通訊模型(Generic Equipment Model ,GEM)包含了功能性的交談劇本與提供設備運轉中所有必要的製程與控制資訊，而資料擷取協定(Equipment Data Acquisition, EDA)更是近幾年討論的焦點，製造端無不希望在新世代的機台能夠建立完美的資料擷取系統改善

目前在取樣頻率與感測器數量上的不足。

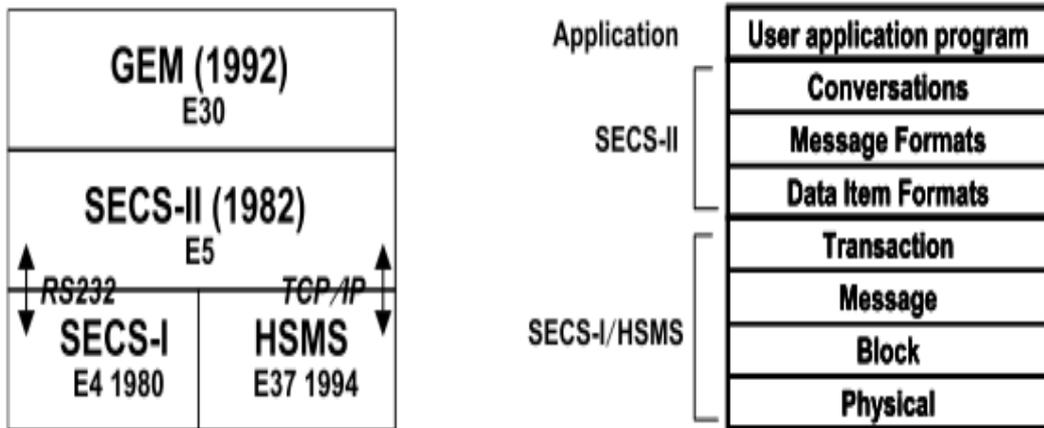


圖 3 SEMI 設備通訊協定

在 TFT-LCD 大部分的設備製造商並沒有參考 SEMI 所制定的自動化通訊協定，而且廠商也沒有定義標準的通訊功能，通常是在購置設備時與製造商討論決定的，所以不同廠家使用的方式都不相同。而且大部分的設備皆缺乏製程資料上傳的能力，或是僅具有上傳製程結束後機台的狀態值，這些資料對於資料分析系統而言是無法滿足分析上的需求。所以對於想要建置 APC 系統的工廠而言首先就必須先解決資料收集的問題，然而以原廠單一機台動輒數百萬元新台幣的機台軟硬體改造費用，並不能讓工廠端所接受。所以我們想要找出一種符合 APC 系統需求但成本低廉的製程資料擷取系統。

在設備端加裝感應器或利用機台既有的感測元件加裝數位邏輯轉換器來擷取設備端的資訊是直接且具經濟效應的方法，而且廣為大家所接受，但是因為取得的資料為連續性的時間序列資料且缺乏產品資訊，對於資料分析上較不容易。如圖 4 為連續時間收集到的感測器資料，包含 4 個週期，每一個週期代表一個完整的製程，如果沒有辦法區分每一片的製造過程，我們很難去分析製程上的微小差異，導致在使用的效果上大打折扣，我們希望藉此研究開發相關的軟體可以讓時間序列的資料更容易分析而且貼近於 SEMI 所制定的資料型態，最重要的是

在成本上可以讓工廠端所接受。

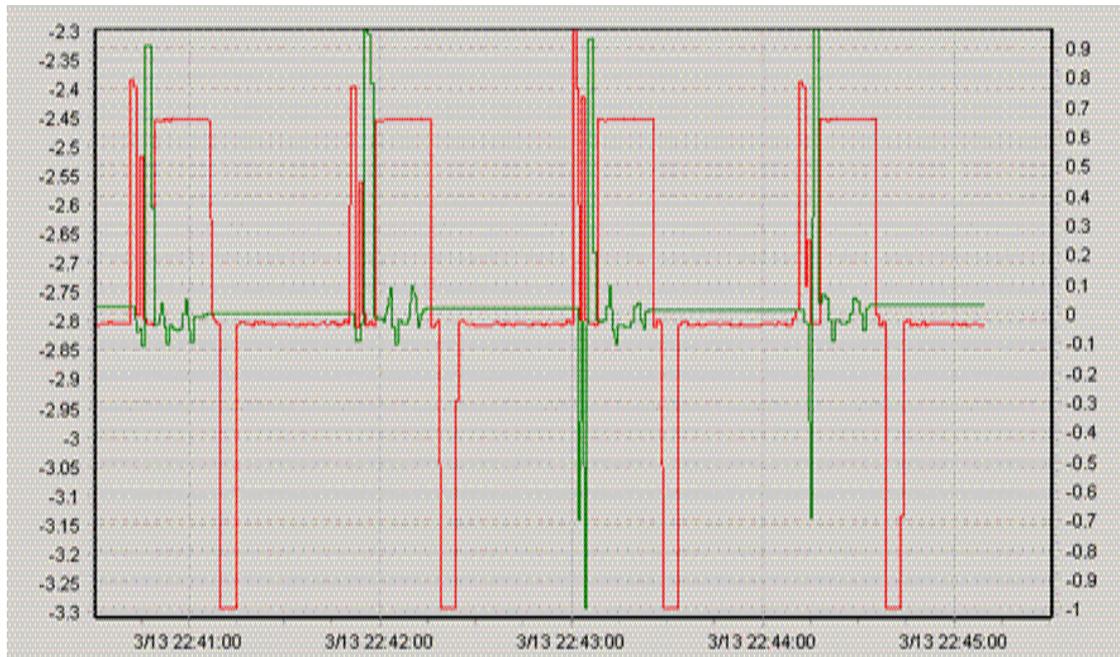


圖 4 時間序列的感測器資料

### 1.3. 研究方法與資料流程

近年來，資訊的應用隨著產業界的需求與法展，資料處理技術由資料庫資訊系統(Information System)、資料倉儲系統(Data Warehouse)演變到資料探勘(Data Mining)。所謂的資料探勘是指：「由資料挖掘非顯然的、未知的、潛在的「可能」有用資訊的過程」[15]，我們運用統計分析的手法為基礎試圖以將資料探勘的技術運用於製造業。資料探勘的基本流程包含四個部份如圖 5；(1)定義問題加強對領域應用知識的了解，(2)相關資料(Data)的蒐集包含資料的前置處理，接著(3)將原始資料分組(Grouping)轉換成較有意義的資訊(Information)，最後(4)在所有資訊中擷取出對我們有用的知識(Knowledge)。

我們提出 FTPCA 錯誤偵測系統，將依資料分析的流程，利用感測器將真空系統的壓力值取出後，傳入分析系統中；期望於系統中鑑別出正常或異常的真空壓力曲線及判定老化的狀態。資料的分析主要分為三個部分：第一部分為資料的前置處理，將感測器所收集到的時間序列資料利用機台氣室(Chamber)開啟/關閉的事件將壓力訊號標記成為週期性序列，接著配合已知訊號的物理特性與產品資訊相結合。第二部分將訊號利用傅立葉轉換分解為為主訊號與(殘差)後依製程的特性將原始訊號分割為 3 個子步驟，計算各步驟的殘差值及殘差的變異數做為原始訊號的特徵值這時訊號已經轉換為邏輯序列。第三部分將特徵訊號利用主成份分析嘗試將正常與異常的訊號鑑別出來傳入異常控制系統。經實際驗證後，可以證實本系統可以有效的鑑別出異常的真空壓力曲線，及監控設備老化的狀況，使工廠端可以建置低成本高效率的 APC 系統。

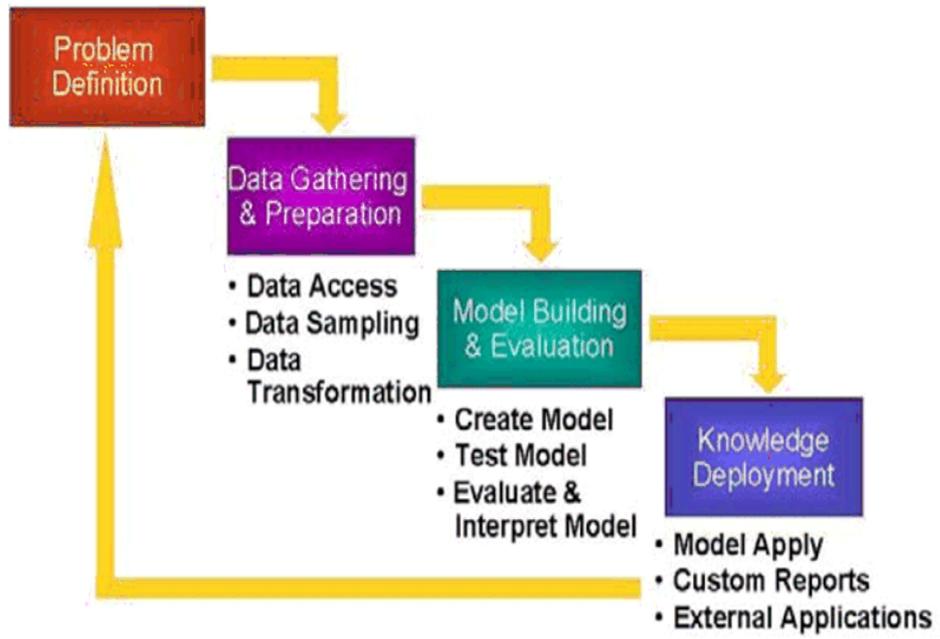


圖 5 資料探勘的流程

#### **1.4. 論文結構**

本論文結構如下：第 2 章中，我們將介紹 APC 目前的現況及目前相關的研究；第 3 章中，我們將詳細說明主要研究步驟與流程及背景知識；第 4 章中我們以 TFT-LCD 設備中常見的真空系統為例，將正常與異常幫浦的抽氣曲線及長時間含幫浦老化的資料由本系統分析驗證本研究發展方法之可行性；最後在第 5 章中我們將提出彙整本研究的結論。

## 第二章 文獻探討

### 2.1. 統計製程管制與先進製程控制

統計製程管制(Statistical Process Control, SPC)，的定義為；對於任何場合依計畫收集的數據如，成品特性、零件尺寸等利用數據統計量的趨勢提供各種統計分析及管制圖的處理、分析、計算、圖示、列表等客觀的報告，並運用製程統計的回饋系統，了解製程變化狀況，以求及時對異常作出合理反應，減少品質問題之發生[1]。

SPC 是回饋控制的一環如圖 6，品質管制人員在製程結果完成後，針對品質特性值進行量測，計算其變異大小，當結果不理想時立刻就製程加以修正，期望使後續的生產能維持在管制狀態內。所謂的製程是指人員、設備、材料及環境的輸入經過一定的程序而得到的結果。所以管制圖充其量只是一種結果的反映，如果不能發現掌握縮小變異的品管技術，那麼管制圖將永遠停留在解析現狀而無法改善。

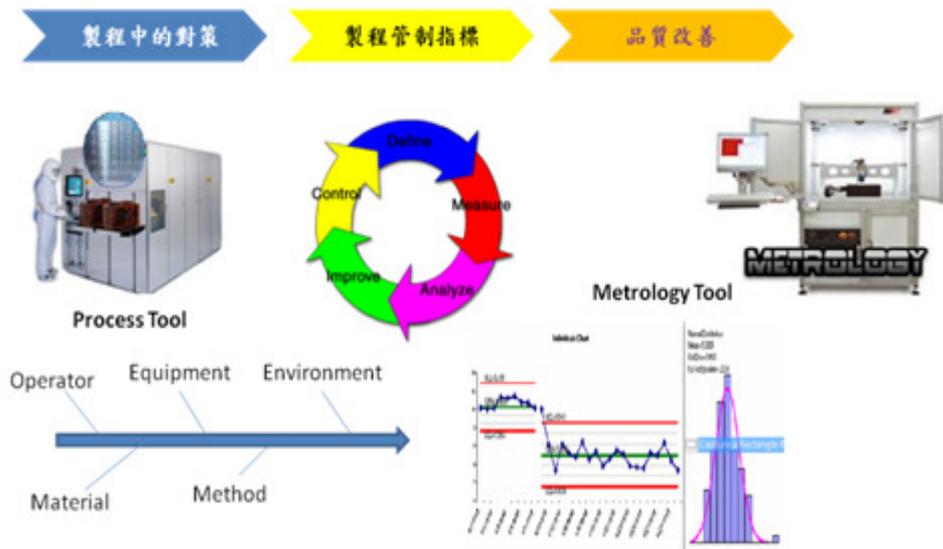


圖 6 統計製程管制架構圖

先進製程控制或是先進設備控制(Advanced Equipment Control, AEC) 是新一代的製程控制概念，在 1993 年由美國德州儀器公司與美國軍方合作提出，在將近十多年的驗證後，已經廣泛運用在半導體相關產業。1999 年後因為 APC 系統所需求的資料收集能力已經遠大於設備端所能提供的，而且越來越多的整合性功能需要結合上下游製程設備端的控制功能，而次世代 300mm 的機台軟體也正在開發階段，SEMI 與設備製造商便制定 EES 標準規格提供設備製造商遵循並讓製造工廠可以依據 SEMI 的標準評估機台 APC 方面的能力。圖 7 為 EES 的架構圖，設備端透過標準的資料收集介面將資料上傳；所有應用端的系統可以透過訂閱的方式在經認證後接收由機台傳送出的資訊。甚至設備供應商或維修廠商可以透過網路依權限讀取必要的資訊。機台也會監控自身的負荷能力停止通知使用者停止提供部份的資料，而且整個 EES 的精神再強調資料收集與擷取，系統部份不再侷限於 HOST 端，系統利用訂閱模式讓各系統都可以運用到這些資訊。

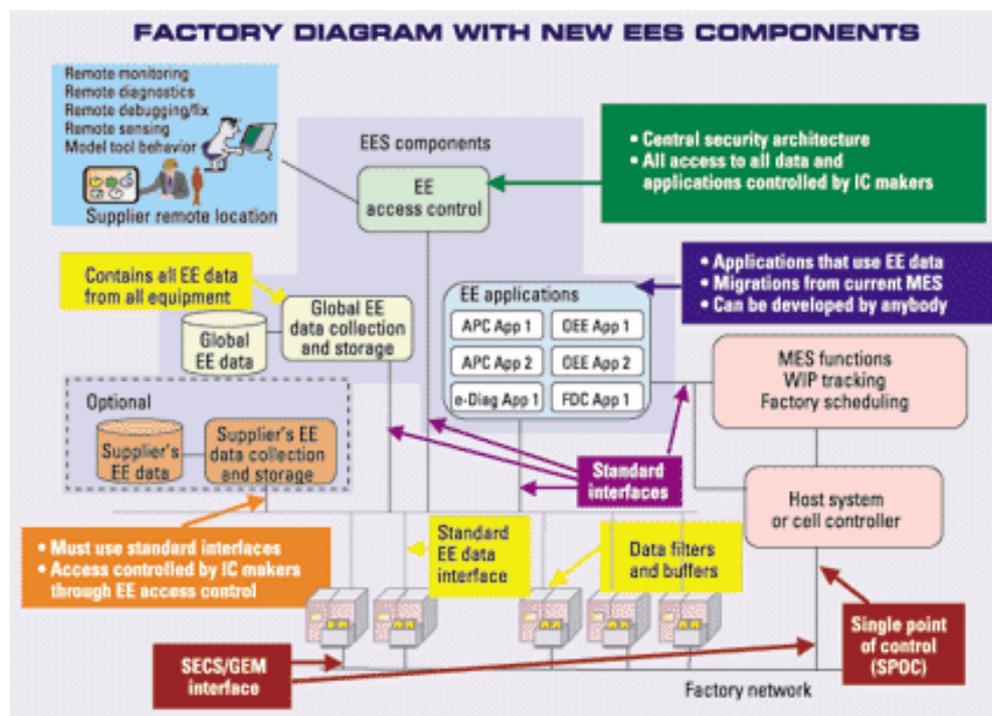


圖 7 SEMI EES 架構圖 (資料來源: SEMI APC Workshop)

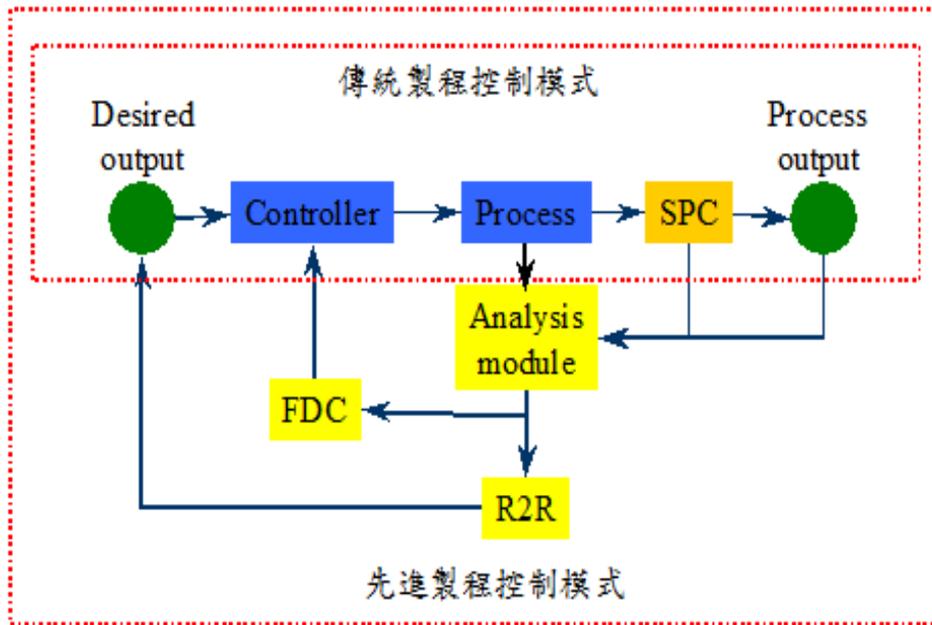


圖 8 APC 系統概念示意圖(資料來源:TSIA)

圖 8 為 APC 系統與 SPC 系統的比較圖，內圈紅色虛線區域代表傳統藉由 SPC 進行控制的流程。外圈紅色虛線區域則代表先進製程控制的概念。由 SPC 與 EES 的架構圖來看，我們先粗略比較一下 APC 與 SPC 之間差異，我們將於 2.2 節再詳細的介紹 APC 的主要功能。

APC 與 SPC 間最主要的差異在於

- I. SPC 的管制圖是以製程結果做為管制依據，試著回推發生變異的因素。
- II. APC 是收集機台與電腦整合製造系統(Computer Integration Manufacturing, CIM) 所有可能的資料企圖在製造的過程中或結束前發現變異。(APC 以機台端製程進行中的資料為主)，SPC 以製程結束後品質測為主。
- III. APC 針對產品的取樣是百分之百，SPC 通常以抽樣的方式抽檢。

## 2.2. 先進製程控制的分類

APC 主要可分為二大類；批次控制(Run to Run Control, R2R)，或直接稱 APC 是早期的發展的重點，由上一節 SPC 的介紹可以了解到 APC 是由 SPC 演化而來的，SPC 是依製程結果回推設備端在製造過程中可能出現問題的原因，透過一些手法如戴明迴圈(Plan, Do, Check, Action, PDCA)、魚骨圖、親合圖等品質圈的手法，找出真因並解決發生問題的因素，而 APC 則直接由設備端的著手，配合製程結果希望能更快速的反應及縮小問題的範圍。

R2R 的系統原理是依前製程輸出原料的情況或根據設備老化的狀態，動態的調整製造條件、製程配方，達到製程穩定及縮小變異的目的；先進設備控制主要從事錯誤偵測與分類(Fault Detection and Classification, FDC) 預期由製造過程中監控機台的參數，達到提早發現製程變異的目的[8]，近來延伸發展出虛擬量測(Virtual Metrology, VM) 利用製造過程所收集到的參數資料預測產出的品質，目的是減少抽樣量測或達到是百分之百的量測(預測值)，這樣可以早一步發現製程變異；也可以減少量測機台的數量，並降低非必要的破壞性量測數量提高生產力與製造成本[14]。另外是與其他資訊系統整合開發出的應用功能如動態更動 SPC 取樣數量等相關功能。圖 9 為典型的 APC 系統架構圖。利用機台端的感測器所收集到的資料如溫度、壓力、流量等，傳入 APC 系統監控機台的健康度，與 CIM 系統結合開發出各種應用功能如人員操作失誤防治(Miss Operation, MO)、製程配方的管理(Recipe Control Management, RCM)等。

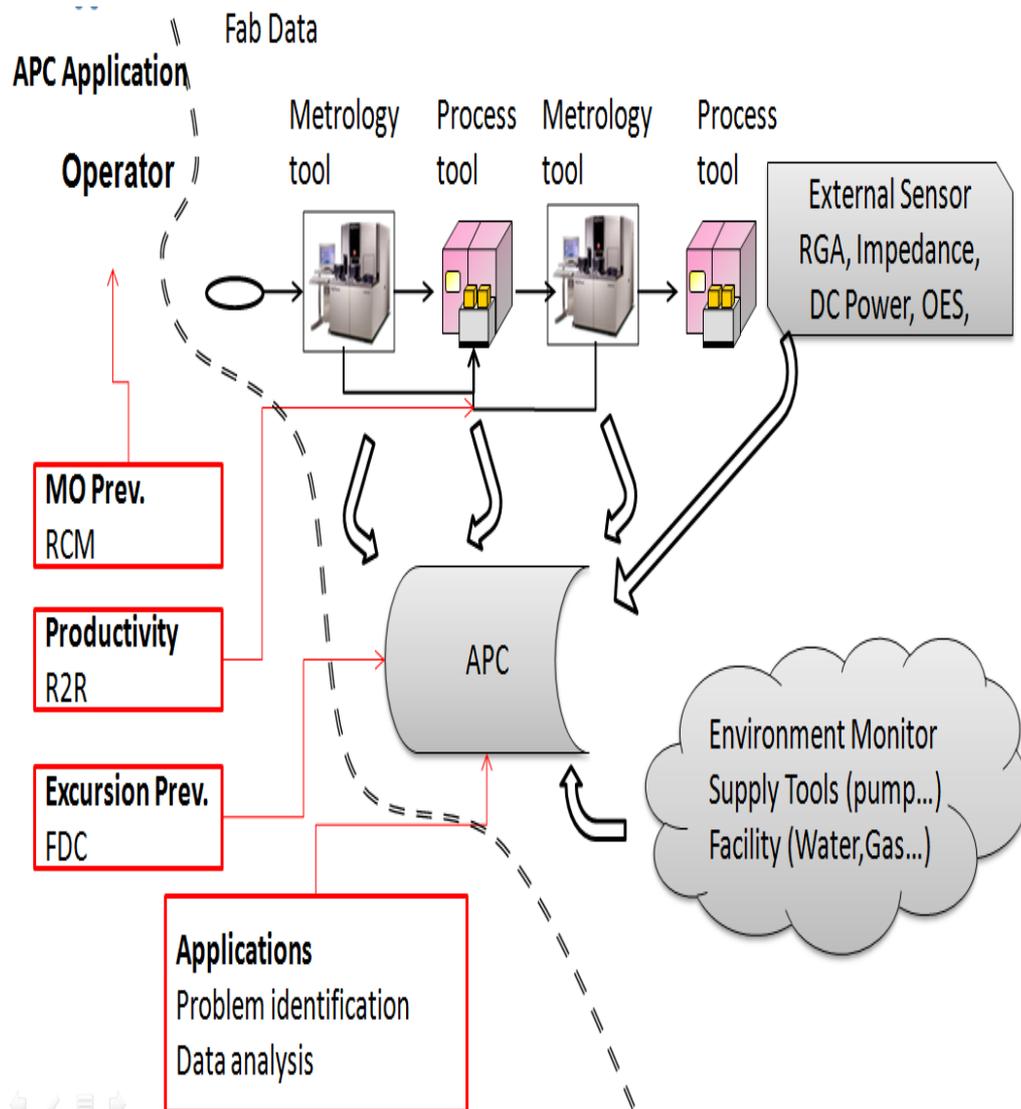


圖 9 典型的 APC 系統示意圖

### 2.2.1. 批次控制

APC 早期的發展是以批次控制為主，源於對單一製程的控制需求的需求，以增加製程的精確度以及降低變異性。其程序大致不脫離以下步驟：在現有 SPC 的分析資料中，再加入製程設備所提供的機台參數進行更大規模的監測，再藉由製程結果的變異取得重要參數的影響性，由此建立製程分析模組(Analysis Module) 機構，由此系統建立參考模型來進化製程能力並由系統自行調整必要參數來提昇製程結果。最終將可取得控制所有製程指標的能力

化學機械研磨(Cheical Mechanical Polishing, CMP)的 R2R 系統架構如圖 10 是常見的 R2R 系統，在 CMP 製程開始前先取得來料的厚度與目前 CMP 機台的研磨墊使用時間與研磨頭的壓力值，動態的調整機台的參數使得製程更加穩定；Duane Boning 等人使用實驗設計(Design Of Experiment , DOE)的方式先建立晶圓表面膜厚的資料，接著使用迴歸分析配合移動平均(Weighted Moving Average, WMA)建立控制的模型[5]。Stefani, J. A. 在化學氣相沉積 (Chemical Vapor Deposition, CVD) 同樣的使用 R2R 的控制方式運用逐步回歸(Stepwise Least-Squares Regression) 動態控制氣體的使用量使膜厚及膜質更加穩定[7]

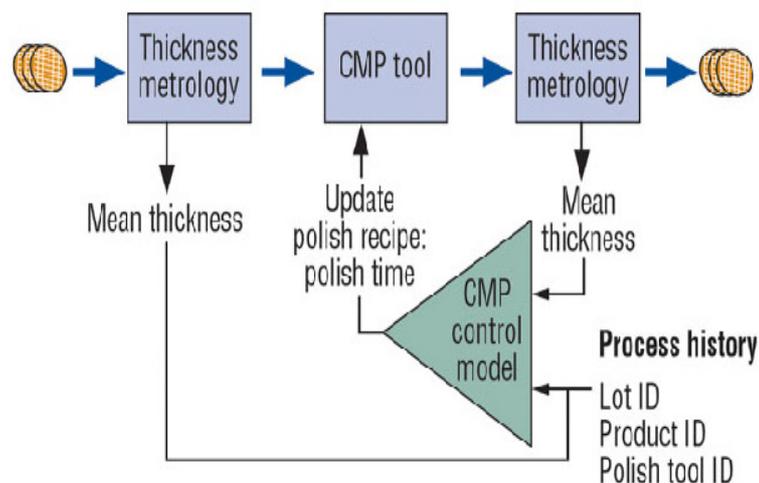


圖 10 化學機械研磨的批次控制

### 2.2.2. 先進設備控制

大多數的人對於 APC 系統都會直接聯想到 FDC，目前通稱為先進設備控制，這是 APC 系統最多人研究的項目。早期大部份的人是利用確認各製程參數本身的變化或統計分佈狀況確認設備是否正常穩定，但是因為各機台上所要設定的規格(Specification, SPEC)數量通常是十分龐大，以單一設備來說在 APC 的 SPEC 數量如下：

$$\text{SPEC 數量} = \text{參數數量} \times \text{製程配方} \times \text{製程子步驟} \quad (1)$$

由於 SPEC 需要人為設定的數量十分驚人，所以目前的研究的重點在於利用多變數分析(Multi-Variable Analysis, MVA) 的方式推導出一個指標(Index)，以表示機台目前的狀態或產品產出的品質，另外部份人員則嘗試利用人工智慧的方式企圖讓 SPEC 的設定能夠更自動化；但是目前製程越來越複雜的同時，不單是目前當站製程的問題，前後站點的狀態及來料的品質也會交互的影響到產出的品質，所以如何有效的處理這樣大量的資訊是一個很具挑戰性的任務。圖 11 為 FDS 系統簡易的系統示意圖，在取得當站機台所有感測器的資料，經過適當的模型計算後獲得目前設備或產出的品質狀態，與最後的量測結果比對修正模型的正確率，而且能提供資料指出預測出的異常狀況是由哪些因數(參數)所構成的，讓使用者可以連結取出原始各參數資料方便工程人員除錯。

FDS 系統對於資料分類的方式基本上可分為五個步驟如圖 12；首先(1)選擇輸入的資料，(2) 計算資料間相似的程度(距離)，(3)選用分類的邏輯演算法，(4) 依演算法計算輸出結果，(5)確認結果是否符合預期推測。

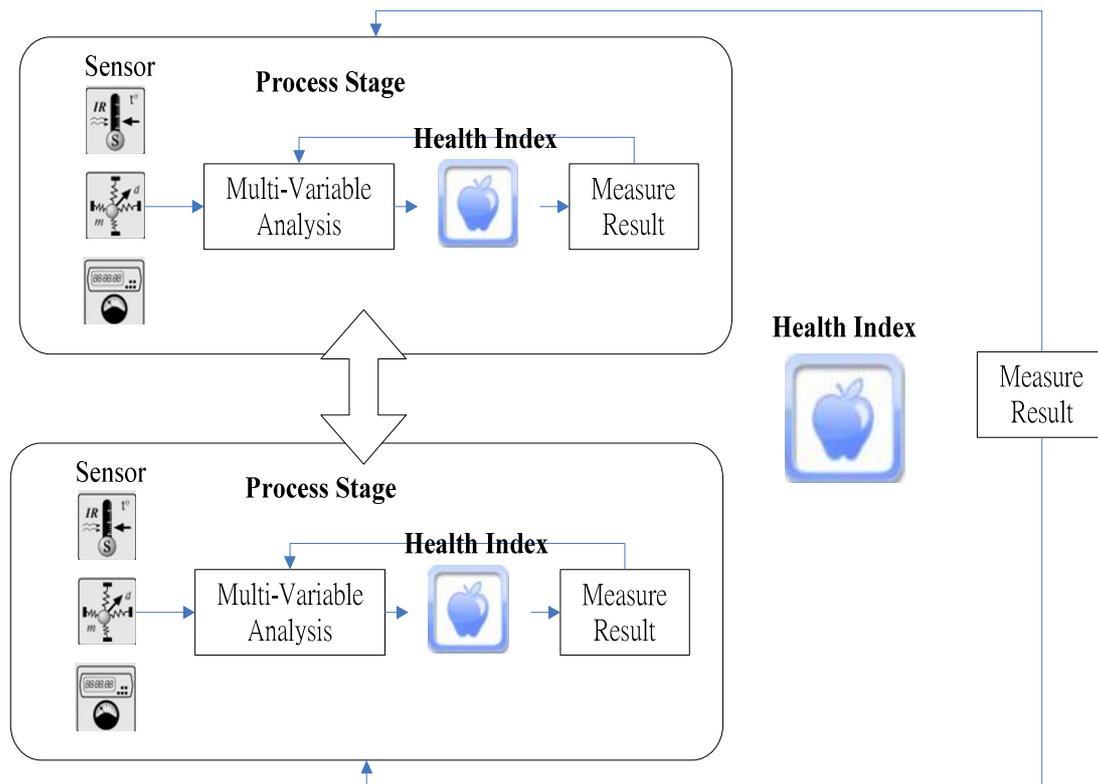


圖 11 多變數系統示意圖

FDS 在 APC 的研究上不勝枚舉，大致可區分為兩類；監督式(Supervise)與非監督式(Unsupervised)；監督式的 FDS 是在系統運作前，利用已經知道結果的資料做為訓練的依據，讓系統調整到可以正確辨定正常與異常的狀況。非監督式主要精神在認為相同設備與製造條件下，正常與異常的參數曲線可以利用每個參數本身的分佈距離來辨識產品或設備是否異常。B.M Wise 是利用監督式的方法以主成份分析在蝕刻(ETHC) 製程實作 FDC 系統。J. Lacaille [8] 提出 Flexible Golden Pattern, FGP，屬非監督式的方式，但是一開始也可以在 off-line 先選擇參數利用主成份分析與經驗距離法則 (Empirical Distance) 訓練這些資料，在利用量測結果修正輸出  $[0, 1]$  的指標，讓機台健康度數字化，或是直接採用非監督式的方式藉由參數本身的變化來做判斷，工程人員在有需要時，可由指標連結出是哪些參數導致指標偏移以及各參數變動的狀態。Q. Petter He [11] 同樣以蝕刻

製程先利用主成份分析及 K-Mean 將資料分群後接著以 T<sup>2</sup> Chart 做為判斷的依據。

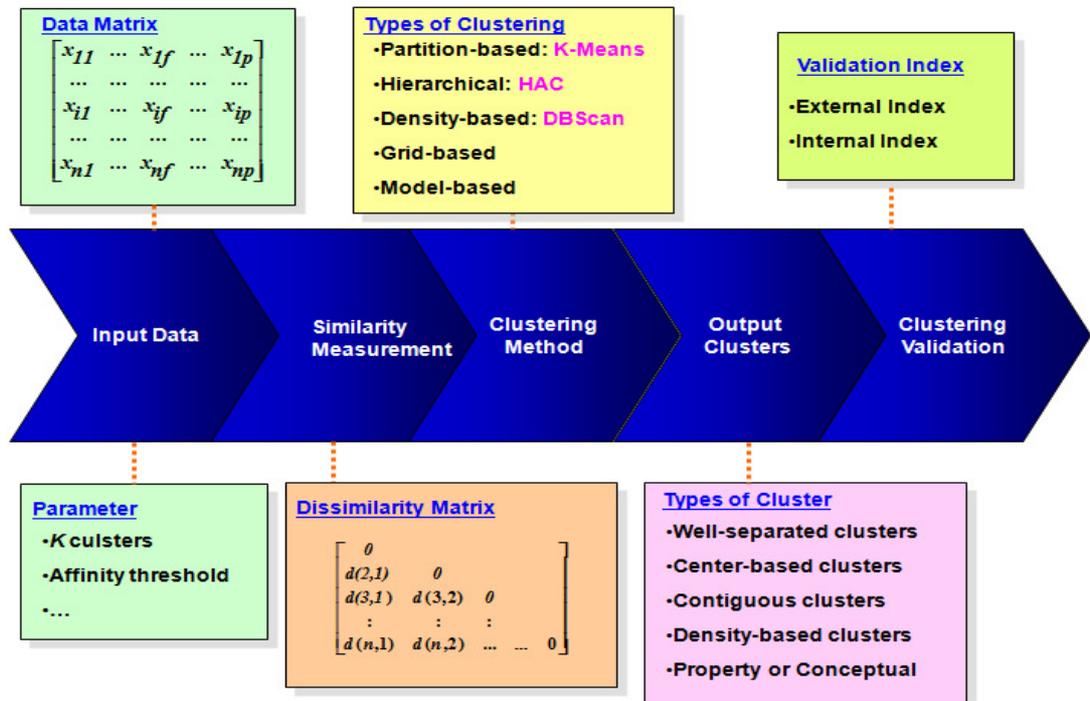


圖 12 分群與分類的方式

### 2.2.3 虛擬量測

目前在 APC 系統上大家最熱烈討論的就是虛擬量測(Virtual Metrology, VM)。傳統的 SPC 系統是採用抽樣量測的方式再將結果回朔控制設備或製程，這樣的方式有下列幾項缺點

1. 無法全部檢查所有的產品，會有異常品流出的風險。
2. 若為破壞性量測，會使平均的生產成本升高。
3. 因為量測延遲所產生的製程偏離風險。
4. 量測機台購置與校正的成本。

VM 利用 APC 系統上所以收集到的製程參數與零件的使用時數建立模型找出 APC 參數與製程結果中的對應。是一個很好的方法可以解決 SPC 控制的缺點。

一般常見的建模的方式有利用 DOE 的方式或是回歸分析(Regression Analysis)，以及類神經網路(Neural Network) 如 Christopher D. Himmel 在電漿蝕刻利用類神經網路建構 VM 系統[15]。Yu-Chuan, Su 運用倒傳遞類神經網路(Backpropagation) 將 VM 系統建置在 TFT-LCD 的化學氣相沉積[13]。這些案例都可以驗證 VM 系統在實際應用的可行性。

#### 2.2.4. APC 系統整合

圖 13 為完整的 APC 系統架構圖。我們可以從 3 個構面來看，

- (1)製程控制
- (2)製程監控
- (3)跨站點的製程控制。

以製程控制來說，在每一道製程(Process Stage)中我們通常有三種控制與管理的方式；(I)配方控制(Recipe Control)用來調整製程 Window；(II) 機台的控制(Equipment Control) 包含了耗用零件的管理與維修；(III) 操作參數(Operation Variable) 調整製程的操作參數縮小製程變異。而驅動這三種控制的方式通常是以批次控制為主，而 R2R 中產品的品質資料可由傳統的 SPC 或 VM 中取得。建模所需參數與控制設定當然可由機台的參數來挑選。隨著製程日益複雜，橫跨數個站點的 R2R 在實際應用上也十分普遍。

對於監控面來看，單一站點的監控方式有(I)對完整曲線(Rawdata) 的單變數或多變數的錯誤偵測 (Signal/Multi Variable Fault Detection S/MFDS )。(II) 經 Rawdata 運算後的特徵值(Run Summary) 所做的單變數或多變數的統計分析控制(Signal/Multi Variable Statistics Process Control, S/M VSPC); 另外虛擬量測也可以用來當成及時的品質量測控制( Virtual Metrology Quality Control, VMQC)；另外傳統的製程結束後的品質管制(Statistics Quality Control, SQC)是實體量測的結果應當還是整個品質最終結果的依據。

APC 系統是由在些子系統所組成的，這些系統所包含的資訊幾乎已經涵蓋了工廠端在運作的所有資訊。所有控制面上的 CIM 功能都可以因此而獲得改善，例如利用 VMQC 動態的調整 SQC 的取樣數目。在機台預防保養後運用 MVFDS 或 MVSPC 等減少測試的玻璃等。

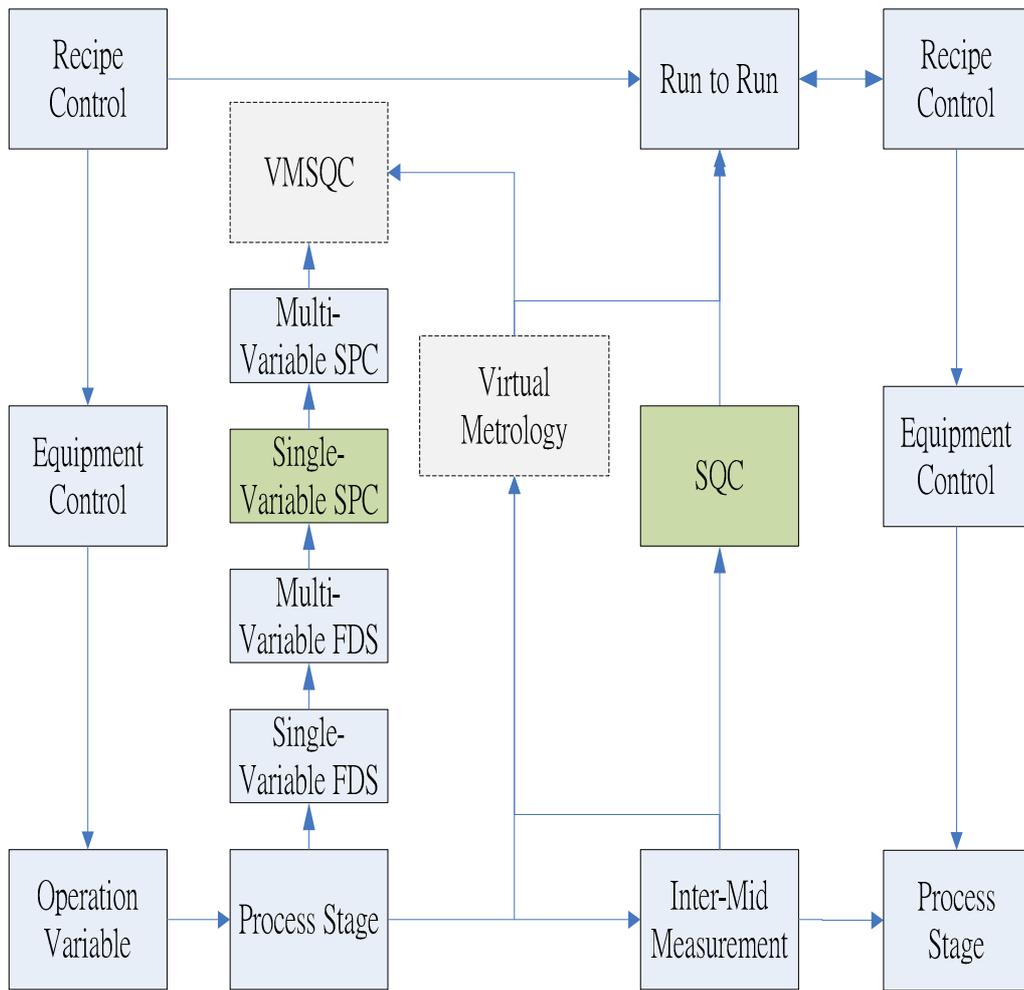


圖 13 智慧型 APC 系統

### 第三章 研究步驟與方法

#### 3.1 資料分析的流程

APC 系統所收集的資料十分龐大對於每一個機台將近 100 多個參數以 1 HZ 的取樣頻率進行取樣，如何挖崛隱含在這些資料的知識是十分重要的，所以導入 APC 除了偵測設備的健康度外，如何挖崛其中隱藏在大量資料內的知識是引進 APC 所隱含的價值。1992 年由 Frawley 等學者首先定義「知識探索」(Knowledge Discovery, KD) 的內涵，是指從資料中挖掘非顯然的、未知的、潛在的「可能」有用的知識過程。而資料分析的流程的主要為在確定研究方向或要解決的問題後，進行(1)相關資料(Data)的蒐集，接著(2)將原始資料分組(Grouping)轉換成較有意義的資訊(Information)，最後(3)在所有資訊中擷取出對我們有用的知識(Knowledge)。如圖 14。

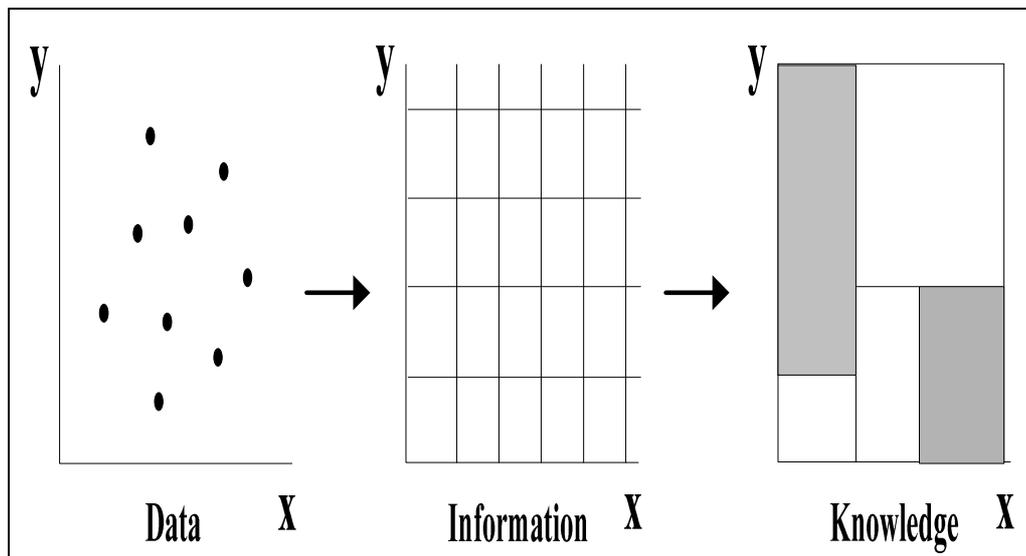


圖 14 資料探勘的流程圖

因本研究主要應用資料分析於真空系統設備健康度的診斷，遵行上述的探勘流程，我們透過系統建置如圖 15。本系統主要分 3 階段：(1) 資料預處理，透過數位類比轉換器從真空壓力計以 50 ms 的取樣率取得原始資料；(2) 將取得的資料分別借由 Chamber 開關的事件及產品資訊傳入製程對應模組，接著將每一片玻璃的資料，依步驟切割模組及特徵值擷取模組產生特徵值；(3)將預處理後之資料透過分群模組將產品品質結果鑑別出來，再與製程結果對應修正，找出對我們有用的知識。下面我們將詳細介紹上述各系統各流程的運作方式與實作方式。

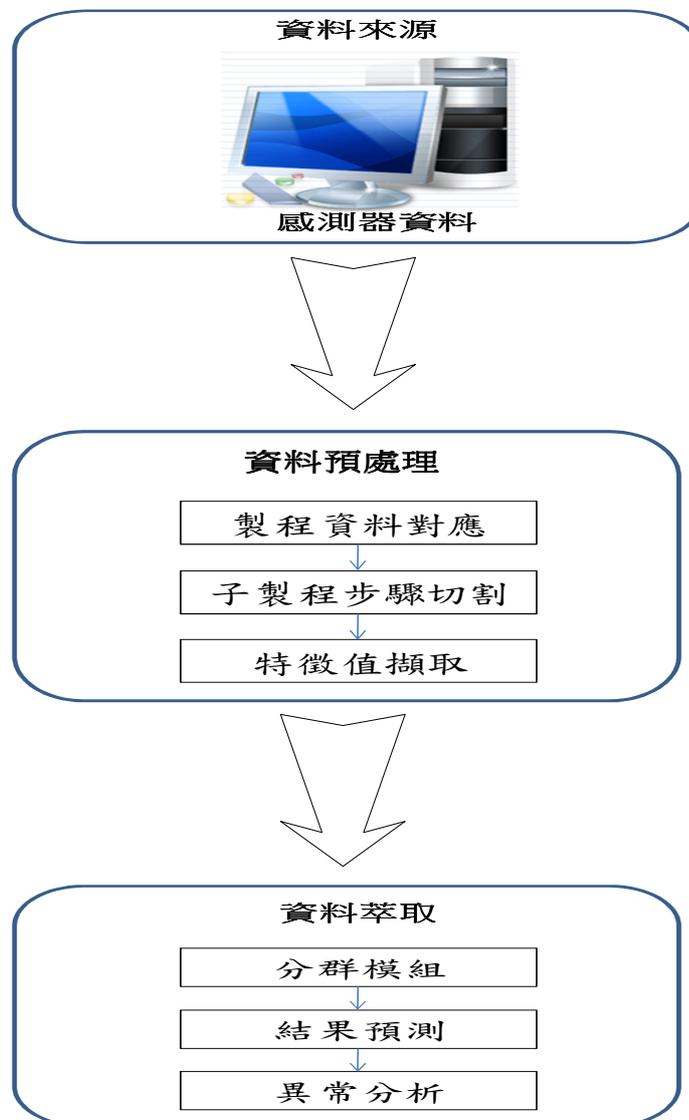


圖 15 系統架構圖

### 3.2. 傅立葉轉換

傅立葉分析是一種數學工具，可以用來分析可以化成波動的現象，例如光波、聲波、震動以及熱傳導。對於影音訊號的分析與處理最常見的分析就是利用傅立葉分析，藉由將時域訊號轉換為頻域訊號後取得信號所對應的頻譜；再由頻譜來讀取信號的參數，找出影音的特徵值加以分析運用。在本研究中我們利用到傅立葉級數的基本觀念，任一週期函數可以分解成許多不同振幅(Amplitude)，不同頻率(Frequency)的正弦(Sinusoidal)諧波(Harmonic)與餘弦(Co Sinusoidal)諧波(Harmonic)的合成(Composition)。

一個信號  $f(t)$  的傅立葉級數的義如下

$$f(t) = a_0 + \sum_0^{\infty} a_n \cos nx + b_n \sin nx \quad (1)$$

$$\text{其中 } a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt, \quad a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos \omega t dt, \quad b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin \omega t dt$$

$T$ : 周期,  $\omega = 2\pi \frac{1}{T}$ ,  $n$  為諧波數

舉例來說，假設有一個週期性的方波如圖 16，我們可以利用傅立葉級數將這個方波轉換分解成多的正弦與餘弦諧波的組合，圖 17 為我們取前 3 個諧波，圖 18 為將前 3 次諧波相加與原來的方波做比較，在本研究我們利用傅立葉級數的觀念將我們收集到的電壓訊號分解成主訊號與殘差。將殘差當作資料的變異。

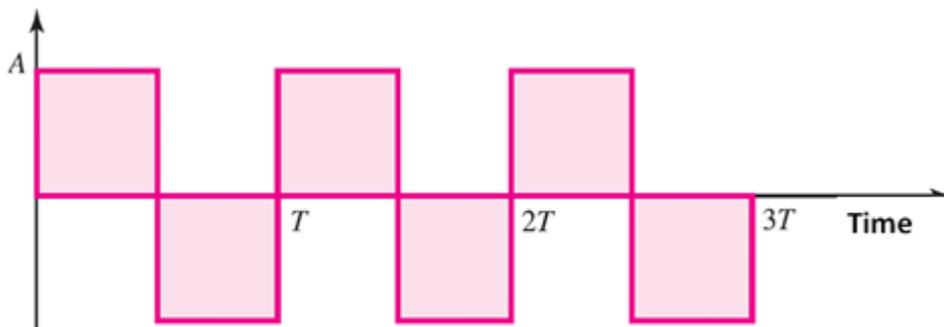


圖 16 週期性方波

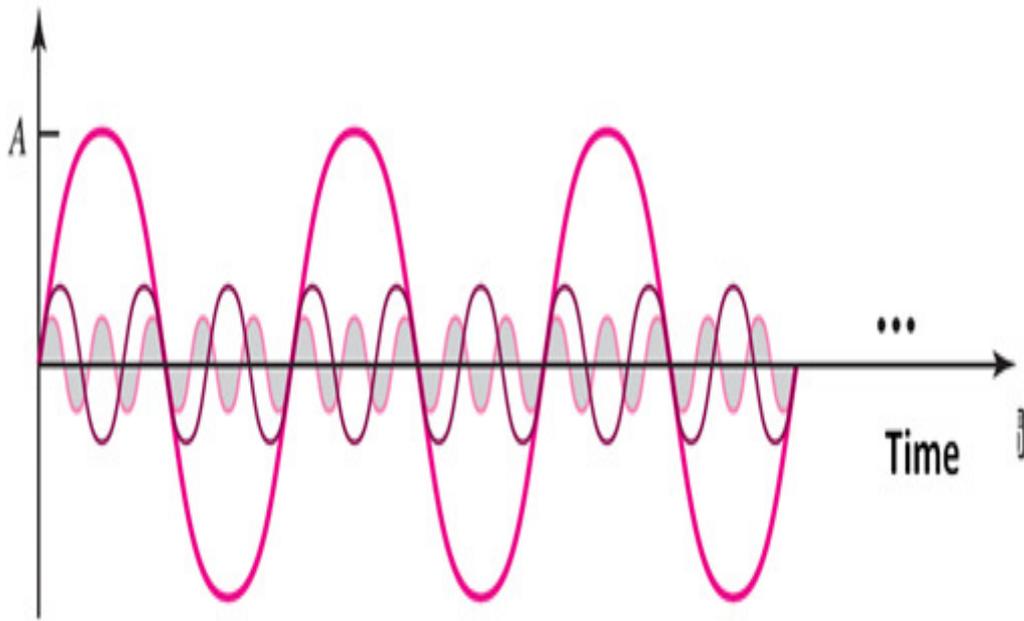


圖 17 前 3 次諧波

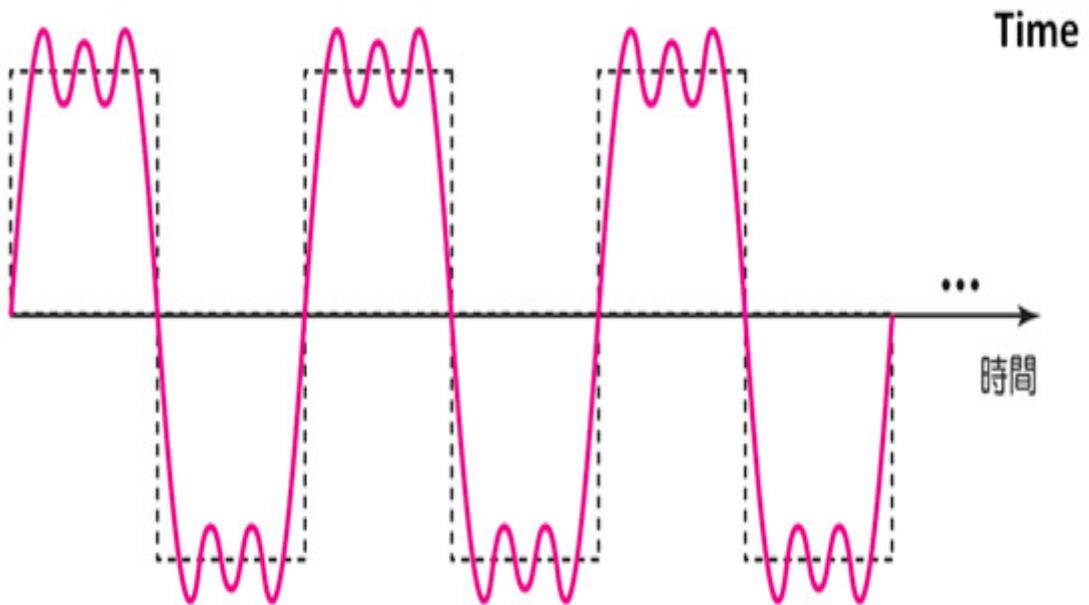


圖 18 原始方波與前 3 次諧波比較圖

### 3.3 主成分分析

主成分分析是常見的一種多變數分析手法；在多個變數之下，由於各變數之間因具有相關性、單位不同、單位差距與資料維度過大等因素，無法如 SPC 一樣用單一的標準衡量，在這個前提之下，我們可以利用一個轉換方式，將原來的變數群濃縮，使得變數變少，但仍可以解釋大部分原始變數的變異，這就是 PCA 主成份分析。所著重的在於如何「轉換」原始變項使之成為一些互相獨立的線性組合變數，而且經由線性組合而得的主成份仍保有原變數最多的資訊，其關鍵在「變異數」問題，利用求特徵值 Eigen value 及特徵向量 Eigen vector 之方法，過濾出占最大比例的變異數型態。如圖 19 我們可以將一個 2 維的資料利用 PCA 的方式投影到另外由 L 軸的座標上。使得原始資料大部份的資訊都可以由 L 軸上的表示。

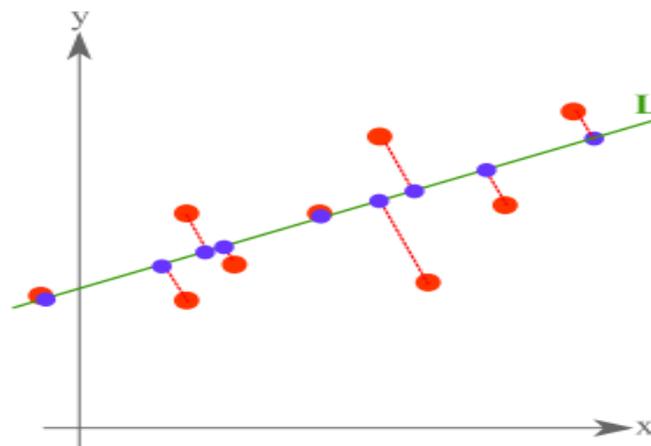


圖 19 二維資料投影到 L

所以主成份分析可以達到描述變數之間的關係，而且也可以將原變數轉為與之無關聯性的新變數，重要的是可以用較少的維度的新變數來解釋原變數所能解釋的現象(會喪失部分資訊)，最後解決在迴歸模型中，解釋變數中多元共線性的問題。

假設我們有  $n$  筆  $m$  維的資料，分別為  $x_1, x_2, \dots, x_n$  我們想把  $m$  維降為  $k$  維則求 PCA 的步驟首先(1)求出 Covariance matrix

$$\text{令 } X = [x_1 \quad x_2 \cdots x_n]^T, \quad m = \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

$$\text{計算 } S = \frac{1}{n-1} (X - m)(X - m)^t \quad (3)$$

接著對  $S$  做 Eigen decomposition 可以得到  $m$  個 Eigen vector  $e_1, e_2, \dots, e_n$  及相對應的 Eigen value  $\lambda_1, \lambda_2 \cdots \lambda_n$ 。

最後選出前  $k$  大的 Eigen value 所對應的 Eigen vector  $e_1, e_2, \dots, e_k$  並投影資料則對每筆資料  $x_i$  可投影到新的變數  $x'_i$

$$\text{則 } x'_i = [x'_{i1} \quad x'_{i2} \quad \cdots \quad x'_{ik}] \quad (4)$$

$$\text{則 } x'_{ij} = e_j^t (x_i - m) \quad (5)$$

## 第四章 實驗分析與探討

真空系統在半導體製程系統中具有關鍵的影響性，它可以從設備中抽出具有潛在危險的生產廢棄氣或是製程副產物，並把他們輸送到對應的系統中處理(分解或排出)，然而真空幫浦的抽氣時間會隨著設備的老化而延長在不影響機台稼動率的情況下是安全且被允許的，然而一旦抽氣效率發生變化或是漏氣對製程結果皆會產生嚴重的後果。一般而言大部分的真空系統皆會監控幫浦抽氣時間及壓力變化來判斷幫浦是否正常的運作。但是對於 Chamber 內微小的漏氣卻無法發現，本研究以真空系統為例利用外加感測器的方式建置 APC 系統來驗證我們所提出的 FTPCA 可以降低 APC 系統建置的費用，並發揮 FDS 的功能反映出真空系統的健康度。

### 4.1 資料的前置處理

首先在資料的前置處理，將感測器取得的連續性電壓訊號如圖 20，利用 Chamber 開關的事件(另外接取的感測訊號)，將每一片玻璃在 Chamber 內的資料切割出來，配合由 CIM 系統獲得目前設備端正在執行的配方資料，將連續性的電壓訊號，轉換為週期性的壓力訊號。如圖 21，因為真空壓力值的變動範圍十分巨大，所以我們將 Y 軸以 Log 呈現如圖 22 較容易觀察到抽氣效率的變化。到此我們已經將每一片玻璃在製造過程中的曲線分割出來；基本上已經具備了分析的條件，我們可以針對曲線中每一點的資料設定 SPEC 來控管壓力曲線，但是每一片玻璃抽氣的時間都有稍許的差異，加上幫浦老化時抽氣效率會隨著改變，這會造成 SPEC 設定的難度，而且我們也希望可以用更簡化的方式來監控壓力曲線。所以接下來系統將處理製程步驟切割的部份，這是在利用外掛感測器建立 APC 系統最困擾的部份。因為假使無法將製程步驟分割出來對於製程規格的設

定可能僅能設定上下限，對於系統的效用就大打折扣。

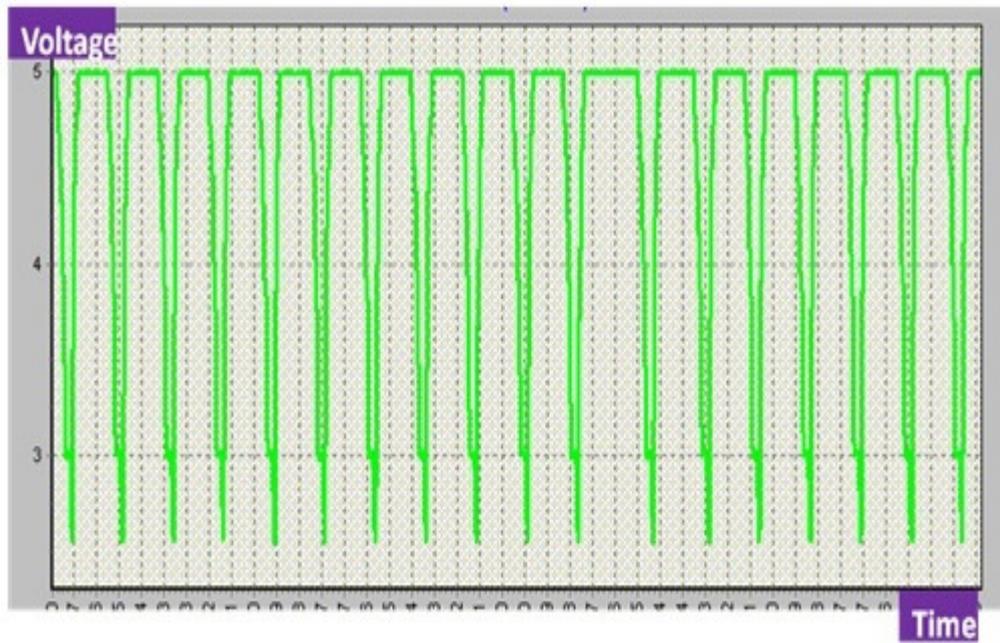


圖 20 感測器取得的連續性資料

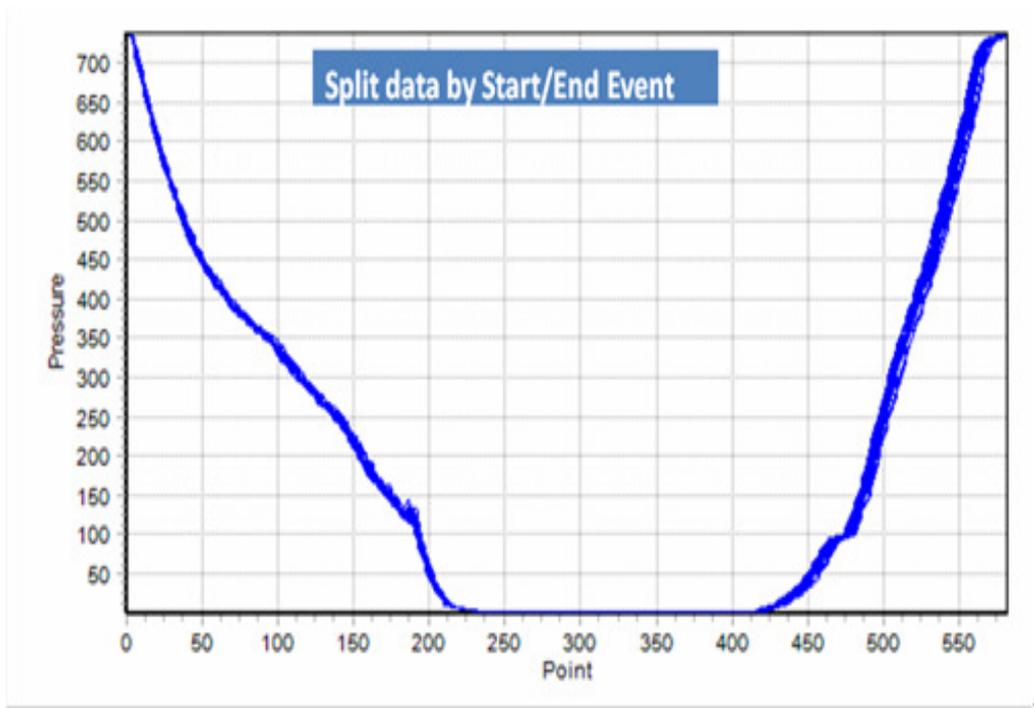


圖 21 依每片玻璃所切割出來的壓力曲線

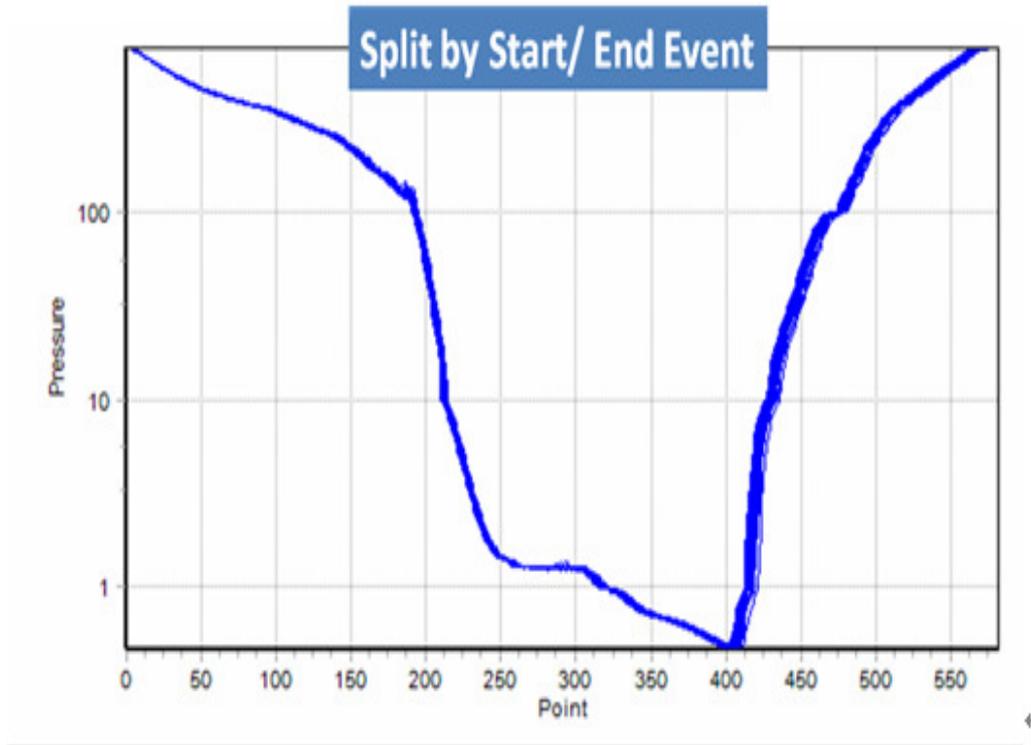


圖 22 特徵化後的真空壓力曲線

由製程觀點來看整個真空系統是由二種真空幫浦組成的；製程可分為 3 個子步驟；(1)初抽(1 大氣壓 760 Torr 降到 100 Torr)；(2)切換到快速幫浦，此段將抽到達設定的最終壓力值；(3)接下來慢慢的通入氮氣，讓 Chamber 回到一大氣壓。由圖 22 我們可以對應到在 X 軸約 200 點附近，整個 Chamber 的抽氣效率有明顯的變化這是幫浦切換的時間；約在 400 點附近就是抽到底壓的時間。我們將採用傅立葉轉換將訊號分解；圖 23 為 3 次諧波所模擬出來的曲線資料。我們將計算原始訊號與模擬曲線的殘差值加上曲線的最低點(最低壓力)將訊號分割為 3 個子製程步驟，如圖 24。我們結合了 CIM 傳送過來的配方資料與子步驟的特徵值後，原始訊號已經被我們轉換為邏輯性的訊號。在這裡所謂的特徵值是每一個步驟殘餘值的變異數以及模擬訊號與原始訊號的距離，在傳入錯誤偵測系統分析。

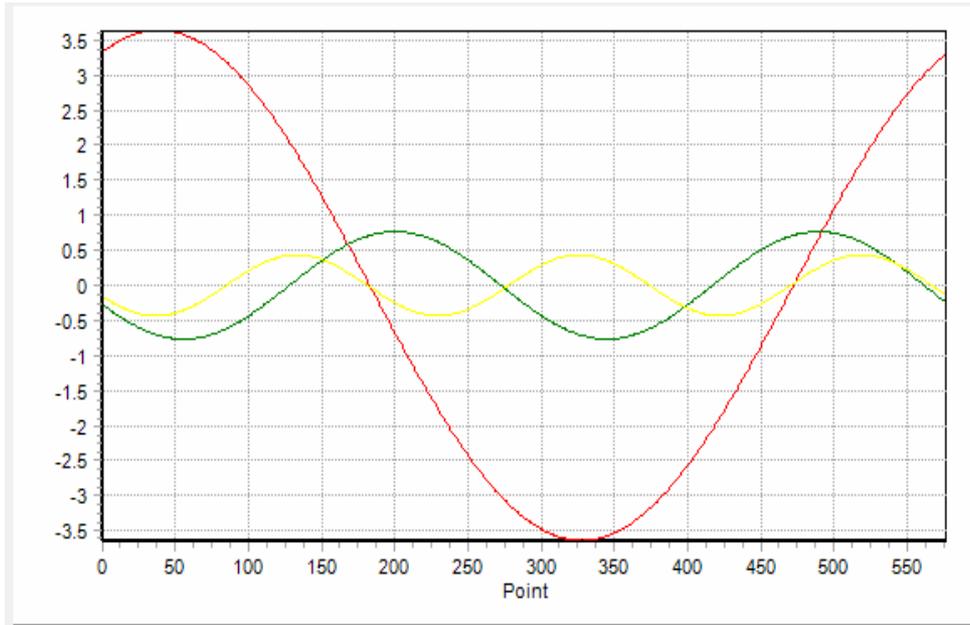


圖 23 真空壓力的前 3 次諧波

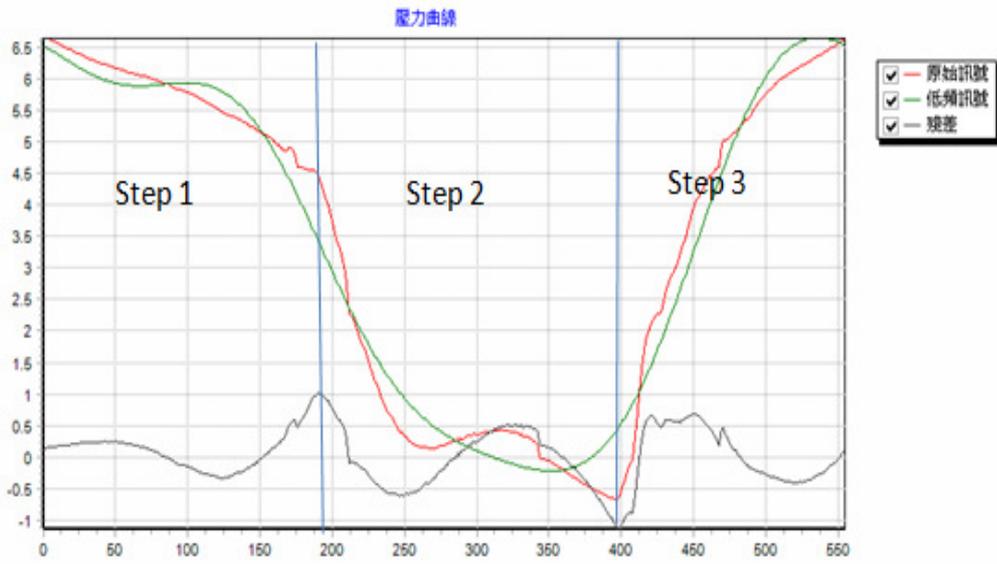


圖 24 真空壓力曲線依製程步驟切割

## 4.2 錯誤偵測與分類

錯誤偵測系統分析目的在將訊號分群分類，鑑別正常與異常的訊號，這需要跟產品的品質做相對應的連結，我們希望能將訊號分群之後同樣故障原因的訊號可以歸到同一群之中，減少工程人員判斷及尋找故障的原因。在本研究中我們嘗試利用 PCA 來做為分群分類的方式。

我們將上一節所取出的特徵訊號值經過 PCA 轉換後可以得到表 3 的結果。由於前 2 個主成份就占原始訊號 93.6 % 的資訊量，我們就可以利用這個方式將資料的維度降低，並後續的分群分類。

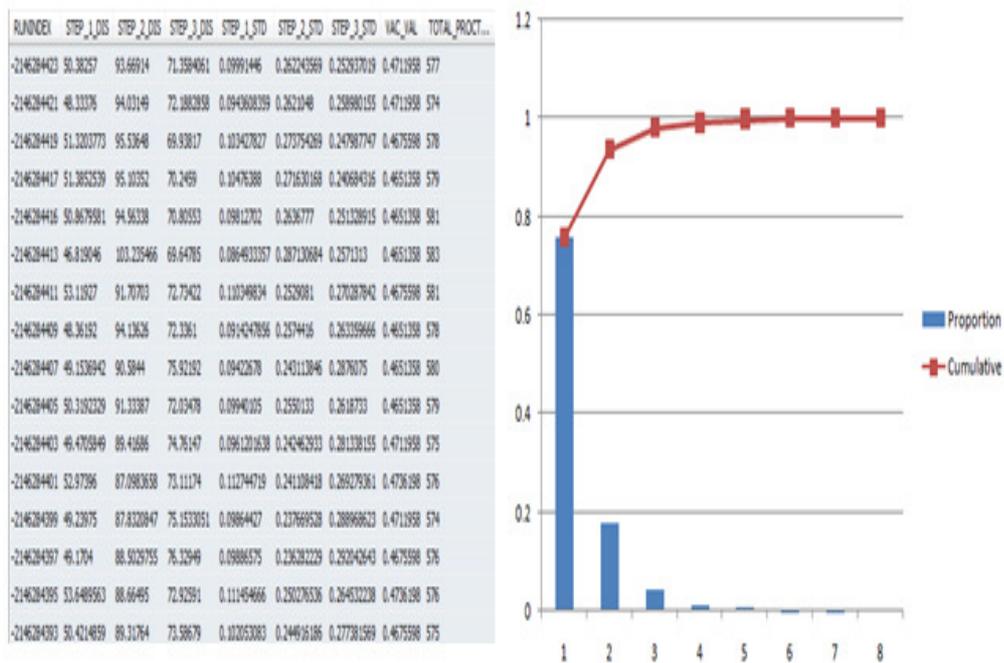


表 3 主成份分析

### 4.3 實驗與分析

整個系統的實際的運作如下首先定義 Gold Pattern: 用來做為比對的依據。我們選取 100 筆正常的壓力曲線做為訓練資料。運用傅立葉轉換計算並取出前 3 次諧波的傅立葉係數取平均值後當做分解訊號的係數。另外將這些資料帶入主成份分析，如上節所述我們將取 2 個主成份做為分類的依據。

當 FDS 系統運作時依先前介紹的步驟，(1) 資料的前置處理 Data Preprocess: 將原始訊號以製程開始及結束的事件切割後，結合製程配方的資料(由連續性資料轉換為週期性資料)。(2) 取出原始訊號的製程時間與訓練資料的傅立葉係數做為參數值計算出模擬的曲線，並計算與原始訊號的殘差，接著將訊號切割為 3 個子製程步驟後，計算各步驟與原始訊號的距離與殘差值的變異數並取出曲線最低壓力值及製程所花費的總時間做為特徵值。(由週期性訊號轉為邏輯訊號)。(3) 取出前步驟所計算的特徵值再依訓練資料的主成分分析的係數重新計算新的兩個主成份當為健康度指標(Healthy Index)。

我們將正常與異常的抽氣壓力曲線如圖 25 傳入系統中，藉由上述的步驟。做真空系統的 FDS，結果如圖 26 取 2 個主成份作圖。我們可以發現其實只要用一個主成分，在 PC 1 小於 -160 的地方設一個規格就可以將正常與異常的真空壓力曲線區隔出來。我們再觀察正常訊號中有 3 片玻璃十分靠近異常點，這 3 片的資料與其他正常曲線相比是在 STEP 1 初抽時曲線與其他訊號有所差異，但是因為初抽對製程的影響性較小所以產品是正常的，我們推測這原因是因為前製程變異所導致。到此我們已經可以將正常與異常曲線區隔開來。先前提到真空系統會因為製程老化而導致抽氣效率變差，我們將時間因數加入圖 26 在重畫，如圖 27。

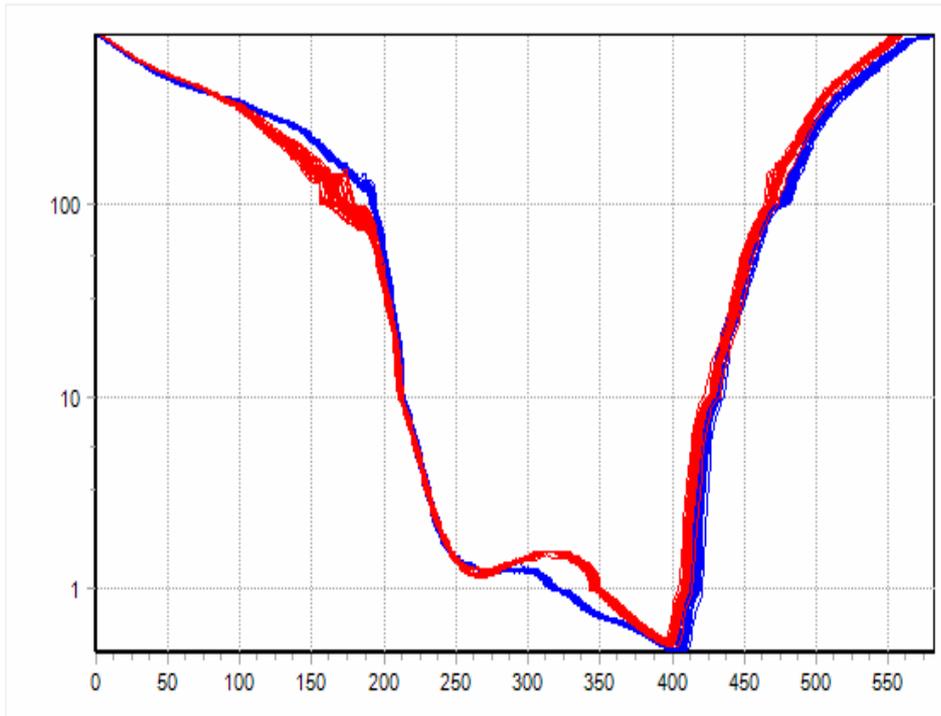


圖 25 正常與異常的真空抽氣壓力曲線

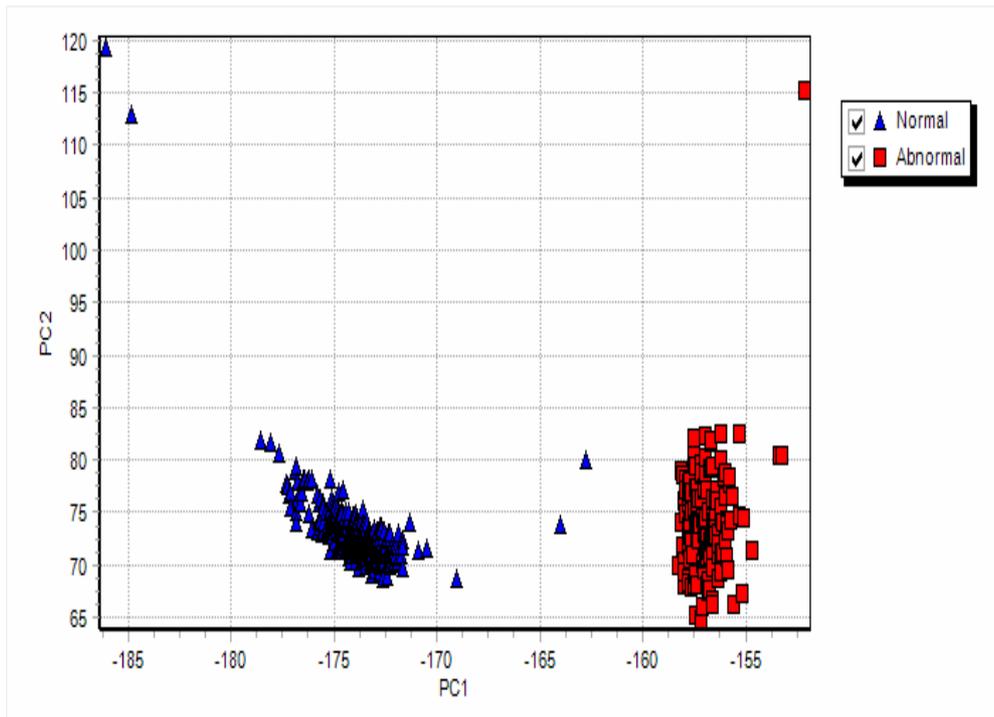


圖 26 2 個主成份的正常與異常壓力訊號

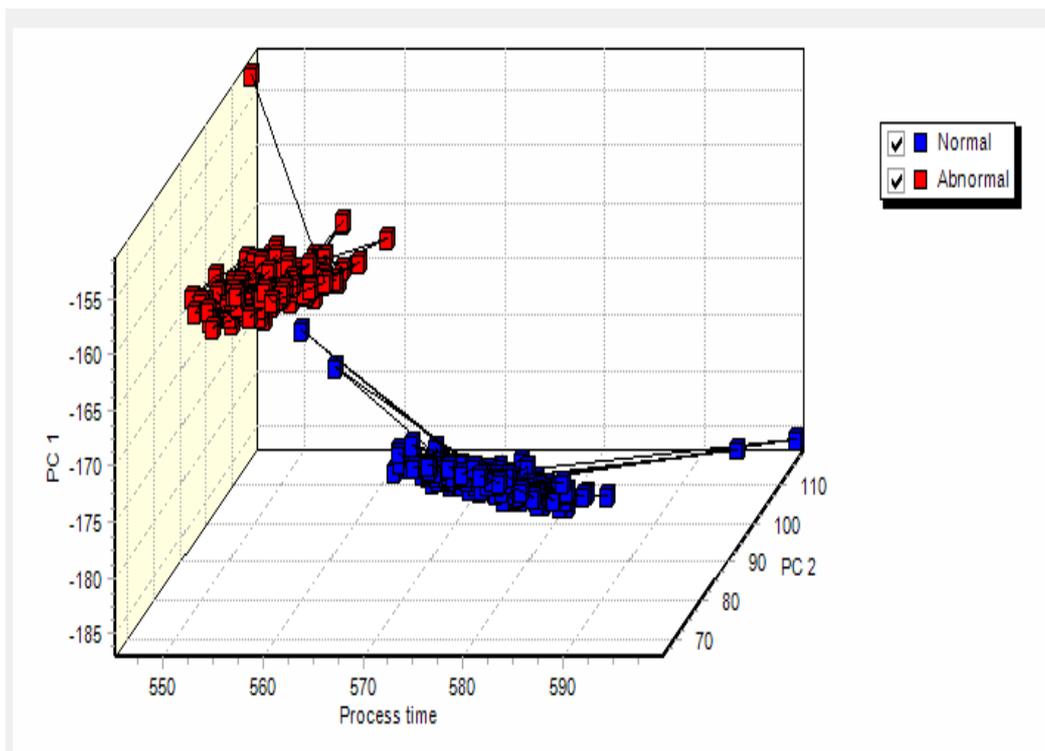


圖 27 加入時間因素的主成分分析

圖 27 為將時間因數加入主成份分析的圖形。當將時間因子加入圖形後，我們可以比較容易發現老化狀況與 PC 1 間的關係。當製程時間增加時 PC 1 也越往下，我以我們可以定義一個區間在-160 到-185 間做為真空系統健康的範圍，大於-160 是漏氣的狀況小於-185 則需要進行保養了。

## 第五章 結論與未來研究

TFT-LCD 製造業與半導體產業都是資本及技術密集型的產業，每年在生產效率與製程微縮的腳步一直沒有停歇。然而製程微縮畢竟有其物理限制存在，所以近年來各廠間無不在如何提高生產良率與縮短製程時間(Cycle Time) 上著手。APC 提供了有效的方式可以讓製程更加的穩定與降低非必要的量測縮短平均製程的時間。

TFT-LCD 製造業在導入 APC 系統上最大的問題在於設備端無法支援龐大的製程資料收集，而且大部分的機台也缺乏相關的感測器，以一般 APC 資料收集系統，原廠的改造報價每台機台約 200~300 萬新台幣，對於想導入 APC 的業者短期的回收效率往往讓計畫胎死腹中。如同本研究一樣在機台端自行加裝感應器是較簡易且可行的方式。然而無法有效率的將製程訊號分割各成為製程的子步驟，一直是使用這個方式最大的問題。我們所提出的 FTPCA 利用傅立葉轉換成供的解決這個問題並且在真空系統上取得驗證，所發費的改造成本在新台幣 10 萬元以下，對於想要利用外掛感測器建構 APC 系統的廠商而言是一個有效的方式。

對於事件的偵測這次的案例是利用硬體的開關訊號作為驅動分割的每片玻璃的訊號，然而並非所有的訊號都可以依循此方式，所以未來可以針對這點做深入的研究，試著找出更加方便的方式讓連續性的感測器資料可以利用軟體的方式方將每片玻璃在製程中的訊號分割出來。

## 第六章 參考文獻

### 中文部份

- [1] 官生平(1998)，SPC 統計製程管制，中華民國品質學會出版委員會，中華民國品質學會。
- [2] 陳正宏(2005)，半導體自動化機台延伸應用於整廠機台效能分析之研究，私立元智大學電機工程學系碩士班碩士學位論文。
- [3] 黃敏良(2002)，先進智慧型半導體製程監控系統設計，私立元智大學電機工程學系碩士班碩士學位論文。

### 西文部份

- [4] A. Holfeld, R. Barlovic, and R. P. Good, "A Fab-Wide APC Sampling Application," Semiconductor Manufacturing, IEEE Transactions on, vol. 20, pp. 393-399, 2007.
- [5] D. Boning, W. Moyne, T. Smith, J. Moyne, R. Trelfeyan, A. Hurwitz, S. Sellman, and J. Taylor, "Run by run control of chemical-mechanical polishing," in Electronics Manufacturing Technology Symposium, 1995. 'Manufacturing Technologies - Present and Future', Seventeenth IEEE/CPMT International, 1995, pp. 81-87.
- [6] G. G. Barna, "APC in the semiconductor industry, history and near term prognosis," in Advanced Semiconductor Manufacturing Conference and Workshop, 1996. ASMC 96 Proceedings. IEEE/SEMI 1996, 1996, pp. 364-369.
- [7] J. A. Stefani, S. Poarch, S. Saxena, and P. K. Mozumder, "Advanced process control of a CVD tungsten reactor," Semiconductor Manufacturing, IEEE Transactions on, vol. 9, pp. 366-383, 1996
- [8] J. Lacaille and M. Zagrebnov, "An Unsupervised Diagnosis for Process Tool Fault Detection: The Flexible Golden Pattern," Semiconductor Manufacturing, IEEE Transactions on, vol. 20, pp. 355-363, 2007.

- [9] M. Kalin, "Benefits of APC at Infineon application examples from production fab Villach," in Advanced Semiconductor Manufacturing, 2004. ASMC '04. IEEE Conference and Workshop, 2004, pp. 437-442.
- [10] M. Kasbari, R. Delamare, S. Blayac, C. Rivero, O. Bostrom, and R. Fortunier, "Embedded Mechanical Stress Sensors for Advanced Process Control," in Advanced Semiconductor Manufacturing Conference, 2007. ASMC 2007. IEEE/SEMI, 2007, pp. 39-42.
- [11] Q. P. He and W. Jin, "Fault Detection Using the k-Nearest Neighbor Rule for Semiconductor Manufacturing Processes," Semiconductor Manufacturing, IEEE Transactions on, vol. 20, pp. 345-354, 2007.
- [12] S. Yu-Chuan, C. Fan-Tien, H. Min-Hsiung, and A. H.-C. H. Hsien-Cheng Huang, "Intelligent prognostics system design and implementation," Semiconductor Manufacturing, IEEE Transactions on, vol. 19, pp. 195-207, 2006.
- [13] S. Yu-Chuan, H. Min-Hsiung, C. Fan-Tien, and C. Yeh-Tung, "A processing quality prognostics scheme for plasma sputtering in TFT-LCD manufacturing," Semiconductor Manufacturing, IEEE Transactions on, vol. 19, pp. 183-194, 2006
- [14] S. Yu-Chuan, L. Tung-Ho, C. Fan-Tien, and W. Wei-Ming, "Accuracy and Real-Time Considerations for Implementing Various Virtual Metrology Algorithms," Semiconductor Manufacturing, IEEE Transactions on, vol. 21, pp. 426-434, 2008.
- [15] William, J. Frawley, Gregory Piatetsky-Shapiro, and Christopher, J. Matheus (1992), Knowledge Discovery in Database – An Overview, AI Magazine, 1992, pp.57-70.

#### 網站部份

- [16] Display Search , <http://www.displaysearch.com.tw/>
- [17] SEMATECH , <http://www.sematech.org/corporate/index.htm>.
- [18] TSIA , <http://www.tsia.org.tw/>
- [19] 茂德科技股份有限公司, <http://www.promos.com.tw/>.

## 附錄