

國立交通大學
工業工程與管理學系
碩士論文

建構晶圓缺陷點與缺陷群聚現象
之適應性管制流程



Constructing an Adaptive Control Process
for Clustered Defects on Wafers

研 究 生：林長科
指 導 教 授：唐麗英 博 士

中華民國九十五年六月

建構晶圓缺陷點與缺陷群聚現象之適應性管制流程

**Constructing an Adaptive Control Process
for Clustered Defects on Wafers**

研究 生：林長科

Student : Chang-Ke Lin

指 導 教 授：唐麗英 博 士

Advisor : Lee-Ing Tong

國 立 交 通 大 學
工 業 工 程 與 管 理 學 系
碩 士 論 文

A Thesis

Submitted to Department of Industrial Engineering and Management

College of Management

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Industrial Engineering and Management

June 2006

Hsin-Chu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十五年六月

建構晶圓缺陷點與缺陷群聚現象 之適應性管制流程

研究生：林長科

指導教授：唐麗英

國立交通大學工業工程與管理學系碩士班

摘要

由於晶圓表面缺陷點 (defects) 多寡是決定晶圓良率 (yield) 的一個重要因素，積體電路業界多使用缺陷點數管制圖 (c-chart) 來管制晶圓表面之缺陷點，但若依照傳統抽樣方式，每批量僅抽取一片晶圓，c-chart 僅能監控製程中不同批量間的變異，而無法同時監控晶圓間的變異，以及晶圓表面缺陷點之群聚現象，因此c-chart不適合用於複雜且具多種變異來源的晶圓製造系統。隨著科技的進步，產品良率是製造商亟欲提昇的目標，在提昇良率的同時亦希望能降低製造成本。在品質管制技術與成本都需改進的情況下。本論文利用缺陷群聚指標 (cluster index)、Hotelling T^2 管制圖及適應性管制圖 (adaptive control chart) 發展出一套完整之晶圓缺陷點適應性管制流程，此流程不僅能有效地監控晶圓表面缺陷點之分佈及晶圓間缺陷點之變異，還可監控不同批量間之變異，並能依缺陷點及群聚嚴重程度以動態取樣之方式抽取適當之晶圓數目，來節省成本。本論文最後以模擬之晶圓資料來說明本流程之有效性，不但能迅速偵測出製程中各種偏移狀況，亦可以明確的指出造成異常產品的品質特性。

【關鍵詞】缺陷點、良率、缺陷點數管制圖、缺陷群聚指標、Hotelling T^2 管制圖、
適應性管制圖

Constructing an Adaptive Control Process for Clustered Defects on Wafers

Student: Chang-Ke Lin

Adviser: Lee-Ing Tong

Department of Industrial Engineering and Management

National Chiao Tung University

Abstract

Number of defects on a wafer is a key factor of wafer yield. The Integrated-circuits(IC) manufacturers often adopt c-chart to monitor the wafer defects. The traditional sampling scheme is to sample just one wafer per lot, therefore c-chart can only monitor the lot-to-lot variation. The c-chart is unable to monitor simultaneously the wafer-to-wafer variation and clustering phenomenon of defects on a wafer. Consequently, c-chart is inappropriate to be employed in the complicated wafer manufacturing process with various sources of variation. Moreover, because the rapid development of the manufacturing techniques, manufacturers want to promote the wafer yield and curtail the budget. An adaptive control chart can be employed to reduce the monitoring cost. The objective of this study is to utilize a cluster index to describe the defect clustering phenomenon. Hotelling T^2 control chart is employed in this study to detect number of total defects and clustering phenomenon simultaneously. This study further develops a complete monitoring procedure in which the adaptive control chart is utilized. The proposed procedure can not only monitor the defect clustering, but also monitor the wafer-to-wafer variation and the lot-to-lot variation. Finally, simulated cases of wafer defects are utilized to demonstrate the effectiveness of the proposed procedure.

Key Words: Defect, Yield, C-chart, Cluster Index, Hotelling T^2 control chart,
Adaptive Control Chart

誌謝

隨著畢業典禮煙火的施放，離別的感覺突然一股腦湧現於心中，或許人生就是需要參雜著離別場合來點綴，才會顯得精采，在交大鬼混了 6 年的我終於拿到碩士學位，準備離開我第二個家—風城。首先，要特別感謝我的指導教授唐麗英老師，從大學專題開始到碩士論文都能容忍我不斷的去嘗試、犯錯，讓您費盡心思來指導我；接著要謝謝張永佳老師，妳就像是大姐姐般的給予我意見，沒有壓力也毋需拘束。此外，也非常感謝口試委員梁高榮老師與王春和老師，在論文口試時給了我非常寶貴的意見，使我能夠順利完成我的碩士論文。

在離別的前夕，想對我的朋友們說聲祝福，謝謝實驗室一路攜手走來的啟峰、幸穎，正琪、珮君、莉安、修來、盈杰、俊榮、昱浩、碩鴻、喬凱和老王，是你們豐富了實驗室的時光，大夥一起出遊、喝酒、夜唱的時光，都將會是我一輩子難以磨滅的回憶。感謝民有二街的好室友：阿伯、阿猴、阿魯米、佩青、papa 和翊展，在我低潮時陪我一起瘋狂，還有隨時隨地的三缺一，跟你們在一起我永遠都是開心的笑著。接著要感謝社團的好兄弟：小陸和承穎，是你們豐富了我的人生，啟發了我很多的思維。另外，謝謝我的朋友們：蔡今中老師、bubu 的救命程式、遠在高雄的人秋和碩士生涯中一位值得紀念的人，你們的祝福與關心是我完成碩士論文的一個重要推手。

最後，我要感謝我的父母親，感謝您們對我無怨無悔的支持，無論是物質上或精神上援助，都讓我可以無憂慮的專心我的課業，您們的付出都深刻的烙印在我心坎中，希望有一天我也能成為您們的驕傲。

僅以此文，獻給我最親愛的爸媽、弟妹、阿姨和遠在天國最疼我的外婆，以及所有幫助、鼓勵過我的好朋友們，謝謝你們！

林長科 謹誌於
交通大學工業工程與管理研究所

2006 年 6 月 19 日

目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
誌謝.....	III
目錄.....	IV
圖目錄.....	VI
表目錄.....	VII
第一章 緒論	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究假設.....	3
1.4 研究架構.....	3
第二章 文獻探討	4
2.1 缺陷群聚指標.....	4
2.1.1 缺陷群聚指標 CI	4
2.1.2 缺陷群聚指標 CI_T	5
2.2 多變量管制圖.....	7
2.2.1 Hotelling T^2 管制圖	7
2.2.2 MYT 分解法.....	9
2.3 逐步管制流程.....	11
2.4 適應性管制圖.....	12
2.4.1 基本模型介紹.....	12
2.4.2 參數設計.....	16
第三章 結合缺陷點與缺陷群聚現象之適應性管制流程	18
第四章 模擬驗證	23
4.1 結合缺陷點與缺陷群聚現象適應性管制流程之構建.....	23
4.1.1 同一生產批量內缺陷點發生晶圓間變異（案例一）	24
4.1.2 同一生產批量內缺陷群聚現象發生晶圓間變異（案例二）	28
4.1.3 不同批量間缺陷點發生批量間變異（案例三）	30
4.1.4 不同批量間缺陷點與缺陷群聚現象發生批量間變異（案例四）	33
4.2 案例分析	36
4.2.1 本論文所提之適應性管制流程.....	36

4.2.2 與陳民祥提出之管制流程比較.....	39
4.2.3 結果分析.....	42
第五章 結論	45
參考文獻.....	46



圖 目 錄

圖 1.1 本論文之架構與流程圖.....	3
圖 2.1 缺陷點分佈圖與兩軸的投影[8].....	4
圖 2.2 缺陷點座標夾角示意圖[3].....	5
圖 2.3 適應性管制圖之圖例 [5,6,7,11].....	13
圖 3.1 結合缺陷點與缺陷群聚現象之適應性管制流程.....	22
圖 4.1 原始缺陷點分佈.....	25
圖 4.2 轉換後缺陷點分佈.....	25
圖 4.3 原始缺陷群聚指標 CI_T 分佈	25
圖 4.4 轉換後缺陷群聚指標 CI_T 分佈	25
圖 4.5 轉換後 T^2 統計量之分佈圖	26
圖 4.6 個別值與移動全距管制圖（案例一）	28
圖 4.7 個別值與移動全距管制圖（案例二）	30
圖 4.8 個別值與移動全距管制圖（案例三）	32
圖 4.9 適應性管制圖（案例三）	32
圖 4.10 個別值與移動全距管制圖（案例四）	35
圖 4.11 適應性管制圖（案例四）	35
圖 4.12 個別值與移動全距管制圖（案例分析）	37
圖 4.13 適應性管制圖（案例分析）	38
圖 4.14 缺陷點平均值之缺陷點管制圖（ $n=2$ ）	41
圖 4.15 缺陷點平均值之缺陷點管制圖（ $n=3$ ）	43

表 目 錄

表 2.1 缺陷群聚指標 CI 與 CI_T 之比較	7
表 2.2 適應性管制圖與 CUSUM 之 AATS 比較[6].....	15
表 2.3 適應性管制圖與 \bar{X} 圖之 AATS 比較[6].....	15
表 4.1 模擬之晶圓缺陷點資料.....	24
表 4.2 每片晶圓之轉換後 T^2 統計量	26
表 4.3 每一批量之抽樣數與 NU 值 (案例一)	27
表 4.4 利用 MYT 分解法判斷造成製程異常之原因 (案例一)	28
表 4.5 缺陷群聚現象發生晶圓間變異之晶圓資料 (案例二)	29
表 4.6 每一批量之抽樣數與 NU 值 (案例二)	29
表 4.7 利用 MYT 分解法判斷造成製程異常之原因 (案例二)	30
表 4.8 缺陷點發生批量間變異之晶圓資料 (案例三)	31
表 4.9 每一批量之抽樣數與 NU 值 (案例三)	31
表 4.10 利用 MYT 分解法判斷造成製程異常之原因 (案例三)	33
表 4.11 缺陷點與缺陷群聚現象發生批量間變異之晶圓資料 (案例四)	33
表 4.12 每一批量之抽樣數與 NU 值 (案例四)	34
表 4.13 利用 MYT 分解法判斷造成製程異常之原因 (案例四)	35
表 4.14 發生變異之晶圓資料 (案例分析)	36
表 4.15 每一批量之抽樣數與 NU 值 (案例分析)	37
表 4.16 利用 MYT 分解法判斷造成製程異常之原因 (案例分析)	39
表 4.17 晶圓預估良率.....	40
表 4.18 晶圓良率檢定 Z 值 ($n=2$)	40
表 4.19 三十批中修正缺陷點數平均值 ($n=2$)	41
表 4.20 晶圓良率檢定 Z 值 ($n=3$)	42
表 4.21 三十批中修正缺陷點數平均值 ($n=3$)	43
表 4.22 本論文與陳民祥[2]方法之失控點異常原因比較表	44

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

積體電路 (Integrated Circuit, IC) 是高科技產業中熱門的行業，評估 IC 廠商是否具有競爭力的關鍵因素即是晶圓之良率 (yield)。晶圓的製程需經過薄膜沉積、曝光、顯影、蝕刻等多個循環步驟，隨著製程的進行，空氣中的微粒 (particles) 會附著在晶圓表面形成缺陷點 (defects)，這些會引起晶片功能損壞之缺陷點，稱致命性缺陷 (killer defect)，所謂晶圓之良率是指一片晶圓上正常晶片佔總晶片數之比例，因此 IC 廠商都亟欲改進晶圓品質以提昇其產品之良率。

統計製程管制(Statistical Process Control, SPC)中之缺陷點數管制圖(c-chart)是 IC 廠商監控晶圓缺陷點的一個有效的方法。由於晶圓製造的過程複雜，且晶圓製程已由八吋發展到現在的十二吋製程，隨著晶圓面積的增大，晶圓表面的缺陷點開始出現群聚(clustering)的現象，此群聚現象會導致缺陷點數的多寡與良率高低之間發生不一致的情形，影響了 c-chart 之準確性，因此利用 c-chart 來管制晶圓製程缺陷點數的同時，也必須要考慮到缺陷點的群聚現象，才能有效的控制晶圓的品質。

Jun et al.[8]提出一計算簡單的缺陷群聚指標 (Cluster Index, CI)，此群聚指標能有效的表現缺陷點群聚嚴重之程度，且對缺陷點並不需要任何統計假設，但其缺點是不同分佈之缺陷點，有可能在兩軸的投影位置相同，因此會有相同之 CI 值；針對 CI 指標的缺失，蔡文傑[3]利用每個缺陷點與 X 軸之正值夾角間距的變異係數平方，提出新的缺陷群聚指標 (CI_T)，經模擬驗證發現，CI_T 確實是目前展現缺陷群聚現象效果最佳的群聚指標。

Hotelling[10]針對多品質特性之統計管制方法提出 Hotelling T^2 多變量管制圖 (multivariate quality control chart)。多變量管制圖可以同時管制兩種以上的品質特性，其做法是將數個變數利用線性組合整合成一個新變數，此管制圖不僅方便現場人員監控製程，其管制效率亦較一般之單變量管制圖為佳，且可減少線上品

管工程師之時間與管制工作量。

此外，c-chart主要是針對單一個變異來源所設計的品質監控方法，但是在複雜的晶圓製造過程中，品質變異的來源有許多種，例如：在管制缺陷點時，除了需考量同一片晶圓上缺陷群聚現象的嚴重程度外，缺陷點之變異來源尚有兩個：同一生產批量內晶圓與晶圓間 (wafer-to-wafer) 存在的變異，及不同生產批量間 (lot-to-lot) 的變異。由於c-chart無法同時考慮到多種變異來源，而影響其管制效果，因此若要有效監控晶圓表面之缺陷點，需有一套兩階段管制流程來監控製程上兩種不同的變異。

由於晶圓的檢驗工作繁複且耗時，加上市場競爭越來越激烈，IC廠商必須設法降低監控晶圓之成本，因此管制圖漸漸走向動態的趨勢，Costa[5,6,7,11]根據變動抽樣數和抽樣間隔的概念，發展出適應性管制圖 (adaptive control chart)，適應性管制圖以前一個樣本值為基準，當樣本值接近失控時，採用嚴格的抽樣方法 (較大的樣本數和較小的抽樣間隔)，如此可在製程發生失控時能更快速的偵測出來；而當樣本值接近目標值時 (即製程呈現穩定狀態時)，採用寬鬆的抽樣方法 (較小樣本數和較大抽樣間隔)，如此可節省抽樣成本。

1.2 研究目的

綜上所述，本論文的主要目的有以下兩項：

1. 針對晶圓製造過程中所產生的缺陷點和缺陷群聚現象，以缺陷群聚指標 CI_T 值代表缺陷發生群聚的嚴重程度，將缺陷點和 CI_T 值視為兩個品質特性，利用Hotelling T^2 統計量將此兩品質特性轉換成一個 T^2 變數，以便同時監控缺陷點與缺陷群聚之製程及節省監控時間與成本。
2. 利用逐步管制流程之觀念結合適應性管制圖，最後建構一套完整的適應性晶圓缺陷點與缺陷群聚現象之管制流程，此流程兼具同時監控兩種變異來源與適應性管制圖之優點。當樣本值發生失控時，利用MYT法[9]可分解Hotelling T^2 統計量，找出失控的品質特性，線上人員可依此調整機台。IC廠商利用本論文所提之方法，能有效地提昇管制晶圓品質之效果及降低檢

驗成本。

1.3 研究假設

本論文有以下三點假設：

1. 晶圓上每個缺陷點對良率皆會有影響，缺陷點越多，表示製程異常狀況越嚴重，即良率越低。
2. 晶圓上的缺陷點不論大小、形狀和型態皆視為一點，本論文僅針對缺陷點數進行分析。
3. 由於必須監控同一批量內晶圓間之變異，故一個批量最少需抽檢兩片晶圓。

1.4 研究架構

本論文共分成五章，第一章為緒論，說明本論文之背景、動機、目的及假設；第二章為文獻探討，介紹衡量缺陷群聚嚴重程度的群聚指標、Hotelling T^2 管制圖、逐步管制流程以及適應性管制圖之相關文獻；第三章說明本論文如何使用Hotelling T^2 管制統計量結合缺陷點數與缺陷群聚指標 CI_T 值，以建構一套逐步的適應性管制流程；第四章為模擬驗證，由於本論文所提出之抽樣方法在實務界具創新性，因此以模擬之資料說明本論文之有效性及可行性；第五章則為結論，並提出後續研究方向。本論文之研究架構流程以圖1.1表之。

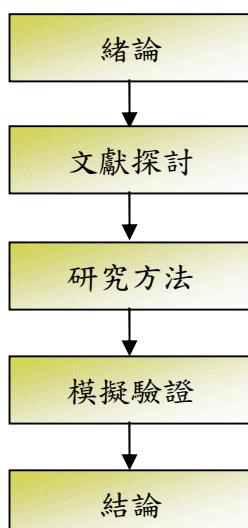


圖1.1 本論文之架構與流程圖

第二章 文獻探討

本章分成四個小節，分別介紹衡量缺陷群聚嚴重程度的缺陷群聚指標、Hotelling T^2 管制圖與 MYT 法、逐步管制流程以及適應性管制圖之相關文獻。

2.1 缺陷群聚指標

目前積體電路業在晶圓製造的過程中常使用晶圓表面缺陷點數來衡量晶圓良率之高低，但是當晶圓表面缺陷點出現群聚現象時，缺陷點的多寡就無法反應真實之良率，例如：相同尺寸的兩片晶圓 A 與 B，同樣出現了 100 個缺陷點，晶圓 A 之缺陷點是平均散落於晶圓表面；而晶圓 B 之缺陷點呈現 5 個群聚（每個群聚各有 20 個缺陷點），若以良率來判斷優劣時，則晶圓 B 明顯高出晶圓 A，由此例得知缺陷點之群聚現象在晶圓品質管制技術中是一個重要的議題。對此國內外學者提出了解決方法，利用缺陷群聚指標量化缺陷群聚的分佈狀況，讓工程人員能及時掌握晶圓上缺陷群聚現象以便進行製程的修正。以下針對缺陷群聚指標相關之文獻作介紹。

2.1.1 缺陷群聚指標 CI

Jun et al.[8]利用投影的概念提出一個缺陷群聚指標 CI，由圖 2.1 發現，當缺陷點分佈呈現(a)時，對應在兩軸上的座標間距較為一致，即投影點間距變異小，表此缺陷點分佈為隨機；相對於(d)，對應在兩軸上的座標間距就較為緊密，即投影點間距變異大，表此缺陷點分佈發生群聚現象；而(b)、(c)的缺陷點投影分佈都只是在單軸上有較緊密之間距，並不算發生群聚現象，根據上述之概念發展出缺陷群聚指標 CI 之公式。

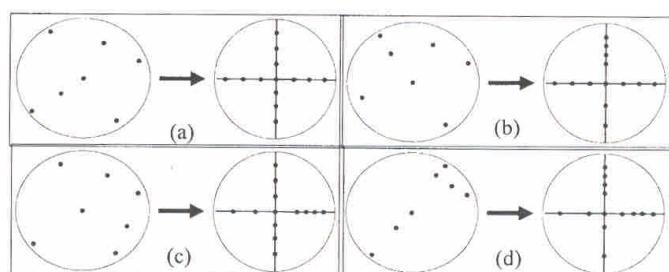


圖2.1 缺陷點分佈圖與兩軸的投影[8]

假設一片晶圓表面有 n 個缺陷點，此指標的計算方法為：將 n 個缺陷點的座標分別投影至 X 軸與 Y 軸上，每個缺陷點以 (X_i, Y_i) 表示， $i=1,2,3,\dots,n$ ，接著，將 X 軸最左端與 Y 軸最下端令為原點，以 $(0, 0)$ 表示，並分別將 X_i 與 Y_i 以遞增方式排序， $X_{(i)}$ 代表 X 軸上排序第 i 小的座標值， $Y_{(i)}$ 代表 Y 軸上排序第 i 小的座標值。則 X 軸與 Y 軸上座標的間距 V_i 與 W_i 定義如下：

$$V_i = X_{(i)} - X_{(i-1)}, i=1,2,\dots,n, \text{ 代表 X 軸上的點間距；}$$

$$W_i = Y_{(i)} - Y_{(i-1)}, i=1,2,\dots,n, \text{ 代表 Y 軸上的點間距，} X_{(0)} = Y_{(0)} = 0,$$

則缺陷群聚指標 CI 為： $CI = \min \left\{ \frac{S_V^2}{\bar{V}^2}, \frac{S_W^2}{\bar{W}^2} \right\}$ (2.1)

其中， $\bar{V} = \sum V_i / n$; $S_V^2 = \sum (V_i - \bar{V})^2 / (n-1)$
 $\bar{W} = \sum W_i / n$; $S_W^2 = \sum (W_i - \bar{W})^2 / (n-1)$

當晶圓缺陷點分佈呈現隨機時，CI 值會小於等於 1，如圖 2.1 (a); 而缺陷點群聚開始發生時，CI 值會逐漸增大，隨著群聚越嚴重 CI 值會越大。CI 指標之優點是計算方便且不需假設缺陷點為任何分配，對沒有統計概念的工程人員而言，此指標簡單易用；但缺點則是對某些不同的缺陷點分佈型態，若投影在兩軸的位置相同，就會有相同之 CI 值，如此可能會誤判群聚的嚴重程度。

2.1.2 缺陷群聚指標 CI_T

蔡文傑[3]針對以往文獻所提缺陷群聚指標之缺失，利用角度與距離的概念提出一個新的缺陷群聚指標 CI_T ，其特色為能以單一指標辨認出任何圖案的缺陷點群聚現象。

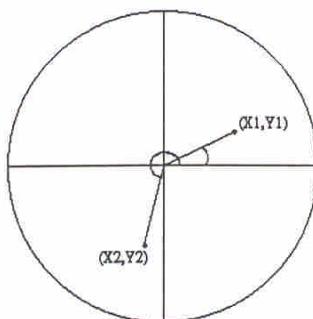


圖2.2 缺陷點座標夾角示意圖[3]

由圖2.2發現，當夾角與距離的間距較為一致，即間距的變異小，表此缺陷點分佈呈現隨機；相對來說當夾角或距離的間距變得較緊密，即間距的變異開始增大，則表此缺陷點分佈發生群聚現象，文獻中提到了四種常見的缺陷點群聚圖案：牛眼、環狀群聚現象，會使距離間距的變異大；底部、弦月群聚現象，則角度與距離間距的變異皆會變大，所以說不論何種群聚圖案都至少會造成一種間距的變異增大，根據上述之概念發展出缺陷群聚指標 CI_T 之公式。

首先，計算晶圓表面各缺陷點與第一象限座標的X軸所成之夾角 $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{Y_i}{X_i}\right)$ ，與各缺陷點到原點的距離 $L = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2}$ ， $i=1,2,\dots,n$ ， X_i 為第*i*個缺陷點的X軸座標， Y_i 為第*i*個缺陷點的Y軸座標，並分別將 θ_i 與 L_i 以遞增方式排序， $\theta_{(i)}$ 代表排序第*i*小的夾角， $L_{(i)}$ 代表排序第*i*小的距離。則夾角 θ 與距離 L 的間距 A_i 與 D_i 定義如下：

$$A_i = \theta_{(i)} - \theta_{(i-1)} \text{, } i=1,2,\dots,n \text{, 代表夾角 } \theta \text{ 的間距；}$$

$$D_i = L_{(i)} - L_{(i-1)} \text{, } i=1,2,\dots,n \text{, 代表距離 } L \text{ 的間距, } \theta_{(0)} = L_{(0)} = 0 \text{,}$$

則缺陷群聚指標 CI_T 為：

$$CI_T = \max\left\{\frac{S_A^2}{\bar{A}^2}, \frac{S_D^2}{\bar{D}^2}\right\} \quad (2.2)$$

其中，
 $\bar{A} = \sum A_i / n$; $S_A^2 = \sum (A_i - \bar{A})^2 / (n-1)$
 $\bar{D} = \sum D_i / n$; $S_D^2 = \sum (D_i - \bar{D})^2 / (n-1)$

因此此缺陷群聚指標是取夾角或距離之間距的變異係數平方後最大值作為指標值，故 CI_T 值越大，代表群聚現象越嚴重，至於利用變異係數的原因是為了消除角度與距離兩種不同量度單位所造成的差異。表2.1列出缺陷群聚指標 CI 值與 CI_T 值的相對關係，兩者均是指標值越大群聚現象越明顯，且當缺陷點總數相同時，可藉 CI_T 值判斷缺陷點分佈呈現何種群聚圖案，這是 CI_T 指標優於其他缺陷群聚指標的地方。

表2.1 缺陷群聚指標CI與CI_T之比較

群聚現象	缺陷群聚指標 CI	缺陷群聚指標 CI _T
無	0.85–1.00	1–3
些微	1.00–1.10	3–10
中等	1.10–1.25	10–20
嚴重	1.25–2.70	20 以上

2.2 多變量管制圖

在目前的製造環境中，一個產品通常同時包含了數個品質特性，而且這些品質特性之間常常彼此相關，多變量管制圖可以僅使用一張管制圖同時監控多個品質，不僅方便現場人員監控製程，其管制效率亦較個別單變量管制圖為佳。此外，當多變量管制圖發生失控時，並無法確定由哪個品質特性所造成，利用 MYT 法來追溯造成影響的品質特性，以下將針對相關文獻作介紹。

2.2.1 Hotelling T²管制圖

Hotelling[10]針對多品質特性提出Hotelling T²管制圖。若工程人員欲同時管制製程中 p 個($p \geq 2$)品質特性時，假設此 p 個品質特性服從 p 元常態分配，且樣本大小均為 n ，則這些品質特性的平均值可使用 $p \times 1$ 的向量表示：

$$\bar{\mathbf{X}} = \begin{bmatrix} \bar{X}_1 \\ \bar{X}_2 \\ \vdots \\ \bar{X}_p \end{bmatrix}$$

此時，每個樣本的統計檢定值為：

$$\chi_0^2 = n(\bar{\mathbf{X}} - \mu')' \Sigma^{-1} (\bar{\mathbf{X}} - \mu') \quad (2.3)$$

在式 (2.3) 之 $\mu' = [\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_p]$ 為各個元素品質特性之平均值， Σ 為共變異

矩陣。因為母體參數無法得知，故從穩定製程中取出 m 個樣本求得 $\bar{\bar{X}}$ 與樣本共變異矩陣 \mathbf{S} 來估計參數 μ 與 Σ ，假設每個樣本包含 n 個觀測值，則樣本平均值與變異數為：

$$\bar{X}_{jk} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{ijk} \quad \begin{cases} j = 1, 2, \dots, p \\ k = 1, 2, \dots, m \end{cases}$$

$$S_{jk}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_{ijk} - \bar{X}_{jk})^2 \quad \begin{cases} j = 1, 2, \dots, p \\ k = 1, 2, \dots, m \end{cases}$$

其中， X_{ijk} 表示第 k 個樣本中第 j 個品質特性的第 i 個觀測值，第 k 個樣本內第 j 個與第 h 個品質特性的共變異數為：

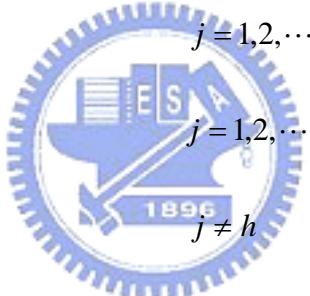
$$S_{jhk} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_{ijk} - \bar{X}_{jk})(X_{ihk} - \bar{X}_{hk}) \quad \begin{cases} k = 1, 2, \dots, p \\ j \neq h \end{cases}$$

將上述提及三個統計量之和分別除以 m 個樣本，求得平均數如下：

$$\bar{\bar{X}}_j = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \bar{X}_{jk} \quad j = 1, 2, \dots, p$$

$$\bar{S}_j^2 = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m S_{jk}^2 \quad j = 1, 2, \dots, p$$

$$\bar{S}_{jh} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m S_{jhk} \quad j \neq h$$



此時， $\{\bar{\bar{X}}_j\}$ 為向量 $\bar{\bar{X}}$ 的元素，而樣本間的 $p \times p$ 平均共變異數矩陣 \mathbf{S} 為：

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} \bar{S}_1^2 & \bar{S}_{12} & \bar{S}_{13} & \cdots & \bar{S}_{1p} \\ \bar{S}_2^2 & \bar{S}_{23} & \cdots & & \bar{S}_{1p} \\ \bar{S}_3^2 & & & \vdots & \\ \ddots & & & \vdots & \\ \bar{S}_p^2 & & & & \end{bmatrix}$$

當製程穩定的情況下， \mathbf{S} 為 Σ 的不偏估計式。若以 $\bar{\bar{X}}$ 代替 μ ， \mathbf{S} 代替 Σ ，代入式 (2.3) 則可得到管制統計量為：

$$T^2 = n(\bar{\bar{X}} - \bar{\bar{X}})' \mathbf{S}^{-1} (\bar{\bar{X}} - \bar{\bar{X}}) \quad (2.4)$$

利用 T^2 統計量即可繪製 Hotelling T^2 管制圖，當資料為大樣本 ($m \geq 25$) 時，其管制上限為： $URL = \chi^2_{\alpha, p}$ ， p 為品質特性個數；當資料非大樣本時，則管制界

限需由 T^2 分配（和 F 分配有關）求得，其管制上限為：

$$UCL = \frac{p(m-1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{\alpha, p, (mn-m-p+1)}, n 表示每組樣本內的測試個數。$$

當製程穩定時，Hotelling T^2 管制圖的管制上限可改寫為：

$$UCL = \frac{p(m+1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{\alpha, p, (mn-m-p+1)}$$

Hotelling T^2 管制圖非常適用於同時管制數個彼此相關之品質特性，但其缺點是對於製程中的微小偏移較不敏感，故本論文僅將利用 Hotelling T^2 管制圖中之 T^2 統計量來同時管制晶圓缺陷點數與缺陷群聚現象兩項品質特性。

歐陽[4]提出多變量指數加權移動平均（Multivariate Exponentially Weighted Moving Average, MEWMA）管制圖，此管制圖優點為僅利用一張管制圖同時監控兩個變數，並且當製程發生微小偏移時，其管制效率非常好，但是卻忽略了大的製程偏移。

2.2.2 MYT分解法



Mason et al.[9]為了追溯造成多變量管制圖失控的品質特性，提出一套分解 Hotelling T^2 統計量之方法，此方法簡稱 MYT 法，主要以條件機率為概念，例如：當 Hotelling T^2 管制圖出現一失控點時，若分開以單變量管制圖亦無法偵測出失控的品質特性，這是因為多變量管制區域包含了變數間彼此相關的部分，MYT 法則是利用當某些品質特性條件給定下，管制界限必定較嚴格，其條件機率之概念分解 T^2 管制統計量。

此分解法主要是根據迴歸分析將 Hotelling T^2 統計量分解成數個獨立的 T^2 值，以本論文之兩個品質特性為例：缺陷點數與缺陷群聚指標 CI_T ，每一片晶圓的上述兩個品質特性都需轉換成一個 T^2 統計量，該統計量可利用 MYT 分解法切分成：

- 缺陷點數之 T^2 統計量與當缺陷點數已知的條件下，缺陷點數和缺陷群聚指標交互作用的 T^2 統計量。
- 缺陷群聚指標之 T^2 統計量與當缺陷群聚指標已知的條件下，缺陷群聚指標

和缺陷點數交互作用的 T^2 統計量。

此外，Mason et al. 亦提出分解後之個別 T^2 統計量衡量方法，定出一個臨界值 (UCL)，其計算公式為 $UCL = \frac{n+1}{n} F_{(\alpha, 1, n-1)}$ n ：樣本總數 (2.5)

當分解後之個別統計量超出此臨界值時，可判斷出製程發生異常的來源。

以兩個品質特性為例，有 n 筆樣本資料，其每筆樣本之 T_i^2 統計量公式表示如下：

$$T_i^2 = T_{1,i}^2 + T_{2,i}^2 = T_{2,i}^2 + T_{1,2,i}^2, \quad i=1,2,\dots,n \quad (2.6)$$

其中， $T_{1,i}^2$ ：第 i 筆樣本中品質特性 1 對統計量 T_i^2 的影響；

$T_{2,i}^2$ ：第 i 筆樣本中品質特性 2 對統計量 T_i^2 的影響；

$T_{1,2,i}^2$ ：第 i 筆樣本中品質特性 1 已知情況下，品質特性 1 與品質特性 2 交

互作用對統計量 T_i^2 的影響；

$T_{1,2,i}^2$ ：第 i 筆樣本中品質特性 2 已知情況下，品質特性 2 與品質特性 1 交

互作用對統計量 T_i^2 的影響。

$$T_{1,i}^2 = \frac{(x_{1,i} - \bar{x}_1)^2}{s_1^2}, \quad T_{2,i}^2 = \frac{(x_{2,i} - \bar{x}_2)^2}{s_2^2} \quad (2.7)$$

$x_{1,i}$ ：品質特性 1 之第 i 筆樣本資料；

$x_{2,i}$ ：品質特性 2 之第 i 筆樣本資料；

\bar{x}_1 ：品質特性 1 之樣本資料平均數； s_1 ：品質特性 1 之樣本資料標準差；

\bar{x}_2 ：品質特性 2 之樣本資料平均數； s_2 ：品質特性 2 之樣本資料標準差。

2.3 逐步管制流程

Wells 與 Smith[13]提出了一套三階段管制流程，考慮三種變異來源分階段來監控製程上三種不同的變異，步驟簡述如下：

第一階段：管制晶圓內變異。

- (1) 計算每片晶圓內非齊一性(non-uniformity)，簡稱 NU

$$NU = 2V \quad \text{且} \quad V = 100\hat{\sigma} / \bar{X} \quad (2.8)$$

其中， $\hat{\sigma}$ ：一片晶圓表面量測點之標準差， \bar{X} ：一片晶圓表面量測點之平均數。

- (2) 將所得之每片晶圓的 NU 值以批量為單位來繪製 $\bar{X}_{NU} - R_{NU}$ 管制圖，以確認晶圓內非齊一性是否在管制狀態下，若是，則進行第二階段；若否，則表示晶圓內發生製程變異。

第二階段：管制同一生產批量內晶圓與晶圓間之變異。

- (1) 確認晶圓內非齊一性在管制狀態後，每片晶圓只取一個代表值，此代表值必須為晶圓上固定位置之量測值，方可表現出晶圓與晶圓間之變異情形。
- (2) 將每片晶圓之代表值以批量為單位繪製 $\bar{X} - R$ 管制圖，以確認晶圓與晶圓間變異是否在管制狀態下，若是，則進行第三階段；若否，則表示晶圓間發生製程變異。

第三階段：管制批量與批量間之變異。

- (1) 計算每批量的批量平均值 (run value)，即該批晶圓所有量測值之平均值。
- (2) 繪製各批量之平均值個別值與移動全距管制圖 ($X - MR$ chart)，以確認批量與批量間變異是否在管制狀態下？

Wells 與 Smith 之管制流程所使用的 $\bar{X} - R$ 或 $X - MR$ 管制雖然能監控晶圓之三種變異，但只適用於偵測製程中的大偏移，對於小的製程偏移不夠敏感，且其管制方法僅適用於單品質特性產品。

林沅汎[1]、陳民祥[2]根據逐步管制流程提出一套考慮多種變異來源之缺陷點數管制流程。在第一階段修正群聚現象與缺陷點，針對晶圓製造過程中所產生的缺陷點之數量，考慮多種變異來源和晶圓上的群聚現象，利用階層式集群法找出缺陷群聚數及群聚中心，進行群聚分析使得修正後的缺陷點數符合卜瓦松分配。

第二階段確認同一批量晶圓與晶圓間之變異在管制狀態，林沅汎[1]計算每一批量中抽出兩片晶圓表面之修正後缺陷點數的 NU 值，並將此 NU 值轉換使其符合常態分配，在針對每一批量轉換後之 NU 值繪製個別值與移動全距管制圖；陳民祥[2]計算每片晶圓的預估良率值，進行兩母體比例 Z 檢定，來檢定每一批量中所抽測出的兩片晶圓間的良率是否有明顯的差異。

第三階段，由於同一批量晶圓與晶圓間之變異在管制狀態下，故以每一批量中抽出兩片晶圓表面之修正後缺陷點數平均值繪製c-chart。但此流程僅針對製程中的大偏移設計，忽略了小的製程偏移，而且均需修正群聚現象與缺陷點，並不能真實的反映出晶圓實際狀況，無法準確的描述出失控的原因。



2.4 適應性管制圖

由於市場競爭越來越激烈，製造商希望能降低成本，而且對於產品品質的要求也更加嚴格，在產品品質與成本都需改進的情況下，品質管制技術隨著增進，在這樣的環境下，Costa[5,6,7,11]根據變動抽樣數和抽樣間隔的概念，發展出適應性管制圖。

2.4.1 基本模型介紹

適應性管制圖變動之依據是利用前一個樣本值為基準，為了判定嚴格或寬鬆抽樣方法的使用時機，適應性管制圖於傳統的管制界限內設立一個警告界限，當樣本值接近失控（落於警告界限和管制界限之間）時，採用嚴格的抽樣方法（較大的樣本數和較小的抽樣間隔），如此可在製程發生失控時能更快速的偵測出

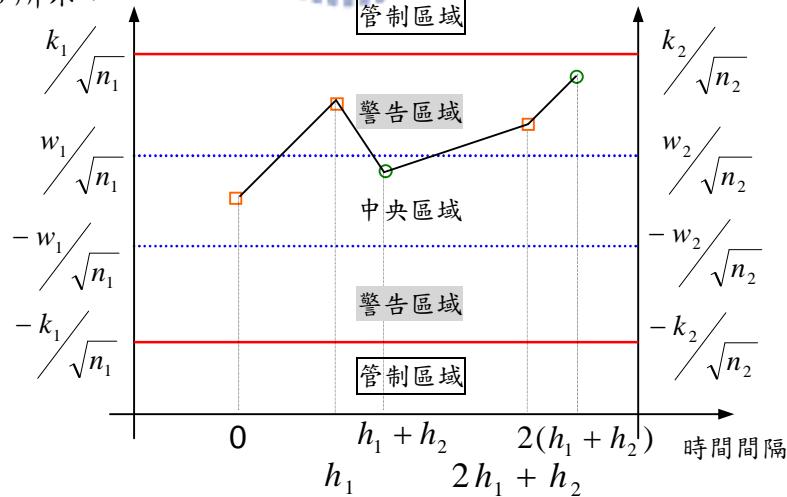
來；而當樣本值接近目標值（落於警告界限內，即製程呈現穩定狀態時）時，採用寬鬆的抽樣方法（較小樣本數和較大抽樣間隔），如此可在製程穩定時節省不必要的抽樣成本。

接著將以例子描述適應性管制圖基本模型，假設某製程的目標值 μ_0 、標準差 σ_0 ，傳統蕭瓦特管制圖（Shewhart control chart）的參數為 n_0 與 h_0 （其中， n_0 ：

抽樣數； h_0 ：抽樣間隔時間；管制界限： $\mu_0 \pm 3 \frac{\sigma_0}{\sqrt{n_0}}$ ），此製程大多時間呈現穩定狀態，但製程平均值有時會偏離目標值。為了更有效監控此製程，品管工程師希望利用適應性管制圖來改善傳統管制圖的管制效率，一般在設計適應性管制圖時，有 4 種參數需決定，分別是抽樣大小、抽樣間隔時間、警告界限與管制界限係數，以 (n, h, w, k) 表示；這些參數值有寬鬆 (n_1, h_1, w_1, k_1) 與嚴格 (n_2, h_2, w_2, k_2) 兩種抽樣方法，當使用寬鬆抽樣方法時，其警告界限(warming limit)為

$\mu_0 \pm w_1 \frac{\sigma_0}{\sqrt{n_1}}$ ，行動界限(action limit)為 $\mu_0 \pm k_1 \frac{\sigma_0}{\sqrt{n_1}}$ ；同理，使用嚴格抽樣方法時

亦同，如圖 2.3 所示：



註：———— 管制界限 □ 寬鬆抽樣方法（以管制圖左邊的座標為基準）
 警告界限 ○ 嚴格抽樣方法（以管制圖右邊的座標為基準）

圖 2.3 適應性管制圖之圖例 [5,6,7,11]

首先，第一個樣本點使用隨機的方式選用寬鬆抽樣方法 (n_I, h_I, w_I, k_I)，對應於圖2.3左邊的座標，此點落在中央區域，表示目前製程穩定；故第二個樣本點使用寬鬆抽樣方法 (n_I, h_I, w_I, k_I)，此點落於警告區域，表示目前製程需較嚴密監控；則第三個樣本點使用嚴格抽樣方法 (n_2, h_2, w_2, k_2) 對應於圖2.3右邊的座標，此點又落在中央區域，表示目前製程穩定；故第四個樣本點使用寬鬆抽樣方法，依此步驟重複此抽樣過程，直到樣本點落於管制區域則判定製程失控。

在傳統管制圖是利用平均連串長度 (average run length, ARL) 來衡量其管制效率，即當製程發生變動時，傳統管制圖需經過幾次抽樣才能偵測出製程發生變異；但適應性管制圖的抽樣間隔是變動，所以單看抽樣次數並無法衡量其管制績效，在衡量適應性管制圖之效率時，通常是利用平均偵測出失控時間 (adjusted average time to signal, AATS)，指當製程發生變動時，適應性管制圖需經過多少時間才能偵測出製程發生變異。



由表2.2可知，無論製程發生小偏移 ($0.5\sigma \sim 1\sigma$) 或大偏移 ($2\sigma \sim 3\sigma$)，適應性管制圖之AATS均較CUSUM管制圖小，即在較短的時間內偵測出製程產生變異；同樣的從表2.3得知，不管製程發生大小偏移時，適應性管制圖之AATS均較傳統 \bar{X} 圖小，綜合以上論點，發現適應性管制圖在偵測小偏移能力較CUSUM管制圖強，偵測大偏移能力也較 \bar{X} 圖強。因此適應性管制圖比傳統管制圖能更快地偵測出製程失控的情況，降低不良品所造成的損失成本，且當製程穩定狀況時，可減少其抽樣數，以節省不必要的抽樣成本。

表2.2 適應性管制圖與CUSUM之AATS比較[6]

			$\delta\sqrt{n_0}$						
			0.00	0.50	1.00	1.50	2.00	3.00	4.00
VP \bar{X} Chart									
(\hat{n}, n_1, n_2)	(h_0, h_1, h_2)	(k_0, k_1, k_2)							
(3.3,1,14)	(3.3,3.96,0.17)	(2.62,4,1.96)	370	25	8.8	5.2	3.5	2.3	1.8
CUSUM(0.25,8.01)			370	25.1	9.4	5.6	4	2.5	1.8
VP \bar{X} Chart									
(1.3,1,4)	(1.3,1.43,0.13)	(2.92,4,2.12)							
CUSUM(1,2.52)			370	68	12.8	4.8	2.7	1.3	0.8

表2.3 適應性管制圖與 \bar{X} 圖之AATS比較[6]

			$\delta\sqrt{n_0}$						
			0.00	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	2.00
VP \bar{X} Chart									
(n_0, n_1, n_2)	(h_0, h_1, h_2)	(k_0, k_1, k_2)							
(4,1,8)	(1,1.68,0.1)	(2.85,5,2.56)	225	59.4	23.1	9.68	4.74	2.89	1.8
C_{12}			225	77.7	37.9	20	11.6	7.3	3.69
(4,1,8)	(1,1.68,0.1)	(2.75,5,2.46)	166	46.1	19.2	8.43	4.35	2.76	1.78
C_{13}			166	46.2	22.4	12.7	8.17	5.86	3.68
(4,1,8)	(1,1.68,0.1)	(2.67,5,2.38)	133	38.6	16.8	7.65	4.1	2.68	1.77
C_{14}			133	38.6	19.2	11	7.1	5.08	3.14

2.4.2 參數設計

在設計適應性管制圖時，必須讓製程在未發生任何變異情況下的管制效率（即平均樣本數、抽樣時間間隔及AATS）與蕭瓦特管制圖相同，以相同的標準來比較每個管制圖的管制效率才有意義。接著介紹適應性管制圖之基本假設與參數設計。

2.4.2.1 前提假設

- (1) 欲觀測之資料呈常態分佈。
- (2) 蕭瓦特管制圖每次抽樣數及抽樣間隔時間分別為 n_0 和 h_0 ；適應性管制圖每次抽樣數及抽樣間隔分別為 (n_1, h_1) 或 (n_2, h_2) ，當製程穩定時，適應性管制圖的期望抽樣數及抽樣間隔與蕭瓦特管制圖相同，即：

$$E[n(i)] = n_0 \quad (2.9)$$

$$E[h(i)] = h_0 \quad (2.10)$$

2.4.2.2 參數設計



- (1) 令樣本點在管制界限內的條件下，嚴格抽樣方法與寬鬆抽樣方法在警告界限內之條件機率相同，故

$$p_0 = \Pr\langle |Z| < w_1 \mid |Z| < k_1 \rangle = \Pr\langle |Z| < w_2 \mid |Z| < k_2 \rangle \quad (2.11)$$

其中 $Z \sim N(0,1)$ 。

- (2) 由前提假設得知適應性管制圖之期望抽樣數、抽樣間隔時間應與蕭瓦特管制圖相同，即

$$n_0 = n_1 p_0 + n_2 (1 - p_0) \quad (2.12)$$

$$h_0 = h_1 p_0 + h_2 (1 - p_0) \quad (2.13)$$

$$\Pr[|Z| > k_0] = \Pr[|Z| > k_1] p_0 + \Pr[|Z| > k_2] (1 - p_0) \quad (2.14)$$

通常品質管制人員會根據式 (2.12)、式 (2.13) 和式 (2.14) 中固定三組參數 (n_1, n_2) 、 (h_1, h_2) 或 (k_1, k_2) 的其中一組，與剩下之四個參數中的任意兩個，以求解上述四個聯立方程式，一般而言會選取固定 (n_1, n_2) 、 h_2 與 k_1 ，理由為 n_2

與 h_2 受品管部門可用資源限制，且當 $n_I=1$ 與 k_I 越大時，偵測小偏移能力較佳，
其他參數可從下列之聯立方程式求出：

$$k_2 = \Phi^{-1} \left\{ \frac{(n_2 - n_1)\Phi(k_0) - (n_2 - n_0)\Phi(k_1)}{n_0 - n_1} \right\} \quad (2.15)$$

$$w_i = \Phi^{-1} \left[\frac{2(n_2 - n_0)\Phi(k_i) + n_0 - n_1}{2(n_2 - n_1)} \right], \quad i = 1, 2 \quad (2.16)$$

$$h_1 = \frac{h_0(n_2 - n_1) - h_2(n_0 - n_1)}{n_2 - n_0} \quad (2.17)$$



第三章 結合缺陷點與缺陷群聚現象之 適應性管制流程

傳統的 c-chart 是針對單一變異來源所設計的品質監控方法，但是在複雜的晶圓製造過程中，品質變異的來源有許多種，以本論文管制缺陷點為例：缺陷點變異來源除了同一片晶圓表面缺陷群聚的嚴重程度外，尚有同一批量內晶圓與晶圓間存在的變異，及不同生產批量間的變異兩種變異來源，若未釐清變異來源分開監控，管制效果將大受影響。

本論文之主要目的是針對晶圓製造過程中產生的缺陷點與缺陷群聚現象，應用第二章所介紹之缺陷群聚指標 CI_T 來描述缺陷群聚現象，使用 Hotelling T^2 統計量將此兩品質特性轉換成一個變數，再結合逐步管制流程與適應性管制圖，以建構一套完整的晶圓缺陷點管制流程。以下為本論文所提出之結合缺陷點與缺陷群聚現象之適應性管制流程構建步驟之說明。



第一階段：整合缺陷點與缺陷群聚指標。

步驟一：利用晶圓偵測系統取得晶圓缺陷點與缺陷點座標，並將缺陷座標轉換成 CI_T 缺陷群聚指標。

本論文構建之缺陷點與缺陷群聚現象適應性管制圖，其中缺陷點是指晶圓偵測系統偵測得每片晶圓表面的缺陷點個數；而缺陷群聚現象為根據晶圓偵測系統所測出各個缺陷點座標轉換而成之 CI_T 缺陷群聚指標。

步驟二：將每片晶圓表面之缺陷點和 CI_T 缺陷群聚指標視為兩個品質特性，利用 Hotelling T^2 管制統計量轉換成 T^2 變數。

將上述兩個品質特性資料轉換成二維常態分配變數，每片晶圓表面之缺陷點以 X_1 表之， CI_T 缺陷群聚指標則以 X_2 表之，因每片晶圓中之每個品質都僅有一個表徵值，故樣本大小均為 1，其平均數以向量表示： $\bar{X} = \begin{bmatrix} \bar{X}_1 \\ \bar{X}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix}$ 。由於

Hotelling T^2 管制圖監控之製程資料為「望目特性」，故卡方統計量計算方式為：

$\chi^2_0 = (\bar{X} - \mu)' \Sigma^{-1} (\bar{X} - \mu)$ ，當樣本值越接近平均數時，卡方統計量越小，表示製程越不容易失控。

但是，本論文提及之兩個品質特性：缺陷點屬「望小特性」，即缺陷點越少，製程越不易失控；而 CI_T 缺陷群聚指標則屬「望目特性」，以缺陷點隨機分佈時之 CI_T 值為目標值。若沒有群聚現象，缺陷點會隨機分散於晶圓上，使良率降低，而相同數目的缺陷點，若群聚現象嚴重，雖然良率可能仍相當高，製程仍屬異常狀況，由於每個製程特性皆不同，無法提供一個固定之目標值。故本論文將目標值設定在穩定製程下 CI_T 缺陷群聚指標之平均值，因此在應用 Hotelling T^2 多變量管制圖時，須對各組樣本之 Hotelling T^2 統計量進行以下之調整：

$\chi^2_0 = (\bar{X} - \mu)' \Sigma^{-1} (\bar{X} - \mu)$ ，其中 $\mu = \begin{bmatrix} 0 \\ \bar{X}_2 \end{bmatrix}$ 為兩品質特性之期望值， Σ 為真實之共變

異矩陣。且繪製管制圖前提是樣本資料為標準常態，故將求得每片晶圓之樣本值後將之轉換使其符合常態分配，此值稱為轉換後之 T^2 統計量。

第二階段：管制同一生產批量內晶圓與晶圓間之變異。

步驟一：計算同一生產批量內所抽 n 片晶圓之 T^2 統計量的 NU 值。

計算同一生產批量所抽 n 片 ($n \geq 2$) 晶圓之 T^2 統計量的 NU 值， $NU = 200 \frac{\hat{\sigma}}{\bar{X}}$

且，其中 $\hat{\sigma}$ 表同一生產批量內 n 片晶圓 T^2 統計量之標準差， \bar{X} 表同一生產批量內 n 片晶圓 T^2 統計量之平均數，接著轉換 NU 值使其符合常態分配。

此 NU 值與一般晶圓內非齊一性指標值不同，晶圓內非齊一性是指同一片晶圓內量測點資料的變異，用以衡量晶圓內的變異；而本論文提出之 NU 值則表示同一生產批量中所抽 n 片晶圓之 T^2 統計量的變異，是用來衡量同一生產批量內晶圓與晶圓間的變異， NU 值越大，同一生產批量中晶圓變異程度也越大。

步驟二：針對每一批量之 NU 值繪製個別值與移動全距管制圖。

針對每一批量所求得之 NU 值繪製個別值與移動全距管制圖，若 NU 管制圖

出現失控，表同一生產批量中所抽的 n 片晶圓之 T^2 統計量間差異甚大，即該批量內晶圓與晶圓間之變異相當大。若發生失控，則進行第三階段步驟二找出製程異常的原因；若未發生失控，則進行第二階段來管制批量與批量間之變異。

第三階段：管制批量間與批量間之變異

步驟一：針對同一生產批量內晶圓轉換後 T^2 統計量之平均值繪製適應性管制圖。

適應性管制圖之前提假設為欲觀測之資料呈常態分佈，故將 T^2 統計量之平均值資料進行轉換，使其符合常態分佈，接著進行適應性管制圖之參數設計。

- (1) 因為此管制流程欲管制同一生產批量內晶圓與晶圓間之變異，故 n 至少需為 2，且晶圓廠抽樣成本昂貴，無法抽取太大之樣本數，故設定 $(n_1, n_2) = (2, 3)$ 。
- (2) 晶圓廠之品質管制流程通常採用每批皆抽的抽樣方法，故設定嚴格與寬鬆之抽樣間隔時間為固定值，即 $(h_1, h_2) = (1, 1)$ 。
- (3) 由於晶圓廠的抽樣限制使抽樣間隔時間無法改變，造成方程式 $h_0 = h_1 p_0 + h_2 (1 - p_0)$ 為恆等式，無法求解聯立方程式，故根據文獻之建議：當 k_1 越大時其偵測小偏移能力較佳，因此設 $k_1 = 3.2$ 。
- (4) 設定 $(n_1, n_2, h_1, h_2, k_1)$ 五個參數值後，求解下列聯立方程式，得 $(k_2, w_1, w_2) = (2.9, 0.673387, 0.67145)$ 。

$$k_2 = \Phi^{-1} \left\{ \frac{(n_2 - n_1)\Phi(k_0) - (n_2 - n_0)\Phi(k_1)}{n_0 - n_1} \right\} = \Phi^{-1} \left[\frac{1 \times 0.9987 - 0.5 \times 0.9993}{0.5} \right] = 2.9$$

$$w_1 = \Phi^{-1} \left[\frac{2(n_2 - n_0)\Phi(k_1) + n_0 - n_1}{2(n_2 - n_1)} \right] = \Phi^{-1} \left[\frac{0.9993 + 0.5}{2} \right] = 0.673387$$

$$w_2 = \Phi^{-1} \left[\frac{2(n_2 - n_0)\Phi(k_2) + n_0 - n_1}{2(n_2 - n_1)} \right] = \Phi^{-1} \left[\frac{0.9981 + 0.5}{2} \right] = 0.67145$$

- (5) 將樣本值繪於適應性管制圖上，若樣本值落於管制界限外則判定製程失控，若樣本值落於警告界限和管制界限間則下一組採用嚴格的抽樣方法；若落於警告界限內則下一組採用寬鬆的抽樣方法。
- (6) 重複 (4) 之流程，若發生失控，則進行步驟二找出製程異常的原因；若未

發生失控，則表示製程維持穩定狀態。

步驟二：利用 MYT 法分解原始未經轉換之 Hotelling T^2 統計量，找出製程異常原因。

以 MYT 法分解原始未經轉換之 Hotelling T^2 統計量，以判斷造成製程異常的品質特性是缺陷點、缺陷群聚現象或兩者之交互作用。每筆樣本之 T_i^2 統計量公式如下：

$$T_i^2 = T_{1,i}^2 + T_{2,1,i}^2 = T_{2,i}^2 + T_{1,2,i}^2, \quad i=1,2,\dots,n$$

$$T_{1,i}^2 = \frac{(x_{1,i} - 0)^2}{s_1^2}, \quad T_{2,i}^2 = \frac{(x_{2,i} - 0)^2}{s_2^2}$$

$T_{1,i}^2$ ：第 i 筆樣本中缺陷點對統計量 T_i^2 的影響；

$T_{2,i}^2$ ：第 i 筆樣本中缺陷群聚指標對統計量 T_i^2 的影響；

$T_{1,2,i}^2$ ：第 i 筆樣本中當缺陷點已知的情況下，缺陷點與缺陷群聚指標交互作用對統計量 T_i^2 的影響；



$T_{1,2,i}^2$ ：在第 i 筆樣本中當缺陷群聚指標已知的情況下，缺陷群聚指標與缺陷點交互作用對統計量 T_i^2 的影響。

$x_{1,i}$ ：缺陷點之第 i 筆樣本資料；

s_1 ：缺陷點之樣本資料標準差。

$x_{2,i}$ ：缺陷群聚指標之第 i 筆樣本資料；

s_2 ：缺陷群聚指標之樣本資料標準差。

此外針對分解後個別 T^2 統計量衡量方法，定出一個臨界值 $UCL = \frac{n+1}{n} F_{(\alpha, 1, n-1)}$ ，其中 n 表樣本總數。當分解後之個別統計量超出此臨界值時，可判斷出製程發生異常的來源。

本論文所構建之結合缺陷點與缺陷群聚現象之適應性管制流程可彙整如圖 3.1 所示。

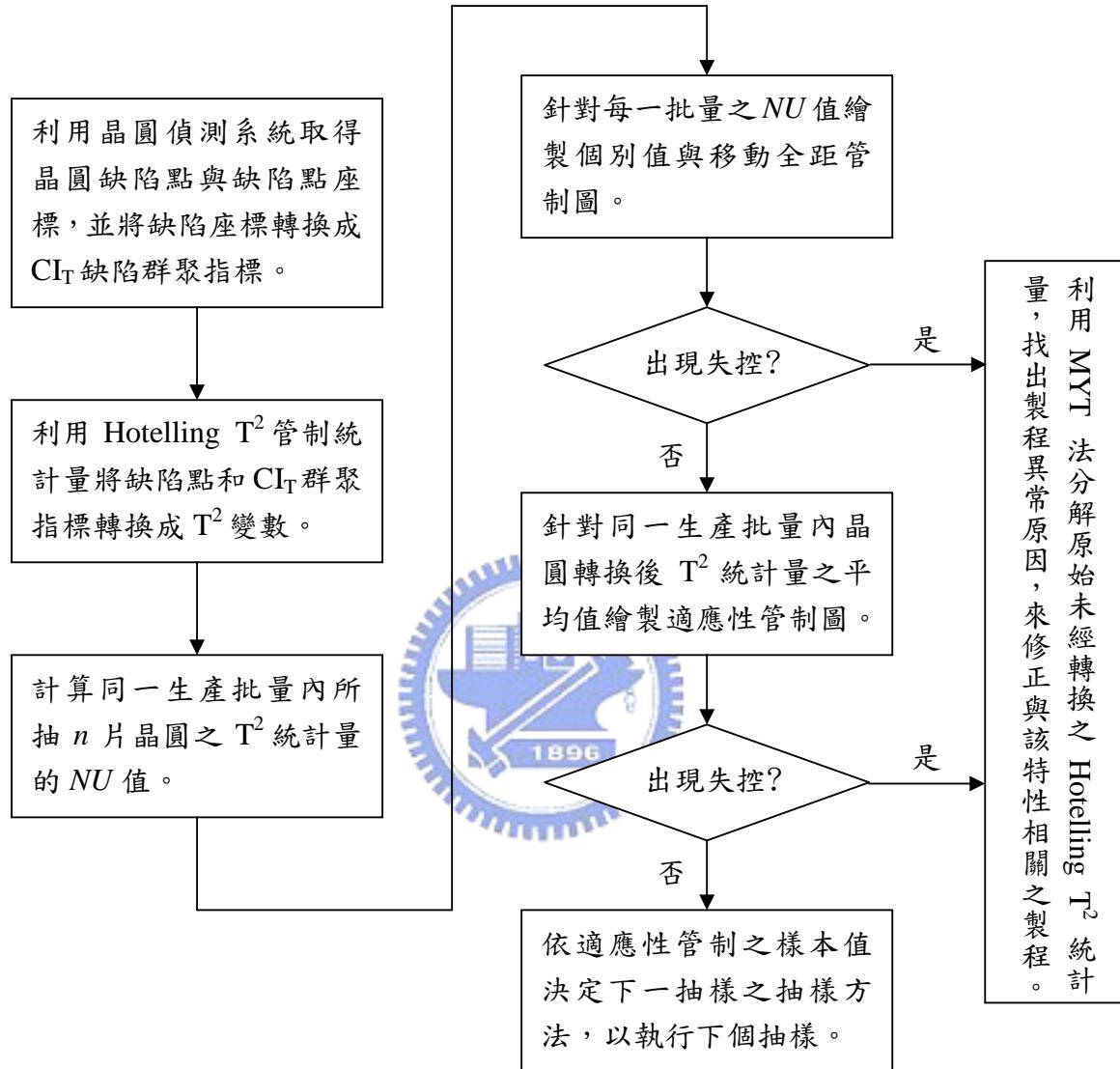


圖3.1 結合缺陷點與缺陷群聚現象之適應性管制流程

第四章 模擬驗證

由於本論文所提出之抽樣方法在實務界具創新性，故僅能以模擬之資料說明本論文之有效性及可行性。模擬晶圓的相關資料（缺陷點數、缺陷點座標等...）主要是根據新竹科學園區某積體電路製造公司提供之晶圓缺陷點實際資料型態而設定。該公司所提供之資料是經過第二層金屬蝕刻(metal 2 etch)站加工後之八吋晶圓資料，每片晶圓均被切割成 396 個晶方，利用晶圓偵測系統得到每片晶圓之座標圖。本章模擬上述之晶圓資料用以驗證本論文所提出之抽樣方法確實有效。

本論文所模擬之三十個批量晶圓資料，每個批量共抽出三片晶圓，即由每批中抽取第 5、10、15 三片。三十個批量共抽九十片晶圓；每片晶圓均有缺陷點總數與缺陷點座標。本論文共模擬以下四種虛擬案例來說明失控點回溯之流程：

1. 第二十批與第二十六批晶圓之缺陷點發生晶圓間變異。(案例一)
2. 第十六批與第二十八批晶圓之缺陷群聚現象發生晶圓間變異。(案例二)
3. 第十批與第二十一批晶圓之缺陷點發生批量間變異。(案例三)
4. 第三批晶圓之缺陷點與缺陷群聚現象發生批量間變異。(案例四)

4.1 結合缺陷點與缺陷群聚現象適應性管制流程之構建

本節使用上述模擬資料說明如何使用第三章所構建之研究步驟與流程，且各小節模擬不同的失控狀況來說明失控點回溯之流程。本論文所提流程之晶圓抽檢方式是動態抽樣，即根據樣本值落於管制圖的位置決定下一次抽樣之抽樣方法，利用模擬之三十個批量的晶圓所抽出之樣本資料，依照本論文構建之流程進行品質管制，詳細步驟說明如下：

4.1.1 同一生產批量內缺陷點發生晶圓間變異（案例一）

本案例模擬同一批量內缺陷點發生晶圓間變異的情況，在第二十批與第二十六批晶圓之缺陷點發生晶圓間變異。

第一階段：整合缺陷點與缺陷群聚指標。

步驟一：將缺陷點座標轉換成缺陷群聚指標 CI_T 。

根據模擬資料計算各批量晶圓之缺陷點與缺陷群聚指標 CI_T 值，如表 4.1 所示。

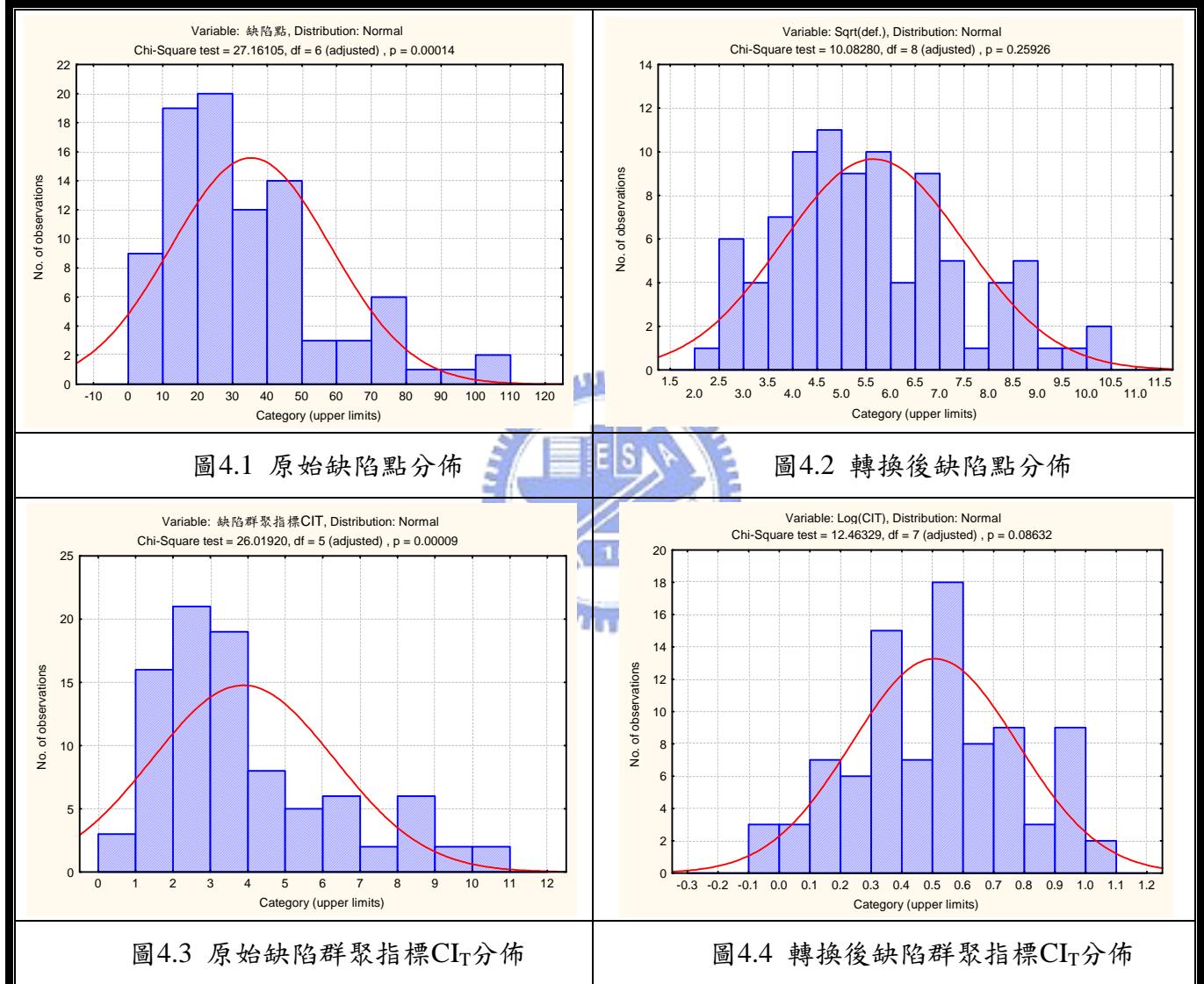
表4.1 模擬之晶圓缺陷點資料

批量	缺陷點 (X_1)	缺陷群聚指標 CI_T (X_2)	批量	缺陷點 (X_1)	缺陷群聚指標 CI_T (X_2)	批量	缺陷點 (X_1)	缺陷群聚指標 CI_T (X_2)
1	9	1.1884	11	37	3.6583	21	184	3.9393
1	21	3.6855	11	18	3.2097	21	169	4.4795
1	30	2.4749	11	16	1.1744	21	107	3.5964
2	31	2.142	12	20	1.4963	22	78	6.8341
2	59	4.1646	12	33	2.9426	22	36	6.075
2	21	0.8955	12	17	1.8104	22	66	6.2244
3	197	18.1669	13	23	6.2416	23	103	3.8621
3	150	12.1497	13	7	0.8026	23	50	3.4463
3	85	27.4892	13	7	1.4263	23	79	8.1452
·	·	·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·	·	·
6	13	2.3783	16	9	3.5875	26	26	5.6785
6	19	1.43	16	62	24.4892	26	130	5.5122
6	19	2.7718	16	13	3.3073	26	30	4.4604
·	·	·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·	·	·
10	52	5.1477	20	10	3.7009	30	48	9.3344
10	19	4.3076	20	135	11.0809	30	48	10.9456
10	44	4.9271	20	85	3.9371	30	54	5.3138

步驟二：將每片晶圓表面之缺陷點和 CI_T 缺陷群聚指標視為兩個品質特性，利用 Hotelling T^2 管制統計量轉換成 T^2 變數。

每片晶圓表面之缺陷點以 X_1 表之， CI_T 缺陷群聚指標則以 X_2 表之。由於計

算 Hotelling T^2 統計量時，資料需為常態分配；針對本模擬案例之 X_1 而言，資料之分佈並非常態（卡方適配度檢定之 P 值 < 0.05 ），如圖 4.1 所示，故進行變數轉換使之呈現常態分配（卡方適配度檢定之 P 值 > 0.05 ），如圖 4.2 所示。就 X_2 來說，資料分佈亦非常態，如圖 4.3 所示，故進行變數轉換使之呈現常態分配，如圖 4.4 所示。



本論文提及之兩個品質特性：缺陷點屬望小特性，因此其目標值為 0，而缺陷點之分佈以隨機分佈為目標，因此本案例之缺陷群聚指標 CI_T 值以 90 片缺陷點屬隨機分佈晶圓所得之平均值 3.083 為目標值，因此在應用 Hotelling T^2 多變量管制圖時，須對各組樣本之 Hotelling T^2 統計量進行以下之調整：

$$\chi^2_0 = (\bar{\mathbf{X}} - \boldsymbol{\mu})' \boldsymbol{\Sigma}^{-1} (\bar{\mathbf{X}} - \boldsymbol{\mu}) \text{, 其中, } \bar{\mathbf{X}} = \begin{bmatrix} \sqrt{X_1} \\ \log(X_2) \end{bmatrix} \text{, 為轉換後兩品質特性之期望}$$

值， $\boldsymbol{\Sigma}$ 為共變異矩陣。在求得每片樣本晶圓之 T^2 統計量之後，將之轉換成標準常態分配，此值稱為轉換後之 T^2 統計量，結果如表 4.2 所示，轉換後 T^2 統計量之分佈圖如圖 4.5 所示。

表4.2 每片晶圓之轉換後 T^2 統計量

批量	T^2 統計量	轉換後 T^2 統計量
1	11.3492	-0.3709
1	7.65589	-0.9863
1	14.351	0.0578
2	16.2741	0.3092
2	21.4922	0.9244
2	22.7419	1.0603
.		.
.		.
.		.
30	13.6244	-0.0415
30	13.5019	-0.0585
30	17.7892	0.4969

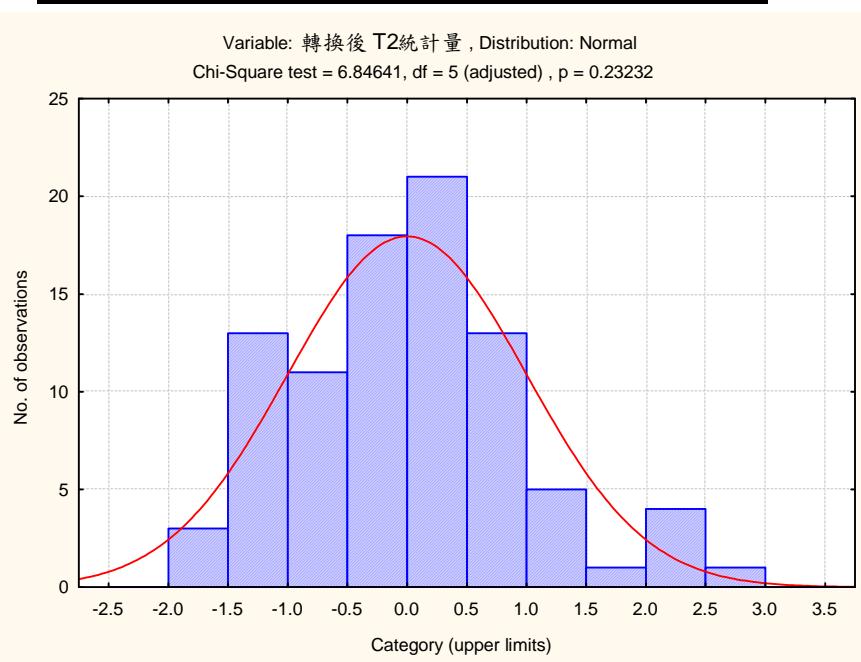


圖4.5 轉換後 T^2 統計量之分佈圖

第二階段：管制同一生產批量內晶圓與晶圓間之變異

步驟一：計算同一生產批量內所抽 n 片晶圓之 T^2 統計量的 NU 值。

利用 $NU = \frac{200\hat{\sigma}}{\bar{X}}$ 求出同一生產批量內之 NU 值，其中 $\hat{\sigma}$ 表同一生產批量內 n

片晶圓 T^2 統計量之標準差， \bar{X} 表同一生產批量內 n 片晶圓 T^2 統計量之平均數，

每一批量之抽樣數與 NU 值如表 4.3 所示。

表4.3 每一批量之抽樣數與NU值（案例一）

批量	抽樣數	NU 值	批量	抽樣數	NU 值	批量	抽樣數	NU 值
1	2	54.96579	11	2	89.91574	21	3	113.0945
2	3	34.01988	12	2	8.554163	22	2	110.0355
3	2	34.12584	13	2	110.0541	23	2	95.29762
4	3	27.78243	14	2	54.47508	24	3	91.54139
5	2	85.30207	15	2	38.11272	25	3	47.74088
6	2	102.6584	16	3	80.39469	26	2	200.7913
7	2	46.86975	17	3	54.49353	27	3	67.59349
8	2	60.97425	18	2	69.0703	28	2	2.335563
9	3	35.36068	19	3	20.59499	29	2	42.19792
10	2	133.0792	20	2	238.9296	30	3	32.60347

30 批量中有 11 批抽樣數為 3、19 批抽樣數為 2，平均抽樣數 2.367。

步驟二：針對每一批量之 NU 值繪製個別值與移動全距管制圖。

針對每一批量之 NU 值繪製個別值與移動全距管制圖，如圖 4.6 所示。由圖 4.6 發現在第二十批和第二十六批時 NU 管制圖顯現失控，表示第二十批和第二十六批上發生晶圓間變異的情形。

步驟三：利用 MYT 法分解原始未經轉換之 Hotelling T^2 統計量，找出製程異常原因。

Mason et al. [8] 提出分解個別 T^2 統計量衡量方法，定出一個臨界值，計算公式為 $UCL = \frac{n+1}{n} F_{(\alpha, 1, n-1)}$ ，其中 n 表樣本總數。本案例之 $UCL = \frac{90+1}{90} \times 3.92 \cong 3.964$ ，當分解後個別統計量超出此臨界值時，即可判斷出造成製程異常的原因，如表 4.4 所示。可判斷出第二十批第二片晶圓與第二十六

批第二片晶圓之缺陷點過多，發生晶圓間變異。

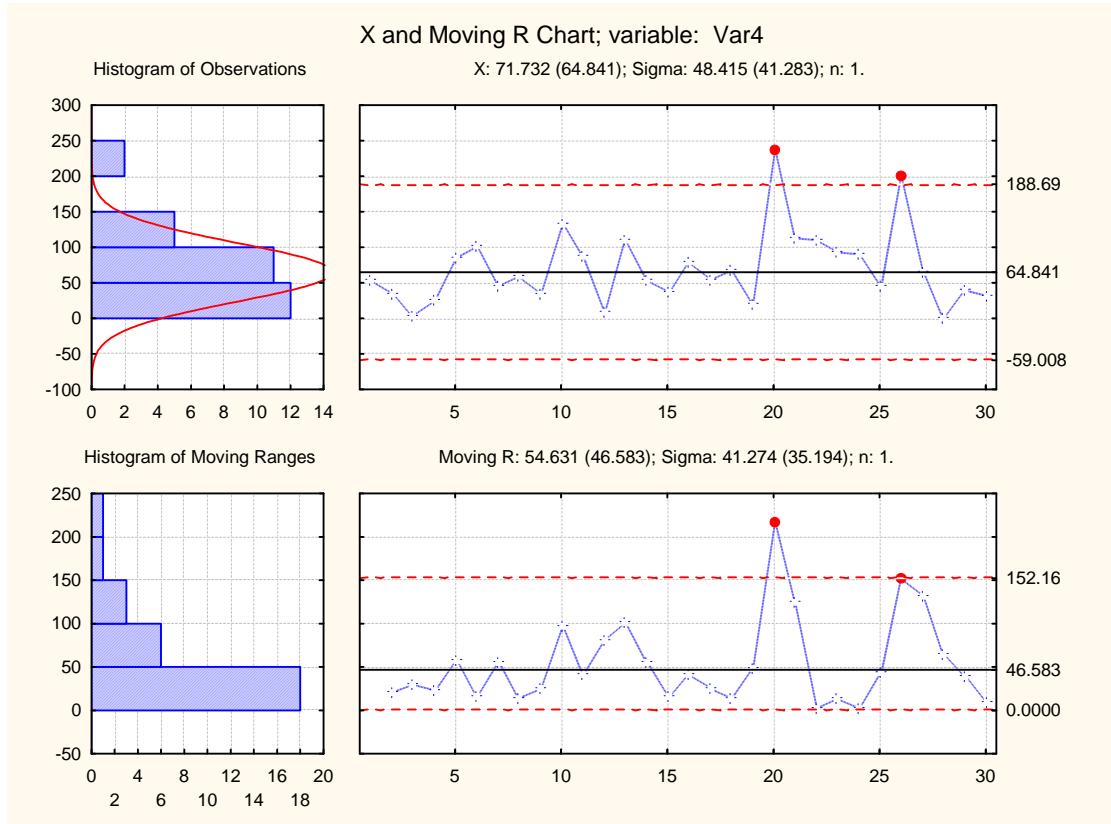


圖4.6 個別值與移動全距管制圖（案例一）

表4.4 利用MYT分解法判斷造成製程異常之原因（案例一）

批量	編號	T^2	$T_{1,i}^2$	$T_{2,i}^2$	造成製程異常之原因
20	1	3.44655	1.764549	0.086828	第二片晶圓缺陷點過多
	2	40.9516	9.963613	4.285688	
	3	32.2296	3.549556	0.155894	
26	1	7.75037	0.090745	0.975746	第二片晶圓缺陷點過多
	2	45.6829	9.249702	0.882989	
	3	10.061	0.010133	0.356267	

4.1.2 同一生產批量內缺陷群聚現象發生晶圓間變異（案例二）

本案例模擬同一生產批量內缺陷群聚現象發生晶圓間變異的情況，在第十六批與第二十八批晶圓之缺陷群聚現象發生晶圓間變異，如表 4.5 所示。案例二之管制流程及步驟類似案例一，可省略第一階段整合缺陷點與缺陷群聚指標的部份，分析步驟說明如下：

表4.5 缺陷群聚現象發生晶圓間變異之晶圓資料（案例二）

批量	缺陷點 (X ₁)	缺陷群聚指標 CI _T (X ₂)	批量	缺陷點 (X ₁)	缺陷群聚指標 CI _T (X ₂)
16	9	3.5875	28	72	0.7659
16	62	24.4892	28	14	4.3623
16	13	3.3073	28	34	6.5819

第二階段：管制同一生產批量內晶圓與晶圓間之變異

步驟一：計算同一生產批量內所抽 n 片晶圓之 T^2 統計量的 NU 值。

每一批量之抽樣數與 NU 值如表 4.6 所示。

表4.6 每一批量之抽樣數與 NU 值（案例二）

批量	抽樣數	NU 值	批量	抽樣數	NU 值	批量	抽樣數	NU 值
1	3	60.32168	11	2	89.91574	21	2	20.22104
2	2	39.08001	12	2	8.554163	22	2	110.0355
3	2	3.125843	13	2	110.0541	23	2	95.29762
4	3	27.78243	14	2	54.47508	24	3	91.54139
5	2	85.30207	15	2	38.11272	25	3	47.74088
6	2	102.6584	16	3	189.9752	26	2	123.544
7	2	46.86975	17	3	54.49353	27	2	31.30377
8	2	60.97425	18	2	69.0703	28	2	240.3791
9	3	35.36068	19	3	20.59499	29	3	33.55534
10	2	133.0792	20	2	87.33507	30	3	32.60347
30 批量中有 10 批抽樣數為 3、20 批抽樣數為 2，平均抽樣數 2.33。								

步驟二：針對每一批量之 NU 值繪製個別值與移動全距管制圖。

針對每一批量之 NU 值繪製個別值與移動全距管制圖，如圖 4.7 所示。由圖 4.7 發現在第十六批和第二十八批時 NU 管制圖顯現失控，表示第十六批和第二十八批上發生晶圓間變異的情形。

步驟三：利用 MYT 法分解原始未經轉換之 Hotelling T^2 統計量，找出製程異常原因。

根據表 4.7 所示，可判斷出第十六批第二片晶圓與第二十八批第一片晶圓之缺陷群聚指標過高，表示同一生產批量內缺陷群聚現象發生晶圓間變異的情況。

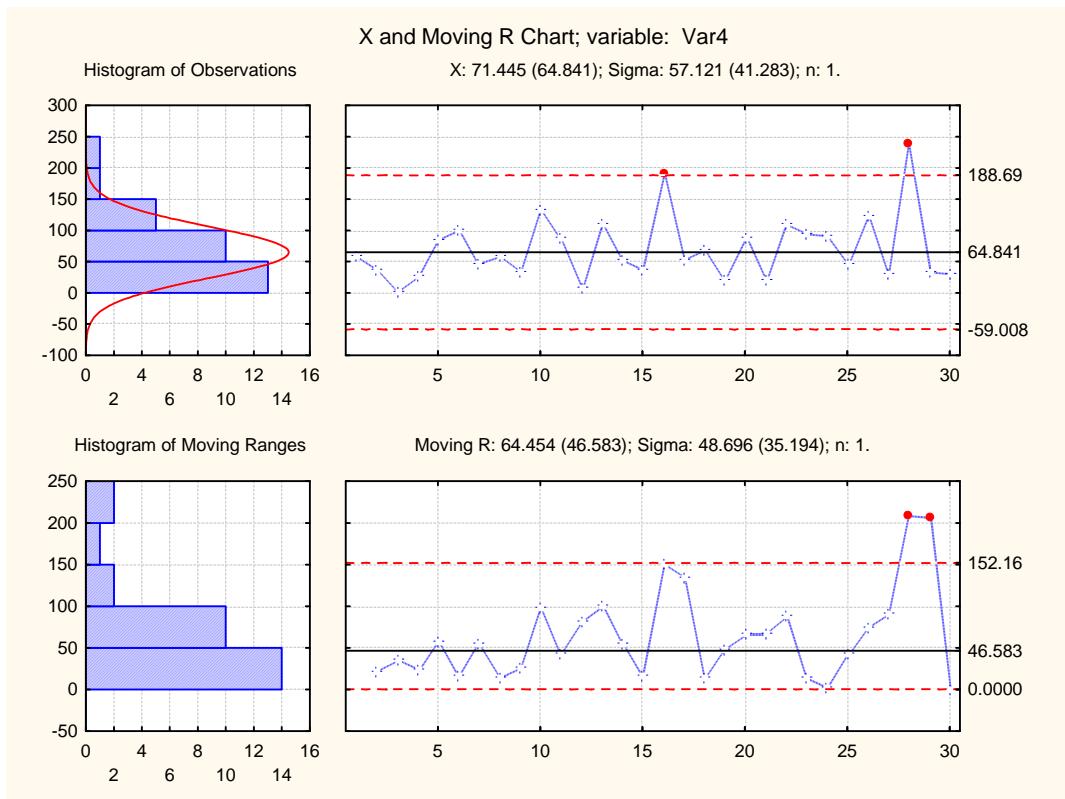


圖4.7 個別值與移動全距管制圖（案例二）

表4.7 利用MYT分解法判斷造成製程異常之原因（案例二）

批量	編號	T^2	$T_{1,i}^2$	$T_{2,i}^2$	造成製程異常之原因
16	1	3.16839	2.000598	0.059673	第二片晶圓缺陷群聚 指標過高
	2	18.8735	1.369928	11.25006	
	3	5.04628	1.195259	0.012682	
28	1	54.291	2.233889	5.088581	第一片晶圓缺陷群聚 指標過高
	2	4.3623	1.042639	0.314581	
	3	6.5819	0.007557	1.505109	

4.1.3 不同批量間缺陷點發生批量間變異（案例三）

本案例模擬不同批量間缺陷點發生批量間變異的情況，在第十批與第二十一批晶圓之缺陷點發生批量間變異，如表 4.8 所示。案例三之管制流程及步驟類似案例一，可省略第一階段整合缺陷點與缺陷群聚指標的部份，分析步驟說明如下：

表4.8 缺陷點發生批量間變異之晶圓資料（案例三）

批量	缺陷點 (X ₁)	缺陷群聚指標 CI _T (X ₂)	批量	缺陷點 (X ₁)	缺陷群聚指標 CI _T (X ₂)
10	152	10.0809	21	184	3.9393
10	124	3.5122	21	169	4.4795
10	120	7.7847	21	107	3.5964

第二階段：管制同一生產批量內晶圓與晶圓間之變異

步驟一：計算同一生產批量內所抽 n 片晶圓之 T^2 統計量的 NU 值。

每一批量之抽樣數與 NU 值如表 4.9 所示。

表4.9 每一批量之抽樣數與NU值（案例三）

批量	抽樣數	NU 值	批量	抽樣數	NU 值	批量	抽樣數	NU 值
1	2	54.96579	11	3	73.13059	21	2	16.94361
2	3	34.01988	12	2	8.554163	22	3	76.00222
3	2	3.125843	13	2	110.0541	23	2	95.29762
4	3	27.78243	14	2	54.47508	24	3	91.54139
5	2	85.30207	15	2	38.11272	25	3	47.74088
6	2	102.6584	16	3	80.39469	26	2	180.911
7	2	46.86975	17	3	54.49353	27	3	67.59349
8	2	60.97425	18	2	69.0703	28	2	2.335563
9	3	35.36068	19	3	20.59499	29	2	42.19792
10	2	5.586722	20	2	140.4645	30	3	32.60347
30 批量中有 12 批抽樣數為 3、18 批抽樣數為 2，平均抽樣數 2.4。								

步驟二：針對每一批量之 NU 值繪製個別值與移動全距管制圖。

針對每一批量之 NU 值繪製個別值與移動全距管制圖，如圖 4.8 所示。由圖 4.8 發現 NU 管制圖並未顯現失控，表示並沒有發生晶圓間變異的情形。

第三階段：管制批量與批量間之變異

步驟一：針對同一生產批量內晶圓缺陷點與缺陷群聚指標值轉換後 T^2 統計量之平均值繪製適應性管制圖。

由於在繪製適應性管制圖時，需將資料分佈轉換成標準常態分佈，因此使用轉換後之 T^2 統計量。將 $(n_1, n_2) = (2, 3)$ 、 $(h_1, h_2) = (1, 1)$ 、 $(k_1, k_2) = (3.2, 2.9)$

與 $(w_1, w_2) = (0.673387, 0.67145)$ 八個參數設定後，即可繪製適應性管制圖，如圖 4.9 所示。

由圖 4.9 之適應性管制圖可發現第十批和第二十一批出現失控點，表示在第十批和第二十一批晶圓上發生批量間之變異。

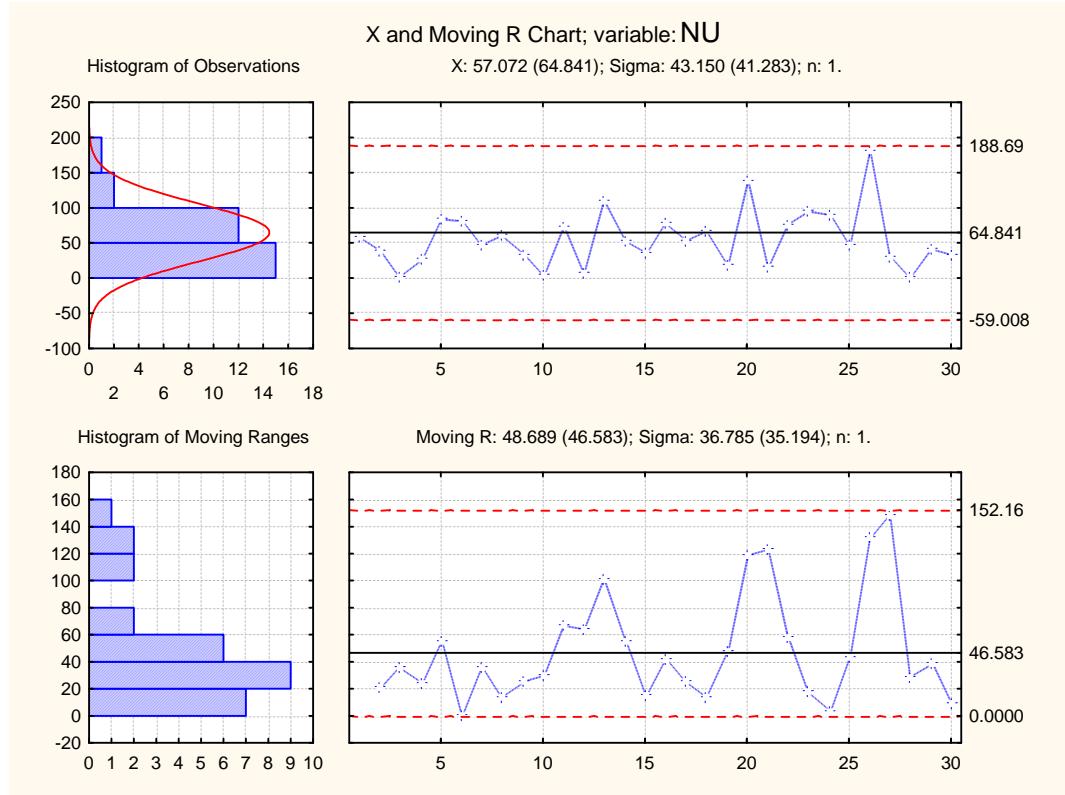


圖4.8 個別值與移動全距管制圖（案例三）

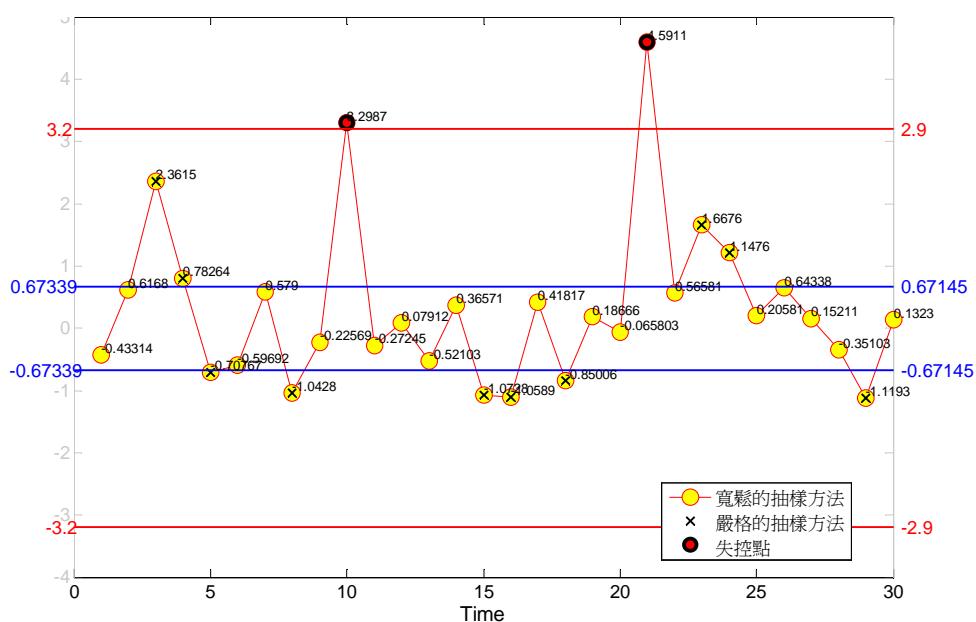


圖4.9 適應性管制圖（案例三）

步驟二：利用 MYT 法分解原始未經轉換之 Hotelling T^2 統計量，找出製程異常原因。

根據表 4.10 所示，可判斷出第十批晶圓與第二十一批晶圓之缺陷點過多，發生批量間變異的情況。

表4.10 利用MYT分解法判斷造成製程異常之原因（案例三）

批量	編號	T^2	$T_{1,i}^2$	$T_{2,i}^2$	造成製程異常之原因
10	1	47.4675	12.48204	3.67512	整批晶圓缺陷點過多
	2	49.3805	8.41083	0.044073	
	3	38.4955	7.863039	2.245697	
21	1	71.7263	17.5427	0.156609	整批晶圓缺陷點過多
	2	63.6185	15.12386	0.364574	
	3	42.1572	6.15243	0.061649	

4.1.4 不同批量間缺陷點與缺陷群聚現象發生批量間變異（案例四）

本案例模擬不同批量間缺陷點與缺陷群聚現象發生批量間變異的情況，在第三批晶圓之缺陷點與缺陷群聚現象發生批量間變異，如表 4.11 所示。案例四之管制流程及步驟類似案例一，可省略第一階段整合缺陷點與缺陷群聚指標的部份，分析步驟說明如下：

表4.11 缺陷點與缺陷群聚現象發生批量間變異之晶圓資料（案例四）

批量	缺陷點 (X_1)	缺陷群聚指標 CI_T (X_2)
3	197	18.1669
3	150	12.1497
3	85	27.4892

第二階段：管制同一生產批量內晶圓與晶圓間之變異

步驟一：計算同一生產批量內所抽 n 片晶圓之 T^2 統計量的 NU 值。

每一批量之抽樣數與 NU 值如表 4.12 所示。

表4.12 每一批量之抽樣數與NU值（案例四）

批量	抽樣數	NU 值	批量	抽樣數	NU 值	批量	抽樣數	NU 值
1	2	73.57957	11	2	87.59609	21	2	2.74163
2	2	27.43644	12	2	19.00757	22	2	113.9057
3	2	31.91866	13	2	142.5194	23	2	94.50528
4	3	20.88634	14	2	60.91036	24	3	104.4535
5	2	52.14702	15	2	57.53776	25	3	48.36718
6	2	107.003	16	3	85.38143	26	2	186.866
7	2	50.02065	17	3	62.39809	27	2	46.763
8	2	79.9907	18	2	69.02458	28	2	23.63879
9	3	52.7205	19	3	130.1032	29	2	42.68881
10	2	133.8755	20	2	49.88666	30	3	50.11145
30 批量中有 8 批抽樣數為 3、22 批抽樣數為 2，平均抽樣數 2.267。								

步驟二：針對每一批量之 NU 值繪製個別值與移動全距管制圖。

針對每一批量之 NU 值繪製個別值與移動全距管制圖，如圖 4.10 所示。由圖 4.10 發現 NU 管制圖並未顯現失控，表示並沒有發生晶圓間變異的情形。



第三階段：管制批量與批量間之變異

步驟一：針對同一生產批量內晶圓缺陷點與缺陷群聚指標值轉換後 T^2 統計量之平均值繪製適應性管制圖。

由圖 4.11 之適應性管制圖可發現第三批出現失控點，表示在第三批晶圓上發生批量間之變異。

步驟二：利用 MYT 法分解原始未經轉換之 Hotelling T^2 統計量，找出製程異常原因。

根據表 4.13 所示，可判斷出第三批整批晶圓之缺陷點過多與缺陷群聚指標過高，發生批量間變異的情況。

綜合本節四個模擬案例顯示，利用本論文之管制流程可明確偵測出晶圓失控的情形與原因，驗證本流程應用於監控晶圓變異確實有效可行。

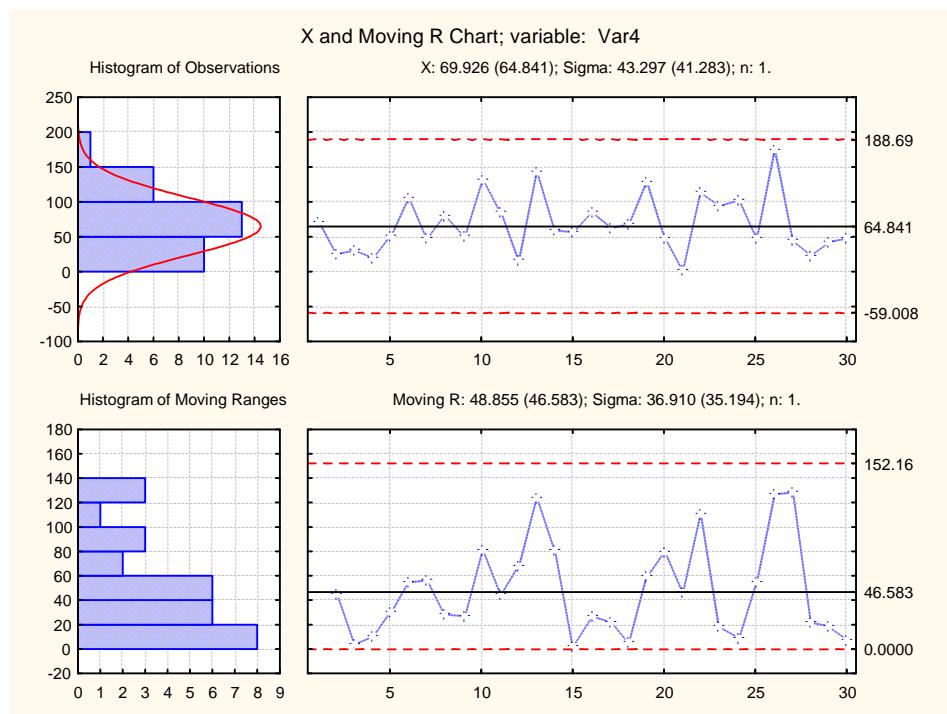


圖4.10 個別值與移動全距管制圖（案例四）

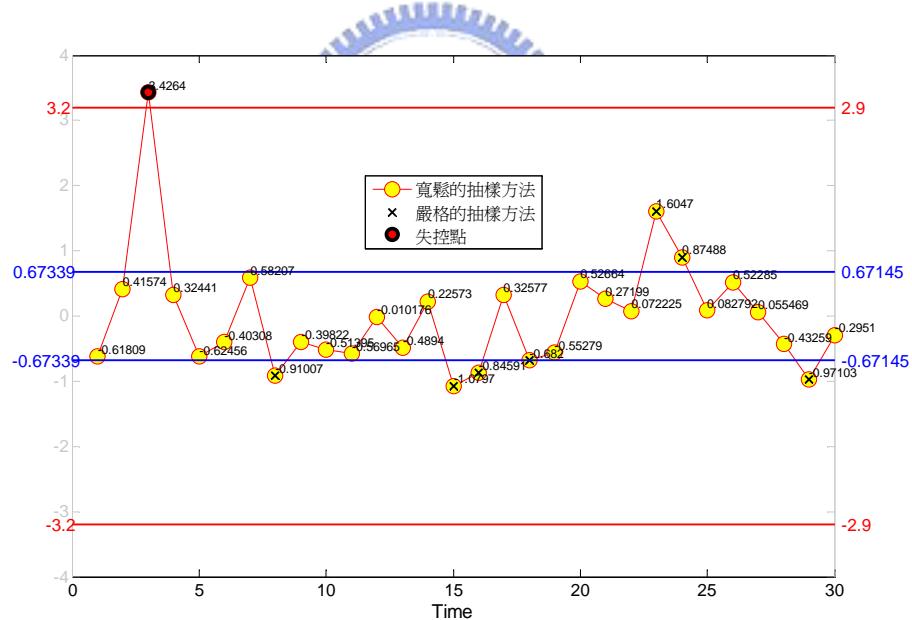


圖4.11 適應性管制圖（案例四）

表4.13 利用MYT分解法判斷造成製程異常之原因（案例四）

批量	編號	T^2	$T_{1,i}^2$	$T_{2,i}^2$	造成製程異常之原因
3	1	47.666	14.06196	6.388288	整批晶圓缺陷點過多 與缺陷群聚指標過高
	2	37.9988	8.617663	3.818189	
	3	17.7184	2.423318	9.721617	

4.2 案例分析

本節利用本論文所提之適應性管制流程同時監控以下四種不同變異狀況的資料，接著與陳民祥[2]所提之管制流程進行比較。

1. 第二十批與第二十六批晶圓之缺陷點發生晶圓間變異。
2. 第十六批與第二十八批晶圓之缺陷群聚現象發生晶圓間變異。
3. 第二十一批晶圓之缺陷點發生批量間變異。
4. 第三批晶圓之缺陷點與缺陷群聚現象發生批量間變異。

4.2.1 本論文所提之適應性管制流程

本案例模擬上述四種變異的情況，如表 4.14 所示。其管制流程及步驟類似 4.1.1 小節，故省略第一階段整合缺陷點與缺陷群聚指標的部份，分析步驟說明如下：

表 4.14 發生變異之晶圓資料（案例分析）

批量	缺陷點 (X_1)	缺陷群聚指標 CI_T (X_2)	批量	缺陷點 (X_1)	缺陷群聚指標 CI_T (X_2)
3	197	18.1669	21	184	3.9393
3	150	12.1497	21	169	4.4795
3	85	27.4892	21	107	3.5964
16	9	3.5875	26	26	5.6785
16	62	24.4892	26	130	5.5122
16	13	3.3073	26	30	4.4604
20	10	3.7009	28	35	0.7583
20	135	11.0809	28	14	4.3623
20	85	3.9371	28	34	6.5819

第二階段：管制同一生產批量內晶圓與晶圓間之變異

步驟一：計算同一生產批量內所抽 n 片晶圓之 T^2 統計量的 NU 值。

每一批量之抽樣數與 NU 值如表 4.15 所示。

步驟二：針對每一批量之 NU 值繪製個別值與移動全距管制圖。

針對每一批量之 NU 值繪製個別值與移動全距管制圖，如圖 4.12 所示。由圖

4.12發現在第十六批、第二十批、第二十六批和第二十八批時NU管制圖顯現失控，表示在第十六批、第二十批、第二十六批和第二十八批上發生晶圓間變異的情形。

表4.15 每一批量之抽樣數與NU值（案例分析）

批量	抽樣數	NU 值	批量	抽樣數	NU 值	批量	抽樣數	NU 值
1	2	54.96579	11	2	89.91574	21	2	16.94361
2	3	35.18824	12	2	8.554163	22	3	76.00222
3	2	34.86136	13	2	110.0541	23	2	95.29762
4	3	27.78243	14	2	54.47508	24	3	91.54139
5	3	83.99595	15	2	38.11272	25	3	47.74088
6	3	82.84064	16	3	189.9752	26	2	200.7913
7	2	46.86975	17	3	54.49353	27	3	67.59349
8	2	60.97425	18	2	69.0703	28	2	217.9719
9	3	35.36068	19	3	20.59499	29	2	42.19792
10	2	133.0792	20	2	238.9296	30	3	32.60347

30 批量中有 13 批抽樣數為 3、17 批抽樣數為 2，平均抽樣數 2.43。

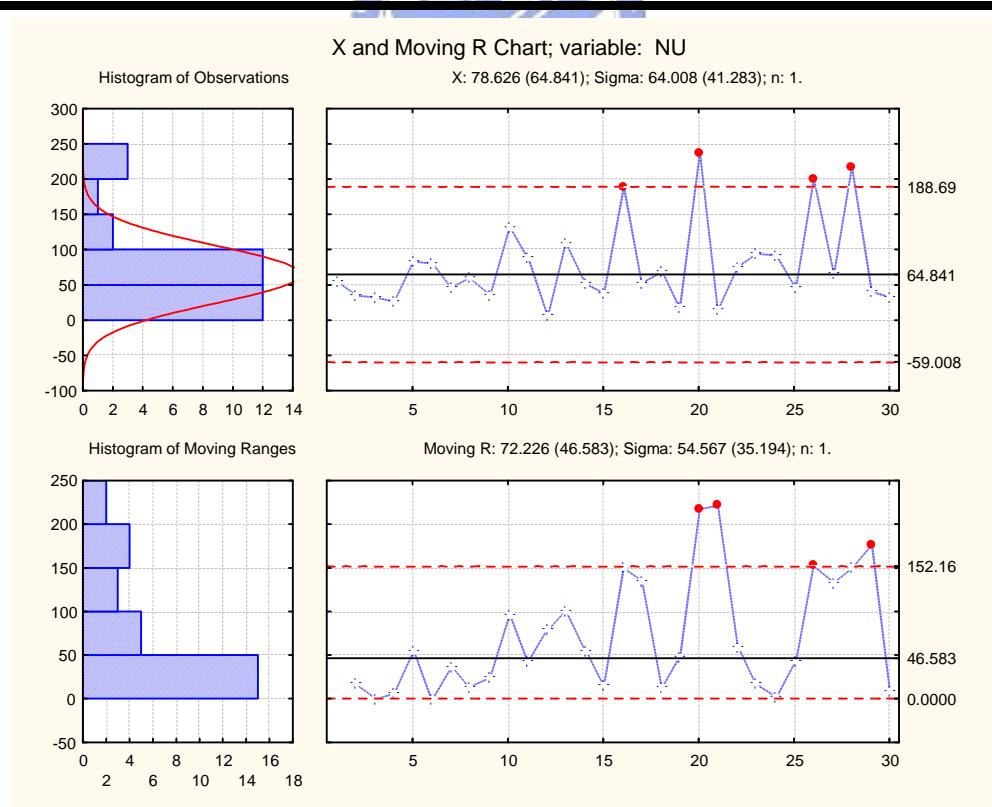


圖4.12 個別值與移動全距管制圖（案例分析）

若依照逐步管制流程之方法，當同一批量晶圓間發生變異時，必須找出製程

異常原因，修正相關製程消除晶圓間變異後，才能進行下一階段的管制，此乃因晶圓間之變異可能會干擾到批量間之變異，會使得兩種不同的變異混雜在一起，但本節為了與陳民祥[2]所提之管制流程進行比較，在案例分析中直接進行下一階段管制，若同時出現晶圓間變異和批量間變異，則視晶圓間變異造成此原因。

第三階段：管制批量與批量間之變異

步驟一：針對同一生產批量內晶圓缺陷點與缺陷群聚指標值轉換後 T^2 統計量之平均值繪製適應性管制圖。

由圖 4.13 之適應性管制圖可發現第三批和第二十一批為現失控點，表示在第三批和第二十一批上發生批量間之變異。

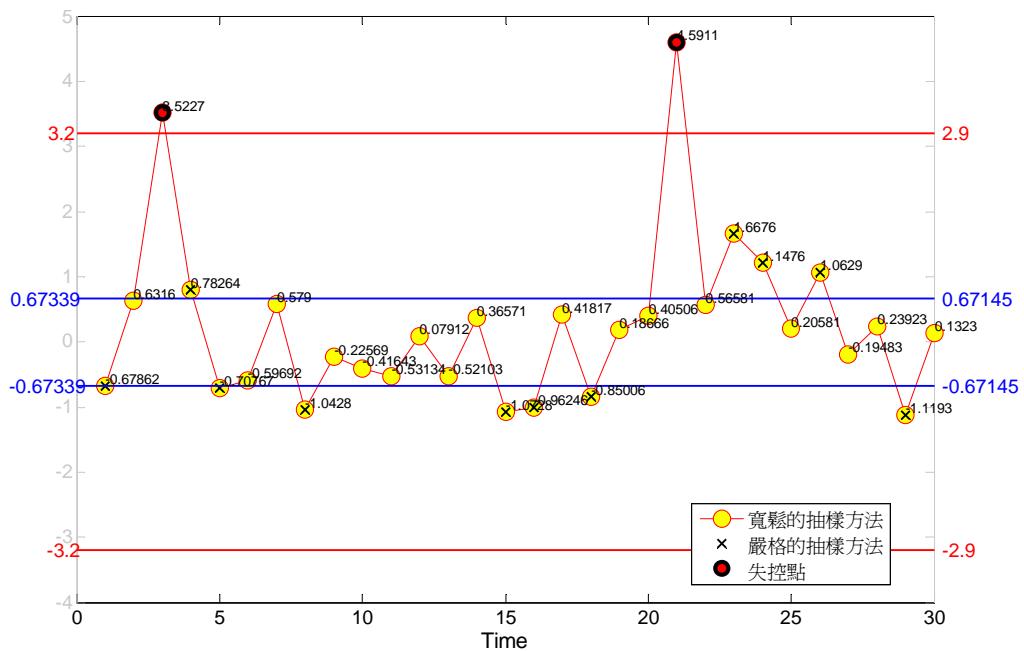


圖4.13 適應性管制圖（案例分析）

步驟二：利用 MYT 法分解原始未經轉換之 Hotelling T^2 統計量，找出製程異常原因。

根據表 4.16 所示，可判斷出以下四點：

1. 第二十批與第二十六批晶圓之缺陷點發生晶圓間變異。
2. 第十六批與第二十八批晶圓之缺陷群聚現象發生晶圓間變異。
3. 第二十一批晶圓之缺陷點發生批量間變異。
4. 第三批晶圓之缺陷點與缺陷群聚現象發生批量間變異。

表4.16 利用MYT分解法判斷造成製程異常之原因（案例分析）

批量	編號	T^2	$T_{1,i}^2$	$T_{2,i}^2$	造成製程異常之原因
3	1	58.0877	19.69756	8.240418	整批晶圓缺陷點過多與 缺陷群聚指標過高
	2	45.3399	12.17895	4.925181	
	3	24.7797	3.549556	12.54017	
16	1	3.16839	2.000598	0.059673	第二片晶圓缺陷群聚 指標過高
	2	18.8735	1.369928	11.25006	
	3	5.04628	1.195259	0.012682	
20	1	3.44655	1.764549	0.086828	第二片晶圓缺陷點過多
	2	40.9516	9.963613	3.285688	
	3	32.2296	3.549556	0.155894	
21	1	71.7263	17.5427	0.156609	整批晶圓缺陷點過多
	2	63.6185	15.12386	0.364574	
	3	42.1572	6.15243	0.061649	
26	1	7.75037	0.090745	0.975746	第二片晶圓缺陷點過多
	2	45.6829	9.249702	0.882989	
	3	10.061	0.010133	0.356267	
28	1	34.0162	0.017445	5.161686	第一片晶圓缺陷群聚 指標過高
	2	4.40614	1.042639	0.314581	
	3	9.97044	0.007557	1.505109	

4.2.2 與陳民祥提出之管制流程比較

以本論文三十個批量的模擬晶圓資料，依照陳民祥[2]所提出之管制流程進行品質管制，由於本論文之晶圓抽檢方式是動態方式抽樣，會根據樣本值落於管制圖的位置決定下一次抽樣之抽樣方法，本節比較同一批量中抽出兩片晶圓（ $n=2$ ）或抽出三片晶圓（ $n=3$ ）之差異，其結果如下：

4.2.2.1 同一批量中抽出兩片晶圓（ $n=2$ ）

第一階段：管制同一生產批量內晶圓與晶圓間之變異。

計算每片晶圓的預估良率值如表 4.17 所示，以兩母體比例 Z 檢定來比較每一批量中所抽測出的兩片晶圓的良率是否有明顯的差異，以此結果來推測同一批量晶圓間是否有變異產生。本論文設定顯著水準 $\alpha=0.05$ ，由同一批量中抽出前兩

片晶圓，進行兩母體比例之 Z 檢定；檢定結果如表 4.18 所示。由表 4.18 可知，第二十批 Z 值為 $3.8025 > Z_{0.025} = 1.96$ ，即表第二十批的晶圓間有變異發生。

表4.17 晶圓預估良率

批量	預估良率	批量	預估良率	批量	預估良率
1	0.9798	11	0.94444	21	0.70707
1	0.94949	11	0.95707	21	0.76768
1	0.93182	11	0.96212	21	0.90909
2	0.93939	12	0.9596	22	0.92677
2	0.87626	12	0.94949	22	0.96717
2	0.95455	12	0.96212	22	0.88889
.
.
.
10	0.94949	20	0.97727	30	0.94192
10	0.96212	20	0.80556	30	0.93687
10	0.93939	20	0.89646	30	0.93687

表4.18 晶圓良率檢定Z值 (n=2)

批量	Z 值	批量	Z 值	批量	Z 值
1	0.67103	11	-0.2796	21	-1.3421
2	1.39798	12	0.22368	22	-0.8947
3	-0.1678	13	-0.3914	23	-1.0065
4	-0.5592	14	1.1743	24	2.3486
5	0.8947	15	-0.2237	25	-0.3914
6	0.44735	16	0.22368	26	1.62165
7	0.05592	17	0.39143	27	0.22368
8	-0.1118	18	-0.2237	28	-0.2237
9	-0.2237	19	1.00654	29	0.44735
10	-0.2796	20	3.8025	30	0.11184

第二階段：管制批量與批量間之變異。

計算由每批量所抽出之兩片晶圓缺陷點之平均值，並繪製缺陷點管制圖，以監控不同批量間之晶圓缺陷點是否有明顯差異。表 4.19 為三十批中所抽之晶圓缺陷點的平均值，並繪製缺陷點管制圖，以監控不同批量間是否有變異發生，結果如圖 4.14 所示。由圖 4.14 可知，第三批、第二十批、第二十一批、第二十三批與第二十六批超出管制上限，顯示不同批量間有變異發生，及這些批之晶圓的

品質失控。

表4.19 三十批中修正缺陷點數平均值 (n=2)

批量	缺陷點平均值	批量	缺陷點平均值	批量	缺陷點平均值
1	15	11	27.5	21	176.5
2	40.5	12	26.5	22	57
3	173.5	13	15	23	76.5
4	56.5	14	37	24	59.5
5	30.5	15	24.5	25	38
6	16	16	35.5	26	78
7	22	17	32.5	27	27
8	17	18	8	28	24.5
9	35.5	19	45	29	17.5
10	35.5	20	72.5	30	48

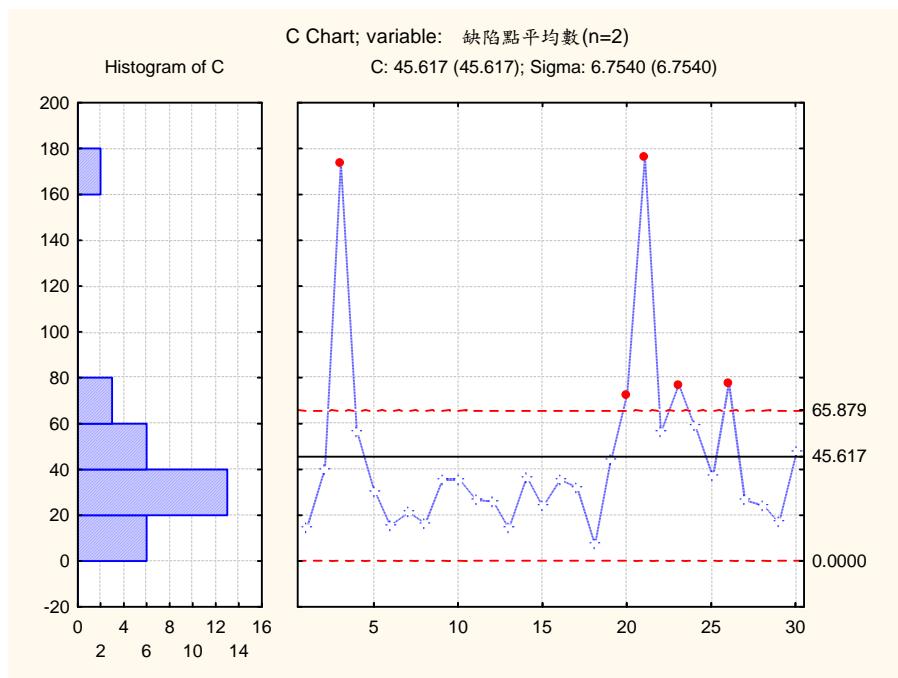


圖4.14 缺陷點平均值之缺陷點管制圖 (n=2)

4.2.2.2 同一批量中抽出三片晶圓 (n=3)

第一階段：管制同一生產批量內晶圓與晶圓間之變異。

由同一批量中隨機抽出三片晶圓，從同一批量三片晶圓中選取最大值與最小值，進行兩母體比例 Z 檢定，檢定結果如表 4.20 所示。由表 4.20 可知，第二十批 Z 值為 $3.8025 > Z_{0.025} = 1.96$ ，即表第二十批的晶圓間有變異發生。

表4.20 晶圓良率檢定Z值 (n=3)

批量	Z 值	批量	Z 值	批量	Z 值
1	1.06246	11	0.39143	21	4.47352
2	1.73349	12	0.2796	22	1.73349
3	0.72695	13	0.83879	23	2.12492
4	1.00654	14	1.62165	24	2.74003
5	0.8947	15	0.50327	25	0.8947
6	0.44735	16	0.22368	26	1.62165
7	0.22368	17	0.72695	27	0.22368
8	0.39143	18	0.50327	28	0.78287
9	0.22368	19	1.00654	29	0.44735
10	0.50327	20	3.8025	30	0.11184

第二階段：管制批量與批量間之變異。

計算由每批量所抽出之兩片晶圓缺陷點之平均值，並繪製缺陷點管制圖，以監控不同批量間之晶圓缺陷點是否有明顯差異。表 4.21 為三十批中所抽之晶圓缺陷點的平均值，並繪製缺陷點管制圖，以監控不同批量間是否有變異發生，結果如圖 4.15 所示。由圖 4.15 可知，第三批、第四批、第二十批、第二十一批、第二十三批與第二十四批超出管制上限，顯示不同批量間有變異發生，即這些批之晶圓的品質失控。

4.2.3 結果分析

本小節針對上述流程所偵測之失控點列出造成異常之原因，與本論文提出之結合缺陷點與缺陷群聚現象適應性管制流程比較，結果如表 4.22 所示。本論文所提之方法不僅較陳民祥[2]能更正確的偵測出模擬案例四種不同變異的情況，且能明確指出造成異常之原因。

由本節之模擬資料驗證結果可知，不論抽樣數為二或三，本論文所提之方法均較陳民祥[2]所提之方法偵測效果佳，且本論文平均抽樣數為 2.43，未來若能確定同一批量內晶圓間變異在穩定的情況下，可調整嚴格抽樣與寬鬆抽樣的抽樣數，即可達到降低成本的目標。

表4.21 三十批中修正缺陷點數平均值 (n=3)

批量	缺陷點平均值	批量	缺陷點平均值	批量	缺陷點平均值
1	20	11	23.667	21	153.33
2	34	12	23.33	22	60
3	144	13	12.33	23	70.33
4	64	14	41.33	24	70.667
5	28.33	15	19.33	25	33.33
6	17	16	28	26	62
7	25	17	33.33	27	27.667
8	19.667	18	13	28	27.667
9	32.33	19	38.33	29	18
10	38.33	20	76.667	30	50

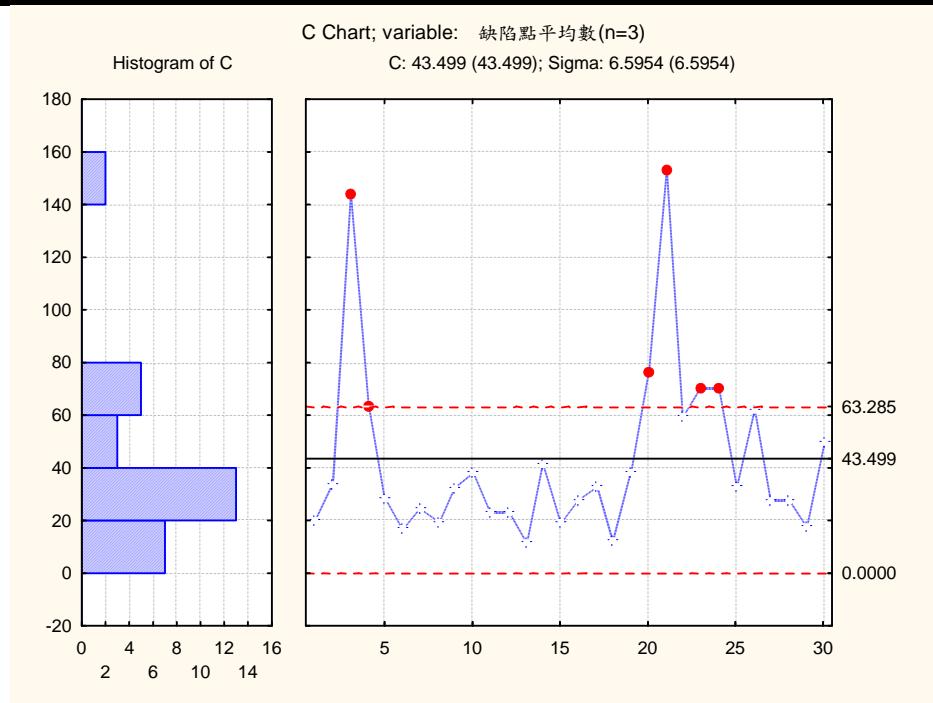


圖4.15 缺陷點平均值之缺陷點管制圖 (n=3)

表4.22 本論文與陳民祥[2]方法之失控點異常原因比較表

批 量	本論文	陳民祥 (n=2)	陳民祥 (n=3)
3	整批晶圓缺陷點過多與缺陷群聚 指標過高	批量間缺陷點 過多	批量間缺陷點 過多
4	無	無	批量間缺陷點 過多
16	第二片晶圓缺陷群聚 指標過高	無	無
20	第二片晶圓缺陷點過多	晶圓間缺陷點 過多	晶圓間缺陷點 過多
21	整批晶圓缺陷點過多	批量間缺陷點 過多	晶圓間缺陷點 過多
23	無	批量間缺陷點 過多	晶圓間缺陷點 過多
24	無	晶圓間缺陷點 過多	晶圓間缺陷點 過多
26	第二片晶圓缺陷點過多	批量間缺陷點 過多	無
28	第一片晶圓缺陷群聚 指標過高	無	無



第五章 結論

本論文之主要目的是提出一套結合適應性管制圖的晶圓缺陷點逐步管制流程，以迅速、有效地同時監控晶圓缺陷點與缺陷群聚現象之變異。由於適應性管制圖是根據前一個樣本在管制圖所落區域來改變抽樣方式，因此複雜性較高；但當製程處於穩定狀態時，抽樣次數會比傳統管制圖少，可節省不必要的成本與時間。

本論文以模擬之晶圓資料說明本研究之有效性，模擬案例分析結果顯示本管制流程可以同時管制晶圓缺陷點與缺陷群聚現象之變異，且能迅速偵測出製程中各種偏移狀況，並能明確的指出造成異常的品質特性。

現將本論文之結合缺陷點與缺陷群聚現象適應性管制流程的貢獻彙整如下：

1. 本論文之逐步管制流程能判斷出造成異常的來源，可針對失控晶圓明確地找出失控原因，使現場工程人員能快速的依失控原因進行機器調整，以提升晶圓之品質。
2. 本論文利用Hotelling T^2 統計量結合缺陷點與缺陷群聚現象，並考慮資料的特性（如：望小、望目等...）來調整Hotelling T^2 統計量的計算方法，使統計量更具意義；而且僅需繪製一張管制圖即可同時監控晶圓之缺陷點與缺陷群聚現象，可以大幅節省生產線上工程師檢視管制圖的時間。
3. 若製程處於穩定狀態時，在相同的管制效率下，適應性管制圖比傳統之缺陷點管制圖抽樣次數少，可節省工廠成本與工程人員時間。且適應性管制圖均未應用於產業中，因此本論文具有實務價值。
4. 本論文提出之結合缺陷點與缺陷群聚現象適應性管制流程，可適用於積體電路業與面板產業，節省大量之時間及成本。

參考文獻

- [1] 林沅汎，「積體電路製程中考慮多種變異來源之缺陷點數管制流程」，國立交通大學工業工程研究所碩士論文，2003。
- [2] 陳民祥，「晶圓缺陷點變異管制圖」，國立交通大學工業工程研究所碩士論文，2004。
- [3] 蔡文傑，「利用新晶圓缺陷點群聚指標建構積體電路良率模式」，國立交通大學工業工程研究所碩士論文，2004。
- [4] 歐陽，「應用多變量指數加權移動平均管制圖監控晶圓表面缺陷數與缺陷群聚問題」，國立交通大學工業工程研究所碩士論文，2005。
- [5] Costa, A. F. B., "Joint \bar{X} and R Charts with Variable Sample Size and Sampling Intervals", *Journal of Quality Technology* 31, pp. 387-397, 1999.
- [6] Costa, A. F. B., " \bar{X} Charts with Variable Parameters", *Journal of Quality Technology* 31, pp. 408-416, 1999.
- [7] Costa, A. F. B., "AATS for the \bar{X} Charts with Variable Parameters", *Journal of Quality Technology* 31, pp. 455-458, 1999.
- [8] Jun, C. H., Hong, Y., Kim, S.Y., Park, K. S. and Park, H., "A Simulation-Based Semiconductor Chip Yield Model Incorporating A New Defect Cluster Index", *Microelectronics Reliability* 39, pp. 451-456, 1999.
- [9] Mason, R. L., Tracy, N. D. and Young, J. C., "Decomposition of T^2 for Multivariate Control Chart Interpretation", *Journal of Quality Technology* 27, pp. 99-108, 1995.
- [10] Montgomery D. C., *Introduction to Statistical Quality Control*, Forth Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2001.
- [11] Prabhu, S. S., Montgomery, D. C. and Runger, G. C., "A Combined Adaptive Sample Size and Sampling Intervals \bar{X} Control Scheme", *Journal of Quality Technology* 26, pp. 164-176, 1994.

- [12] Sharma, S., *Applied Multivariate Techniques*, John Wiley & Sons, Inc, 1996.
- [13] Wells, S. W. and Smith, J. D., “Making Control Chart Work for You”, *Semiconductor International*, September, pp.86-89, 1991.

