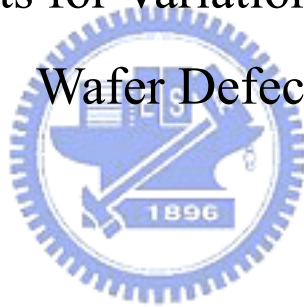


國立交通大學  
工業工程與管理學系

碩士論文

晶圓缺陷點變異管制圖

Control Charts for Variation Components of  
Wafer Defects



研究生：陳民祥

指導教授：唐麗英 博士

中華民國九十三年六月

晶圓缺陷點變異管制圖

Control Charts for Variation Components of Wafer Defects

研 究 生：陳民祥

Student : Min-Hsiang Chen

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



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 of Science

In

Industrial Engineering and Management

June 2004

Hsin Chu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十三年六月

# 晶圓缺陷點變異管制圖

學生：陳民祥

指導教授：唐麗英 博士

國立交通大學工業工程與管理學系碩士班

## 摘要

晶圓品質是積體電路產業成為擁有市場競爭優勢的一個重要因素。在晶圓製造過程中，穩定的製程是影響晶圓品質的一個重要因素。統計製程管制中之缺陷點數管制圖(c-chart)，常被用來監控晶圓品質之穩定性。目前由於晶圓製造技術的精進，晶圓表面積愈作愈大，使得晶圓表面的缺陷點群聚(clustering)現象越來越明顯，而 c-chart 未能考慮到此群聚現象，晶圓業者若仍使用 c-chart 來管制缺陷點數，會產生過多的假警報，因此在監控晶圓是否有變異時必須先考慮到晶圓表面缺陷點之群聚現象。此外，在晶圓生產過程中品質變異的來源有許多種，除了有不同批量間的變異(lot-to-lot variation)外，還有同一批量內晶圓間的變異(wafer-to-wafer variation)，如果不能釐清變異的來源，將無法有效的控管晶圓品質。因此本研究以晶圓表面的缺陷點數當作品質特性，提出一套晶圓缺陷點數變異來源之辨識流程。一旦晶圓缺陷點數發生變異時，工程人員能即時辨認出變異來源。本研究首先進行檢定晶圓表面上缺陷點數是否呈現隨機分佈，若缺陷點之分佈不隨機時，則合併具群聚現象之缺陷點以消除群聚現象，然後再進行監控同一批晶圓間的變異以及不同批量間的變異。應用本研究提出之流程可以快速辨識變異的來源。本研究最後以模擬之晶圓數據及新竹科學園區之實際晶圓數據來驗證本研究方法的實用性。

**【關鍵詞】** 缺陷點數、缺陷點管制圖、群聚現象、群聚指標、晶圓間變異、批量間變異

# Control Charts for Variation Components of Wafer Defects

**Student : Min-Hsiang Chen**

**Advisor : Lee-Ing Tong**

Department of Industrial Engineering and Management  
National Chiao Tung University

## **Abstract**

Wafer quality is an important factor for companies' competitive advantage in the Integrated circuits(IC) industry. The stability process is vital to the quality of wafer in IC. The c-chart is employed to monitor the stability for the wafer quality in statistic process control (SPC). The cluster phenomenon of defect appears on wafer surface becomes more pronounced as the wafer size increases. However, the conventional c-chart does not consider the cluster phenomenon, the wafer manufacturers utilize the c-chart to monitor defects would result in too many false alarms. Therefore, the cluster phenomenon should be monitored on the wafer surface before monitoring between wafer variations. There are various sources of quality variations appeared wafer in the wafer production process. Besides lot-to-lot variation, the wafer variation may also be caused by wafer-to-wafer variation. If the source of variation cannot be identified correctly, the quality of wafer will not be maintained at a certain level. Therefore, the purpose of this study is to develop a control procedure, which uses defects on the wafer surface as the quality characteristic to effectively identify the variation source. The study uses defect on wafer surface as a quality characteristic and proposes a procedure of identifying variation source of wafer defect. At first, a random test is performed to check whether the defects scatter randomly on the wafer surface. If the defects are not randomly distributed on a wafer, the clustered defects will be combined to monitor the wafer-to-wafer variation and lot-to-lot variation. The proposed procedure can effectively identify the source of variation of wafer defects. Finally, this study uses simulated and real-world cases to verify the effectiveness of the proposed procedure.

**【Key Words】** Defect, C-chart, Cluster phenomenon, Cluster index, Wafer-to-wafer variation, Lot-to-lot variation

## 誌謝

又到了鳳凰花開的季節，兩年的研究所生活也即將步入尾聲，在這兩年的研究所的生活中，首先要感謝我的指導老師唐麗英教授，在我撰寫論文的期間給予的鼓勵與協助，才能讓我的論文能順利產生，如期畢業，此外也感謝老師平時關心，讓隻身在外求學的我，感受到長輩的悉心照顧，另外謝謝黎正中教授、洪瑞雲教授、梁高榮教授在口試期間提供寶貴的意見，讓本論文更臻完善。

其次要感謝我的研究室伙伴俊誠、翔百、文傑、政勳、宏志、盛全、忠佐、冠人和千慧學姐，有你們的幫助，使我擁有充實的研究所生活，熬夜趕報告、慶祝生日的狂歡、出國參加研討會...，所有點點滴滴的回憶是你們給我最好的畢業禮物，還有同窗好友鴻福、盈月、英泰、石隆、渙群、楓凱，管科所的同學詠涵、佩雙、慧菁，謝謝你們一路的陪伴，因為有了你們這一群好友，使我的交大研究所生活充滿豐富的色彩。

最後特別感謝我的父母和家人，在我最失意的時候，在我身旁給我鼓勵和信心讓我能重新面對挑戰。要感謝的人太多了，僅以此文向曾經幫助過我的人，表達心中最真誠的感謝。

陳民祥 謹誌於

交通大學工業工程與管理研究所

2004年6月15日

# 目 錄

中文摘要 .....	i
英文摘要 .....	ii
誌 謝 .....	iii
目 錄 .....	iv
表 目 錄 .....	v
圖 目 錄 .....	vi
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 研究方法 .....	2
1.4 研究架構 .....	3
第二章 文獻探討 .....	4
2.1 管制晶圓變異來源之相關文獻 .....	4
2.2 缺陷點管制圖 .....	6
2.3 晶圓表面上缺陷點群聚現象之研究 .....	7
2.3.1 缺陷點群聚指標 .....	7
2.3.1.1 群聚指標 $\alpha$ .....	7
2.3.1.2 群聚指標 $V/M$ .....	8
2.3.1.3 群聚指標 $CI$ .....	9
2.3.2 模糊自適共振理論演算法(Fuzzy ART) .....	12
第三章 建構缺陷點變異來源之管制流程 .....	15
第四章 模擬驗證與實例分析 .....	18
4.1 模擬驗證 .....	18
4.2 實例分析 .....	25
第五章 結論 .....	28
參考文獻 .....	29

## 表 目 錄

表 2.1 群聚指標 $\alpha$ 值對照群聚現象程度.....	8
表 2.2 $\alpha$ 值與 $CI$ 值比較.....	11
表 4.1 模擬案例一之 60 片晶圓表面上缺陷點數.....	19
表 4.2 第一片晶圓表面上之缺陷點數絕對座標 (案例一).....	19
表 4.3 晶圓表面上缺陷點數群聚分析後結果 (案例一).....	20
表 4.4 晶圓預估良率 (案例一).....	22
表 4.5 晶圓良率檢定 $Z$ 值(案例一).....	22
表 4.6 模擬案例二之 60 片晶圓表面上缺陷點數.....	23
表 4.7 晶圓良率檢定 $Z$ 值 (案例二).....	23
表 4.8 30 批中修正缺陷點數平均值 (案例二).....	24
表 4.9 實例分析之 60 片晶圓表面上缺陷點數.....	25
表 4.10 晶圓良率檢定 $Z$ 值.....	26



## 圖 目 錄

圖 2.1 缺陷分佈圖與兩軸的投影.....	10
圖 2.2 Fuzzy ART 網路架構圖.....	13
圖 3.1 晶圓缺陷點變異來源管制流程之流程圖.....	17
圖 4.1 第五片晶圓偵測圖 (案例一).....	20
圖 4.2 修正缺陷點數平均值之缺陷數管制圖 (案例二).....	24





# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景與動機

在晶圓製造業高度競爭之情況下，晶圓品質成為擁有市場競爭優勢的重要因素。在晶圓製造過程中，製程的穩定是影響晶圓品質的一個重要因素，一旦製程發生了變異，將會直接影響到晶圓的品質。

晶圓製造的技術日趨成熟，使得晶圓製程由早期之 2 吋、4 吋、8 吋發展至現在的 12 吋製程，然而隨著晶圓的表面積愈來愈大，晶圓表面的缺陷點和缺陷點的群聚現象也越來越明顯，而造成晶圓表面缺陷點的原因，常見的如晶圓表面的塵埃或是在晶圓製造的過程所產生的缺陷等，缺陷點的增加和明顯的缺陷點群聚現象，不僅會對晶片的可靠度造成不良的影響，甚至會讓晶片失效而降低晶圓良率，而直接影響到品質管制之精確度。

晶圓製程中，晶圓品質包含了多種變異之來源有很多種，除了上述晶圓表面的缺陷點群聚現象，使晶圓品質產生變異外，Wells 與 Smith[16]提出尚有晶圓與晶圓間(wafer-to-wafer variation)之變異以及批量與批量間(lot-to-lot variation)這兩種變異來源，也會影響晶圓的品質，因此在監控晶圓製造的過程中，若不能清楚地辨認晶圓製程中的多種變異來源，則無法即時找出產生變異的非機遇原因(assignable cause)，而無法有效地提昇晶圓品質。

目前晶圓製造業對於晶圓的抽測方式多是由每批量中隨機抽取一片晶圓，計算其表面之缺陷點，若有二十個批量，則得到二十筆缺陷點的資料，再以此二十筆資料繪製缺陷點管制圖(c-chart)來管制晶圓之缺陷點數，然而這樣的抽測方式只有管制到晶圓批量間的變異，卻忽略到晶圓內之變異及同一批量中晶圓間的變異，使得管制結果可能誤導真實情況。

林沅洸[4]以晶圓上缺陷點當作品質特性，並提出使用兩張管制圖來管制同

一批量晶圓間的變異和不同批量間的變異。他在監控同一批量晶圓間的變異時，是以批量為單位來繪製管制圖，因此仍無法瞭解批量內晶圓間是否發生變異。

林沅洸所提出管制流程無法清楚監控晶圓間是否發生變異的不周延之處，本論文提出修正之管制流程，以即時監控晶圓間和批量間這兩種變異來源。

## 1.2 研究目的

由於目前中、外文獻中考慮多種變異來源之缺陷點管制流程相當罕見，因此本研究之主要目的是利用在晶圓表面的缺陷點總數，並同時考慮到晶圓表面缺陷點的群聚現象，發展一套晶圓缺陷點管制流程，此流程可有效辨認出同批量不同晶圓間和不同批量間之變異來源。

穩定的晶圓良率，不僅可以降低成本，更可以維持晶圓製造業者的競爭優勢，因此為了提升晶圓良率，則必須對晶圓的變異加以管制，所以若有一套清楚的變異來源之管制流程，工程人員針對變異來源，就能即時找出使製程發生偏移的非機遇原因，然後進行製程改善，以維持穩定的晶圓良率。

## 1.3 研究方法

晶圓製造技術精進，晶圓表面積的擴大造成晶圓表面的缺陷點的群聚現象越來越明顯，因而影響到晶圓表面缺陷點之分佈情形。本研究之管制流程首先進行晶圓表面缺陷點隨機性檢定，以判斷晶圓表面的缺陷點是否呈隨機分佈。假若晶圓表面的缺陷點不符合隨機分佈，本研究則利用類神經網路的模糊自適共鳴理論演算法(Fuzzy ART)找出每片晶圓之群聚數及群聚中心的位置以進行合併缺陷點，作法是將群聚中心的位置代表一個新的缺陷點來取代同一群聚中所有缺陷點，以任何新的缺陷點能符合隨機分佈之假設。

接下來在監控晶圓間的變異方面，由每一批量中抽出兩片晶圓，進行統計假說檢定，檢定所抽出之兩片晶圓間之良率是否有明顯差異，以推測晶圓間是否有變異產生。在監控批量間變異方面，將由每一批量中隨機抽出兩片晶圓，計算此兩片晶圓缺陷點之平均數，繪製缺陷點管制圖，如此才能有效地監控批量間是否有變異產生。

## 1.4 研究架構

本研究共分為五個章節，第一章緒論，說明本研究之動機背景、目的與方法；第二章文獻探討，其中包含管制晶圓變異來源之相關文獻、傳統管制圖的介紹以及缺陷點群聚現象之研究；第三章介紹本研究管制流程之建構，說明本研究提出一套的變異來源管制流程的步驟；第四章模擬驗證與實例分析，以模擬數據的方式和新竹科學園區某積體電路製造業所提供之實際資料，來驗證本研究提出的變異來源管制流程的實用性；第五章則為本研究之結論。

## 第二章 文獻探討

本章介紹與本研究相關晶圓變異來源方面的文獻、晶圓製造業常使用的缺陷管制圖以及修正群聚現象之缺陷點數的方法。

### 2.1 管制晶圓變異來源之相關文獻

Wells 與 Smith[16]在晶圓製造的過程中存在著多種的變異來源，而傳統的平均值全距( $\bar{X}-R$ )管制圖是針對僅有一個變異來源的系統所設計的，假若忽略多種變異來源的存在而逕行繪製傳統的 $\bar{X}-R$ 管制圖，將導致管制圖失控(out of control)但可歸屬原因(assignable cause)卻不存在的情況發生，因此；Wells 與 Smith 認為必須確認所有變異來源都受到管制後，管制圖才能正確反應出產品之資訊。

在繪製管制圖時，Wells 與 Smith 提出必須考慮三種變異來源：同片晶圓上不同量測位置造成之變異、晶圓與晶圓間存在的變異以及批量與批量間存在的變異，並根據這些變異提出了逐步管制流程，但此管制流程僅適用於量測特性的產品上。

Kim 與 Yum[11]在研究晶圓製程的固定位置量測點時，認為一組量測值的變異是源自多種原因，因此必須要將它們分解成相關的變異因素，以有效監控與診斷製程是否失控。

除了前面 Wells 與 Smith 提出之三種變異外，並提出晶圓內不同量測位置、批量內不同抽測晶圓位置兩者的交互作用。管制的步驟是繪製管制圖確認晶圓內固定量測點間的變異、批量內固定晶圓位置間的變異與批量間的變異處於管制狀態下，再進一步確認晶圓量測值的平均數管制狀態下，認為整個生產流程所生產的晶圓並未偏離目標值。Kim 與 Yum 所提出的對比(contrast)觀念，可精確找出晶圓內不同量測位置、批量內不同抽測晶圓位置以及兩者之交互作用的異常情形，但為了要能同時監控晶圓位置與量測點間的變異，必須建構七個管

制圖以對晶圓量測值作清楚的解析，且每張管制圖都必須經過繁複的計算後才能得到繪製管制圖所需的統計量，要實際應用相當繁瑣。

林沅洸[4]針對晶圓製造過程中所產生的缺陷點之數量，利用統計手法，考慮多種變異來源和晶圓上的群聚現象，先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，下一步為確認同批量內晶圓缺陷點之變異程度是否在管制內，在此步驟，首先計算每一批量所抽  $n$  片晶圓上之修正缺陷點的 NU 值，並將 NU 值作轉換使其符合常態分配。再針對每批量所求得的 NU 值繪製個別值與移動全距管制圖。如果管制圖出現失控點，則表示該批量的晶圓間變異失控，也就是說該批量的晶圓缺陷點或品質不夠穩定，工程師應以此一批量內晶圓間的差異為依據來找出失控的非機遇原因。

如果未出現失控點，則可繼續確認不同批量間之變異程度是否在管制內，於此步驟，計算每批量所抽出之  $n$  片晶圓的修正缺陷點之平均值，因為在同一批量內晶圓間之變異在管制之下的情況，此平均值可視為此批量每片晶圓缺陷點數之代表值，所以針對此平均值繪製缺陷點數管制圖。如果出現失控點，則表示變異的產生是由於此批量有問題，而整個批量的缺陷點都偏高以至於產生製程失控的情形。

林沅洸提出管制流程中使用的管制圖為個別值與移動全距管制圖以及缺陷點管制圖，然而在管制的流程中，進行不同批量間變異偵測的前提為批量內晶圓間的變異必須穩定，因此若批量內晶圓間的缺陷點數出現變異，將無法偵測出不同批量間變異，此外，其管制流程在監控晶圓間是否產生變異方面，是採用每一批量的合併缺陷點 NU 值來繪製個別值移動全距管制圖去進行管制，由於此管制圖是以批量為單位來進行監控，因此林沅洸的方法無法真實的瞭解批量內晶圓間是否發生變異。

## 2.2 缺陷點管制圖

在晶圓廠進行品質管制時，一般是以晶圓上表面之缺陷點數當作品質特性，繪製缺陷點管制圖。傳統的缺陷點管制圖資料必須服從卜瓦松 (Poisson) 分配，其機率分配函數如下：

$$P(N = n) = \frac{e^{-\mu} \mu^n}{n!} \quad n=0, 1, 2, \dots$$

其中  $N$  表示每片晶圓上的缺陷點； $\mu$  為每片晶圓上的平均缺陷點。根據卜瓦松分配中平均數與變異數相同的特性，可建構管制圖之上下管制界限為：

$$UCL = \mu + 3\sqrt{\mu} \quad \text{且} \quad LCL = \mu - 3\sqrt{\mu}$$

缺陷點管制圖應用在積體電路生產時有兩個基本假設：

1. 在晶圓表面任何區域發生缺陷點的機率是相同的，亦即晶圓上的缺陷點會服從卜瓦松分配(Poisson distribution)。
2. 在晶圓表面任何區域缺陷點之發生是相互獨立的，也就是晶圓上某一缺陷的發生和其他缺陷的發生是無關的。

近幾年來由於技術的發展，隨著晶圓面積的增大，使得晶圓上缺陷點群聚的現象更為明顯。Stapper [14]觀察到晶圓上的缺陷點分佈出現了群聚現象，有群聚現象情況下便不符合缺陷點管制圖的兩個基本假設，亦即缺陷點將不符合卜瓦松分配，導致缺陷點管制圖不再適用。

如果繼續使用以卜瓦松為基礎的缺陷點管制圖，會發生許多假警報。假警報的出現原因是因為當管制圖有許多樣本點落在管制界限外，表示產品的缺陷點太多，即製程失控。但因為缺陷點的群聚現象其發生型態可能集中於晶圓的某一區域上，使得晶圓產品的良率仍在一定的水準之上，因此造成製程失控的假現象。

## 2.3 晶圓表面上缺陷點群聚現象之研究

Tong *et al.* [12]使用類神經網路中模糊自適共振理論演算(Fuzzy ART)修正晶圓上的缺陷點群聚現象，其建構方法是先對晶圓表面的缺陷點做離群值分析，去除離群值，接著空間統計學的方格法檢定缺陷點分佈是否成隨機分佈，若缺陷點不是呈現隨機的分佈，則利用 Fuzzy ART 進行缺陷點群聚分析，將 Fuzzy ART 所分類的群中所有的缺陷點合併成為一個缺陷點並取其群的中心當作新缺陷點的座標，以便對缺陷點做修正，直到缺陷分佈符合卜瓦松分配才停止。

本研究利用群聚指標來判斷晶圓表面上缺陷點是否呈隨機分佈，若缺陷點不是呈現隨機的分佈，則利用 Fuzzy ART 進行缺陷點群聚分析，以下將針對缺陷點群聚指標及類神經網路 Fuzzy ART 方法作一介紹。

### 2.3.1 缺陷點群聚指標

當晶圓表面積增大時，晶圓表面所產生的缺陷點會有群聚的現象，此現象導致隨機性假設不再成立，晶圓表面積愈大時，缺陷出現群聚現象的機率會愈大，而缺陷點的群聚程度會影響晶圓的良率，本章節介紹三個來衡量缺陷點群聚嚴重程度的群聚指標，分別為負二項良率模式的 $\alpha$ 群聚指標、空間統計學的 $V/M$ 群聚指標、無統計假設之缺陷點 $CI$ 值群聚指標，以下將這三個缺陷點群聚指標做介紹：

#### 2.3.1.1 群聚指標 $\alpha$

群聚指標 $\alpha$ 為負二項良率模式參數，而負二項良率模式在1973年由Stapper[14]所提出，屬於複合卜瓦松良率模式(compound Poisson yield model)的一種，其缺陷點密度函數Gamma機率函數而來，其良率模式可由下式表示之：

$$Y = \frac{1}{(1 + D_0 A / \alpha)^\alpha}$$

其中 $D_0$ 表示每單位晶圓面積上之平均缺陷點， $A$ 表晶圓面積，而參數 $\alpha$ 則被稱為群聚指標(cluster parameter)。 $\alpha$ 值越小，表示群聚的狀況越嚴重，反之 $\alpha$ 值

越大，則表示群聚的狀況不嚴重， $\alpha$  值可透過下列公式計算得到：

$$\alpha = \frac{\bar{\lambda}^2}{(\sigma^2 - \bar{\lambda})}$$

其中  $\bar{\lambda}$  及  $\sigma^2$  分別代表每個晶片上缺陷點的平均數與變異數。

由下表1得知，群聚指標  $\alpha$  值缺點當沒有群聚現象時  $\alpha$  值分佈過於散亂，在分析時  $\alpha$  值並非在一定均勻的範圍內，同時有可能出現負值，皆造成分析上的不便。

表 2.1 群聚指標  $\alpha$  值對照群聚現象程度

群聚現象程度	$\alpha$ 值
完全沒有	10~ $\infty$
一些	4.2
很多	1

### 2.3.1.2 群聚指標 $V/M$

Tyagi 與 Bayoumi[15]使用空間統計學中之方格法來衡量晶圓上缺陷點的群聚現象。方格法的作法是將待研究的平面區隔成許多面積和形狀都相同的方格，如在晶圓上切割成許多晶片，然後以每個晶片上所包含的缺陷點數為分析對象。如果晶圓上缺陷點呈現隨機分佈，則表示其遵守卜瓦松分配。由於卜瓦松分配有平均數和變異數相等之特性，所以當缺陷點呈現隨機分佈時，變異數和平均數的比值(Variance-Mean Ratio;  $V/M$ )會等於 1，當點有群聚現象時，則此比值會大於 1。

因此 Greig-Smith[9]根據此特性建立變異數與平均數比值的  $t$  檢定量為

$$t = \frac{(V/M) - 1}{\sqrt{2/(n-1)}}$$



其中  $V$  表每一片晶圓上各晶片缺陷點之變異數， $M$  表每一片晶圓上晶片的缺陷點平均數， $n$  是每片晶圓上所切割之晶片數。此一  $t$  檢定量的自由度為  $n-1$ ，當  $t > t_{\alpha, n-1}$  時，則斷定點的分佈有群聚的現象。

而此指標的缺點是同樣的點分佈可能因方格選取的方法、形狀及大小的不同，而使得指標值不相同。

### 2.3.1.3 群聚指標 CI

*Jun et al*[10]提出新缺陷指標  $CI$ ，指標無需任何缺陷點的假設分配，且計算簡單。

群聚指標  $CI$  值的計算方法是將一片晶圓上的  $n$  個缺陷點的空間座標分別投影到  $X$  和  $Y$  軸上，以  $(X_i, Y_i)$  表之， $i=1, 2, \dots, n$ ，令  $X$  軸最左端為原點，並設原點為 0；令  $Y$  軸最下端為原點，並設原點為 0，如圖 2.1 所示。



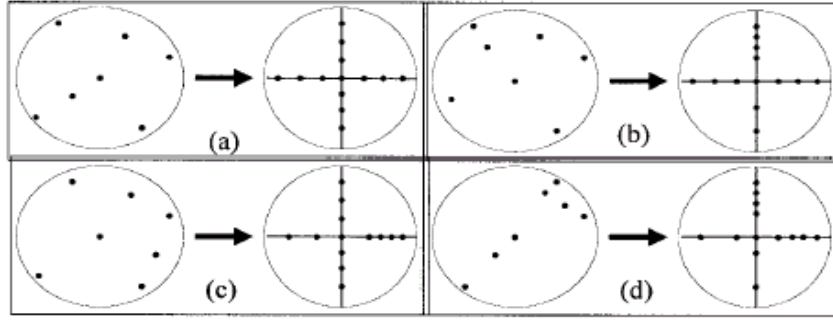


Fig. 1. Defect maps and projected  $x$  and  $y$  coordinates.

圖 2.1 缺陷分佈圖與兩軸的投影

分別將  $X_i$  和  $Y_i$  做遞增排序，可得  $X_{(i)}$  與  $Y_{(i)}$ ，其中  $X_{(i)}$  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  $X$  軸和  $Y$  軸上點的間距  $V_i$  及  $W_i$  可分別定義如下：

$$V_i = X_{(i)} - X_{(i-1)}, i = 1, 2, \dots, n, \text{ 代表 } X \text{ 軸上點的間距；}$$

$$W_i = Y_{(i)} - Y_{(i-1)}, i = 1, 2, \dots, n, \text{ 代表 } Y \text{ 軸上點的間距，}$$

其中  $X_{(0)} = Y_{(0)} = 0$ 。而群聚指標  $CI$  定義為

$$CI = \min \left\{ \frac{S_v^2}{\bar{V}^2}, \frac{S_w^2}{\bar{W}^2} \right\}$$

$\bar{V} = \sum V_i / n$  表示  $X$  軸上所有點間距的平均值。

$\bar{W} = \sum W_i / n$  表示  $Y$  軸上所有點間距的平均值。

$S_v^2 = \sum (V_i - \bar{V})^2 / (n-1)$  表示  $X$  軸上所有點間距的變異數。

$S_w^2 = \sum (W_i - \bar{W})^2 / (n-1)$  表示  $Y$  軸上所有點間距的變異數。

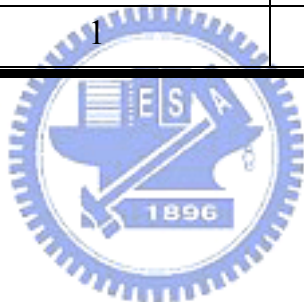
當缺陷點分佈呈隨機分佈時，如圖 2.1(a)所示，將缺陷點投影至兩軸後，軸上點和點之間的間距會比較一致，亦即點間距的變異小，可以證明  $CI$  值為 1；當缺陷點分佈有群聚現象時，如圖 2.1(d)，則有些點的間距比較緊密，有些點的間距卻很疏鬆，亦即點和點之間的間距變異會較大，因此當  $CI$  值大於 1 時，即表示缺陷開始出現群聚的現象，當  $CI$  值越大，則表示群聚的現象越嚴重。

下表 2 列出群聚參數  $\alpha$  值和群聚指標  $CI$  值之間的相對關係，經由模擬驗證的結果得知  $CI$  比  $\alpha$  指標更能準確且均勻的描述晶圓缺陷群聚的嚴重程度。

$\alpha$  值越小代表群聚現象越明顯，而  $CI$  值越大代表群聚現象越明顯；與  $\alpha$  值相較， $CI$  值有較均勻的數值範圍來量化不同嚴重程度的群聚現象，是  $CI$  指標優於  $\alpha$  指標的地方，且  $CI$  指標亦不會受到晶圓所切割出晶片大小的影響，是優於  $V/M$  指標的地方。

表 2.2  $\alpha$  值與  $CI$  值之比較

群聚現象	負二項良率模式的 群聚指標 $\alpha$	群聚指標 $CI$ 值
無	10 或以上	0.85-1.00
些微	4.2	1.00-1.10
中等	3	1.10-1.25
嚴重	1	1.25-2.70



### 2.3.2 模糊自適共振理論演算法(Fuzzy ART)

自適共振理論網路是由 Grossberg 所發展出來一種類神經網路，當初他觀察生物的學習系統發現生物能不斷學習新事物，但又不曾忘記以前所學的事物。因此，他認為生物學習的方法是當發生改變時，要能記憶舊的事物，也就是具有穩定性；但同時對新的事物也要能學習，也就是具有可塑性。Grossberg 為了能同時考慮穩定性與可塑性而發展出自適共振理論網路。

雖然穩定性與可塑性有些衝突，但是自適共振理論網路採用了警戒值 (Vigilance) 的觀念來解決此一矛盾，其原理如下：

1. 如果新的事物的特性與某一個舊的事物的特性夠相似(即通過警戒值測試)的話，則只修改系統中該舊事物的部分記憶，使其能同時滿足新舊事物的特性，使舊的事物可適當保留，如此可滿足穩定性的要求。
2. 如果新的事物的特性與所有的舊事物的特性均不夠相似(即不通過警戒值測試)的話，則系統為此建立全新的記憶，以迅速學習新的事物，如此可滿足穩定性的要求。

為了將自適共振理論網路應用在不同領域的問題，自適共振理論網路有許多的變形，譬如 ART1、ART2 以及 Fuzzy ART 等等。然而 ART1 只能處理輸入值為二元值(0 或 1)的情形；ART2 雖然解決了 ART1 的弱點，容許輸入值為類比值的能力，可是在計算方面又太過複雜。Fuzzy ART 不但具有處理類比值的能力，計算過程又比 ART2 簡單，因此可採用 Fuzzy ART 的方法來處理缺陷點群聚的問題。

Fuzzy ART 是將模糊集合(Fuzzy Set)的觀念導入 ART1，其網路結構有兩層如圖 1，一層輸入層及一輸出層，每一個輸出層單元都有網路與輸出層相連結。Fuzzy ART 輸出層節點的個數代表最多可分出的缺陷群數，每一個節點代表一類；輸入層節點的個數代表輸入向量的維度，假設有  $M$  維，輸入向量的每一個元素都必須在 0 與 1 之間，輸出層  $i$  與輸出層  $j$  之間有一個權重  $W_{ij}$  相連接，一開

始時所有的權重都設為 1。

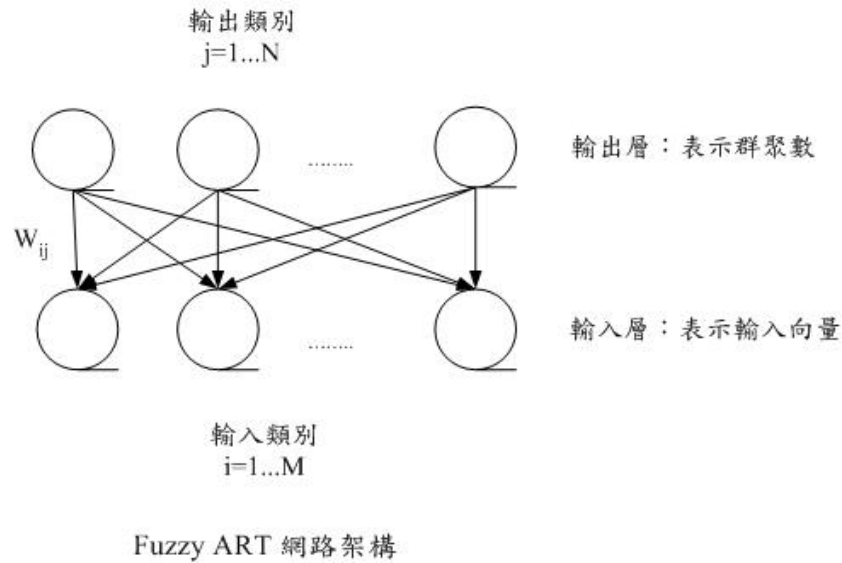


圖 2.2 Fuzzy ART 網路架構圖

當網路讀入新的缺陷座標時，每一個輸出節點都會產生一個選擇函數  $T_j$

$$T_j = \frac{|I \wedge W_j|}{\alpha_0 + |W_j|}$$

其中  $\alpha_0$  是選擇參數， $\wedge$  是模糊理論的 MIN 運算子，定義如下：

$$(X \wedge Y)_i \equiv (x_i \wedge y_i)$$

而(Norm,  $|\cdot|$ )的定義如下：

$$|X| = \sum_i x_i$$

假若第 J 個輸出節點有最大的選擇函數值，則對它做警戒值測試，若通過警戒值測試，則此缺陷屬於第 J 類，最後並修改與 J 個輸出節點相關的網路權重：

$$W_j^{new} = \beta(I \wedge W_j^{old}) + (1 - \beta)W_j^{old}$$

其中  $\beta$  是學習速率參數。若沒通過警戒值測試，則  $T_j$  設為 -1，然後繼續找最大的選擇函數值，再對它做警戒值測試。以此類推，直到此缺陷分到某一類為止。

在做 Fuzzy ART 的運算前，必須先決定三個參數，分別是選擇參數( $\alpha$ )、學習速率參數( $\beta$ )、警戒值參數( $\rho$ )，其中參數的範圍為  $\alpha > 0, \beta \in [0,1], \rho \in [0,1]$ ，選擇參數值必須大於 0，學習速率參數大小影響網路加權值的修改幅度，其值越大則修改幅度就越大，警戒值參數的大小影響分群的結果，其值越大則分群後群聚數越多。於不同的參數設定，會導致不同的結果，一般的作法是改變參數值的設定，反覆測試，選擇一個合理的結果。



### 第三章 建構缺陷點變異來源之管制流程

本研究之主要目的是建構一套辨認晶圓製程中缺陷點變異來源之流程，來監控同一批量內晶圓間的變異和不同批量間的變異這兩種變異來源。並針對林沅洸所提出之缺陷數變異來源管制流程，在監控晶圓間變異方面提出修正。

本研究方法是由每一批量中抽取兩片晶圓，計算每片晶圓表面上的總缺陷點數及每一個缺陷點之座標，利用晶圓表面上的缺陷點當作品質特性，建構缺陷點變異來源之管制流程，其建構步驟如下：

**步驟一：**每一批量晶圓中抽取兩片固定位置的晶圓，並利用 KLA 晶圓偵測系統取得晶圓表面的總缺陷點數與每個缺陷點的座標。

利用 KLA 晶圓偵測系統，在生產過程中取得晶圓偵測圖(wafer map)，並由此得到每一片晶圓表面缺陷點總數與每一個缺陷點的位置座標。

**步驟二：**進行晶圓表面缺陷點隨機性檢定。

在晶圓製造過程中，晶圓表面的缺陷點會產生群聚的現象，此群聚現象，造成晶圓表面的缺陷點不呈隨機分佈。本研究利用群聚指標  $CI$  指標，檢測晶圓表面的缺陷點是否呈隨機分佈狀況。

利用已知之每片缺陷點的位置座標，計算每片晶圓的群聚指標  $CI$  值，公式為

$$CI = \min \left\{ \frac{S_v^2}{\bar{V}^2}, \frac{S_w^2}{\bar{W}^2} \right\}$$

$$\bar{V} = \sum V_i / n, \bar{W} = \sum W_i / n, S_v^2 = \sum (V_i - \bar{V})^2 / (n-1), S_w^2 = \sum (W_i - \bar{W})^2 / (n-1)$$

當  $CI$  值大於 1 時，表示晶圓表面上之缺陷點開始出現群聚現象，晶圓表面的缺陷點不是隨機分佈的狀況。 $CI$  值越大，則群聚現象越嚴重。

判定結果顯示晶圓表面上缺陷點呈現隨機分佈，則直接跳至步驟四進行監

控同一批量內晶圓間之變異；若晶圓表面上缺陷點不呈現隨機分佈時，則進行步驟三利用類神經網路 Fuzzy ART 進行群聚分析。

**步驟三：**利用類神經網路 Fuzzy ART 修正缺陷點數。

若晶圓表面的缺陷點不呈現隨機分佈的狀況，則利用 Fuzzy ART 以合併缺陷點的方式，進行群聚分析，找出缺陷的群聚數與群聚中心，將每一個群聚視為一個新的缺陷點，而此新缺陷點的位置即是這個群聚的中心位置，再回到步驟二，計算修正後缺陷點的  $CI$  值，直到晶圓表面的修正後缺陷點數符合隨機分佈的狀況才停止。接下來進行監控同一批量晶圓間和不同批量間的變異。

**步驟四：**監控同一批量內晶圓間之變異，作法如下：

1. 計算每一批量中抽出兩片晶圓之預估良率， $\text{預估良率} = \text{完整之晶片數} / \text{晶圓上切割的晶片總數}$ 。
2. 利用統計假設檢定中兩母體比例  $Z$  檢定，檢定同一批量內所抽測出的兩片晶圓間的良率是否有明顯的差異，推測晶圓間是否有變異發生。一旦同一批量晶圓間的缺陷點有明顯之差異，則找出使製程產生變異的非機遇原因。
3. 晶圓間並無變異情況發生，則進行步驟六監控不同批量間的變異。

**步驟五：**監控不同批量間之變異，作法如下：

1. 計算每批量抽出兩片晶圓修正缺陷點數之平均值。
2. 利用修正缺陷點數之平均值，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，若不同批量之晶圓缺陷點有明顯的差異，則找出使製程產生變異之非機遇原因。
3. 若缺陷點無明顯差異，則所建構管制流程可作為日後測試晶圓缺陷點變異之管制依據。本研究所發展之晶圓缺陷點變異來源管制流程如圖 3.1 所示。



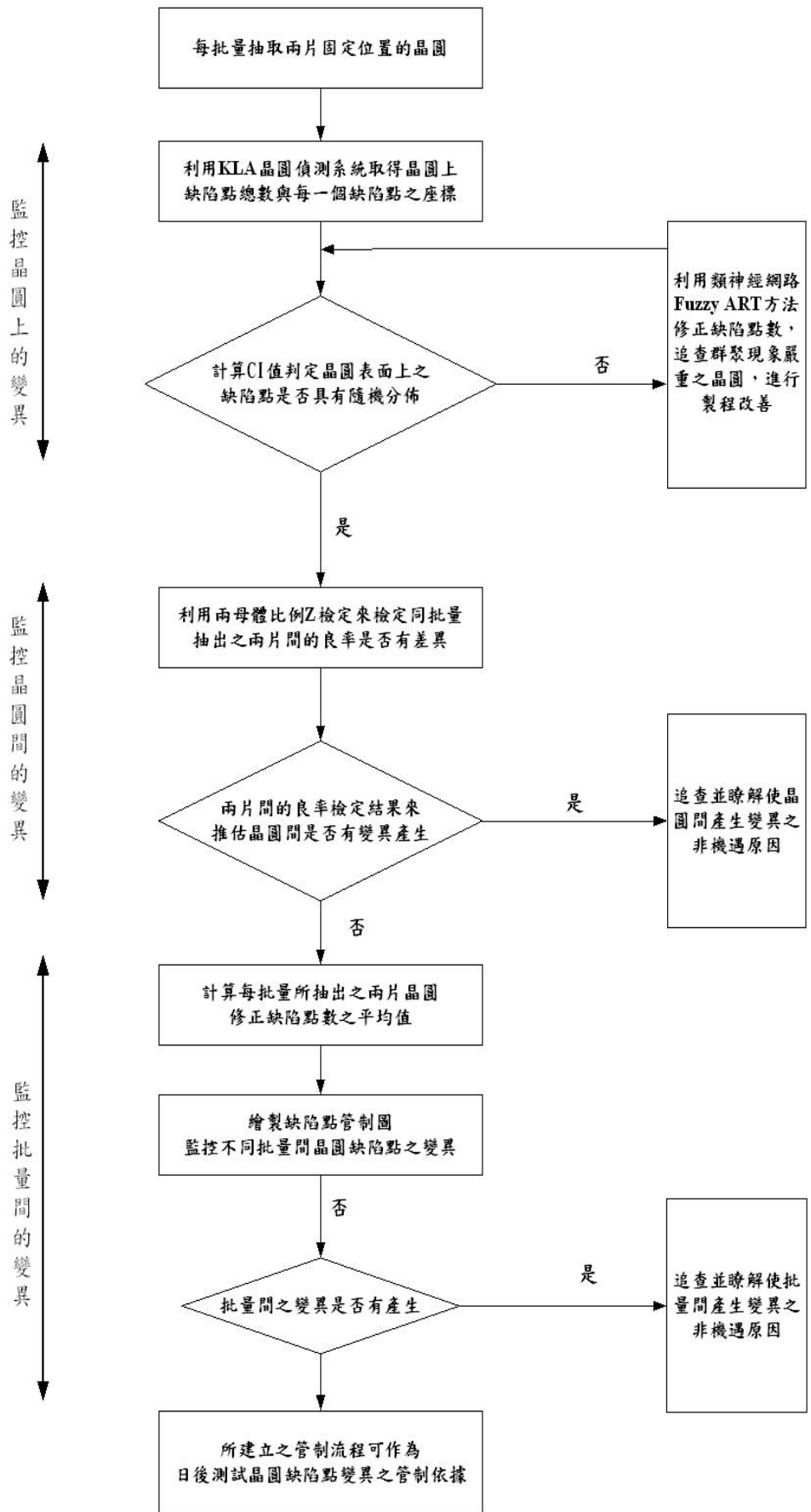


圖 3.1 晶圓缺陷點變異管制圖之流程

## 第四章 模擬驗證與實例分析

由於積體電路公司之 8 吋晶圓資料全屬機密，不易取得，因此本研究模擬 8 吋晶圓缺陷點資料來說明如何建構，本研究之晶圓缺陷點變異來源之流程。晶圓廠因成本的考量，所以每一批量最多抽取兩片固定位置的晶圓。本研究利用 Matlab 軟體來模擬 8 吋晶圓缺陷點數據，一共模擬三十批晶圓，每一批共有 25 片晶圓，在每一批次中抽取第五、第十五片晶圓。設定每片 8 吋晶圓可切割成 396 個晶方。

在此模擬的數據中，一共包含 60 片晶圓之晶圓偵測圖(wafer map)、缺陷點總數、缺陷點座標。

### 4.1 模擬驗證

#### 案例一：模擬同一批量內晶圓間的變異

本案例模擬在同一批量內晶圓間有變異發生的狀況。指定在第五批次中，編號為 9、10 這兩片晶圓間有嚴重變異，利用本研究方法進行模擬驗證。

#### 步驟一：收集模擬實驗的數據

由模擬得到 60 筆晶圓之缺陷點總數與晶圓表面上每個缺陷點的座標，如表 4.1 及表 4.2 所示。

#### 步驟二：進行晶圓表面缺陷點隨機性檢定。

計算每片晶圓的群聚指標  $CI$  值，並檢測模擬之 60 片晶圓表面的缺陷點是否呈隨機分佈狀況。得知結果如表 4.3 所示。

當  $CI$  值大於 1 時，表示晶圓表面的缺陷點開始出現群聚現象，晶圓表面的缺陷點不是隨機分佈的狀況。

表 4.1 模擬案例一之 60 片晶圓表面上缺陷點數

No.	缺陷點	No.		No.	缺陷點
1	48	6	...	56	53
2	29	7		57	42
3	45	8		58	54
4	39	9		59	43
5	54	10		60	45

表 4.2 第一片晶圓表面之缺陷點數絕對座標 (案例一)

缺陷點	絕對座標 X	絕對座標 Y (μm)
1	449968	252509
2	665105	602635
3	697840	395161
⋮	⋮	⋮
47	332332	933358
48	936050	217761

### 步驟三：利用類神經網路 Fuzzy ART 方法修正缺陷點數

若晶圓表面的缺陷點不是隨機分佈狀況時，則利用 Fuzzy ART 的方法合併缺陷點，以合併缺陷點的方式，使晶圓上的缺陷點呈隨機分佈。以第 5 片晶圓為例，在這片晶圓表面上共有 54 個缺陷點，如同圖 4.1 所示，可以看出明顯的缺陷點群聚現象。

當計算  $CI$  值來判定晶圓表面的缺陷點是否呈隨機分佈，其  $CI$  值為  $1.0911 > 1$  有群聚現象發生，則表示晶圓表面的缺陷點不呈隨機分佈狀況，必須對這片晶圓做群聚分析，使用類神經網路 Fuzzy ART 的方法來合併缺陷點數，合併後的修正缺陷點數為 38 個。

再一次計算晶圓的  $CI$  值，其  $CI$  值為  $0.8714 < 1$  沒有群聚現象發生，經過群聚分析後，晶圓表面的修正缺陷點數呈隨機分佈。

將所模擬之 60 片晶圓，計算每片晶圓的  $CI$  值來判定晶圓表面缺陷點是否呈隨機分佈，直到每一片晶圓表面的缺陷點皆呈隨機分佈，再進行步驟四監控同一批量內晶圓間的變異。

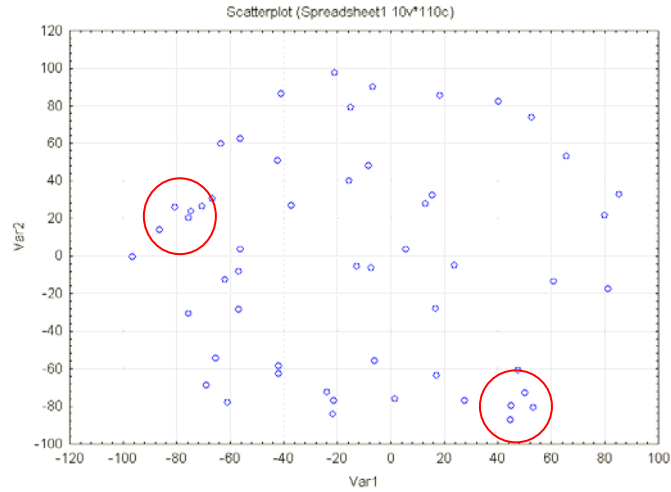


圖 4.1 第五片晶圓偵測圖 (案例一)

表 4.3 晶圓表面上缺陷點群聚分析後結果 (案例一)

No.	缺陷點	$CI$ 值	修正缺陷點數	分析後 $CI$ 值
1	48	0.8873	Random	
2	29	1.1825	27	0.935
3	45	0.9028	Random	
4	39	0.9688	Random	
5	54	1.0911	38	0.8714
6	58	0.9128	Random	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

在類神經網路 Fuzzy ART 中，共有三個主要參數，分別為選擇參數( $\alpha$ )、學習速率參數( $\beta$ )、警戒值參數( $\rho$ )，由於不同的參數設定，會導致不同的結果，經過一連串的網路訓練，結果發現學習速率參數與選擇參數對分群結果並沒有影響，但警戒值參數越高，對分群結果越好，其中三個參數的範圍為  $\alpha > 0, \beta \in [0,1], \rho \in [0,1]$ ，本研究中因使用快速學習的方式，所以學習參數( $\beta$ )設為 1，選擇參數( $\alpha$ )和警戒值( $\rho$ )分別為 0.01 與 0.95，來進行類神經網路 Fuzzy ART 網路運算。

**步驟四：**監控同一批量內晶圓間的變異。

計算每片晶圓的預估良率值如表 4.4 所示，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，以此結果來推測同一批量晶圓間是否有變異產生。本研究設定每一片晶圓一共可切割 396 個晶片，設定顯著水準( $\alpha=0.01$ )進行兩母體比例 Z 檢定，當(Z 值 $>2.575$  或 Z 值 $<-2.575$ )表示晶圓間良率有顯著差異，則推測晶圓間有變異發生。

本研究模擬 8 吋晶圓，同一批量中抽出兩片晶圓，進行兩母體比例 Z 檢定；如表 4.5 所示。由表 4.5 可知，第 5 批 Z 值為  $2.6372 > 2.575$ ，即表示第五批有顯著的差異，顯示第 9 片、10 片的良率有顯著的差異，即推測第 5 批的晶圓間有變異發生。

工程人員可以針對發生問題的批次，找出產生變異的非機遇原因進行改善。此模擬的結果與假設的情況一致，證明本管制流程能有效偵測晶圓間的變異。



表 4.4 晶圓預估良率 (案例一)

晶圓編號	預估良率	晶圓編號	預估良率
1	0.9517	31	0.9509
2	0.967	32	0.9619
3	0.951	33	0.95
4	0.9585	34	0.9543
5	0.9466	35	0.9679
6	0.9441	36	0.952
7	0.95	37	0.9747
8	0.9271	38	0.9611
⋮	⋮	⋮	⋮

表 4.5 晶圓良率檢定 Z 值 (案例一)

批號	Z 值	批號	Z 值	批號	Z 值
1	-1.0902	11	-0.7314	21	0.4028
2	-0.5077	12	-0.013	22	-0.2991
3	0.1548	13	0.5609	23	-1.1565
4	1.3418	14	-0.4965	24	-0.6873
5	<b>2.6372</b>	15	0.6745	25	-0.44
6	0.3826	16	-0.759	26	-0.9443
7	-0.1224	17	-0.2835	27	0.6998
8	-0.4321	18	1.141	28	-0.1064
9	-1.5107	19	1.0857	29	0.3922
10	0.1575	20	-1.2237	30	-0.6809

## 案例二：模擬不同批量間變異存在

本案例模擬不同批量間產生變異的情況，但同一批量內晶圓間缺陷點並無變異情況發生。指定第 13 批次中，編號第 25、26 這兩片晶圓進行模擬驗證，當批量間有變異發生表示整批的晶圓品質失控。由模擬得到六十筆晶圓的總缺陷點數，每個缺陷點座標，如表 4.6 所示。

表 4.6 模擬案例二之 60 片晶圓表面上缺陷點數

No.	缺陷點	No.		No.	缺陷點
1	36	6	...	56	82
2	55	7		57	34
3	48	8		58	53
4	46	9		59	56
5	47	10		60	48

按照本研究提出的缺陷點變異來源之管制流程步驟進行，直到 60 片晶圓表面缺陷點呈隨機分佈，接著進行步驟四，監控同一批量內晶圓間之變異。

**步驟四：監控同一批量內晶圓間的變異。**

計算 60 片晶圓的預估良率，並進行兩母體比例 Z 檢定，如表 4.7 所示。

表 4.7 晶圓良率檢定 Z 值 (案例二)

批號	Z 值	批號	Z 值	批號	Z 值
1	0.851	11	-0.9305	21	0.2212
2	0.6285	12	-0.9522	22	-1.6875
3	0.67	13	0.1321	23	0.9402
4	-0.4955	14	-0.2353	24	-2.662
5	-0.7876	15	0.2488	25	0.8138
6	-0.6482	16	0.1321	26	0.12
7	-0.1224	17	0.3267	27	0.7015
8	0.9824	18	-0.6926	28	-0.6754
9	0.6855	19	0.2979	29	1.8531
10	-0.8853	20	0.4368	30	-0.429

由表 4.7 可知，各批量內 Z 值，並無 Z 值 $>2.575$  或 Z 值 $<-2.575$  情形發生，表示在同一批量內晶圓間並無變異產生，接下來進行步驟五監控不同批量間之變異。

#### 步驟五：監控不同批量間之變異

計算每批量抽出兩片晶圓修正缺陷點數之平均值，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 4.8 為 30 批中修正缺陷點數平均值，並繪製缺陷點管制圖監控不同批量間是否有變異發生。

表 4.8 30 批中修正缺陷點數平均值 (案例二)

批次	修正缺陷點數 平均值	批次	修正缺陷點數 平均值	批次	修正缺陷點 數平均值
1	36.5	11	38	21	36
2	37.5	12	33.5	22	25.5
3	39.5	13	58	23	29
4	23.5	14	31.5	24	39
5	37.5	15	48	25	24.5
6	40	16	29	26	36
7	27	17	38.5	27	27
8	26.5	18	40.5	28	43
9	36	19	40	29	32.5
10	34	20	33.5	30	32

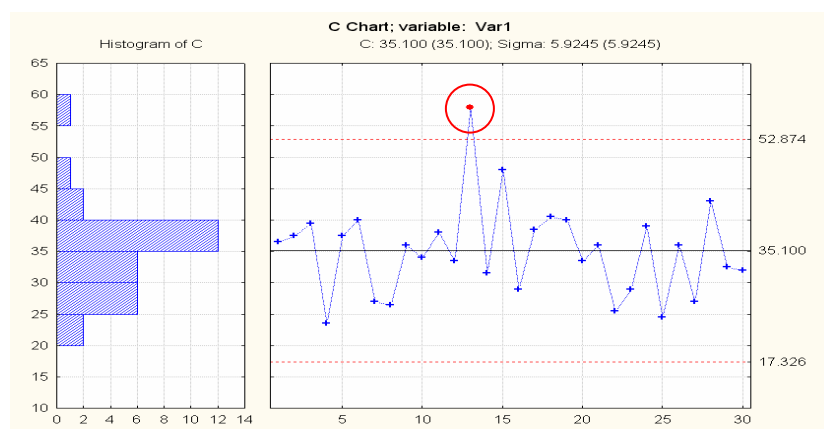


圖 4.2 修正缺陷點數平均值之缺陷點管制圖 (案例二)



由圖 4.2 可知，第 13 批次超出管制上限，表示第 13 批中晶圓缺陷點失控，顯示不同批量間有變異發生，則整個第 13 批內晶圓品質失控。工程人員可以針對發生問題的批次，找出非機遇原因以進行制程改善。此模擬的結果與假設的情況一致，所以證明本管制流程能有效偵測到批量間的變異。

## 4.2 實例分析

本研究之實例驗證資料，是由新竹科學園區某家晶圓廠所提供。資料經過第二層金屬蝕刻(Metal 2Etch)加工後，利用 KLA 晶圓偵測儀器得到 30 批晶圓座標圖，本研究由每批中抽取第 5、15 兩片，一共得 60 片晶圓，其中每片晶圓切割成 396 個晶方，資料如下表 4.9 所示。

**步驟一：**蒐集實驗的數據

表 4.9 實例分析之 60 片晶圓表面上缺陷點數

No.	缺陷點	No.	No.	缺陷點
1	9	6	56	36
2	68	7	57	66
3	24	8	58	103
4	19	9	59	79
5	21	10	60	47

**步驟二：**進行晶圓表面上缺陷點隨機性檢定。

計算每片晶圓的  $CI$  值，檢測 60 片晶圓表面的缺陷點是否呈隨機分佈狀況。

**步驟三：**利用類神經網路 Fuzzy ART 方法修正缺陷點

若晶圓表面的缺陷點不是隨機分佈狀況時，則利用 Fuzzy ART 的方法合併缺陷點數，以合併缺陷點的方式，使晶圓表面的修正缺陷點數呈隨機分佈。

**步驟四：**監控同一批量內晶圓間的變異。

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，以此結果來推測同一批量晶圓間是否有變異產生。

利用本研究方法得分析結果如下。計算每片晶圓的預估良率值，進行兩母體比例 Z 檢定，以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。Z 檢定統計量結果如表 4.10 所示。

表 4.10 晶圓良率檢定 Z 值

批號	Z 值	批號	Z 值
1	2.266	16	-0.853
2	-0.401	17	-1.419
3	1.946	18	-0.884
4	-1.942	19	<b>3.003</b>
5	0.531	20	0
6	-0.658	21	-1.447
7	-0.442	22	0
8	-0.721	23	0
9	-0.721	24	0.349
10	-0.299	25	-0.461
11	-0.357	26	<b>4.892</b>
12	0.672	27	1.15
13	-1.655	28	<b>-2.832</b>
14	-0.28	29	-2.512
15	<b>-2.702</b>	30	1.392

由表 4.10 得知，第 19、26 批中的 Z 值大於臨界值 2.57 與第 15、28 批小於臨界值-2.57，則可斷定這四批中晶圓間的良率有顯著的差異，顯示在第 15、19、26、28 批的晶圓間發生變異，工程人員可以針對發生問題的批次，找出非機遇原因進行改善。

此實例證實，利用本研究所提出的缺陷點變異來源之管制流程，可有效地偵測出哪些批次內晶圓間出現變異，證明本管制流程能實際有效管制品圓製程中變異來源。



## 第五章 結論

晶圓品質成為積體電路產業擁有市場競爭優勢的重要因素。在晶圓製造過程中，製程的穩定又是影響晶圓品質的一個重要因素，然而複雜的晶圓製程中，晶圓品質包含了許多變異來源，除了晶圓表面的缺陷點群聚現象造成晶圓上之變異外，尚有同一批量內晶圓間之變異以及不同批量間之變異，因此在監控晶圓製造的過程中，若不能清楚地辨認晶圓製程中的變異來源，則無法有效地提昇晶圓品質。

本研究以模擬八吋晶圓缺陷點數的資料和新竹科學園區某積體電路公司所提供的資料來驗證本研究提出的缺陷點變異來源之流程的可行性及有效性，經模擬及實例驗證，顯示確實能有效找出變異來源，藉由本研究所提出的缺陷點變異來源之流程，現場工程人員可以即時找出影響製程的非機遇原因，進行製程改善以降低成本。

現將本研究所建構缺陷點變異來源之管制流程的貢獻彙整如下：

1. 利用本研究缺陷點變異來源之管制流程，可以清楚地知道晶圓品質變異來源是發生在晶圓間或批量間。一般而言；產生晶圓間變異的非機遇原因是由溫度、壓力、酸鹼值的差異所造成，而產生批量間變異的非機遇原因是由機台間的差異所造成。
2. 本研究所建構之管制流程，經過模擬及實例驗證結果可知，不論晶圓尺寸大小，皆可使用本研究所提出缺陷點變異來源之管制流程來偵測晶圓製程變異之來源。
3. 利用晶圓表面缺陷點當作品質特性進行變異來源管制之中外文獻相當罕見，本研究提出缺陷點變異來源之管制流程，寫成程式後可供製程工程師更有效的做好線上晶圓缺陷點管制工作。

## 參考文獻

- [1] 曾乙弘，『積體電路生產線上考慮缺陷群聚現象的製程管制圖』，國立交通大學工業工程學系碩士論文，1994.
- [2] 劉宗明，『積體電路生產線上利用群聚現象分析之修正缺陷點管制圖』，國立交通大學工業工程學系碩士論文，1995.
- [3] 王永慶，『積體電路生產線上利用類神經網路方法修正缺陷群聚現象之管制圖』，國立交通大學工業工程學系碩士論文，1996.
- [4] 林沅洸，『積體電路製程中考慮多種變異來源之缺陷數管制流程』，國立交通大學工業工程學系碩士論文，2003.
- [5] Burke, L., and Kamal, S., “Neural Networks and the Part Family/Machine Group Formation Problem in Cellular Manufacturing: A Framework Using Fuzzy ART”, *Journal of Manufacturing System*, Vol. 14, No. 3, pp. 148-159, 1995.
- [6] Carpenter, G. A., Grossberg, S., and Rosen, D. B., “Fuzzy ART: Faster Stable Learning and Categorization of Analog Patterns by an Adaptive Resonance System”, *Neural Network*, Vol. 4, pp.759-771, 1991.
- [7] Cunningham, J. A., ”The Use and Evaluation of Yield Models in Integrated Circuit Manufacturing.”, *IEEE Trans. on Semiconductor Manufacturing*, Vol. 3, No.2, pp.60-71, 1990.
- [8] Friedman, D. J., Hansen, M. H., N. and James, D. A., “Model-Free Semiconductor of Defect Clustering in Integrated Circuit Fabrication”, *IEEE Trans. on Semiconductor Manufacturing*, Vol. 10, No. 3, pp. 344-359, 1997.
- [9] Gan, F. F., “Monitoring Poisson Observation Using Modified Exponentially Weighted Moving Average Control Charts”, *Communications in Statistics-Simulation and Computation 19*, pp. 103-124, 1990.
- [10] 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*, Vol. 39, pp. 451-456, 1999.

[11] Kim, K. S. and Yum, B. J., “Control Charts for Random and Fixed Components of variation in the case Fixed Wafer Location and Measurement Positions” *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, Vol.12, No.2, 1999.

[12] L. I. Tong, W. I. Lee, C. T. Su, “Using a Neural Network-Based Approach to Predict the Wafer Yield in Integrated Circuit Manufacturing”, *IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology*, Vol. 20, No.4, October, 1997.

[13] Nurani, R. K. and Shanthikumar, J. G., “The Impact of Lot-to-lot and Wafer-to-wafer Variations on SPC”, *Semiconductor Manufacturing Conference Proceedings*, 1997 IEEE International Symposium on ,6-8 Oct 1997, pp. 69-72, 1997.

[14] Stapper, C. H., “The Effects of Wafer to Wafer Density Variations on Integrated Circuit Defect and Fault Density”, *IBM Journal of Research development*, Vol. 29, pp. 87-97, 1985.

[15] Tyagi, A., and Bayoumi, A. M., ” Defect Clustering Viewed Through Generalized Poisson Distribution.”, *IEEE Trans. on Semiconductor Manufacturing*, Vol. 5, No.3, pp.196-206, 1992.

[16] Wells, S. W., and Smith, J. D., “Making Control Chart Work For You”, *Semiconductor International*, 1991.