

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

## 子計畫三:以製程改善為目標之晶圓廠線上資料探勘與知識 管理技術(1/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC91-2213-E-009-089-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立交通大學工業工程與管理學系

計畫主持人：唐麗英

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

中 華 民 國 92 年 5 月 29 日

# 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫

成果報告  
 期中進度報告

半導體製造之資料探勘技術與知識網絡建立—

以製程改善為目標之晶圓廠線上資料探勘與知識管理技術

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC 91-2213-E-009-089-

執行期間：91年8月1日至92年7月31日

計畫主持人：唐麗英

計畫參與人員：許志瑋、陳佩嵐、陳玉嬌、王敏嘉

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告  完整報告

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年  二年後可公開查詢

執行單位：國立交通大學工業工程與管理學系

中華民國 92年 5月 23日

## 中文摘要

本研究為「半導體製造之資料探勘技術與知識網絡建立」總計畫下之第三子計畫，內容是將資料探勘技術應用於半導體生產線上的品質監控及建立相關之線上知識網絡，以達到製程改善的目的。將半導體生產線上大量的工程資料透過有效的分析處理，轉化成有價值的資訊或知識，做為工程師解決問題的參考依據，是積體電路公司良率管理 (yield management) 中一項非常重要的議題。晶圓之良率是來衡量積體電路製造業者生產能力的一個重要指標，影響良率高低的因素很多，晶圓上缺陷點數 (defect) 的多寡及缺陷點的群聚 (clustering) 程度是其中兩項非常重要的因素。一般積體電路製造業者常用由卜瓦松 (Poisson) 分配所推導出之缺陷數管制圖 (c-chart) 來管制晶圓表面的缺陷數，以提升晶圓之良率，然而，近年來隨著晶圓面積不斷增大，使晶圓上缺陷群聚的現象也隨之嚴重，此現象違反 c-chart 的基本假設，因此造成 c-chart 出現過多的假警報 (即型 I 誤差)，而不再能用於監控大面積晶圓之缺陷點數。目前許多中外文獻雖然針對晶圓上的缺陷群聚問題提出了各種不同的群聚指標及修正的缺陷數管制圖 (modified c-chart)，然而這些群聚指標各有其不周延之處，因而導至相關之修正缺陷數管制圖亦有缺失。因此本計畫第一年的主要目的是發展出一個新的群聚指標 (稱之為  $CI_M$ )，此指標可依不同群聚之圖案有效地衡量出缺陷點群聚嚴重的程度，較現有之群聚指標更周延。經由實例及模擬八吋晶圓數據的實驗數據，可知本計畫所發展之  $CI_M$  指標有下列之優點：1.  $CI_M$  指標可以充分描述缺陷在晶圓上的相對位置，即  $CI_M$  指標比現有其它群聚指標包含了更多缺陷位置的資訊，能確實反應真實的缺陷群聚程度；2.  $CI_M$  值有均勻的範圍空間可以表達不同嚴重程度的群聚現象；3.  $CI_M$  指標無須任何統計假設，因此無統計背景的工程人員亦能夠輕易的應用  $CI_M$  指標來了解晶圓上缺陷群聚的嚴重程度。本計畫後續將根據此指標建立一多變量管制圖來同時管制晶圓上缺陷數與缺陷群聚的程度。

本子計畫分三年完成。本計畫第二年的主要工作為應用資料探勘 (data mining) 技術如：類神經網路、集群分析、主成份分析等技術修正具有群聚現象之缺點數，再將之與本計畫所發展之  $CI_M$  指標整合，繪製多變量管制圖 (multivariate control chart) 來同時監控線上製程狀況，並發展一套解析流程來追溯導至多變量管制圖失控之變因是缺陷群聚太嚴重或是缺陷數太多，或是兩者交互作用太嚴重等因素，以便即時追查及改善製程失控原因。本計畫第三年的主要工作則是根據本計畫所發展之新群聚指標及其相關之多變量管制圖，利用半導體實際八吋或十二吋晶圓資料來驗證或修正所發展之  $CI_M$  指標及多變量管制圖之可行性及有效性。最後，根據本子計畫之結果再建立半導體生產線上知識網絡並與總計畫中其他子計畫進行整合。

關鍵詞：資料探勘；晶圓；缺陷點數；群聚現象；群聚指標；多變量管制圖

## 英文摘要

【Key words】 Integrated circuits, data mining techniques, wafer, defect, defect clustering, cluster index, multivariate control chart.

Semiconductor manufacturing plays a leading role in Taiwan's high-tech industry. Adopting data mining systems and constructing knowledge networks for semiconductor manufacturing can transfer fab engineering data into valuable quality information to increase yield or upgrade management practices. This valuable information can potentially provide enterprises with a competitive edge to enhance product quality as well as reduce cycle time and manufacturing overhead costs. Two factors significantly affect the yield of integrated circuits (IC) products: the number of defects on a wafer and the extent of defect clustering. The clustering of defects on a wafer due to complex manufacturing processes becomes more evident with an increasing wafer size. Although many cluster indices have been developed to detect defect clustering, some obstacles are still encountered when using these cluster indices either to construct the control charts for defect counts or to develop yield models. As a sub-project 3 of the overall project, Data Mining System and Knowledge Network for Semiconductor Manufacturing, the first year of this three-year project intends to apply data mining techniques to improve the in-line process. A new cluster index,  $CI_M$ , is developed for describing the degree of defect clustering. The proposed cluster index,  $CI_M$ , has the following merits: **1.**  $CI_M$  does not require any assumptions on the distribution of defects, thus making it easier for engineers with little statistical background to adopt. **2.** A larger value of  $CI_M$  implies a more serious defect clustering phenomenon. **3.**  $CI_M$  index contains substantial information about the coordinates of defect locations on a wafer and reflects the actual degree of defect clustering. Simulation experiments and related Wafer defect data will be utilized to assess the performance of  $CI_M$ . Additionally, a comparison will be made with the existing cluster indices to verify that the proposed  $CI_M$  index is superior to the previous cluster indices.

This three-year study is divided into three phases. In the first year, various modified defect count control charts will be reviewed. A cluster index,  $CI_M$ , is developed and its effectiveness will be verified by simulated wafer defect data. In the second year, a multivariate control chart will be developed by integrating the  $CI_M$  value and defect counts. The decomposed procedure for identifying the cause of out of control sample points will also be developed for the multivariate control charts. In the third year, real-world wafer defect data obtained from KLA wafer inspection system will be utilized to verify the feasibility and effectiveness of  $CI_M$  index and multivariate control charts for defect counts and defect clustering. Benchmarking will also be made for  $CI_M$  index and other cluster indices. Finally, the in-line process improvement

knowledge obtained from this sub-project will be integrated with other sub-projects and knowledge networks will be constructed for semiconductor manufacturing.

## 壹、研究背景與目的

在半導體生產線上大量的工程資料中，工程師往往無法經由本身的製程專業知識及經驗就能迅速地找出製程發生異常的原因，因此，若可藉助快速且有效率的資料探勘技術，挖掘出工程資料背後可能隱藏的樣型（pattern）或關連性，工程師就可快速有效的找到製程發生異常的原因，或是縮短排除異常原因的時問，而達到提升良率的目標。

晶圓良率的高低是衡量積體電路製造業者生產能力的一個重要指標，良率的定義為一片晶方（die）上完全沒有任何缺陷點的機率。在複雜的晶圓製造過程中，有兩個重要因素會造成良率的損失，一個因素為晶圓上缺陷點數的多寡，缺陷點越多通常良率就越低，另一個因素則為晶圓上缺陷點的群聚現象。晶圓上缺陷點的群聚現象越嚴重，則缺陷點數越多良率未必就會越低，但缺陷點的群聚現象若太嚴重，也顯示製程上一定有特殊原因（assignable cause）導至此群聚現象，也應調查造成此嚴重群聚現象之原因及設法排除之。目前晶圓面積有越作越大的趨勢，隨著晶圓面積的增大，缺陷點出現群聚現象的機率就越高[8]。常見的缺陷群聚圖案有四種[4]，分別為 1.牛眼圖案（bull's eye pattern）：缺陷點集中在晶圓中心有如牛的眼睛。2.環狀圖案（edge pattern）：缺陷點散布於晶圓邊緣。3.底部圖案（bottom pattern）：缺陷點集中在晶圓底部。4.弦月圖案（crescent moon pattern）：缺陷點的群聚圖案有如月亮。而造成這些缺陷群聚圖案的原因有許多，如電路圖案設計問題、晶圓表面平坦性問題、快速退火製程問題（Rapid Thermal Anneal process）等。

由於缺陷點的群聚現象，導至以卜瓦松分配為基礎的缺陷數管制圖（c-chart）出現過多的假警報（即型 I 誤差）而不再適用。Albin 與 Friedman[1]為了降低缺陷數管制圖的假警報機率，提出複合式卜瓦松分配的尼曼 A 型分配（Neyman Type-A distribution），再根據此機率分配構建出一個修正之缺陷數管制圖。他們建議的作法雖加寬了傳統 c-chart 的管制界限，減少了假警報的發生，但卻增加了發生型 II 誤差的機率，且此修正之 c-chart 亦無法偵測出晶圓內缺陷群聚的嚴重程度。

由於缺陷數過多或群聚現象太嚴重，均表示製程失控，對製程工程師而言，兩個製程失控的原因都會影響其晶圓品質，為能同時監控缺陷數及群聚現象，曾乙弘[9]除了利用 Albin 與 Friedman 所提的方法繪製一張修正缺陷數管制圖來監控晶圓上的缺陷數外，他也應用了空間統計學中的方格法及距離法，找出衡量缺陷群聚程度的指標，並透過此群聚指標，繪製另一張管制圖來監控晶圓上缺陷群聚的嚴重程度。然而曾乙弘所建議的群聚指標有很多種，針對相同的缺陷點分佈，不同的群聚衡量指標卻會有不同的結論，這使工程人員在實際應用其方法時

相當困難。

Stapper[8]提出負二項良率模式，該模式屬於複合卜瓦松良率模式(compound Poisson yield model)的一種，其缺陷密度函數； $f(\lambda)$ 為 Gamma 機率密度函數，其良率模式可用下式表示之： $Y=1/(1+D_0A/r)^r$  其中  $D_0$  表示每單位面積上之平均缺陷數（單位：缺陷點數/cm<sup>2</sup>）， $A$  表晶片面積，而參數  $r$  則被稱為群聚參數(cluster parameter)，即缺陷在指定面積上的群聚程度。 $r$  參數使得此模式具有彈性，此值越小，表示群聚的狀況越嚴重。 $r$  值計算公式如下： $r = \bar{f}^2 / (\sigma^2 - \bar{f})$  其中  $\bar{f}$  及  $\sigma^2$  分別代表每個晶片上缺陷數的平均數和變異數，此  $r$  指標之缺點是其值過於散亂，無法有效地衡量出不同嚴重程度的群聚現象。Jun et al.[5]提出一無須任何統計假設的群聚指標（Cluster Index, CI）來衡量晶圓上缺陷的群聚程度， $CI$  值越大代表群聚現象越嚴重，並且  $CI$  值有均勻的範圍空間可以表達不同嚴重程度的群聚現象，這是  $CI$  指標優於負二項良率模式的  $\alpha$  指標的地方。然而此  $CI$  指標的缺點在於有可能發生兩片缺陷群聚程度明顯不同的晶圓，其群聚指標  $CI$  值卻相同的不合理現象。

上述文獻所提之群聚指標各有不周延處，不論將之用於修正傳統之缺陷數管制圖或構建良率模式，均易產生錯誤之結論，因此本子計畫第一年之主要目的就是發展出一新的缺陷群聚指標（本計畫稱之為  $CI_M$ ），構建此  $CI_M$  群聚指標時無須任何統計假設，且  $CI_M$  指標可充分描述缺陷在晶圓上的相對位置，能夠較現有文獻所提之群聚指標更準確的區分出不同群聚程度的缺陷分佈。

由於多變量管制圖可同時考慮到多個品質特性間之相關性，且其整體型 I 誤差機率(overall type I error)可控制在相當小的範圍內，故較分別針對個別品質特性所繪製之個別值管制圖更為正確，且所需繪之管制圖量也要少很多，成本較低，且統計上誤判機率更少。因此，本計畫第二年之工作即是利用資料探勘技術（類神經網路、集群分析及主成份分析），將所發展之群聚指標  $CI_M$  值及修正之晶圓上缺陷總數當作兩個品質特性，建立一多變量管制圖來同時管制晶圓上的缺陷數與缺陷群聚程度，以達到有效監控品質的目的。

## 貳、修正群聚指標 $CI_M$ 之構建

雖然 Jun et al.[5]所提出的群聚指標  $CI$  比曾乙弘[9]之群聚指標及負二項分佈之群聚參數  $r$  均佳，但其指標仍有缺失，現以圖 1 來說明此項缺失。圖 1 中(a)的缺陷位置為隨機分佈，(b)的缺陷位置為非隨機分佈（刮傷），由(a)與(b)可知其缺陷群聚程度明顯不同，但根據  $CI$  值的計算方式，(a)與(b)卻會出現有相同  $CI$  值的不合理現象，無法完全描述缺陷點在晶圓上的相對位置，可能會低估了真實的缺陷群聚程度。此不合理現象也引發了本計畫欲提出另一個較合理的新群聚指標的動機。因此本計畫第一年的工作是發展一個新群聚指標（ $CI_M$ ），此指標承襲了 Jun et al.所提出之群聚指標  $CI$  的精神，但可進一步改善其不合理處。

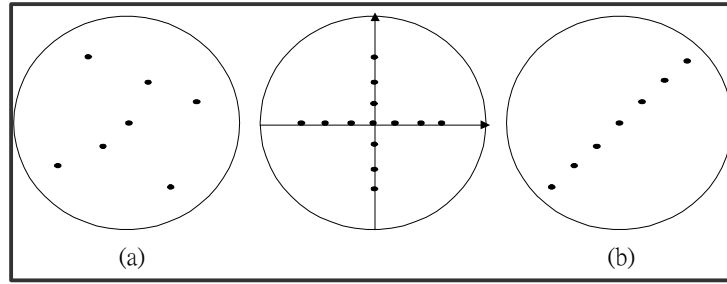


圖 1 不同缺陷分佈，但相同  $CI$  值

本計畫擬提出的新群聚指標是應用一維轉軸方法[1]，將有二維座標之缺陷點位置投影至一維新座標軸，再利用這些轉軸後新的缺陷座標來計算  $CI_M$  值。一維轉軸公式為：

$$x_1^* = \cos \theta \times x_1 + \sin \theta \times x_2$$

其中， $\theta$  為轉軸角度， $x_1$  與  $x_2$  分別為投影至  $X_1$  與  $X_2$  軸的座標， $x_1^*$  為缺陷點投影至新座標軸  $X_1^*$  的座標。

本計畫所發展之新群聚指標  $CI_M$  的作法，是將 X 軸做  $\theta$  角度的轉軸 ( $0 \leq \theta \leq 180$ )，計算每一角度下的  $CI_M$  值，並取其平均值做為新群聚指標  $CI_M$  的計算結果。因此  $CI_M$  包含了更多缺陷位置的資訊，比  $CI$  指標能更清楚的描述出缺陷點在晶圓上的相對位置，因此能更確實反應出真實的缺陷群聚程度。但依此理念所構建之  $CI_M$  指標仍有缺點，即當晶圓上缺陷點的分佈呈現環狀分佈時，轉軸後投影的結果都很相似，因而  $CI_M$  指標無法辨別此一缺陷分佈型態。針對此問題，本計畫另發展出一輔助之群聚指標  $CI_M'$ ，來補足  $CI_M$  指標在偵測環狀群聚現象方面的缺失，以使  $CI_M$  能更準確的區分出不同缺陷分佈的群聚嚴重程度。

新群聚指標  $CI_M$  及  $CI_M'$  之建立過程如下列所述：

### 階段 1：構建 $CI_M$ 指標

步驟 1：將晶圓上  $n$  個缺陷點之二維座標投影至一維  $X_i^*$  軸上，其轉軸公式為：

$$X_{i,r}^* = \cos \theta \times X_i + \sin \theta \times Y_i$$

其中， $i$  代表第  $i$  個缺陷點 ( $1 \leq i \leq n$ )， $\theta$  為轉軸角度 ( $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ )， $X_i$  與  $Y_i$  代表第  $i$  個缺陷點在 X 軸與 Y 軸上的座標， $X_{i,r}^*$  為第  $i$  個缺陷點轉軸  $\theta$  角度後的新座標。

步驟 2：在固定  $\theta$  角度下，將  $X_{i,r}^*$  做遞增排序，得  $X_{(i,r)}^*$ ， $X_{(i,r)}^*$  代表新座標軸  $X_i^*$  上排序第  $i$  小的座標值， $X_i^*$  軸上點的間距可由下式得之：

$$V_{i,r} = X_{(i,r)}^* - X_{(i-1,r)}^*，其中 X_{(0,r)}^* = 0$$

步驟 3：計算  $V_{i,r}$  的變異係數的平方， $CI_i$ ：

$$CI_r = S_{v_r}^2 / \bar{V}_r^2$$

$$\text{其中 } \bar{V}_r = \sum_{i=1}^n V_{i,r} / n ; S_{v_r}^2 = \sum_{i=1}^n (V_{i,r} - \bar{V}_r)^2 / (n-1)$$

**步驟 4:** 改變轉軸角度  $\theta$  ( $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ )， $\theta$  每次增加  $1^\circ$ ，並重複步驟 1 至步驟 3，計算不同轉軸角度的  $CI_r$  值。

**步驟 5:** 計算不同  $\theta$  值下之平均  $CI_r$  值，以  $CI_M$  表之如下：

$$CI_M = \sum_{r=0}^{180} CI_r / 180$$

## 階段 2：構建 $CI_M'$ 指標

**步驟一：** 計算晶圓上各缺陷座標與第一象限的 X 軸所成的正值夾角  $\theta_i$ ， $i=1,2,\dots,n$ ， $\theta_i = \tan^{-1}\left(\frac{Y_i}{X_i}\right)$ ， $X_i$  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，如圖二所示。

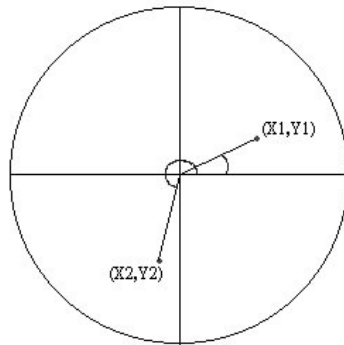


圖 2 夾角示意圖

**步驟二：** 計算  $\theta_i$  值的變異係數  $CV_\theta$

$$CV_\theta = \frac{S_\theta}{\bar{\theta}} , \text{ 其中 } \bar{\theta} = \sum_{i=1}^n \theta_i / n , S_\theta^2 = \sum_{i=1}^n (\theta_i - \bar{\theta})^2 / (n-1) .$$

**步驟三：** 計算晶圓上各缺陷座標到原點的距離  $L_i$ ， $i=1,2,\dots,n$ ， $L_i = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2}$ ，

其中  $X_i$  表第  $i$  個缺陷點的 X 軸座標， $Y_i$  表第  $i$  個缺陷點的 Y 軸座標。

**步驟四：** 計算  $L_i$  值的變異係數  $CV_L$



$$CV_L = \frac{S_L}{\bar{L}}, \text{ 其中 } \bar{L} = \sum_{i=1}^n L_i / n, S_L^2 = \sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2 / (n-1)。$$

**步驟五：**計算  $\frac{CV_{\theta}}{CV_L}$ ，以此為環狀群聚指標。

### 參、模擬驗證

本計畫模擬八吋晶圓上不同的缺陷點群聚圖樣，計算其群聚指標值  $CI_M$  與環狀群聚指標  $CI'_M$  值，並針對此兩指標應用倒傳遞網路架構兩個良率模式，藉判斷何種良率模式估計較為準確，來說明本計畫所發展群聚指標的有效性與可行性。

#### 1. 模擬實驗之設計

常見的缺陷點群聚圖案有四種[3]，分別為牛眼圖案、底部圖案、弦月圖案及環狀圖案，如第一節中所描述。本研究根據此四種缺陷群聚圖案及缺陷點為卜瓦松分配的隨機圖案，共 5 種圖案，建立一模擬實驗來模擬 8 吋(直徑：200mm)晶圓的缺陷群聚現象。本研究分別針對每一缺陷型態模擬十片晶圓，共計五十片，並分別計算每一片模擬晶圓之缺陷點總數、群聚指標  $CI_M$  值、環狀群聚指標  $CI'_M$  值與晶圓的實際良率值(實際良率定義為晶圓上完全沒有缺陷點數的晶片數占晶圓上總晶片數的比率)。計算過程是依本文中第二節所描述的步驟進行。實驗中將隨機取三十片為訓練樣本，餘二十片為測試樣本，利用倒傳遞網路架構良率模式，用以說明  $CI_M$  及  $CI'_M$  指標確實有效可行。

#### 2. 模擬實驗結果

表 1 列出二十片測試樣本分別對於兩模式的良率估計值與實際良率值。

表 1 二模式估計良率值與實際良率值

編號	缺陷總數	群聚指標 $CI_M$	環狀群聚指標 $CI'_M$	考慮缺陷點數與 $CI_M$ 之良率模式	考慮缺陷點數與 $CI_M$ 及環狀群聚指標之良率模式	實際良率	缺陷點群聚圖樣
1	280	1.1715	1.6894	0.69453	0.78074	0.7917	Random
2	284	1.2881	1.7461	0.69452	0.7929	0.7823	Random
3	281	1.287	1.867	0.69453	0.81343	0.7925	Random
4	280	1.1832	1.784	0.69453	0.79984	0.7866	Random

$\theta$	286	1.1082	1.6522	0.60452	0.77107	0.7822	Bottom
6	171	1.1005	3.4704	<b>0.70097</b>	<b>0.88301</b>	<b>0.8886</b>	Edge
7	158	1.1023	3.3576	<b>0.73204</b>	<b>0.88993</b>	<b>0.8912</b>	Edge
8	202	1.1117	3.5691	<b>0.69464</b>	<b>0.87151</b>	<b>0.875</b>	Edge
9	206	1.1018	3.4561	<b>0.6946</b>	<b>0.8715</b>	<b>0.8665</b>	Edge
10	181	6.4011	0.4486	0.71105	0.51795	0.4667	BullEye
11	182	7.5084	0.5418	0.71771	0.59552	0.4833	BullEye
12	179	7.6077	0.4651	0.73019	0.58712	0.5833	BullEye
13	180	6.3803	0.4837	0.71329	0.52886	0.5667	BullEye
14	184	12.265	0.936	0.79762	0.8888	0.8954	Bottom
15	174	11.992	0.863	0.87331	0.87691	0.8878	Bottom
16	179	13.556	0.935	0.87299	0.91628	0.8988	Bottom
17	175	10.792	0.917	0.83636	0.86016	0.8946	Bottom
18	114	2.791	2.0424	0.92784	0.93222	0.9201	Crescent
19	125	2.3781	1.7136	0.92416	0.89574	0.9124	Crescent
20	121	2.658	1.891	0.92639	0.9189	0.9116	Crescent

模擬結果顯示，考慮缺陷點數與群聚指標  $CI_M$  之良率模式之 RMSE 值為 0.07412，而考慮缺陷點數、群聚指標  $CI_M$  與  $CI_M$  之良率模式之 RMSE 值則為 0.02828。由此可知考慮  $CI_M$  指標確實有助於提升良率估計的準確性。因此，藉由良率模式的比較，可知此  $CI_M$  指標針對不同的群聚圖案可有效地偵測出其群聚的嚴重程度。

## 肆、結論及後續研究

### 1. 結論

本計畫所發展之  $CI_M$  指標與  $CI$  指標相較，具備下列之優點：

1. 本研究的群聚指標  $CI_M$  仍保有  $CI$  指標的優點，即  $CI_M$  值與群聚程度具正向關係，也就是說， $CI_M$  值越大代表群聚現象越明顯；而且， $CI_M$  值有均勻的範圍空間可以更精確地表達不同嚴重程度的群聚現象。
2.  $CI$  指標的計算僅將缺陷座標投影至 X 軸及 Y 軸上，因此會發生不同的缺陷分佈卻有相同之  $CI$  指標值的不合理現象，無法完全描述缺陷在晶圓上的相對位置，而本研究除了考慮 X 軸的  $CI_0$  值與 Y 軸的  $CI_{90}$  值，更加入了其它轉軸角度下的  $CI_\theta$  值，因此  $CI_M$  包含了更多缺陷位置的資訊，能比  $CI$  指標更清楚的描述出缺陷點在晶圓上的相對位置。
3.  $CI$  指標的計算是取  $CI_0$  值與  $CI_{90}$  值兩者的最小值做為衡量整片晶圓的缺陷群聚程度，除了缺陷相對位置資訊不足外，也可能會低估了真實的缺陷群聚程度。而  $CI_M$  指標的計算則是取  $CI_\theta$  的平均值，其中  $0 \leq \theta \leq 180$ ，除了有缺陷相對位

置資訊充足的優點外，其平均值能確實反應真實的缺陷群聚程度，因此  $CI_M$  值越大，顯示群聚現象越嚴重。

## 2. 後續研究

本計畫第一年的後續研究(92.5~92.7)是將本計畫所發展之  $CI_M$  及  $CI_M'$  與中外文獻現有的群聚指標做比較，以證明本研究所發展之群聚指標確實能偵測出群聚的嚴重程度，因此具有優越性。本計畫第二年的主要工作為應用此群聚指標發展一個多變量管制圖來同時監控線上製程狀況，並發展一套解析流程來追溯導致多變量管制圖失控之變因是缺陷群聚太嚴重或是缺陷數太多，或是兩者交互作用太嚴重等，以便即時追查及改善製程失控原因。

## 參考文獻

- [1]Albin, S. L. and Friedman, D. J., "The Impact of Clustered Defect Distributions in IC Fabrication," *Management Science*, Vol. 35, No. 9, pp. 1066-0781, 1989.
- [2]Berry, M., and Linoff, G., "Data Mining Techniques for Marketing, Sales and Customer Support," John Wiley and Sons, New York, 1997
- [3]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.
- [4]Friedman, D. J., Hansen, M. H., Nair, V. N. and James, D. A., "Model-Free Estimation of Defect Clustering in Integrated Circuit Fabrication," *IEEE Trans. on Semiconductor Manufacturing*, Vol. 10, No. 3, pp. 344-359, 1997.
- [5]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.
- [6]Rogers, A., "Statistical Analysis of Spatial Dispersion: The quadrat Method," Pion, 1974.
- [7]Sharma, S., "Applied Multivariate Techniques," Wiley, 1996.
- [8]Stapper, C. H., "Defect Density Distribution for LSI Yield Calculations," *IEEE Transactions on Electron Devices (Correspondence)*, Vol. ED-20, pp. 655-657, 1973.
- [9] 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研究所碩士論文，1994.
- [10] 陳大倫，『晶圓缺陷點群聚指標之建立』，國立交通大學工業工程研究所碩士論文，2002.