

國立交通大學  
工業工程與管理學系

碩士論文



研究生：黃國書

指導教授：彭德保 博士

中華民國九十九年六月

晶粒圖紋瑕疵之自動檢測

**Die Pattern Auto-inspection**

研 究 生：黃國書

Student: Kuo-Shu Huang

指導教授：彭德保 博士

Advisor: Dr. Der-Baau Perng



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 2010

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十九年六月

# 晶粒圖紋瑕疵之自動檢測

## Die Pattern Auto-inspection

學生：黃國書

指導教授：彭德保 博士

國立交通大學工業工程與管理學系碩士班

### 摘要

半導體產業是台灣重要的產業之一，隨著製程技術不斷提升，產品元件設計越來越精細、幾何尺寸也越來越小。然而，晶粒(Die)在製造過程中，難免因內在或外在因素導致晶粒發生瑕疵，如：(1)微粒或汙染、(2)變色、(3)護層不良、(4)護層多開/殘留、或(5)探針痕異常，部分細微的瑕疵，以人工必須透過高倍率電子顯微鏡才能有效找出，使得品質相當難以控管。

由於客戶對於產品品質要求越來越嚴格，傳統的人工目視檢測已無法符合客戶需求，因此本研究將針對半導體製程中常出現的瑕疵，利用機器視覺(Machine Vision)技術的輔助，提出一套自動化瑕疵檢測的演算法，並藉由此演算法，有效的達成(1)全數檢測、(2)高準確率，及(3)高效率的目的。

**關鍵詞：**機器視覺、晶圓檢測、瑕疵檢測

## **Die Pattern Auto-inspection**

Student : Kuo-Shu Huang

Advisor : Dr. Der-Baau Perng

Department of Industrial Engineering and Management

National Chiao Tung University

### **ABSTRACT**

Semiconductor industry is one of the major industries in Taiwan. The design of product becomes smaller and more sophisticated for advancement of manufacturing process. However, the diverse die defects, such as particles, contaminations, discoloration, abnormal passivation, or probe marks exception, might be caused due to the inevitable results in the manufacturing process. Unexpected minor defects that are hard to inspect make quality control more difficult.

As increasing strictly of quality requirements from customers, the traditional manual visual inspection can no longer meet the customers' needs. Therefore, this research focused on the above mentioned defects in semiconductor manufacturing, and proposed an auto-inspection algorithm by using machine vision. The proposed method provides over 98% accuracy, and the average inspection time is 1.5 seconds of one image.

**Keywords:** Machine Vision, Wafer Inspection, Defects Inspection

## 誌謝

衷心感謝吾師 彭德保教授兩年來給予的教導與協助，除了傳授專業的知識外，也提供充分的研究資源，幫助我能順利完成論文。在生活上，老師亦教育我在面臨問題時，應有的處理態度與系統化的思考，相信對於我往後的發展會有非常深遠的影響。感謝口試委員們不吝惜地給予寶貴意見，使本論文能更趨完善。

感謝電腦視覺研究室的夥伴們，思翰學長、竟堯學長及曉薇學姐教導我如何使用電腦視覺的相關設備與軟體，並在我實驗時給予許多建議與幫忙；晴晴同學，這兩年的研究所生涯有妳相伴，彼此為了目標而奮鬥，互相鼓勵，一切的點點滴滴，都將成為我美好的回憶。

感謝亞太優勢微系統公司，提供本研究所需要的實驗樣本，並且熱心地參與每次的討論會議，使我的研究得以順利進行。

最後感謝我最重要的家人，在我求學期間不斷地支持我、鼓勵我，讓我能專心地完成我的學業。

感謝你們與其他曾經支持過我的人，僅將這份畢業的成果與你們分享。

黃國書

於交通大學工業工程與管理學系電腦視覺研究室

民國九十九年六月

# 目錄

|                                       |          |
|---------------------------------------|----------|
| 摘要.....                               | I        |
| ABSTRACT.....                         | II       |
| 誌謝.....                               | III      |
| 目錄.....                               | IV       |
| 圖目錄.....                              | VI       |
| 表目錄.....                              | VIII     |
| <b>第一章 緒論</b> .....                   | <b>1</b> |
| 1.1 研究背景與動機.....                      | 1        |
| 1.2 研究範圍與目的.....                      | 2        |
| 1.3 研究方法.....                         | 3        |
| 1.4 論文架構.....                         | 3        |
| <b>第二章 文獻探討</b> .....                 | <b>4</b> |
| 2.1 視覺系統的基本架構.....                    | 4        |
| 2.2 晶粒表面缺陷檢測.....                     | 6        |
| 2.3 檢測方案(INSPECTION SCHEMES).....     | 8        |
| 2.4 影像處理方法.....                       | 9        |
| 2.4.1 影像平滑化(Smoothing) .....          | 9        |
| 2.4.2 影像灰階直方圖(Histogram) .....        | 9        |
| 2.4.3 RGB 色彩模式(RGB color model) ..... | 10       |
| 2.4.4 自動二值化法(Auto-thresholding).....  | 11       |

|                            |           |
|----------------------------|-----------|
| 2.4.5 形態學處理(Morphology)    | 12        |
| 2.4.6 Blob Analysis        | 13        |
| <b>第三章 研究方法設計</b>          | <b>14</b> |
| 3.1 檢測項目說明                 | 14        |
| 3.1.1 定義檢測區域               | 15        |
| 3.1.2 定義瑕疵種類               | 16        |
| 3.2 檢測演算法架構                | 17        |
| 3.2.1 訓練樣本                 | 19        |
| 3.2.2 區域分割                 | 21        |
| 3.2.3 瑕疵檢測與品質分類            | 22        |
| <b>第四章 演算法驗證與檢測結果</b>      | <b>28</b> |
| 4.1 實驗設備                   | 28        |
| 4.2 實驗參數設定                 | 28        |
| 4.2.1 參數 $\alpha_1$ 之敏感度分析 | 30        |
| 4.2.1 參數 $\alpha_2$ 之敏感度分析 | 31        |
| 4.3 實驗結果與分析                | 32        |
| <b>第五章 結論與建議</b>           | <b>37</b> |
| 5.1 結論                     | 37        |
| 5.2 後續研究與建議                | 38        |
| <b>參考文獻</b>                | <b>39</b> |

# 圖目錄

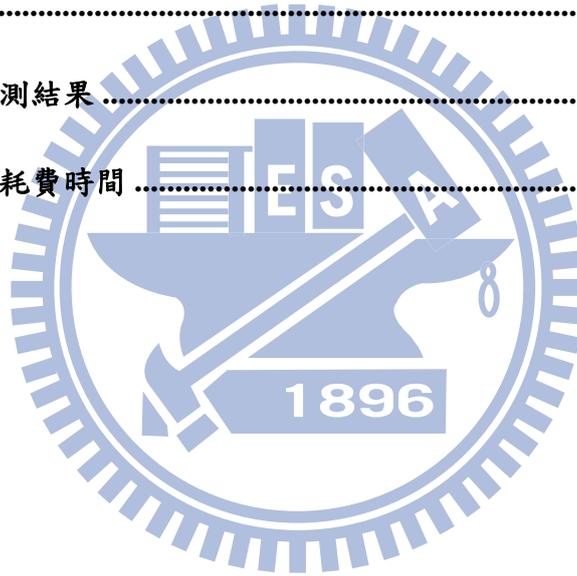
|   |    |
|---|----|
| 圖 2.1 典型的視覺系統架構 .....                             | 4  |
| 圖 2.2 常用打光技巧示意圖 .....                             | 5  |
| 圖 2.1 晶粒元件及相對圖紋區域示意圖 .....                        | 7  |
| 圖 2.2 RGB 色彩模式平面圖 .....                           | 10 |
| 圖 3.1 第二層矩形區域內之 ROI 示意圖(三角形區域為 PI) .....          | 15 |
| 圖 3.2 晶粒圖紋示意圖 .....                               | 15 |
| 圖 3.3 檢測演算法流程圖 .....                              | 17 |
| 圖 3.4 訓練樣本流程圖 .....                               | 19 |
| 圖 3.5 訓練作業流程圖 .....                               | 20 |
| 圖 3.6 區域分割流程圖 .....                               | 21 |
| 圖 3.7 MULTILEVEL THRESHOLDING 各閾值在灰階直方圖上的位置 ..... | 22 |
| 圖 3.8 瑕疵檢測與品質分類流程圖 .....                          | 23 |
| 圖 3.9 瑕疵偵測步驟示意圖 .....                             | 24 |
| 圖 3.10 (A)均勻受光的區域；(B)為(A)之灰階直方圖分佈 .....           | 24 |
| 圖 3.11 汙點瑕疵判斷決策樹 .....                            | 26 |
| 圖 3.12 變色瑕疵判斷決策樹 .....                            | 27 |
| 圖 4.1 改變參數 $\alpha_1$ 之數值的檢測結果 .....              | 30 |
| 圖 4.2 (A)原影像及漏偵測之影像、(B)正確檢測之結果影像 .....            | 30 |

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 圖 4.3 改變參數 $\alpha_2$ 之數值的檢測結果 .....  | 31 |
| 圖 4.4 (A)原影像及漏偵測之影像、(B)正確檢測結果之影像..... | 31 |
| 圖 4.5 自動檢測判定為鉀墊區汙染的影像 .....           | 33 |
| 圖 4.6 人工檢測判定為鉀墊區汙染的影像 .....           | 33 |
| 圖 4.7 (A)原始影像、(B)誤判為護層不良的檢測結果圖.....   | 34 |
| 圖 4.8 (A)原始影像、(B)誤判為探針痕異常的檢測結果圖.....  | 34 |
| 圖 4.9 人工檢測判定為底層汙染的影像 .....            | 35 |
| 圖 4.10 自動檢測漏判之鉀墊區汙染影像 .....           | 35 |



# 表目錄

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 表 1.1 晶粒圖紋各區域可能出現之瑕疵類別對應 ..... | 2  |
| 表 2.1 晶粒缺陷種類、定義與影像 .....       | 6  |
| 表 3.1 各類瑕疵定義及說明 .....          | 16 |
| 表 4.1 敏感度實驗樣本 .....            | 28 |
| 表 4.2 圖紋區域之平均灰階值與標準差 .....     | 29 |
| 表 4.2 檢測結果 .....               | 32 |
| 表 4.3 修正後的檢測結果 .....           | 36 |
| 表 5.1 處理程序與耗費時間 .....          | 37 |



# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景與動機

台灣半導體產業產值已於 2004 年突破兆元[17]，是現今產業界重要的命脈，其產品的應用層面遍及車用電子、消費性電子、工業電子等領域。隨著晶圓(Wafer)製造技術不斷地演進，晶粒(Die)上元件的精密度與複雜度不斷地提升，使得品質控管更加困難。傳統使用人工目視檢測，既費時、費力，且不同檢測人員對瑕疵的判斷也可能不一致，加上人工檢測容易因疲勞而產生錯誤判斷[8]。因此，如何以更穩健、省時的方法控管產品品質，是一個相當重要的課題。

近年來機器視覺(Machine Vision)的技術蓬勃發展，並且廣泛應用於各個領域。運用機器視覺不但可以快速達到產品分類(Classification)與製程控制(Process Control) [2]，以機器取代人力更可減少成本，並且達到自動化的目的。

晶粒在封裝前的瑕疵檢測是一道相當重要的程序，若是將有瑕疵的晶粒進行封裝，無非是造成不必要的浪費。因此，封裝前必須將不符合規格的晶粒挑出，傳統使用人工目視檢測，由於人力及工作時間的限制，多半以批次檢測(Batch inspection)為主，然而批次檢測仍然存在漏檢的疑慮，不但會使製造商名譽受損，也增加客戶購買到瑕疵產品的風險[15]。隨著客戶對產品品質要求越來越嚴格，為了提升市場競爭力，全數檢測儼然成為企業品質管制的必要條件。透過與機器視覺的結合，可輕易達成全數檢測的需求，並且降低檢測成本、提高檢測速度，進而提升產品品質。

本研究運用機器視覺的技術，開發自動化的晶粒圖紋瑕疵檢測演算法，提供穩健並且快速的晶粒品質把關。

## 1.2 研究範圍與目的

本研究探討的對象為封裝前的晶粒，晶粒經過一連串製程加工後，表面會由錫墊(Pad)、離子植入區(P+)和底層(晶粒的本體)等元件所組成，加上四周以聚醯亞胺膜(Polyimide, PI)固定，所共同構成。如此構成之晶粒可解析成包含數個幾何形狀的圖紋。在晶粒製造的過程中，難免因為人為或是外在的因素，導致晶粒圖紋上出現(1)微粒或汙染、(2)變色、(3)護層不良、(4)護層多開/殘留、或(5)探針痕異常等瑕疵；不同瑕疵可能出現在晶粒圖紋上的不同區域，整理如表 1.1 所示。

表 1.1 晶粒圖紋各區域可能出現之瑕疵類別對應

| 圖紋區域 \ 瑕疵類別 | 瑕疵類別  |    |      |             |       |
|-------------|-------|----|------|-------------|-------|
|             | 微粒或汙染 | 變色 | 護層不良 | 護層開過頭 / 開不足 | 探針痕異常 |
| 錫墊(Pad)     | ●     | ●  |      | ●           | ●     |
| 離子植入區(P+)   | ●     |    | ●    |             |       |
| 底層          | ●     | ●  | ●    |             |       |
| 聚醯亞胺膜(PI)   | ●     | ●  |      |             |       |

(灰色部分表示製程中無此缺陷或可忽略不檢測)

張元碩[18]曾針對晶粒表面缺陷建立一套自動視覺檢測系統。本研究則針對其瑕疵檢測的演算法進行改善，並以不同的晶粒圖紋進行實驗測試，最後將晶粒分類為(1)優良品、(2)規格良品和(3)不良品三種類別[18]，目標為將優良品及不良品的檢測準確率提升，降低生產者風險和消費者風險[15]，且減少檢測時間及人工成本。

### 1.3 研究方法

本研究之研究方法主要著重於軟體演算法的設計。藉由相關文獻的探討，了解表面瑕疵檢測的常用方法，並依照本研究所探討對象的晶粒圖紋樣式，設計適合的檢測演算法。

軟體演算法的設計主要分為三大部分：

- (1) 訓練標準樣本(Training)；
- (2) 檢測區域分割(Segmentation)；
- (3) 瑕疵檢測與分類(Inspection and Classification)。

### 1.4 論文架構

本論文架構的章節安排如下：第一章為緒論，簡介本研究的背景與內容；第二章為文獻探討，介紹視覺檢測的相關文獻及影像處理方法；第三章為本論文之研究方法設計，主要說明晶粒圖紋瑕疵的檢測演算法；第四章為實驗結果與分析，探討本研究設計之演算法的測試結果與分析；第五章提出本研究結論與建議。

## 第二章 文獻探討

本章節主要探討晶粒瑕疵檢測的相關文獻。首先，介紹視覺系統的基本架構；接著從張元碩[18]提出之晶粒表面缺陷檢測系統中，了解其演算法流程、各種晶粒瑕疵的定義與品質分類標準；最後，比較張元碩[18]使用的檢測方法與其他方法之優缺點，並且介紹常用的影像處理技術。

### 2.1 視覺系統的基本架構

視覺檢測系統的優勢在於與生產線結合，達到即時的自動化檢測，即使在惡劣環境或是人工無法進入的狹小區域，也可利用視覺系統完成檢測作業。視覺系統的架構，大略可分為六大單元[20]，如圖 2.1，包含：待測工件、光源、影像形成裝置、影像擷取介面卡、影像處理器、周邊及輸出裝置。

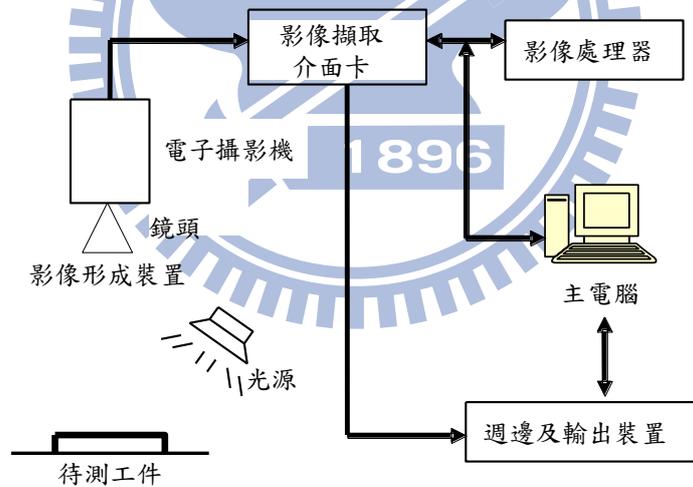


圖 2.1 典型的視覺系統架構

光源設計是視覺系統中的相當關鍵的因素，其目的是為了取得品質較好的影像，以便減少影像前處理的步驟。透過良好的光源設計，期能清楚地呈現出物體的紋路、突顯其特徵，並減少影像雜訊。常見的光源設計有以下幾種[21]，圖 2.2 為打光技巧示意圖：

- 前照式(Front lighting)：光源與 CCD 鏡頭架設在同一側，利用光反射強弱的差異，做為檢測物體表面特徵之常用照明。
- 背照式(Back lighting)：光源與 CCD 鏡頭架設在不同側，利用背照式光源設計，可強化物體輪廓線的對比度，常用於檢測邊緣瑕疵或是量測物體尺寸。
- 側照式(Side lighting)：光源置於物體側邊，光源照射方向幾乎與物體表面平行，用以突顯待測元件的幾何性質。

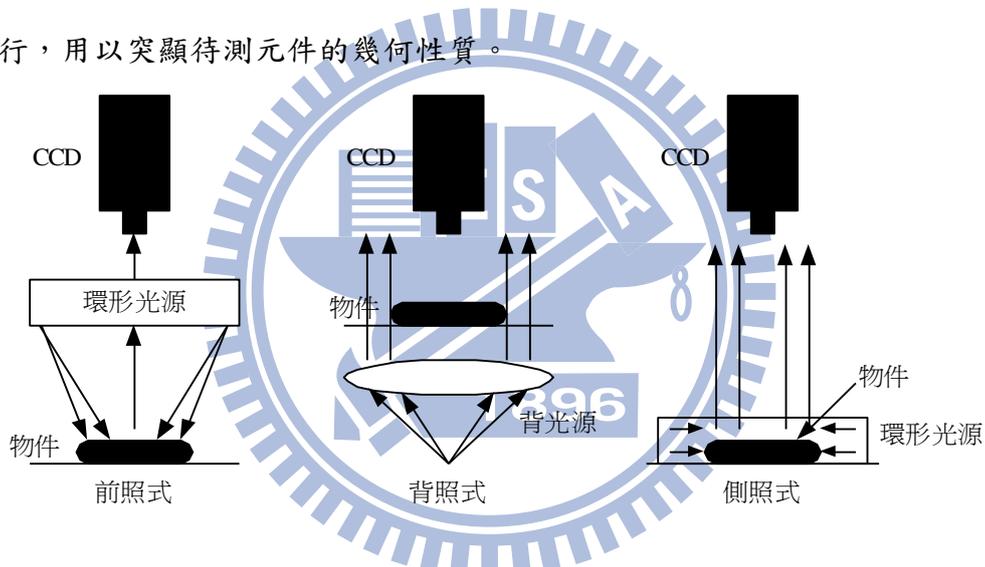


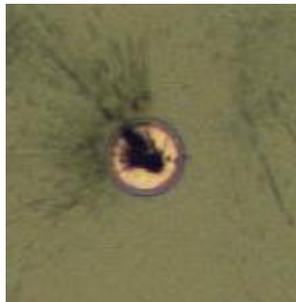
圖 2.2 常用打光技巧示意圖

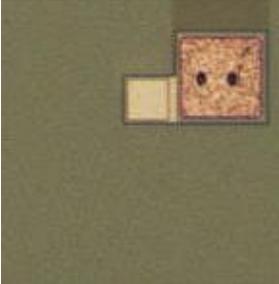
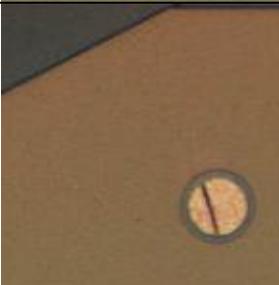
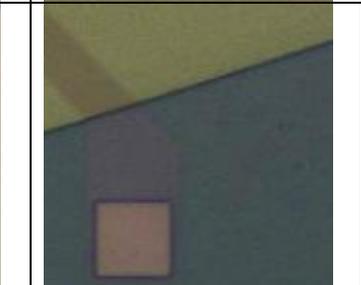
## 2.2 晶粒表面缺陷檢測

張元碩[18]針對晶粒表面缺陷檢測的研究中，將微粒或汙染、面積缺損、變色、護層不良等各項瑕疵的定義，如表 2.1 所示。軟體演算法主要分為三階段：首先利用區域成長法(Region Growing)、Otsu 法[13]和 P-tile 法[14]，針對晶粒圖紋分割出感興趣的區域(Region Of Interest, ROI)，包括 P+P-區、底層區、方形鐳墊區和圓形鐳墊區，如圖 2.1 所示；接著針對每個檢測區域使用影像相減法(Image Subtraction)找出每顆晶粒的缺陷；最後依照品質規格，將晶粒分為以下三類：

- (1) 優良品：檢測晶粒無任何缺陷；
- (2) 規格良品：檢測晶粒雖有缺陷，但其缺陷仍在品質規格範圍內，歸類為規格良品；
- (3) 不良品：檢測晶粒缺陷超過品質規格的範圍。

表 2.1 晶粒缺陷種類、定義與影像

| 缺陷種類  | 定義                 | 缺陷影像 1   | 缺陷影像 2  |
|-------|--------------------|--|---|
| 微粒或汙染 | 微粒或汙染於晶粒中任何一處      |  |  |
| 面積缺損  | 鐳墊表面，其面積缺損不得高過某一比例 |  |  |

|      |                       |  |   |
|------|-----------------------|--|---|
| 變色   | 鐳墊上不得有鋁化物；底層區其護層顏色不均勻 |  |  |
| 護層不良 | 護層破洞造成底層區下層露出         |  |  |

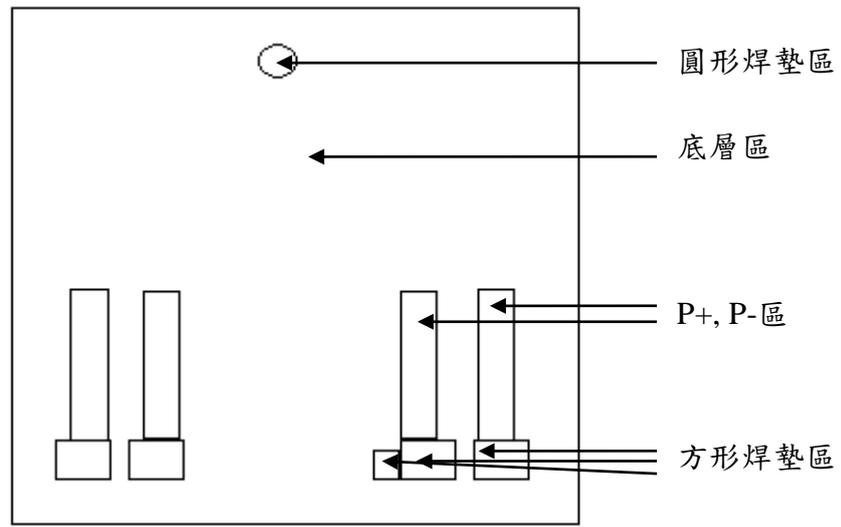


圖 2.1 晶粒元件及相對圖紋區域示意圖

## 2.3 檢測方案(Inspection schemes)

電腦視覺於工業檢測之應用，以已有許多文獻與實例[7][9][11][12][16]，Anil[10]論文中提出三種主要的檢測方案：(1)Template matching、(2)Rule-based methods、(3)Hybrid methods。Template matching 有定位準確、且穩健性高的優點，但是必須耗用大量的記憶空間以儲存樣板(Template)，也會因為樣板 Pixel-by-pixel 的比對模式而增加處理時間；Rule-based 則是利用分類規則來定義瑕疵，處理時間較快、且法則的制定彈性較大，可隨時依照需求改變規格，但在某些檢測應用上，可能會因為法則不易制定而產生阻礙。

本研究採用 Hybrid methods 的方案建置，基於 Template matching 定位準確、且穩健性高的優點，但用於瑕疵檢測又會消耗太多時間，因此利用 Template matching 於檢測區域切割，提高區域切割的準確性。Rule-based 由於彈性較大，使用者可根據不同客戶要求，修改產品品質規格，因此使用 Rule-based 為主要的檢測法則。

## 2.4 影像處理方法

為了找出待測物體的瑕疵或是影像特徵，當取像完成後必須對影像進行處理加工。下述將介紹本研究運用到的影像處理技術。

### 2.4.1 影像平滑化(Smoothing)

影像平滑化是影像處理中常用來消除雜訊的技術，由於光源環境或是機構不易達到完美境界，影像取得後常常會夾帶著部分雜訊，而雜訊若是出現在邊緣附近時，容易造成邊緣扭曲變形；若出現在其他區域，亦容易造成瑕疵偵測的誤判。因此，當進行影像分割(Segmentation)或是瑕疵偵測(Detection)時，必須增加去除雜訊的步驟[6]。

### 2.4.2 影像灰階直方圖(Histogram)

灰階直方圖是將一張影像灰階範圍介於 $[0, L-1]$ 的各像素點，以離散函數  $h(r_k) = n_k$  表示，其中  $r_k$  為第  $k$  個灰階值， $n_k$  代表影像中灰階值為  $k$  的像素點總數。藉由灰階直方圖分析，可以很清楚了解影像灰階分佈，對於區域切割有很大幫助。

李孟坤[22]、顏清居[23]等人都曾針對檢測元件，使用影像灰階直方圖分析的方法。利用直方圖計算影像灰階相關特徵，如 Pixel frequency、灰階平均值與變異數等，再以這些特徵值透過實驗設定適當的閾值將瑕疵點找出。

### 2.4.3 RGB 色彩模式(RGB color model)

色彩模式的標準有很多，常用的像是 RGB(紅、綠、藍)、HSV(色相、飽和度、明度)或是 HSL(色相、飽和度、亮度)等。由於 RGB(紅、綠、藍)色彩模式與人類的感知較為相似，加上一般人接受度較高，因此，RGB 普遍被用以做色彩的表示。

若將 24 位元編碼的 RGB 色彩模型展開至平面上，如圖 2.2，分別以 8 位元無符號的整數(0 至 255)表示紅色、綠色、藍色的強度。當 RGB 接近(0,0,0)時，色彩偏暗色或黑色，反之若 RGB 接近(255,255,255)時，則色彩偏淺色或白色。本研究基於此 RGB 色彩模式的特性，將瑕疵區域定義為「汙點」或「變色」。

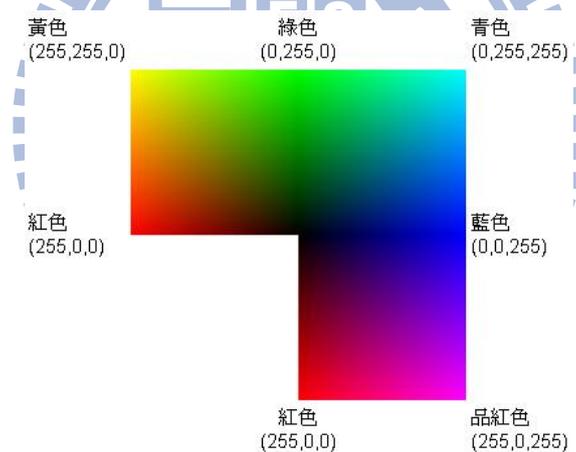


圖 2.2 RGB 色彩模式平面圖

(資料來源: 維基百科 <http://zh.wikipedia.org/zh-tw/RGB>)

#### 2.4.4 自動二值化法(Auto-thresholding)

自動二值化法為利用影像特性，自動產生二值化閾值的方法。常見的有 Otsu 法[13]、固定百分率法(P-tile)[14]。其中 Otsu 法為利用機率統計的原理，找出使群組間變異最大，且群組內變異最小的閾值，利用此閾值做為分割影像的依據；而 P-tile 法則是利用已知目標區域在影像中所佔的比例，使用固定比例分割影像。

Elmabrouk 與 Aggoun[1]利用影像灰階直方圖中，背景群組的高峰灰階值與邊緣群組的高峰灰階值，取此兩灰階值之平均為閾值，將無明顯交集的邊緣(Edge)與非邊緣區域切割出來。

Muhammad 與 Tae-Sun[4]提出 Local thresholding 的概念於邊緣偵測作業，以每張子影像的灰階值平均減去固定常數  $c$  做為閾值，則可分割出可能為邊緣的區域。陳宗達[19]亦使用固定百分率法，以影像灰階值中位數加上固定值  $\alpha$ ，做為二值化閾值，將過暗及過亮的瑕疵點找出。

本研究考慮到檢測影像在各個檢測區域，通常具有「組間變異程度最大和組內變異程度最小」的特性，故利用 Otsu 的多臨界值法(Multilevel thresholding)做為分割各個檢測區域的方法。但是單一檢測區域由於灰階分佈較均勻，不適用 Otsu 法，因此使用 P-tile 法做為偵測瑕疵的方法。

與張元碩[18]使用影像相減(Image Subtraction)檢測法相比較，影像相減法透過待測影像與標準參考影像 Pixel-by-pixel 相減，突顯影像瑕疵的區域，此方法較為簡單、快速，但兩張相減的影像存在對準(Alignment)、大小(Size)及旋轉(Rotate)的問題，若無法解決上述的問題，則影像相減法將無法有效的運作。

### 2.4.5 形態學處理(Morphology)

形態學運算[5]分為：膨脹(Dilation)、侵蝕(Erosion)、斷開(Opening)與閉合(Closing)等。膨脹運算是將影像中的區域向四周放大的處理方法，侵蝕運算則是將影像中的區域向內縮小的處理方法。若以 $f(x, y)$ 代表輸入的灰階影像， $b(s, t)$ 為形態學處理的結構元素， $D_f$ 和 $D_b$ 分別為 $f$ 與 $b$ 的定義域，膨脹與侵蝕運算可由式(2-1)、式(2-2)表示。

$$(f \oplus b)(x, y) = \max \{ f(x-s, y-t) + b(s, t) \mid (x-s), (y-t) \in D_f; (s, t) \in D_b \} \quad (2-1)$$

$$(f \ominus b)(x, y) = \min \{ f(x-s, y-t) + b(s, t) \mid (x-s), (y-t) \in D_f; (s, t) \in D_b \} \quad (2-2)$$

斷開為先對影像做侵蝕運算，再做膨脹運算，其功用為去除影像中的雜訊小點、打斷窄的細頸或除去銳鋒；而閉合則是先對影像做膨脹運算，再對影像做侵蝕運算，功用是將區域的小缺口填滿，使邊緣輪廓更光滑，或是將斷線接合起來。斷開與閉合可由式(2-3)、式(2-4)表示。

$$f \circ b = (f \ominus b) \oplus b \quad (2-3)$$

$$f \bullet b = (f \oplus b) \ominus b \quad (2-4)$$

## 2.4.6 Blob Analysis

所謂 blob 為影像中具有同樣性質的像素點，相鄰或接觸後連結而成的區域或面積。而 Blob Analysis 則是針對每個 blob 進行分析，並且萃取其特徵值，包含：平均灰階值、面積、位置等等資訊，最後根據特徵值篩選出需要的 blob。下列為 Blob Analysis 常用的基本步驟[3]：

- (1) 盡可能去除影像中的雜訊，取得最佳影像。
- (2) 進行影像分割，讓背景與 blobs、及 blobs 與 blobs 之間清楚分離。通常利用二值化方法將背景之灰階值設為 0，而將 blob 之灰階值設為 1。
- (3) 配合形態學處理的方法，強化 blob 形狀的完整性，並去除 blobs 之間的雜訊。
- (4) 設定條件進行 blob 篩選作業，將需要的 blob 留下，不需要的則去除。
- (5) 計算指定的特徵並分析結果。



## 第三章 研究方法設計

本研究主要針對封裝前的晶粒，建立自動化的圖紋瑕疵檢測。晶粒封裝前會先以自動取像機台進行取像，再針對該影像判斷是否有瑕疵；而本研究之目的就是開發自動化的晶粒圖紋瑕疵檢測演算法，將原本人工判斷的工作，改以機器取代，提供更穩健及快速的品質把關。

本章節將會介紹晶粒圖紋瑕疵的檢測項目，包含定義檢測區域和瑕疵種類；並且說明檢測演算法的流程架構，依序為訓練樣本(Training)、區域分割(Segmentation)和瑕疵檢測與品質分類(Inspection and Classification)三階段。

### 3.1 檢測項目說明



晶粒圖紋是由於晶粒經過一連串製程加工後，建構出不同功能的區域。而在製造過程中常會因人為或外在因素，導致晶粒產生瑕疵，這些有瑕疵的產品必須在出貨前篩選出來，一來是避免不良品流入客戶手中；二來是將瑕疵發生位置或瑕疵種類的統計資料，回饋到製造程序中，將容易造成產品瑕疵的工作站加以修改，降低產品再發生瑕疵的機率。

因此，本研究之檢測演算法將針對不同檢測區域，找出區域內各種瑕疵，最後將晶粒依照品質規格分類，達到自動化檢測與品質分級的目的。

### 3.1.1 定義檢測區域

半導體製造廠商利用自動取像機台，分別取得晶圓上個別晶粒的彩色影像，然而本研究感興趣的區域(Region of Interest, ROI)，並非個別晶粒的整張影像，而是影像中晶粒及聚醯亞胺膜(Polyimide, PI)所構成的最小包覆矩形區域，如圖 3.1 所示，重新定義的 ROI 會比原先整張影像的資訊量少，但卻不會失去重要的資訊，可提升演算法處理的速度和準確性。

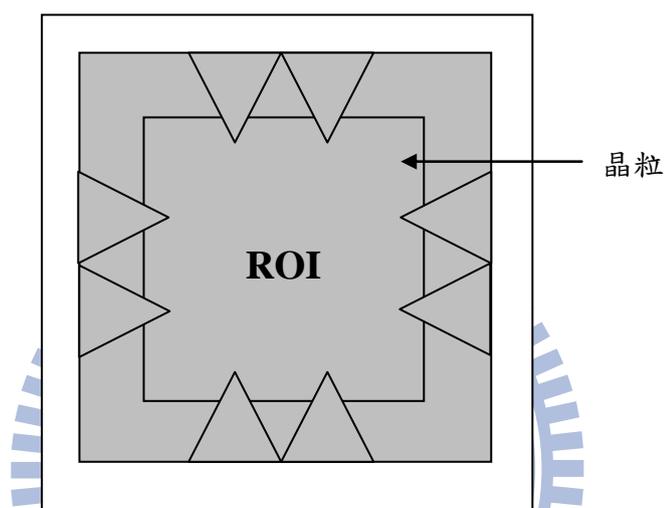


圖 3.1 第二層矩形區域內之 ROI 示意圖(三角形區域為 PI)

晶粒表面會由鉀墊(Pad)、離子植入區(P+)和底層(晶粒的本體)所組成，如圖 3.2 所示，晶粒上不同的區域元件組成數個幾何圖紋，加上聚醯亞胺膜(PI)共同構成本研究探討的檢測區域。

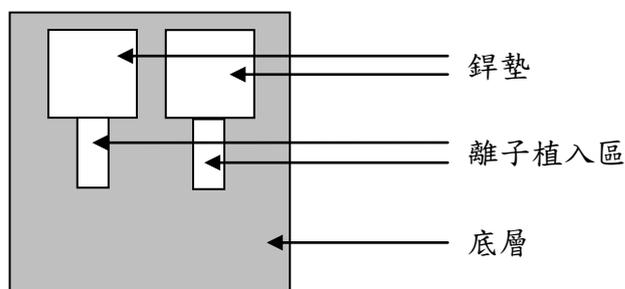


圖 3.2 晶粒圖紋示意圖

### 3.1.2 定義瑕疵種類

晶粒在製造過程中，常因人為或外在因素導致晶粒產生瑕疵，本研究針對的瑕疵種類包含：(1)微粒或汙染、(2)變色、(3)護層不良、(4)護層開過頭/開不足、(5)探針痕異常。詳細定義及說明如表 3.1。

表 3.1 各類瑕疵定義及說明

| 瑕疵種類          | 發生原因/區域  |
|---------------|--|
| 微粒或汙染         | 因微塵粒(Particle)或有機物(Organic)等雜質殘留而汙染晶粒。晶粒上「任一區域」和「PI」都會發生。  |
| 變色            | 發生於「鐳墊」、「底層」和「PI」。 <ul style="list-style-type: none"> <li>A. 鐳墊上因為鋁化物或是異物殘留導致變色；</li> <li>B. 底層是因為部分區域在蝕刻階段與化學氣體接觸時間過長，而產生厚度不均的現象，較薄的區域就會呈現較淡的色彩；</li> <li>C. PI 在固化(Curing)過程中，材料收縮也會導致色彩不均勻，若是PI收縮異常，將會使各個PI的平均施力不同，無法牢牢地固定住晶粒，嚴重的話可能導致晶粒在輸送途中翻覆。</li> </ul> |
| 護層不良          | 鍍膜的過程中，晶粒表面因為殘留微塵粒，使該處沒有鍍到膜，導致護層破洞而下層底材露出的現象。發生於「底層」和「離子植入區」。  |
| 護層開過頭/<br>開不足 | 當鍍膜工作完成後，護層會均勻覆蓋在晶粒表面，而在「鐳墊」區必須利用微影技術，將鐳墊上的護層移除，以利後續打線(Wire-bonding)的作業。護層開過頭或是開不足都視為瑕疵。   |
| 探針痕異常         | 製造過程中，須利用探針測試鐳墊的電阻，檢驗鐳墊的功能是否正常。探針痕若是過長，可能為其他汙染物所造成；若鐳墊上無探針痕，則可能是漏測，無法確保鐳墊功能是否正常。   |

### 3.2 檢測演算法架構

本研究之演算法架構主要由三者構成，分別為：(1)訓練樣本(Training)、(2)區域分割(Segmentation)和(3)瑕疵檢測與品質分類(Inspection and Classification)。完整流程圖如圖 3.3 所示。

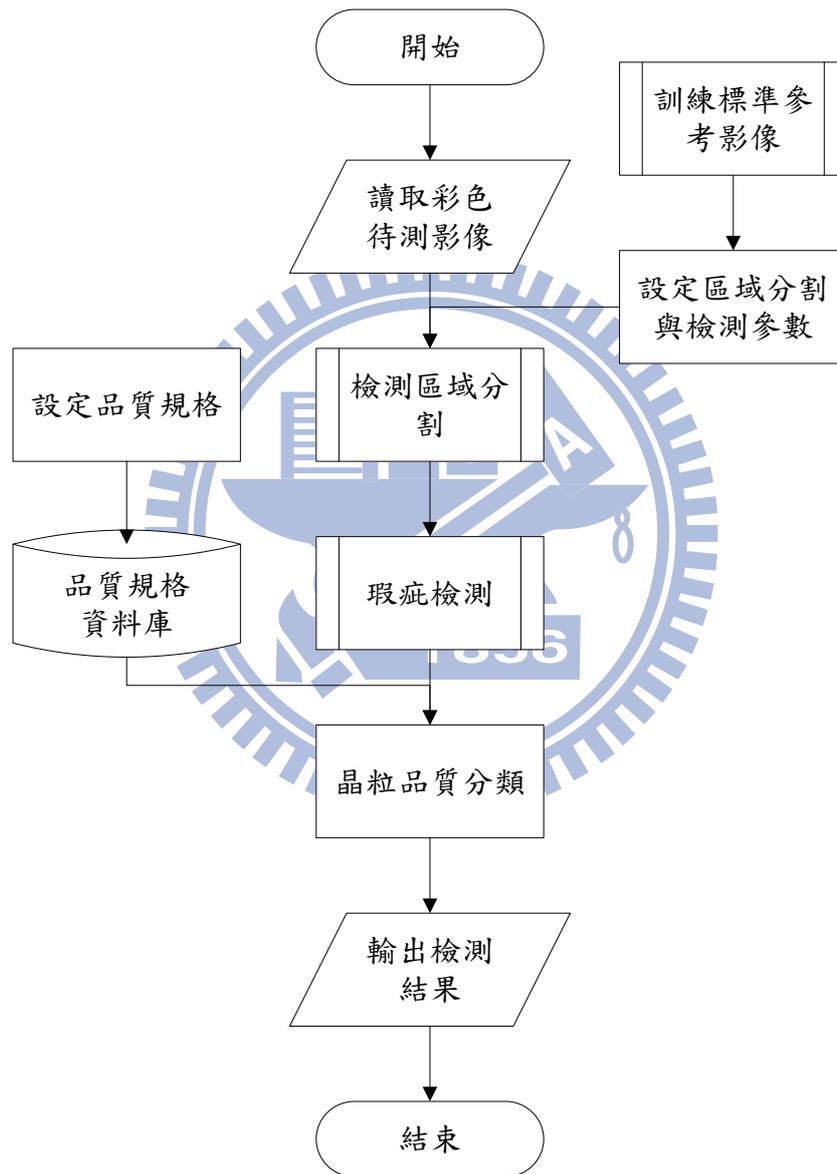


圖 3.3 檢測演算法流程圖

圖 3.3 中的設定品質規格步驟，使用者可依需求設定適當的品質規格，並且存入品質規格資料庫，等待晶粒檢測完畢後，程式自動將晶粒做適當的品質分類。品質規格資料庫包含以下幾個項目： $(i$  表示不同的檢測區域)

- $LB_i$ ：單個微粒或汙染範圍之長軸。
- $NB_i$ ：若為規格良品，可接受長軸超過  $LB_i$  之微粒或汙染的最大數量。
- $LB_{2i}$ ：單個微粒或汙染範圍之長軸( $LB_{2i} < LB_i$ )。
- $NB_{2i}$ ：若為優良品，可接受長軸介於  $LB_{2i}$  與  $LB_i$  之微粒或汙染的最大數量。
- $MA_i$ ：若為優良品，變色區域之長軸最大值。 $i$  不含離子植入區。
- $MB_i$ ：若為優良品，變色區域之短軸最大值。 $i$  不含離子植入區。
- $LN_i$ ：護層不良區域之長軸。 $i$  不含鐳墊及 PI 區。
- $NN_i$ ：若為優良品，可接受長軸超過  $LN_i$  之護層不良區域的最大數量。 $i$  不含鐳墊及 PI 區。
- $GA$ ：若為優良品，汙點聚集面積之長軸最大值。
- $GB$ ：若為優良品，汙點聚集面積之短軸最大值。



### 3.2.1 訓練樣本

本研究之演算法在進行區域分割和瑕疵檢測之前，必須先經過建構訓練樣本(Training)階段。建構訓練樣本的目的，是為了建立標準的晶粒圖紋參考樣式，確保在區域分割階段能準確地分割出各個區域。

由於完美樣本(Golden sample)取得不易，因此須利用使用者選取之無瑕疵樣本(Defect free sample)，訓練出標準參考影像，並且從標準參考影像中萃取區域相對位置的資訊，做為區域分割所需的重要訊息。訓練樣本的流程如圖 3.4 所示。

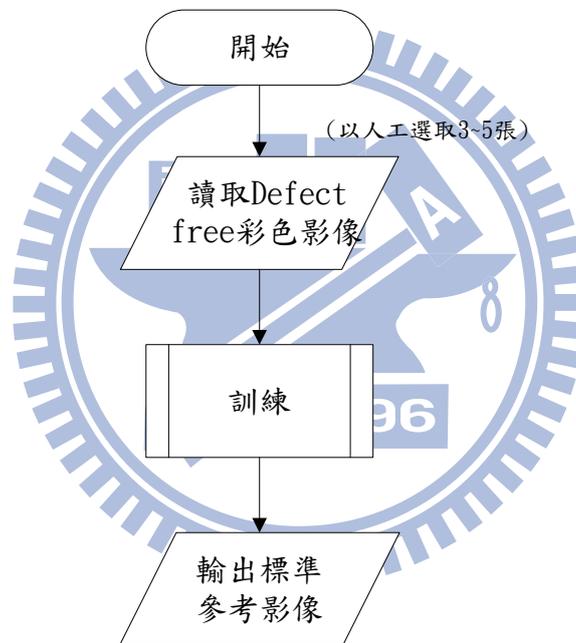


圖 3.4 訓練樣本流程圖

本研究的訓練程序(Subroutine)如圖 3.5 所示，以使用者選取之第一張影像為基準，先以 P-tile[14]二值化法將影像 ROI 區域切割出來，並建立一塊適當地比對樣板(Matching Template)。之後，以此比對樣板對使用者選取之其他影像進行圖紋比對(Pattern Matching)，分別切割出同樣大小的 ROI，最後將使用者選取之所有影像的 ROI 做影像平均的處理，並輸出標準參考影像，完成建構訓練樣本的步驟。

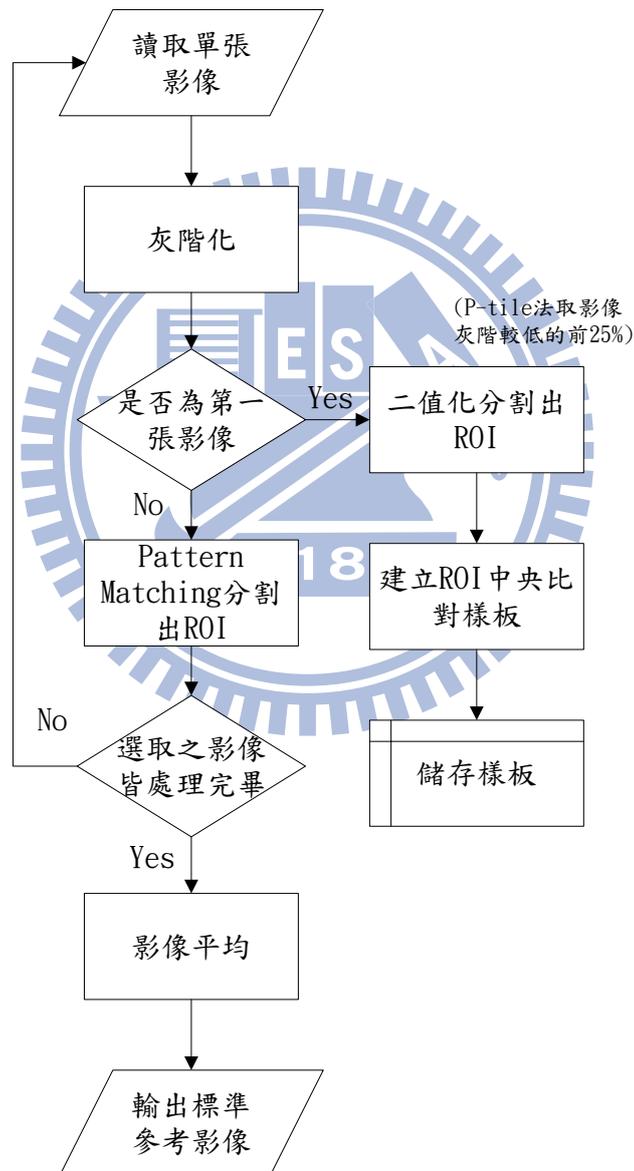


圖 3.5 訓練作業流程圖

### 3.2.2 區域分割

區域分割的目的在於，將每個檢測區域分開檢測，建立各個區域發生瑕疵的統計資料，以達到有效的製程控制(Process Control)[2]。利用圖紋間彼此灰階變異程度大，而各圖紋內灰階變異程度小的特性，可將不同區域的圖紋分割出來。

本研究之區域分割執行流程，如圖 3.6 所示。以訓練完成的標準參考影像為區域分割的依據，進行影像灰階直方圖分析(Histogram Analysis)，先以 P-tile[14] 二值化法將 PI 和底層區域分割出來，之後利用 Multilevel Thresholding 方法，如圖 3.7 所示，影像取灰階值「0」至「閾值一」，式(3-1)，即可切割出數字區和離子植入(P+)區；影像取灰階值「閾值二」至「255」，式(3-2)，則可切割出鐳墊區，最後輸出各個檢測區域，完成區域分割的步驟。

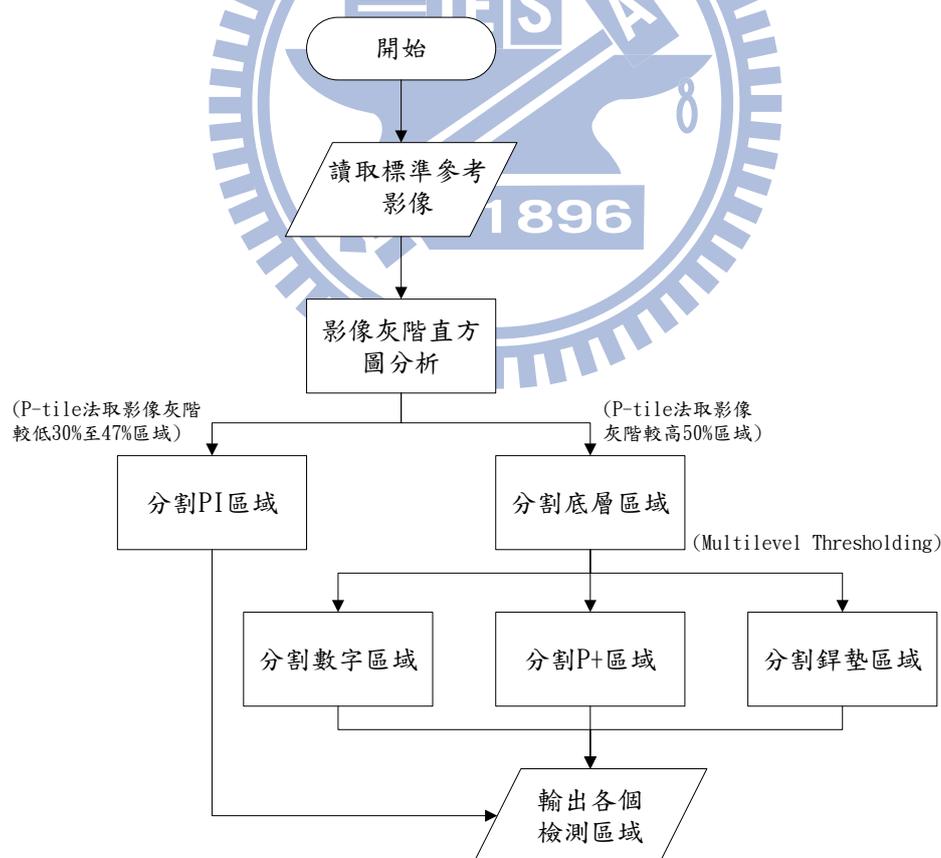


圖 3.6 區域分割流程圖

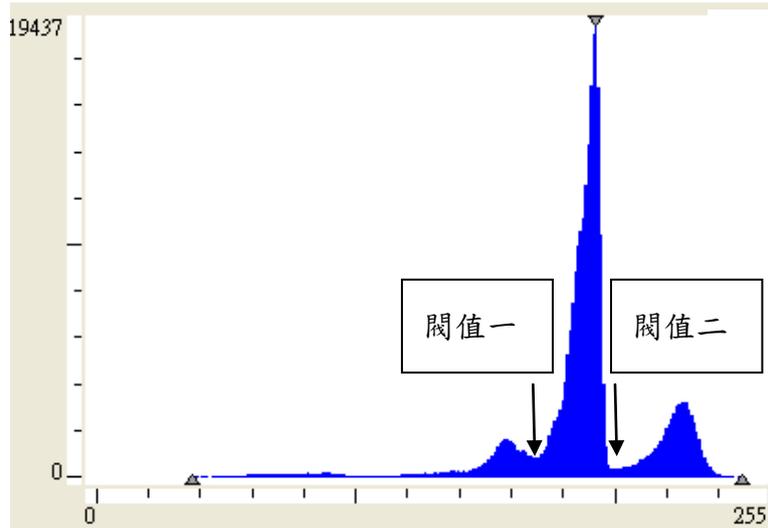


圖 3.7 Multilevel Thresholding 各閾值在灰階直方圖上的位置

令  $f(x, y)$  為像素點座標  $(x, y)$  之灰階值

$$\text{切割數字和P+區} \Rightarrow f(x, y) = \begin{cases} 255, & \text{if } f(x, y) < \text{閾值一} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3-1)$$

$$\text{切割鋅墊區} \Rightarrow f(x, y) = \begin{cases} 255, & \text{if } f(x, y) > \text{閾值二} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3-2)$$

### 3.2.3 瑕疵檢測與品質分類

瑕疵檢測與品質分類為本研究最重要的步驟，目的是將半導體製造廠生產的晶粒，在封裝前做品質的篩選，以避免讓有瑕疵的產品流入客戶手中。

瑕疵檢測與品質分類的流程如圖 3.8 所示，將每一張輸入的待檢測影像，利用建立好的比對樣本(Matching Template)進行圖紋比對，並切割出影像 ROI。之後再對各個檢測區域進行瑕疵檢測和品質分類。

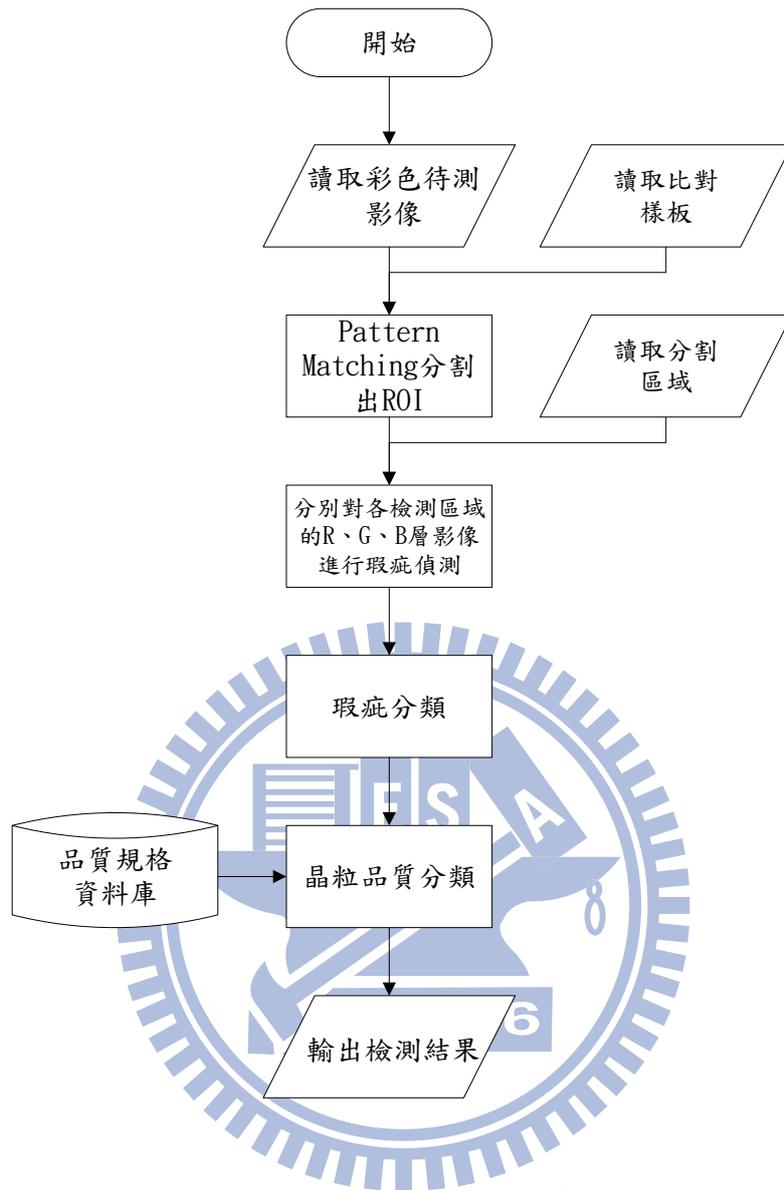


圖 3.8 瑕疵檢測與品質分類流程圖

本研究使用彩色影像處理的技術，針對彩色的待測影像進行單一檢測區域之瑕疵檢測(Inspection)，分為**瑕疵偵測**與**瑕疵分類**兩階段作業。

**瑕疵偵測(Detection)**：將單一檢測區域的 R、G、B 層影像，分別進行瑕疵偵測，步驟如圖 3.9。由於單一檢測區域、單一色層影像，其背景大致呈均勻的灰階分佈，灰階直方圖如圖 3.10，圖中突起之高峰為主要背景，但因為取像時待測物受光不均的影響，區域內部仍有些許灰階變異，使得灰階直方圖呈現鐘形分佈。而發生在此區域的瑕疵因明顯程度不同，可分為兩種，一種為明顯的瑕疵(過暗、過亮)，此類瑕疵的灰階值會與背景灰階值差距較大；另一種為較不明顯的瑕疵，可能會隱藏在背景灰階分佈之中。

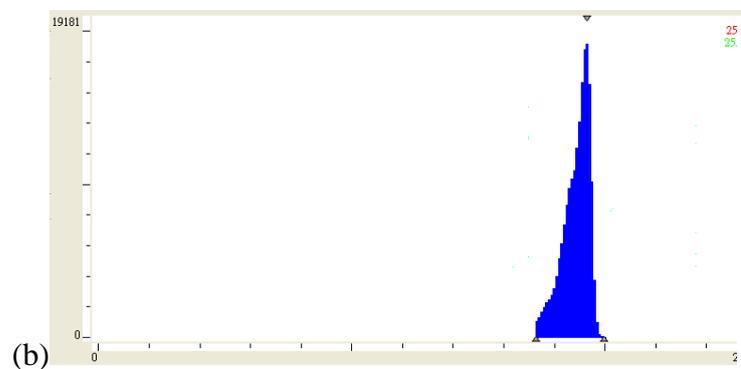
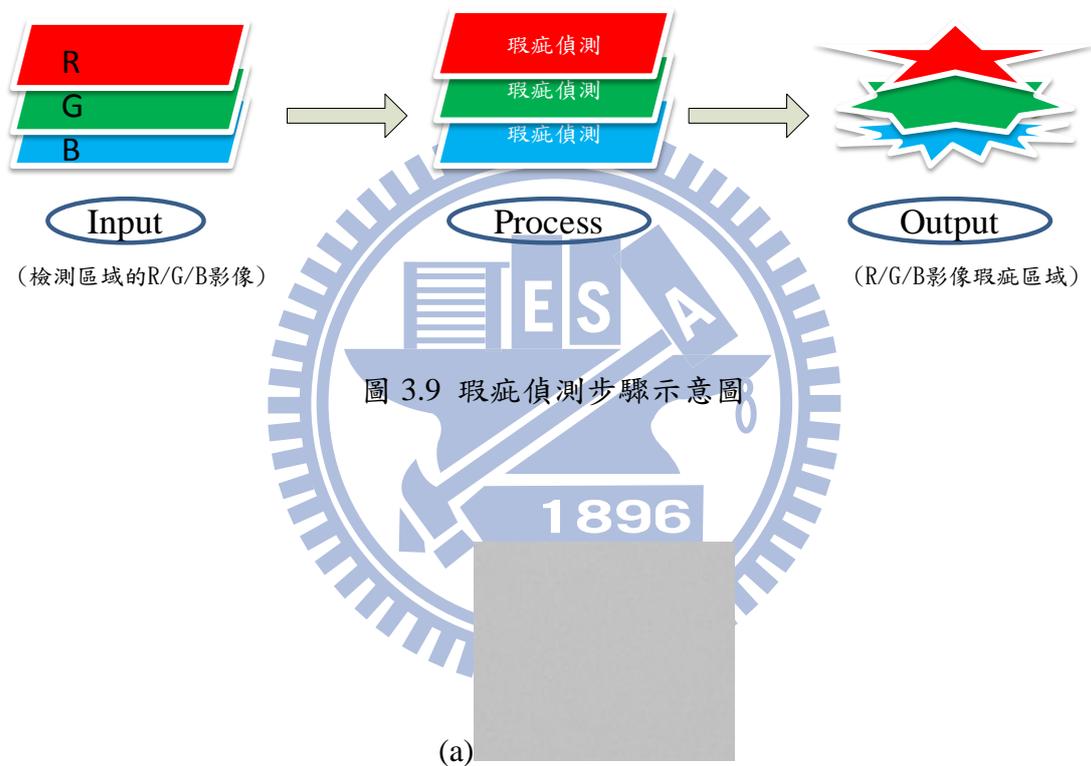


圖 3.10 (a)均勻受光的區域；(b)為(a)之灰階直方圖分佈

因此，本研究參考 Muhammand 與 Tae-Sun[4] 和陳宗達[19]的方法，修改固定百分率法(P-tile)為

$$\text{Threshold Value} = \text{mode} \pm \alpha \quad (3-3)$$

式(3-3)中的 mode 為均勻影像的灰階直方圖「眾數」，表示主要背景的灰階值。針對明顯的瑕疵，以一較大的固定值  $\alpha_1$  ( $\alpha_1$  為使用者依需求調整) 設定二值化閾值，如式(3-4)與式(3-5)，將灰階值低於 Low Threshold Value(LTV)的像素點定義為過暗瑕疵；灰階值高於 High Threshold Value(HTV)的像素點定義為過亮瑕疵。

$$\text{LTV} = \text{mode} - \alpha_1 \quad (3-4)$$

$$\text{HTV} = \text{mode} + \alpha_1 \quad (3-5)$$

由於待測物受光不均的影響，背景灰階值會有某程度的變異，經過式(3-4)與式(3-5)將過暗及過亮瑕疵去除後，背景灰階值最低為 LTV，最高為 HTV，因此若希望將灰階差  $\alpha_2$  ( $\alpha_2$  為使用者依需求調整) 的不明顯瑕疵找出，則必須將灰階值介於 LTV 與 HTV 的區域，做多次二值化處理，閾值設定如式(3-6)與式(3-7)，並以面積與平均灰階值為特徵，針對灰階值低於 LTV2 及高於 HTV2 的區域，利用 Blob Analysis 過濾出不明顯瑕疵。其概念為「不明顯瑕疵的面積必定小於主要背景的面積，且平均灰階值必定與四周區域相差  $\alpha_2$  以上」。

$$\text{LTV2} = (\text{mode} - k) - \alpha_2, \text{ for } k=0,1,2 \cdots (\alpha_1 - \alpha_2) \quad (3-6)$$

$$\text{HTV2} = (\text{mode} + k) + \alpha_2, \text{ for } k=0,1,2 \cdots (\alpha_1 - \alpha_2) \quad (3-7)$$

**瑕疵分類：**當 R、G、B 層影像中可能為瑕疵的像素點皆偵測完畢，本研究將這些像素點分為「汙點」與「變色」兩種情況，定義如下：

- 汙點：任一像素點(Pixel)，在 R、G、B 層影像中皆被偵測為瑕疵。
- 變色：任一像素點(Pixel)，在 R、G、B 層影像中只有其中一層或兩層被偵測為瑕疵。

當「汙點」與「變色」的瑕疵區域確定後，以決策樹(Decision Tree)，如圖 3.11 和圖 3.12 所示，將瑕疵區域進一步分類為：(1)微粒或汙染、(2)變色、(3)護層不良、(4)護層開過頭/開不足、(5)探針痕異常，五大類。其中(4) 護層開過頭/開不足，與(5)探針痕異常，必須確認汙點區域為護層邊緣線或是探針痕後，再做判斷。

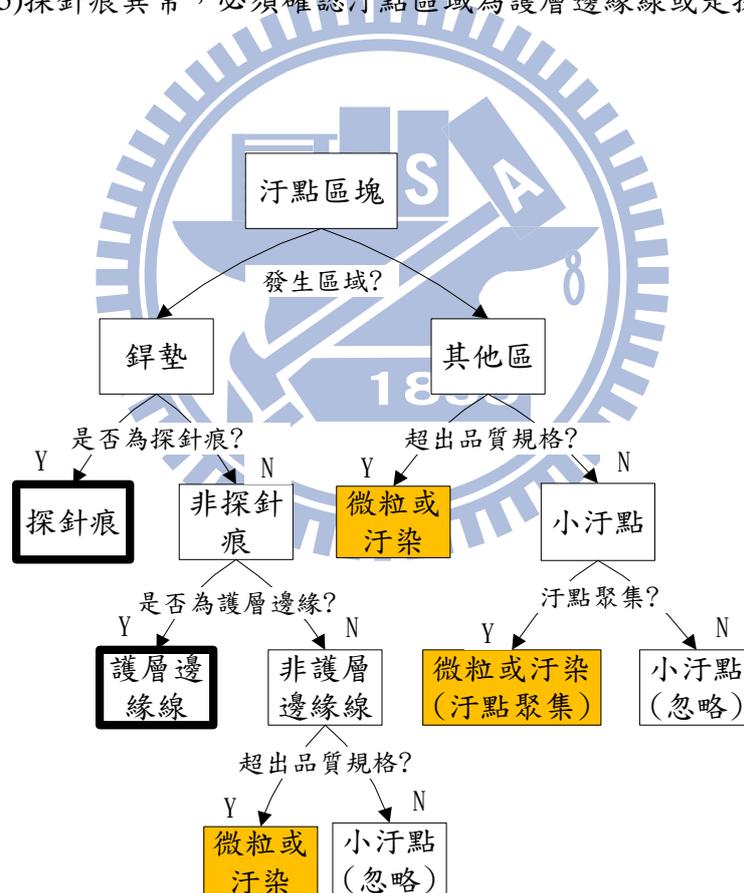


圖 3.11 汙點瑕疵判斷決策樹

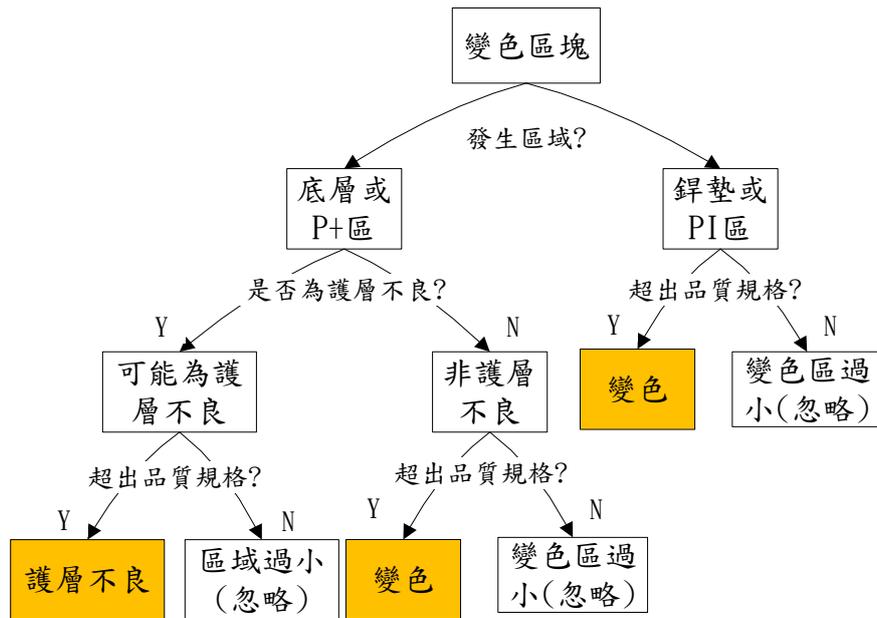


圖 3.12 變色瑕疵判斷決策樹

品質分類為演算法最後步驟，依照使用者輸入的品質規格，將晶粒做品質分級，分為(1)優良品，可正常出貨；(2)規格良品，須以人工二次檢查；(3)不良品，不可出貨。本研究主要目的為提高優良品與不良品的檢測準確率，以降低人工成本與檢測時間。

## 第四章 演算法驗證與檢測結果

### 4.1 實驗設備

1. 個人電腦(PC)：使用 CPU 為 AMD 2.01GHz 雙核心個人電腦、記憶體 2.5GB SDRAM、顯示卡為 ATI-X1300。
2. 影像處理工具：HALCON 9.0 影像處理函式庫
3. 程式語言：使用 Microsoft Visual Studio 2005 中的 Visual Basic 2005，配合影像處理函式庫，撰寫本研究之檢測演算法。

### 4.2 實驗參數設定

本研究第三章提出的演算法中，包含  $\alpha_1$  與  $\alpha_2$  兩個重要的影像灰階參數值， $\alpha_1$  的目的為先將過暗或是過亮的瑕疵找出，以減少演算法運算時間；而  $\alpha_2$  的目的則是將剩餘的影像區域，進一步做細微瑕疵的檢測。因此，參數值  $\alpha_1$  與  $\alpha_2$  之決定，將影響檢測的結果。

在實驗設計中敏感度分析是使模型的變數在某特定範圍內變動，以觀察模型行為或變化情形的一種分析方式。本研究透過敏感度實驗，先挑選 10 張無瑕疵影像、任意 22 張含不同類瑕疵影像，做為實驗樣本，如表 4.1。

表 4.1 敏感度實驗樣本

| 瑕疵項目 | 無瑕疵 | 微粒或汙染 | 探針痕異常 | 護層不良 | 樣本總數 |
|------|-----|-------|-------|------|------|
| 張數   | 10  | 11    | 10    | 1    | 32   |

分別針對 $\alpha_1$ 與 $\alpha_2$ 做敏感度分析，目的是希望能找出參數的最適區間，使演算法能提高瑕疵偵測率，並減少假警報的情況發生。

本研究之演算法中，參數 $\alpha_1$ 的目的是先將過暗或是過亮的瑕疵找出；而 $\alpha_2$ 的目的則進一步做細微瑕疵的檢測，其中 $\alpha_1$ 必須大於 $\alpha_2$ 做兩階段的檢測。因此在進行參數敏感度分析之前，必須先決定 $\alpha_1$ 與 $\alpha_2$ 適當的變動區間。

由於本研究使用灰階差的概念來偵測影像中的異常區域，針對參數 $\alpha_2$ ，希望找出點與點之間，灰階值相差 $\alpha_2$ 以上的像素點，定義其為可能的瑕疵點。表 4.2 為各個圖紋區域平均灰階值與標準差。由表 4.2 中可以看出，各個圖紋區域內的灰階值雖然呈現均勻分布，但仍存在些微的差異，若 $\alpha_2$ 設定過小，可能將過多的正常區域誤判為瑕疵區域；反之，若 $\alpha_2$ 設定過大，則無法有效偵測出瑕疵。因此，本研究於第一階段之敏感度分析(針對參數 $\alpha_1$ )，將參數 $\alpha_2$ 固定為 15(取各個圖紋區域的灰階值最小與最大標準差之中間值)，並設定 $\alpha_1$ 變動區間為 16 至 56( $\alpha_1$ 必須大於 $\alpha_2$ )，若此區間無法取得 $\alpha_1$ 最適範圍，則再將變動區間擴大，重新進行實驗。第二階段之敏感度分析(針對參數 $\alpha_2$ )，利用第一階段所取得的參數 $\alpha_1$ ，並且設定 $\alpha_2$ 變動區間為 5 至 ( $\alpha_1-1$ ) 進行實驗。

表 4.2 圖紋區域之平均灰階值與標準差

| 圖紋區域   | 離子植入區(P+) | 鐳墊(Pad) | 底層  | 聚醯亞胺膜(PI) |
|--------|-----------|---------|-----|-----------|
| 平均灰階值  | 158       | 214     | 189 | 65        |
| 灰階值標準差 | 8         | 26      | 5   | 5         |

### 4.2.1 參數 $\alpha_1$ 之敏感度分析

首先將 $\alpha_2$ 值固定為 15，並且逐一變動 $\alpha_1$ 之數值從 16 至 56，結果如圖 4.1。

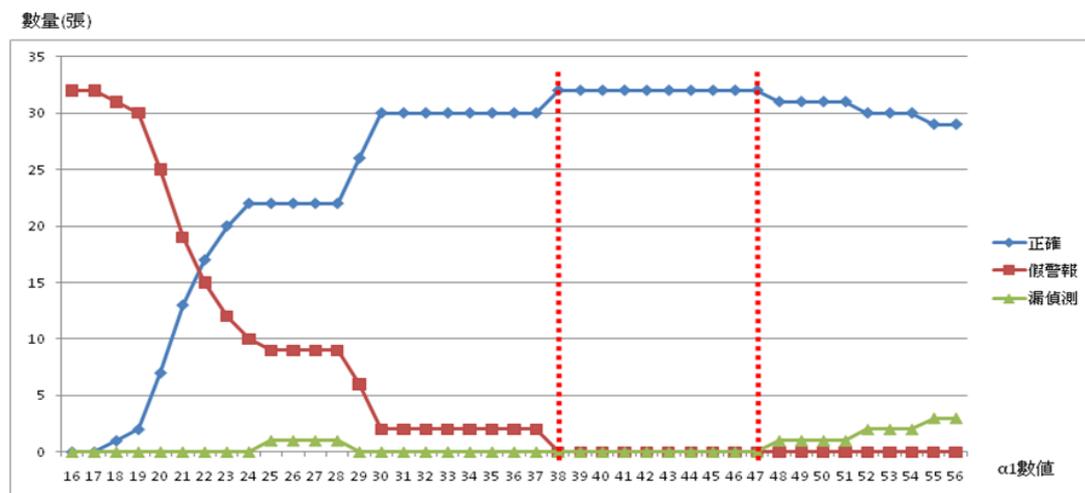


圖 4.1 改變參數 $\alpha_1$ 之數值的檢測結果

由圖 4.1 中可看出，當參數 $\alpha_1$ 之數值低於 38 時，檢測結果會產生大量假警報(誤判)的情況；而當 $\alpha_1$ 之數值設定高於 45 時，則對探針痕異常的影像常常會發生漏偵測(False Negative)，如圖 4.2 為其中一張漏偵測的影像。

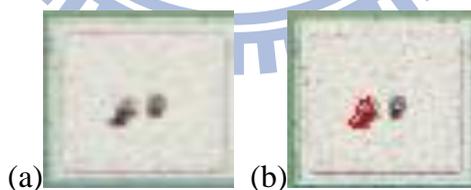


圖 4.2 (a)原影像及漏偵測之影像、(b)正確檢測之結果影像

因此，由實驗可得知，若 $\alpha_1$ 之數值設定過低，系統容易出現假警報的情況；反之，若 $\alpha_1$ 之數值設定過高，則系統不容易偵測出瑕疵影像。當參數 $\alpha_1$ 之數值設定在 38 至 47 之間，系統不但可以得到較好的準確率，且可降低假警報和漏偵測的情形。

#### 4.2.1 參數 $\alpha_2$ 之敏感度分析

經過第一階段對於參數 $\alpha_1$ 的敏感度分析後，可得到 $\alpha_1$ 適當的範圍介於38至47之間，因此第二階段即再針對參數 $\alpha_2$ 進行敏感度分析，先將 $\alpha_1$ 之數值設定為42(38與47的中間值)，並且逐一變動 $\alpha_2$ 之數值從5逐一增至41( $\alpha_2$ 必須小於 $\alpha_1$ )，結果如圖4.3。

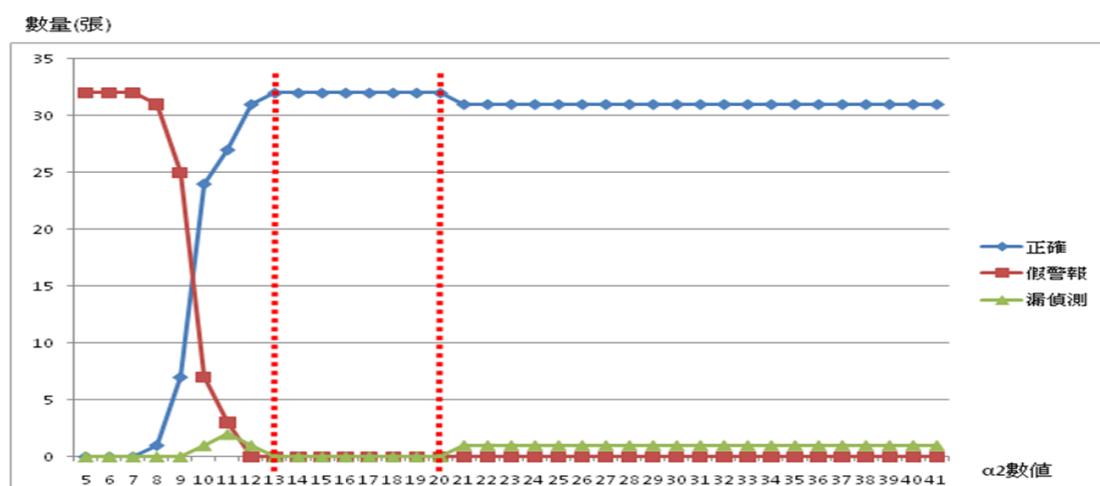


圖 4.3 改變參數 $\alpha_2$ 之數值的檢測結果

由圖4.3可以得知，當參數 $\alpha_2$ 之數值設定過小(低於12)時，代表檢測的條件更為嚴謹，導致假警報發生的情況非常嚴重；而當 $\alpha_2$ 之數值設定高於20時，則有1張護層污染的瑕疵影像，如圖4.4，被漏偵測了。

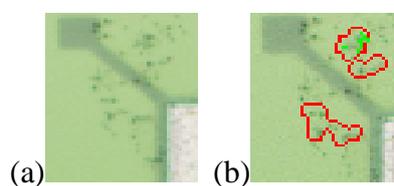


圖 4.4 (a)原影像及漏偵測之影像、(b)正確檢測結果之影像

由實驗可知，若將 $\alpha_2$ 之數值設定在 13 至 20 之間，則可得到較好的檢測準確率，並可降低假警報和漏偵測的情形。

因此，完成 $\alpha_1$ 與 $\alpha_2$ 的敏感度分析後，得到 $\alpha_1$ 的最適區間為 38 至 47，而 $\alpha_2$ 的最適區間為 13 至 20；本研究分別取 $\alpha_1$ 與 $\alpha_2$ 最適區間的中間值，42 及 16 做為進行大量晶粒影像樣本檢測時之參數值，並進行演算法之驗證。

### 4.3 實驗結果與分析

本研究以 2594 張晶粒影像做為測試樣本，並以上一節敏感度實驗的結果，設定 $\alpha_1$ 為 42、 $\alpha_2$ 為 16 進行晶粒瑕疵之自動檢測，最後將本論文所提方法自動檢測的結果與人工檢測的結果進行比對，結果如表 4.2。

表 4.2 檢測結果

| 項目                       | 結果                |
|--------------------------|-------------------|
| 人機一致性                    | 77.10%(2000/2594) |
| 誤判率(False Positive Rate) | 20.39%(529/2594)  |
| 漏判率(False Negative Rate) | 2.51%(65/2594)    |

[註一]: 對檢測結果而言，

- (1) 人機一致性：自動檢測結果與人工檢測結果一致的個數，與所有測試樣本之比率。
- (2) 誤判率：人工檢測為良品、但自動檢測的結果卻為不良品的個數，與所有測試樣本之比率。
- (3) 漏判率：人工檢測為不良品、但自動檢測的結果卻為良品的個數，與所有測試樣本之比率。

本論文提出之演算法在人機一致性的表現為 77.10%，而誤判率與漏判率分別為 20.39% 和 2.51%。自動檢測與人工檢測一致的結果中，皆偵測出為良品的晶粒影像共 1644 張，同樣偵測出為不良品的晶粒影像共 356 張，並能對瑕疵類別 100% 準確分類。

針對產生誤判的情況，人工檢測結果為良品、而自動檢測卻為不良品的晶粒影像有 529 張，其中主要可分為三大類瑕疵：

(1) 鐳墊區污染瑕疵，總共 13 張影像，圖 4.5 列出其中 3 張為例：

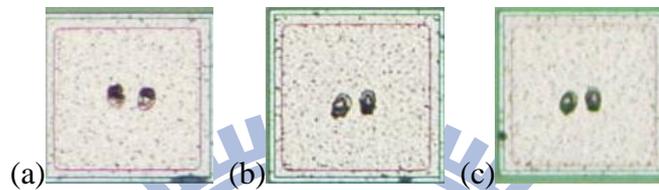


圖 4.5 自動檢測判定為鐳墊區污染的影像

由圖 4.5 的 3 張影像，可明顯看出鐳墊邊緣有少許的污點存在，依照業者品質規格的設定，污點不允許存在於鐳墊邊緣。對照圖 4.6，為人工檢測後認定為瑕疵的晶粒影像，可發現圖 4.6 與圖 4.5 的鐳墊影像在邊緣處，存在類似的污點；因此，經與業界品管專家討論後，研判此類自動檢測之誤判情況，屬於人工檢測漏偵測的結果。

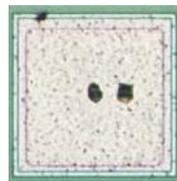


圖 4.6 人工檢測判定為鐳墊區污染的影像

(2) 護層不良瑕疵，總共有 28 張影像，由於護層不良對於晶粒功能正常運作的影響很大，在檢測規格的設定上也較為嚴謹，過於嚴謹的情況下，造成過多誤判的情形，圖 4.7 列出其中 1 張影像為例：

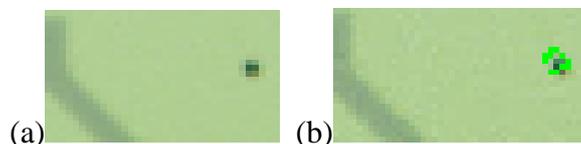


圖 4.7 (a)原始影像、(b)誤判為護層不良的檢測結果圖

(3) 探針痕異常瑕疵，總共 488 張，是造成誤判率過高的主因，由於偵測探針痕的規格較為嚴謹，實務上寧可錯殺也不願放過任何探針痕異常的晶粒流出，目前業者在實務上設定探針痕的長度不得大於  $30\mu\text{m}$ ，圖 4.8 列出其中 1 張影像為例：(兩個探針痕的長度分別為  $29.2\mu\text{m}$ 、 $30.1\mu\text{m}$ )， $1\mu\text{m}$  僅相當於 0.74 個 pixel。

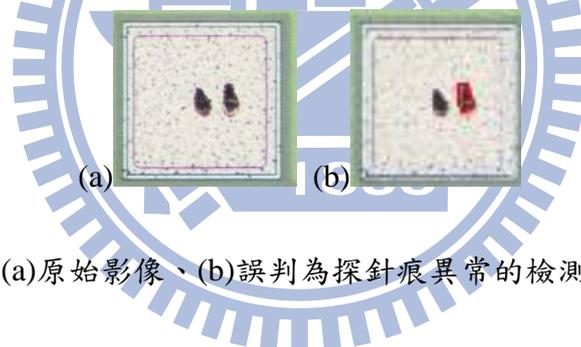


圖 4.8 (a)原始影像、(b)誤判為探針痕異常的檢測結果圖

接下來針對 False Negative 的情況進行分析討論，65 張人工檢測為不良品而自動檢測結果卻為良品的影像，同樣分為三大類說明：

(1) 底層汙染瑕疵，總共有 1 張影像，如圖 4.9。影像中有無數的小汙染點，若就「單顆汙染點」的大小進行評斷，皆尚未達到目前業者在實務上所設定的規格 -- 單顆汙染點長度不得大於  $50\mu\text{m}$ ，圖 4.9 影像中各個汙染點中，長度最長約  $8\mu\text{m}$ ；若將其判斷為「汙染點聚集」瑕疵，目前其規格設定為必須滿足「相鄰兩汙點距離少於  $10\mu\text{m}$ ，且聚集的面積大於  $50\mu\text{m}*50\mu\text{m}$ 」。而圖 4.9 影像中的瑕疵，既不滿足「單顆汙染點」的判斷標準，也不滿足「汙

染點聚集」的判斷標準，故自動檢測將其判定為良品影像。



圖 4.9 人工檢測判定為底層污染的影像

- (2) 鐳墊區污染瑕疵，總共有 3 張影像，如圖 4.10。於 3 張鐳墊影像的邊緣處，各有一顆小污點存在，但是由於影像有些許的模糊現象，加上污染點的面積並非很大，而導致電腦發生漏判的情形。

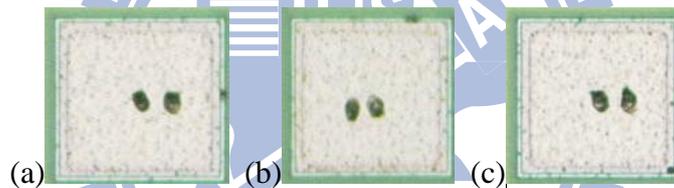


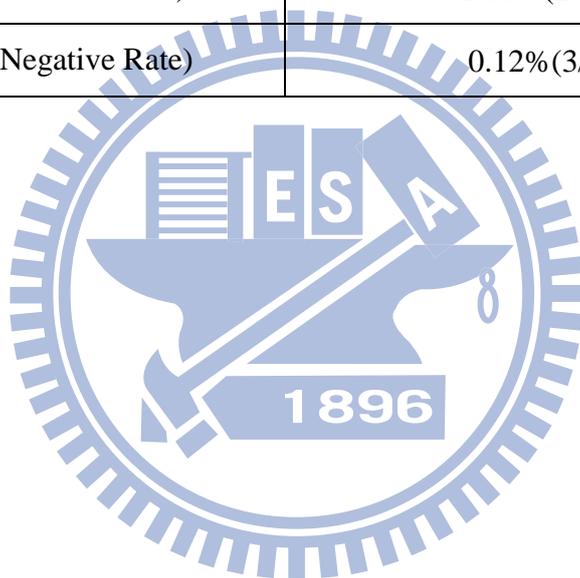
圖 4.10 自動檢測漏判之鐳墊區污染影像

- (3) 探針痕異常瑕疵，總共 61 張影像。由於整張晶粒影像當中，探針痕的面積相對甚小不易檢測，若要人工快速穩定地檢測出  $1\mu\text{m}$  或  $2\mu\text{m}$  的差異，實在不是一件簡單的差事。因此，針對探針痕異常瑕疵，人工檢測較容易產生誤判或漏判的情況。

最後，針對結果分析中，包括人工檢測漏偵測的 13 張鐳墊區污染影像、誤判的 1 張底層污染影像，及 549 張判斷不一致的探針痕異常影像，經過與業界品管專家討論後，認定這些影像皆屬於人工判斷錯誤，因此，將檢測結果進行修正，如表 4.3。

表 4.3 修正後的檢測結果

| 項目                       | 結果                |
|--------------------------|-------------------|
| 人機一致性                    | 98.80%(2563/2594) |
| 誤判率(False Positive Rate) | 1.08%(28/2594)    |
| 漏判率(False Negative Rate) | 0.12%(3/2594)     |



## 第五章 結論與建議

### 5.1 結論

本研究提出一套自動化瑕疵檢測的演算法，改善目前業界大多仍使用人工檢測的方法，利用機器視覺的輔助，以提升檢測的效率與準確性。

於驗證過程中可以發現，機器檢測在**精準度**和**一致性**兩方面優於人工檢測，但對於模糊地帶的瑕疵，仍會產生過多機器誤判的情況，因此，仍需透過訓練有素且經驗豐富的線上檢測人員進一步檢驗，但已可大幅減低人工檢測的負荷。

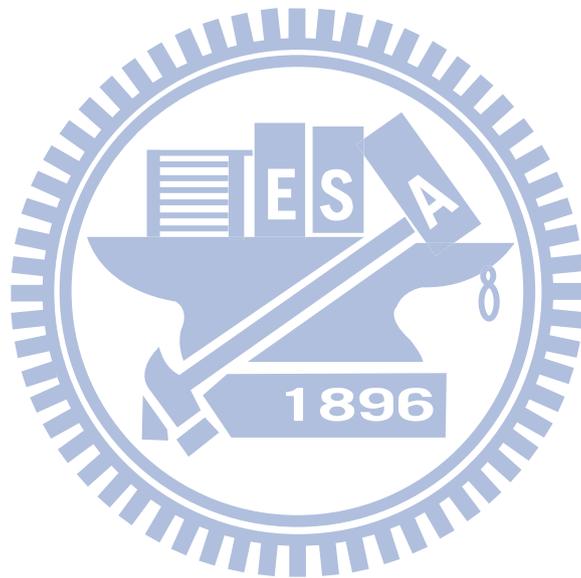
本研究所開發的演算法，檢測一張影像的時間約為 1.5 秒，程序如表 5.1，若以一批 3000 張影像的樣本為例，當整批影像皆檢測完畢，大約需要 1 小時又 15 分鐘，可大幅改善使用人工檢測所耗費的時間(人工檢測單張影像平均時間超過 2 秒)；在軟體系統之設計上，也提供使用者可自行設定檢測參數  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  與品質規格之彈性操作介面，當每批產品的出貨標準不同時，亦能做出彈性的調整。

表 5.1 處理程序與耗費時間

| 處理程序   | 耗費時間(秒) |
|--------|---------|
| 讀取影像   | 0.13    |
| 檢測區域分割 | 0.04    |
| 瑕疵檢測   | 1.25    |

## 5.2 後續研究與建議

本研究所提出之演算法，主要針對業界使用自動取像機台取得之晶粒圖紋影像，進行離線檢測(Off-line Inspection)的作業，相較於傳統的人工目視檢測，的確可以降低成本、提升檢測準確性與效率，但要進一步達到線上即時檢測仍有一些可再改善之處，例如：為了維持原本生產線的流暢度，自動檢測的速度宜更加提升，若以目前的檢測速度(1.5 秒/張)，尚未能符合生產線的需求；如何提升檢測速度、縮短檢測時間，是未來可以繼續努力的目標。



## 參考文獻

- [1] A. Elmabrouk and A. Aggoun, "Edge Detection Using Local Histogram Analysis," *Electronics Letters*, vol. 34, No.12, 1998
- [2] A. R. Rao, "Future Directions in Industrial Machine Vision: a Case Study of Semiconductor Manufacturing Applications," *Image and Vision Computing*, vol.14, pp. 3-19, 1996.
- [3] "Blob Analysis," in *ActiveMIL user guide*, 8th ed.: Matrox Electronic systems Ltd., pp. 165-189, 2005.
- [4] B. A. Muhammad and C. Tae-Sun, "Local Threshold and Boolean Function Based Edge Detection," *Transactions on Consumer Electronics*, vol. 45, no.3, pp. 674-679, 1999.
- [5] C. G. Rafael and E. W. Richard, "Digital Image Processing," *Addison-Wesley Publishing Company*, pp. 418-421, 1993.
- [6] C. G. Rafael and E. W. Richard, "Digital Image Processing 2/e," *Addison-Wesley Publishing Company*, pp. 610-624, 2003.
- [7] C. K. Huang, C. W Liao, A. P. Huang and Y. S. Tarng, "An Automatic Optical Inspection of Drill Point Defects for Micro-drilling," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 37, no.11-12, pp. 1133-1145, 2007.
- [8] E. N. Malamas, E. G. M. Petrakis, M. Zervakis, L. Petit and J. D. Legat, "A Survey on Industrial Vision Systems, Applications and Tools," *Image and Vision Computing*, vol. 21, pp. 171-188, 2003.

- [9] H. Rao, and C. H. Wu, “Automatic Optical Inspection for Detecting Defects on Printed Circuit Board Inner Layers,” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 25, no. 9-10, May, pp. 940-946, 2005.
- [10] K. J. Anil, “A Survey of Automated Visual Inspection,” *Computer Vision and Image Processing*, vol. 61, no. 2, pp. 231-262, 1995.
- [11] L. M. Sanchez-Brea, P. Siegman, M. A. Rebollo and E. Bernabeu , “Optical Technique for the Automatic Detection and Measurement of Surface Defects on Thin Metallic Wires,” *Applied Optics*, vol. 39, no. 4, pp. 539-545, 2000.
- [12] M. Burmen, F. Pernus and B. Likar, “Automated Optical Quality Inspection of Light Emitting Diodes,” *Measurement Science and Technology*, vol. 17, no. 6, pp. 1372-1378, 2006.
- [13] N. Otsu, “A Threshold Selection Method from Gray-level Histograms,” *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 9, pp. 62-66, 1979.
- [14] P. K. Sahoo, S. Soltani and A. K. C. Wong, “A Survey of Thresholding Techniques,” *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, vol. 41, pp. 233-260, 1988.
- [15] T. S. Newman and A. K. Jain, “A Survey of Automated Visual Inspection,” *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 61, no. 2, March, pp.231-262, 1995.
- [16] W. Y. Wu, M. J. J. Wang and C. M. Liu, “Automated Inspection of Printed Circuit Boards Through Machine Vision,” *Computes in Industry*, vol. 28, no. 2, May, pp. 103-111, 1996.
- [17] 黃玉霖與蘇文彬,「台灣半導體產業群聚核心之調查與研究」,國立交通大學工學院碩士在職專班營建技術與管理組碩士論文,2009。

- [18] 張元碩，「晶粒表面缺陷自動視覺檢測系統之設計與開發」，國立交通大學工業工程與管理學系碩士論文，2009。
- [19] 陳宗達，「CMOS 玻璃蓋片自動光學檢測機台之設計及開發」，國立交通大學工業工程與管理學系碩士論文，2005。
- [20] 陳賢義，”視覺技術在線上檢測之應用”，自動化感測技術專輯，機械工業雜誌 6 月號，pp.267-279，1993。
- [21] 梁有燈，”機器視覺在 BGA 錫球尺寸量測上之應用”，中華大學機械與航太工程研究所碩士論文，2001。
- [22] 李孟坤，”高分子有機發光二極體瑕疵自動光學檢測系統”，國立交通大學工業工程與管理學系碩士論文，2005。
- [23] 顏清居，”應用電腦視覺技術於自動插件印刷電路板之自動檢測新系統設計與開發”，國立交通大學工業工程與管理學系碩士論文，2000。

