

國立交通大學  
工業工程與管理學系碩士班

碩士論文

晶粒表面缺陷自動視覺檢測系統之設計與開發

Design and Development of an Automated Visual Inspection System for  
Die Surface Defects



研究生：張元碩

指導教授：彭德保 博士

中華民國九十八年七月

晶粒表面缺陷自動視覺檢測系統之設計與開發

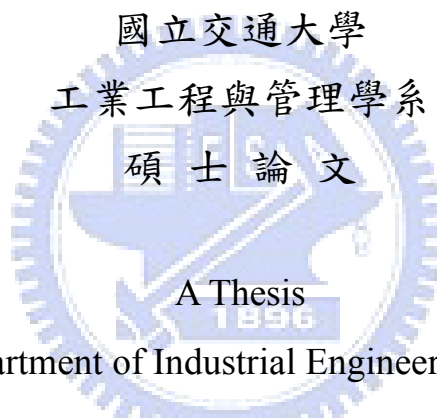
**Design and Development of an Automated Visual Inspection  
System for Die Surface Defects**

研 究 生：張元碩

Student: Yuan-Shuo Chang

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

July 2009

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年七月

**晶粒表面缺陷自動視覺檢測系統之設計與開發**  
**Design and Development of an Automated Visual Inspection System for Die**  
**Surface Defects**

學生：張元碩

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**

半導體製造業對產品品質的要求相當嚴謹，因此在晶粒(Die)封裝前的晶粒缺陷檢測是一個品管很重要的過程，傳統的晶粒表面缺陷檢測通常是目視檢測，此方式需要花費大量的人力使用肉眼判斷，不同檢測人員對缺陷的判斷可能不一致，且容易因視覺疲勞產生錯誤判斷或是判斷標準不一致的情形發生。

本論文擬針對晶粒表面需要檢驗的缺陷部分，包括：(1)微粒或污染、(2)面積缺損、(3)變色與(4)護層不良等，利用機器視覺技術，提出了一個自動化的檢測演算法。

本論文之研究目的在於發展一套以自動視覺檢測系統為基礎的晶粒表面缺陷檢測系統，能檢測出晶粒表面中具有缺陷的晶粒。以提升檢測效率、減少成本，並達成可進行全檢的三項目標。

**關鍵詞：**機器視覺、影像處理、晶粒檢測、缺陷檢測

# **Design and Development of an Automated Visual Inspection System for Die Surface Defects**

Student : Yuan-Shuo Chang

Advisor : Dr. Der-Baau Perng

Department of Industrial Engineering and Management

National Chiao Tung University

## **ABSTRACT**

Product quality is an important factor in semiconductor manufacturing. Therefore, die defect inspection is an important quality control process before packaging. Conventionally, the inspection of die surface defects by human observation is labor intensive. It results in low efficiency and inaccuracy.

This research is to design and develop an automated visual inspection system for die surface defects by using the machine vision technology. The mainly focused inspection items of dice are particles, contaminations, pad missing, pad damage, discoloration, and passivation.

A prototype of the automated visual inspection system for die surface defect inspection will be implemented for inspection efficiency, cost down, and full-inspection.

**Keywords:** Machine Vision, Image Processing, Die Inspection, Defects Inspection

## 誌謝

首先感謝我的指導教授 彭德保博士，這兩年來給予的指導、鼓勵，提供研究所需的資源與指導，使得本論文得以順利進行與完成。感謝口試委員巫木誠教授與許錫美教授，所惠賜之寶貴意見，使本論文能更臻完善與嚴謹。

感謝提供檢測影像的合作廠商，給予多方協助及提供專業、寶貴的知識與建議，使得研究得以深入探討實務問題並順利進行。

感謝博士班思翰學長、彥仲學長、朝香學長，你們總是不吝惜傾囊相授，不時提供專業的知識，不但使我的研究能有所突破，更令我成長了許多。感謝志凌學長於課業與生活上的幫助與解惑，感謝俊甫學長、谷銘學長、建男學長、雋傑學長於求學期間的幫忙。

感謝文政、威廷、竟堯、曉薇、貴祺同學，與你們共度了不少歡笑與淚水的日子，我會珍惜這段共同奮鬥打拼、互相勉勵的時光，謝謝你們讓我進步與成長。感謝實驗室學弟妹與大學直屬學弟妹的鼓勵與幫忙。

感謝法達、昭宏、豪君、耿全、兩欣等同學，陪我分享生活中的酸甜苦辣，兩年的研究所生涯因為你們，而充滿許多美好回憶，謝謝你們豐富了我的研究所生活。

最後要感謝我最親愛的父母與家人，感謝你們無怨無悔的付出與栽培，總是不斷的給予我許多的支持、鼓勵與照顧，使我在勇敢向前邁進，我的心中充滿無限感激，謝謝你們。獻上這份畢業的成果與喜悅與你們分享。

元碩 謹致於

交通大學工業工程與管理學系

民國九十八年七月

# 目錄

摘要.....	I
ABSTRACT.....	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 研究範圍.....	2
1.3 研究目的.....	2
1.4 研究架構.....	3
第二章 文獻探討.....	4
2.1 現行晶粒檢測方法.....	4
2.1.1 缺陷群集法(Defect Clustering).....	4
2.1.2 規則法(Rule-based).....	5
2.1.3 標準樣本法(Golden Template).....	5
2.1.4 類神經網路法(Neural Network).....	6
2.2 機器視覺系統架構.....	7
2.2.1 機器視覺與電腦視覺.....	7
2.2.2 機器視覺系統架構.....	9
2.3 光源系統.....	10
2.4 臨界值法.....	11
2.5 區域成長.....	13
2.6 幾何學轉換.....	14
2.7 連通成分.....	15
2.8 形態學處理.....	16
2.9 BLOB ANALYSIS.....	17
第三章 研究方法設計.....	19
3.1 定義檢測區域.....	19
3.1.1 檢測缺陷種類.....	21
3.2 晶粒缺陷檢測演算法.....	23

3.3 分割晶粒 .....	26
3.4 建立標準樣本影像 .....	29
3.5 分割元件 .....	31
3.6 檢測 P+, P-區 .....	33
3.7 檢測底層區 .....	34
3.8 檢測方形鋅墊區 .....	36
3.9 檢測圓形鋅墊區 .....	37
第四章 實驗結果與分析 .....	38
4.1 系統設備 .....	38
4.2 實驗操作 .....	39
4.3 實驗結果 .....	41
4.4 結果分析 .....	42
第五章 結論與建議 .....	48
5.1 結論 .....	48
5.2 後續研究與建議 .....	49
參考文獻 .....	50



## 圖目錄

圖 2.1：典型的視覺系統架構.....	9
圖 2.2：取像機台光源打光方式.....	10
圖 2.3：二值化前後影像之變化.....	11
圖 2.4：8 連通性的鏈碼.....	17
圖 3.1：檢測晶粒示意圖.....	19
圖 3.2：晶粒的元件示意圖.....	20
圖 3.3：晶粒缺陷檢測演算法流程圖.....	23
圖 3.4：分割晶粒流程圖.....	26
圖 3.5：起始點跳點示意圖.....	27
圖 3.6：建立標準樣本影像流程圖.....	29
圖 3.7：分割元件流程圖.....	31
圖 3.8：檢測 P+, P-區流程圖.....	33
圖 3.9：檢測底層區流程圖.....	34
圖 3.10：檢測方形焊墊區流程圖.....	36
圖 3.11：檢測圓形焊墊區流程圖.....	37
圖 4.1：不同型號晶粒所拍攝之影像.....	39
圖 4.2：不同型號晶粒其灰階影像之灰階直方圖.....	39
圖 4.3：誤判的晶粒影像.....	42
圖 4.4：漏判的晶粒影像.....	43
圖 4.5：漏判的晶粒影像.....	44
圖 4.6：漏判的晶粒影像.....	45
圖 4.7：漏判的晶粒影像.....	45



## 表目錄

表 2.1：機器視覺和電腦視覺的比較.....	8
表 2.2：仿射轉換的類型.....	14
表 3.1：晶粒缺陷種類、定義與影像.....	21
表 3.2：晶粒品質規格表.....	22
表 4.1：檢測統計結果.....	41
表 4.2：結果分析後的檢測統計結果.....	47
表 5.1：各項目檢測所需時間整理表.....	48



# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景與動機

半導體產業目前已是全球重要的產業之一，現今晶圓(Wafer)製造的技術已朝向(1)晶粒(Die)上的元件大小趨向越來越小、(2)晶圓尺寸趨向越來越大，及(3)製程技術趨向越來越複雜。因此在晶粒封裝前的晶粒缺陷檢測是一個很重要的過程，傳統的晶粒表面缺陷檢測通常是人工目視檢測，由檢測人員透過電子顯微鏡，偵測判斷晶粒表面上的缺陷區域和缺陷種類，此方式需要花費大量的人力成本，不同檢測人員對缺陷的判斷可能不一致，且容易因視覺疲勞產生錯誤判斷或是判斷標準不一致的情形發生[1]。

半導體製造業對產品品質的要求相當嚴謹，為了提高產品品質，在封裝前要挑出不符合品質規格的晶粒，不符合品質規格的晶粒就不進行封裝。然而隨著晶圓製程越來越複雜，晶粒上的元件大小也越來越小的趨勢下，傳統的目視檢測已難以滿足現在的檢測需求，也很難達到客戶要求全數檢測的需求。

機器視覺(Machine Vision)由於可應用在工業檢測上，近年來的發展與應用越來越快速與廣泛，運用機器視覺來檢測可以降低檢測成本、提高檢測速度與減少錯誤判斷。

本論文針對晶粒表面缺陷，利用機器視覺技術希望能開發出快速、穩健、精準的自動視覺檢測系統來進行晶粒表面缺陷檢測。

## 1.2 研究範圍

目前半導體製造流程中，在封裝之前有設置檢測流程以確保晶圓上晶粒品質的必要。本論文所探討的是每片晶圓中，其未切割前的晶粒其表面所發生的缺陷，檢測影像是使用半導體製造廠商的取像機台，在無塵室中所拍攝的影像，做離線檢測，檢測項目可概略分為：

- (1) 微粒或污染；
- (2) 面積缺損；
- (3) 變色；
- (4) 護層不良。

## 1.3 研究目的

本論文之目的，在針對半導體製程中，每片晶圓中之晶粒，發展一套自動視覺檢測系統，以輔助生產線上之人工檢測，提高產品品質。主要目的如下：

- (1) 利用機器視覺與影像處理的方法，針對晶粒表面的缺陷，發展適當的演算法找出晶粒表面的缺陷；
- (2) 發展自動化連續檢測系統；
- (3) 正確找出晶粒表面可能發生之各類缺陷與位置；
- (4) 藉由缺陷之自動分類方法，判斷良品或不良品。

## 1.4 研究架構

本論文著重於實務性檢測系統的應用整合，配合晶圓製造廠商的生產流程，完成整體檢測系統。

整體檢測系統架構的三大元素 - 硬體、軟體及演算法，如下說明：

- (1) 硬體：配合生產線流程，以快速、穩健、精準為目標；
- (2) 軟體：標準樣本訓練與檢測；
- (3) 演算法：具彈性、簡單易操作、檢測快速及判斷準確為目標。

本論文章節安排如下：

第一章，簡介本論文的內容與性質；

第二章，探討與本論文領域相關之文獻及相關之影像處理方法；

第三章，探討系統架構與檢測演算法；

第四章，測試本論文所提出之系統架構與檢測演算法的可行性；

第五章，結論與後續研究方向。

## 第二章 文獻探討

本論文藉由機器視覺之技術，針對每片晶圓中的晶粒進行缺陷檢測。因此本章將探討現行晶粒檢測方法及相關文獻、機器視覺系統架構、影像處理方法。

### 2.1 現行晶粒檢測方法

現行晶粒檢測的方法主要分為：缺陷群集(Defect Clustering)與視覺檢測(Vision Inspection)等方法，而視覺檢測又可分為：規則法(Rule-based)、標準樣本法(Golden Template)、類神經網路法(Neural Network)。以上四種方法的文獻探討與介紹如下：

#### 2.1.1 缺陷群集法(Defect Clustering)

由於晶圓面積不斷增大，晶圓上缺陷呈現群聚(Clustering)的現象愈來愈明顯。此方法找出晶圓影像(Wafer Map)中具有缺陷的晶粒分佈狀況(Clustering Pattern)，分析目前的製程狀態是否穩定。當缺陷呈群聚的特徵時，利用觀察缺陷分佈的情形(Spatial Pattern)，由其分佈的範圍、形狀找出引起此群聚分佈的製程原因。有些研究會利用抽檢後缺陷晶粒的分佈狀況，找出晶圓中有缺陷或可疑的晶粒區域。

相關的研究有 Albin and Friedman[2]不使用一般常見的 Poisson 分配當假設來表示缺陷的分佈，提出一種分配模型來表示缺陷的群聚情況，並設計允收抽樣(Acceptance Sampling)的抽樣計畫。Friedman and Albin[3]建立缺陷數管制圖(Defect Control Charts)，並提出一個能辨別製程失控(Out-of-control)及發生群聚的缺陷情形但仍在製程管制內(In-control Process that Yields Clustered Defects)，這兩種製程狀態的方法。Chen and Liu [4]使用類神經網路辨識缺陷分佈(Defect Spatial

Patterns)的情形，來診斷分析製程異常發生的原因。Tong et al. [5]發展一個無需統計假設的新群聚指標，該指標應用多變量的轉軸方法，描述缺陷晶粒在晶圓上的相對位置，反應出缺陷點群聚的嚴重程度。

### 2.1.2 規則法(Rule-based)

此方法又稱為知識庫法(Knowledge Database)，此方法使用特徵擷取，找出晶粒上元件的幾何、紋理特徵，存入知識庫中，再進行特徵比對，由於電路設計等技術多樣及複雜，此方法需收集大量樣本測試，判斷方法是否能有效的檢測出缺陷，且不同的晶粒影像的幾何特徵和外觀，即建立不同的規則，如何找出並建立有效特徵判斷準則也是一個問題。此方法的優點是沒有位置對準及校正的問題。而檢測時缺陷的定義通常是由專家或製程工程師定義。相關的研究有 Mital and Teoh[6]與 Tobin et al.[7]等研究。然而，Zhang et al.[8]認為此作法不太能用在實務檢測上。

### 2.1.3 標準樣本法(Golden Template)

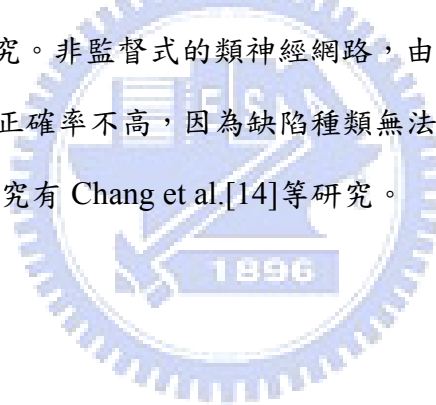
此方法又稱為 Image-to-image Reference。使用標準樣本(Golden Template)當標準樣本影像，再和檢測的晶粒影像相比較，找出差異之處，把差異顯著的區域視為缺陷可能發生的區域，再做進一步判斷。但由於標準樣本法通常是像素對像素(Pixel -by-pixel)相減比較差異，在進行比較前，要避免檢測的晶粒影像與標準樣本影像含有對準(Alignment)、校正不準確的問題發生。對於電路設計等技術多樣、複雜或無法列舉缺陷種類、可能發生的缺陷情形時，此方法對找出缺陷或異常有效，且此方法在實務上較可行且運算處理快。相關的研究有 Chou et al.[9]先使用標準樣本法做缺陷偵測且判斷缺陷的範圍、形狀與位置，再利用規則法做缺陷分類；Zhang et al.[8]利用標準樣本法，與系統中所記錄各元件的位置，找出在晶粒切割後，缺陷所出現的位置與缺陷種類、Xie and Guan[10]與 Guan et al.[11]

等研究，也提出相關研究。

#### 2.1.4 類神經網路法(Neural Network)

利用類神經網路在晶粒缺陷檢測上，透過學習和適應找出具有缺陷的晶粒，但類神經網路模型的建立與參數的選擇需要試誤法(Trial and Error)，不同晶粒影像的幾何特徵和外觀，要建立不同的特徵選取，當訓練的輸入變數需要大量的訓練樣本，樣本的選取要有代表性。

類神經網路分為監督式與非監督式的類神經網路。監督式的類神經網路，其學習樣本的選取會影響類神經網路的效能，需要大量好的與缺陷樣本來訓練，且晶粒元件的區域與邊界都必須知道，以進行學習訓練。相關的研究有 Su et al.[12] 與 Chang et al.[13]等研究。非監督式的類神經網路，由於沒有標準樣本，可能會造成分類錯誤、漏判，正確率不高，因為缺陷種類無法精準描述，會有缺陷分類錯誤的情形。相關的研究有 Chang et al.[14]等研究。



## 2.2 機器視覺系統架構

### 2.2.1 機器視覺與電腦視覺

機器視覺(Machine Vision)和電腦視覺(Computer Vision)經常被視為同義字來使用，但機器視覺在本質上是和電腦視覺及其它相關學科有所不同，機器視覺應該被視為一門獨立且偏重實務應用上的學科[15]。

Batchelor and Charlier[15]認為機器視覺需要許多領域的相關背景知識，像是機台架設、光學知識、照明打光技巧與鏡頭等。自動視覺檢測(Automated Visual Inspection, AVI)，機器人視覺(Robot Vision)等應被視為是機器視覺的領域下的研究。

而自動化光學檢測是近年常被提到的語彙(Nomenclature)，自動化光學檢測(Automatic Optical Inspection, AOI)包含了機械、電機、光學和資訊科技的整合。基本的自動化光學檢測的架構包含了下列的子系統(1)精準的移動控制平台(Motion Controlled XY-stage)、(2)光學機械系統(Optical-mechanical System)、(3)影像擷取與處理系統及(4)影像分析與檢測系統[16]。根據 Batchelor and Charlier [15]所提到的觀點，自動化光學檢測應該被歸類為機器視覺的領域。

而電腦視覺這個領域的終極目標就是讓電腦模擬人類的視覺，包括經由視覺輸入來學習與推論並採取行動，此領域本身是以模仿人類智慧為目標，屬於人工智慧的分支[17]。關於影像處理(Digital Image Processing)和其他相關的領域，例如與電腦視覺的分野，在眾多作者之間並沒有一致的共識。Batchelor and Charlier[15]則認為數位影像處理是電腦視覺領域的一個必要成分。



關於機器視覺和電腦視覺的比較，Batchelor and Charlier[15]針對其相異之處整理了如下表：

表 2.1：機器視覺和電腦視覺的比較[15]

特點	機器視覺	電腦視覺
學術/實務用途	實務	學術
成本	重要	次要考慮因素
評估系統的重要條件	(1)容易操作使用 (2)有成本效益的 (3)系統可靠與穩健	效能(Performance)
學科性質	系統工程，實務	電腦科學，理論
接受的結果	滿意的處理結果	追求最佳效能(Optimal)
處理速度	(1)能有效和使用者互動 (2)及時反應	次要考慮因素
使用者介面	重要	可接受較差的介面

## 2.2.2 機器視覺系統架構

一個典型的機器視覺系統可概分為五大部分[1]，如圖 2.1 所示：

- (1) 光源系統(Illumination)；
- (2) 鏡頭(Camera)；
- (3) 影像擷取裝置(Image Processing Hardware)；
- (4) 主電腦與影像處理(Main Processor or Computer with Image Processing Software)；
- (5) 移動控制系統(Manufacturing Process Control Systems)。

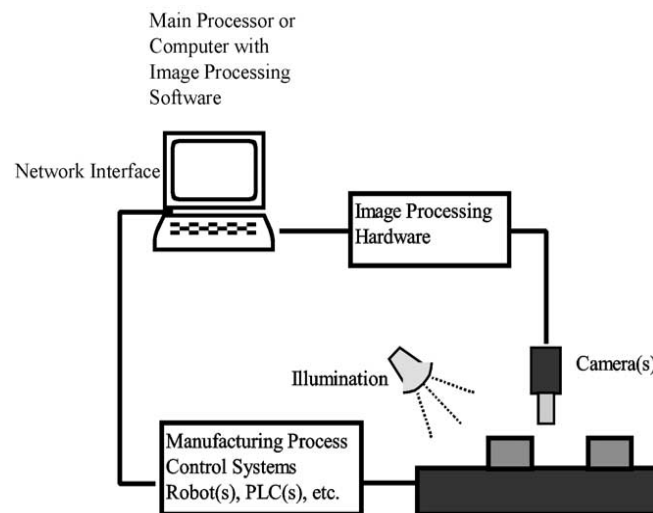


圖 2.1：典型的視覺系統架構[1]

本論文以此為基礎環境，發展具實務性之自動視覺檢測系統，將於後續章節，逐一介紹。

## 2.3 光源系統

光源系統的目的是利用適當光源照明突顯檢測物的特徵，提高影像的對比及增加影像細節，將重要的部分強調出來，將不需要的部分移除或使之模糊。光源系統若設計的好，便能減少對取得之影像的後續影像處理步驟，降低後續檢測演算法的複雜度，光源系統的設計是取得良好影像的重要因素[15]。

本論文檢測對象為晶圓中的晶粒表面缺陷，由於前照式的光源照明方式是強調檢測物的表面特徵，因此半導體製造廠商的取像機台，其光源的打光方式如圖 2.2 所示，為一使用前照式環形光源的照明系統。

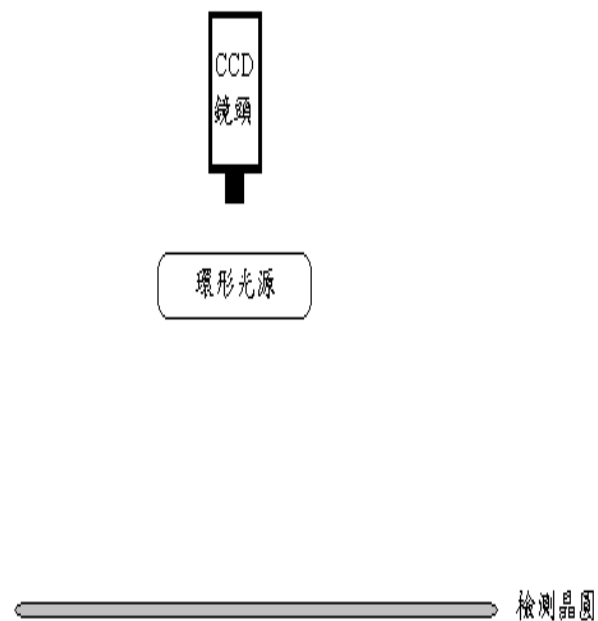


圖 2.2：取像機台光源打光方式

## 2.4 臨界值法

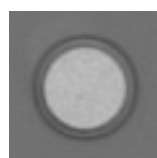
臨界值法因為其直覺上的特性與實現上的簡便性，臨界值法成為影像分割中重要的方法之一。臨界值法的研究有許多不同的方法，常見的有單一臨界值法與多臨界值法(Multi-thresholding)[18]等。

由於單一臨界值法有簡單又运算快速的優點，本論文使用單一臨界值法。使用單一臨界值可以完成影像二值化的動作，其目的主要是將物體與背景進行分割。假設一幅影像  $f(x, y)$  是由明亮物體在陰暗的背景上所組成如圖 2.3(a) 所示。

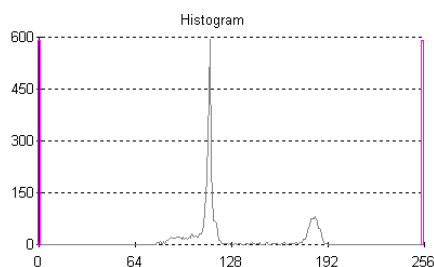
從背景中抽取出物體的一個方式，是分析其灰階直方圖(Histogram)如圖 2.3(b) 所示，選取將這些群組分開的一個臨界值  $T$  (又可稱為閾值)，對於  $f(x, y) \geq T$  的任一點  $f(x, y)$  都稱為物體點(Object Point)；否則點就稱為背景點(Background Point)。即取臨界值後的影像  $g(x, y)$  定義為

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & f(x, y) \geq T \\ 0, & f(x, y) < T \end{cases} \quad (2-1)$$

標示為 1 的像素對應為物體，而標示為 0 的像素對應為背景。二值化後之影像如圖 2.3(c) 所示。



(a)原始影像



(b)原始影像灰階直方圖



(c)以  $T=128$  的二值化影像

圖 2.3：二值化前後影像之變化

當  $T$  是一個常數時，這個方法稱為整體臨界值法(Global Thresholding)；允許臨界值改變的方法稱為區域臨界值法(Local Thresholding)[17, 18]。

本論文所使用的是單一臨界值下的整體臨界值方法，使用到的方法有 Otsu 法及  $P$ -tile 法。Otsu 法[19]是自動二值化的方法，利用分析影像中灰階值的分佈自動產生一個臨界值，使得影像中組間灰階值變異數最大，組內灰階值變異數最小。自動分割目標物體產生前景與背景。 $P$ -tile 法[20]是已知明亮物體佔影像面積的  $p\%$ ，選取一個臨界值使得在此臨界值下的背景面積佔影像的  $(100-p)\%$ ，利用此臨界值分割出影像的前景和背景。



## 2.5 區域成長

區域成長(Region Growing)是像素或子區域根據預先定義的準則而聚合生長成更大區域的過程。

基本的方法是從一個種子點(Seed Point)集合出發，把與每個種子點有相同性質(比如特定灰階範圍或色彩)的鄰近像素添加進來進行區域成長。選擇一組或更多組起始點通常可根據問題的特性。使用區域成長要明確陳述終止規則，當再也沒有任何像素能滿足被包括到某一區域的準則時，區域成長就應該停止。

當影像是單色時，區域分析必須由以灰階和空間性質為基礎的一組描述子來執行。增強區域成長演算法之能力的額外準則，可利用面積大小的概念、候選像素與目前已成長像素之間的相似性(諸如候選像素的灰階值與成長區域之平均灰階值的比較)以及成長中區域的形狀，而這一類描述子的使用，是基於所預期結果的模型其可知的特性。



## 2.6 幾何學轉換

幾何學轉換修改在影像中像素之間的空間關係，經常用於執行影像定位 (Image Registration)，將相同景物的兩個影像對準使它們可以被合併或是比較。假設定義在  $(w, z)$  座標系統上的影像  $f$  受到幾何轉換  $T$  變形失真而產生定義在  $(x, y)$  座標系統上的影像  $g$ ，則此轉換可表示成：

$$(x, y) = T\{(w, z)\} \quad (2-2)$$

幾何學轉換最常用的形式是仿射轉換 (Affine Transform)，仿射轉換能夠以矩陣形式表示成：

$$\begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w & z & 1 \end{bmatrix} T = \begin{bmatrix} w & z & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & 0 \\ t_{21} & t_{22} & 0 \\ t_{31} & t_{32} & 1 \end{bmatrix} \quad (2-3)$$

此轉換能夠依對  $T$  的元素所選取的值，來對影像做大小調整、旋轉、平移 [17]。本論文會使用到大小調整、旋轉來做影像空間上的幾何學轉換，使用到的仿射矩陣整理如下表：

表 2.2：仿射轉換的類型 [17]

類型	仿射矩陣 $T$	座標方程式
依比例改變大小	$\begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{aligned} x &= S_x w \\ y &= S_y z \end{aligned}$
旋轉	$\begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{aligned} x &= w \cos \theta - z \sin \theta \\ y &= w \sin \theta + z \cos \theta \end{aligned}$

## 2.7 連通成分

連通成分(Connected Component)是對任何的前景像素，滿足像素間相鄰且具備相同條件或屬性的像素 (例如灰階值相同)所形成的像素集合[17]。如果只有一個連通成分稱為連通集合(Component Set)。若  $R$  為影像中像素的子集且  $R$  是一個連通集合，則稱  $R$  是影像的區域(Region)(亦稱為 Blob)[21]。





## 2.8 形態學處理

可使用形態學(Morphology)運算對影像中的連通成分進行形態學處理，形態學運算可分為：膨脹(Dilation)、侵蝕(Erosion)、斷開(Opening)與閉合(Closing)等，分述如下，其中  $f(x, y)$  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。

膨脹是使影像中目標物膨脹的影像處理方法[17]，定義如下：

$$(f \oplus b)(s, t) = \max \left\{ f(s-x, t-y) + b(x, y) \mid (s-x), (t-y) \in D_f ; (x, y) \in D_b \right\} \quad (2-4)$$

侵蝕是使影像中目標物縮小的影像處理方法[17]，定義如下：

$$(f \ominus b)(s, t) = \min \left\{ f(s+x, t+y) - b(x, y) \mid (s+x), (t+y) \in D_f ; (x, y) \in D_b \right\} \quad (2-5)$$

斷開先對影像做侵蝕運算，再做影像之膨脹運算，其功用為去除影像中的小雜訊、打斷窄的細頸、消除銳峰等[17]。其定義為：

$$f \circ b = (f \ominus b) \oplus b \quad (2-6)$$

閉合先對影像做膨脹運算，再對影像做侵蝕運算，其功用為在於可以將一些斷線連接起來、填補影像中之小洞、融化裂口與平滑輪廓[17]。其定義為：

$$f \bullet b = (f \oplus b) \ominus b \quad (2-7)$$

## 2.9 Blob Analysis

所謂 blob 為影像中像素的子集且是一個連通集合，即是一張影像中相同區域的像素點。Blob 分析乃是指針對這些在影像中的 blob 進行特徵萃取，特徵可包括區塊個數、周長、維度與位置等。下列是 Blob 分析常用的幾個基本步驟[21]：

- (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 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) 配合形態學方法，加強待分析 blob 形狀的完整性。
- (4) 設定條件(面積或長寬比)將影像的雜訊去除或進行 blob 的分離作業。
- (5) 計算指定的特徵並分析結果。

本論文使用到的 blob 特徵如下：

- (1) 邊界(Boundary)是一個或更多的鄰接點不在區域中的像素集合，邊界的長度又稱為周長。沿著輪廓計算像素的個數可以到得足夠近似的長度。若以一個具有規定長度和方向的 8 連通性的鏈碼(如圖 2.4 所示)曲線來表示一個邊界，水平和垂直方向的個數加上 $\sqrt{2}$ 倍的對角線方向的個數，得到精確的長度。

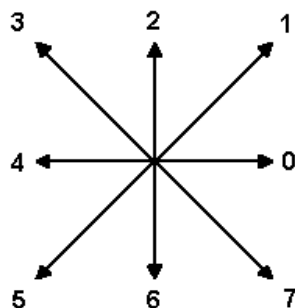


圖 2.4：8 連通性的鏈碼

- (2) 邊界的直徑(Diameter)為邊界上兩個最遠的點之間的歐幾里德距離(Euclidean distance)，其定義如下：

$$\text{Diam}=\max_{i,j}[D(p_i,p_j)] \quad (2-8)$$

其中  $D$  是使用歐幾里德距離當測度， $p_i, p_j$  是邊界上的兩個點， $\text{Diam}$  為直徑長度。而直徑又稱為邊界的主軸(Major Axis)，邊界的副軸(Minor Axis)定義為和主軸垂直的線。

- (3) 方向(Orientation)為主軸和  $x$  軸座標的角度。
- (4) 基本矩形(Basic Rectangle)定義為一個能完全包圍住邊界的矩形，主軸和副軸的長度是使得經過邊界與兩個軸的四個交會點的一個矩形，此矩形能完全包圍住邊界。
- (5) 邊界盒(Bounding Box)為基本矩形的特例，其主軸和副軸對準座標軸(與座標軸平行)。
- (6) 面積(Area)定義為包含在 blob 的邊界內的像素個數。
- (7) 質心(Centroid)定義為 blob 的幾何座標中心點。



## 第三章 研究方法設計

本論文將發展一套適用於晶粒表面缺陷之檢測系統，本章將對晶粒缺陷檢測演算法與實行細節進行說明。

### 3.1 定義檢測區域

檢測影像為彩色影像，是使用半導體製造廠商的取像機台，在無塵室中所拍攝的影像，如圖 3.1 所示，由於此張影像中含有多顆晶粒，因此要先定義出所要檢測的區域。本論文定義檢測區域為：「位於檢測影像中心的晶粒。」，如圖 3.1 的灰色區域所示，因此在訓練標準樣本影像或是檢測缺陷前，必須先分割影像，將位於檢測影像中心的晶粒分割出來，視為檢測晶粒(即定義的檢測區域)，再對分割晶粒後欲檢測的晶粒影像，進行後續的處理。



圖 3.1：檢測晶粒示意圖

分割檢測晶粒後，再依特定目標區域(Region Of Interest, ROI)的概念，對晶粒上所要檢測的元件進行分割，分割出元件所在的區域。晶粒的元件如圖 3.2 所示。元件有分為：P+, P-區(中文翻譯為離子植入區)、方形焊墊區、圓形焊墊區，而非上述的區域為底層區。各元件的功能介紹如下：

- P+, P-區：讓離子植入的區域，將離子以電場加速，使高能量離子植入於晶粒當中的區域，產生顯影光阻圖案(Pattern)，P+及 P-區主要是離子滲雜濃度不同，P+離子滲雜濃度較重，P-離子滲雜濃度較輕。
- 方形鋅墊區：為護層製造完成後，利用微影技術做為封裝時之焊墊(Pad)打開的區域，方形鋅墊在一般的測試後，主要用來打線，連結印刷電路板(Printed Circuit Board, PCB)，作為封裝使用，為訊號傳導的介面。
- 圓形焊墊區：製程技術和方形鋅墊區相同，但在產品(晶粒)的使用上，本身沒有功用，僅供(晶圓代工廠的客戶)作特殊測試使用。
- 底層區：為薄膜保護的護層，為了保護元件避免化學反應、水氣、腐蝕、污染等傷害，為元件製程最後沉積的一層保護層(介電層)，可避免封裝過程可能造成的傷害。

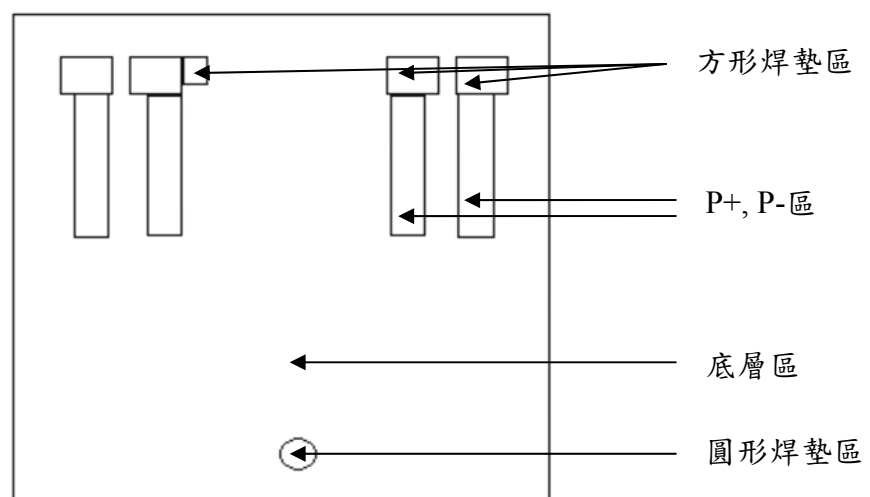


圖 3.2：晶粒的元件示意圖

### 3.1.1 檢測缺陷種類

本論文選擇晶粒中最常出現的缺陷種類作為檢測項目，分別為微粒或污染、面積缺損、變色與護層不良，上述缺陷種類之定義與影像整理於表 3.1，而表 3.2 描述晶粒的品質規格，只要有違反任何品質規格，檢測晶粒就判斷為不良品。

表 3.1：晶粒缺陷種類、定義與影像

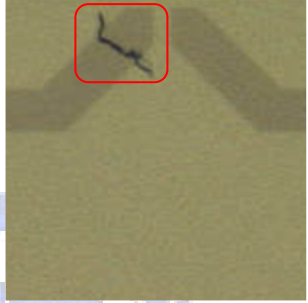
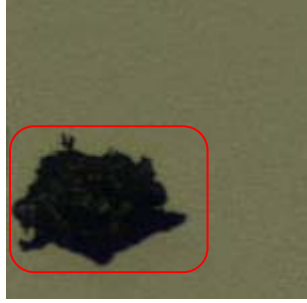
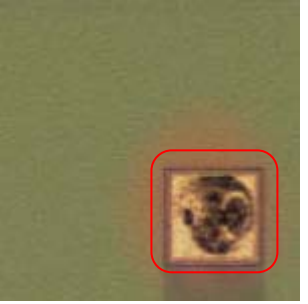

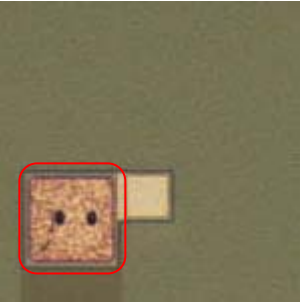
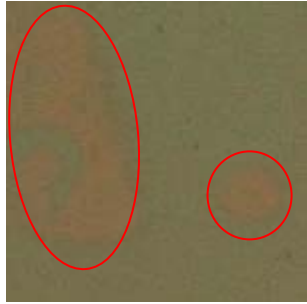
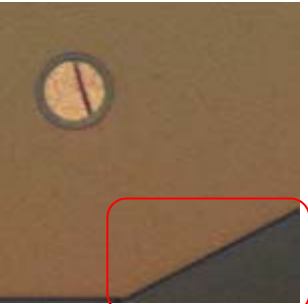
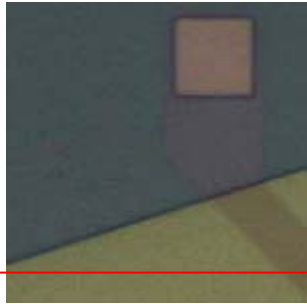
缺陷種類	定義	缺陷影像 1	缺陷影像 2
微粒或污染	微粒或污染於晶粒中任何一處		
面積缺損	鋅墊表面有發生鋅墊遺漏或鋅墊缺損		
變色	鋅墊上產生鋁化物或是異物殘留；底層區其護層顏色不均勻		
護層不良	護層破洞造成護層下層露出		

表 3.2：晶粒品質規格表

缺陷種類 檢測區域	微粒或污染	面積缺損	變色	護層不良
P+, P-區	主軸長度小於 $5\mu m$			沒有護層破洞
底層區	(1) 主軸長度小於 $150\mu m$ (2) 若主軸長度在 $50\mu m$ ~ $149\mu m$ 間，其副軸長度要小於 $20\mu m$		變色面積佔晶粒面積的 $\alpha_1\%$ 以內 ( $\alpha_1=0.5$ )	沒有護層破洞
方形鐳墊區	(1) 主軸長度小於 $150\mu m$ (2) 若主軸長度在 $50\mu m$ ~ $149\mu m$ 間，其副軸長度要小於 $20\mu m$	面積缺損在 $\alpha_2\%$ 以內 ( $\alpha_2=10$ )	鋁化物或是異物殘留面積在 $\alpha_2\%$ 以內 ( $\alpha_2=10$ )	沒有護層破洞
圓形鐳墊區	(1) 主軸長度小於 $150\mu m$ (2) 若主軸長度在 $50\mu m$ ~ $149\mu m$ 間，其副軸長度要小於 $20\mu m$	面積缺損在 $\alpha_3\%$ 以內 ( $\alpha_3=25$ )	鋁化物或是異物殘留面積在 $\alpha_3\%$ 以內 ( $\alpha_3=25$ )	沒有護層破洞

(灰色部分表製程中無此缺陷或不檢測此缺陷)

根據晶粒品質規格，檢測結果可分成三類：

- (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。

### 3.2 晶粒缺陷檢測演算法

本論文檢測方法以標準樣本法為主，針對特別要檢測的特徵以判斷條件為輔，做為檢測缺陷的條件，流程圖如圖 3.3 所示。

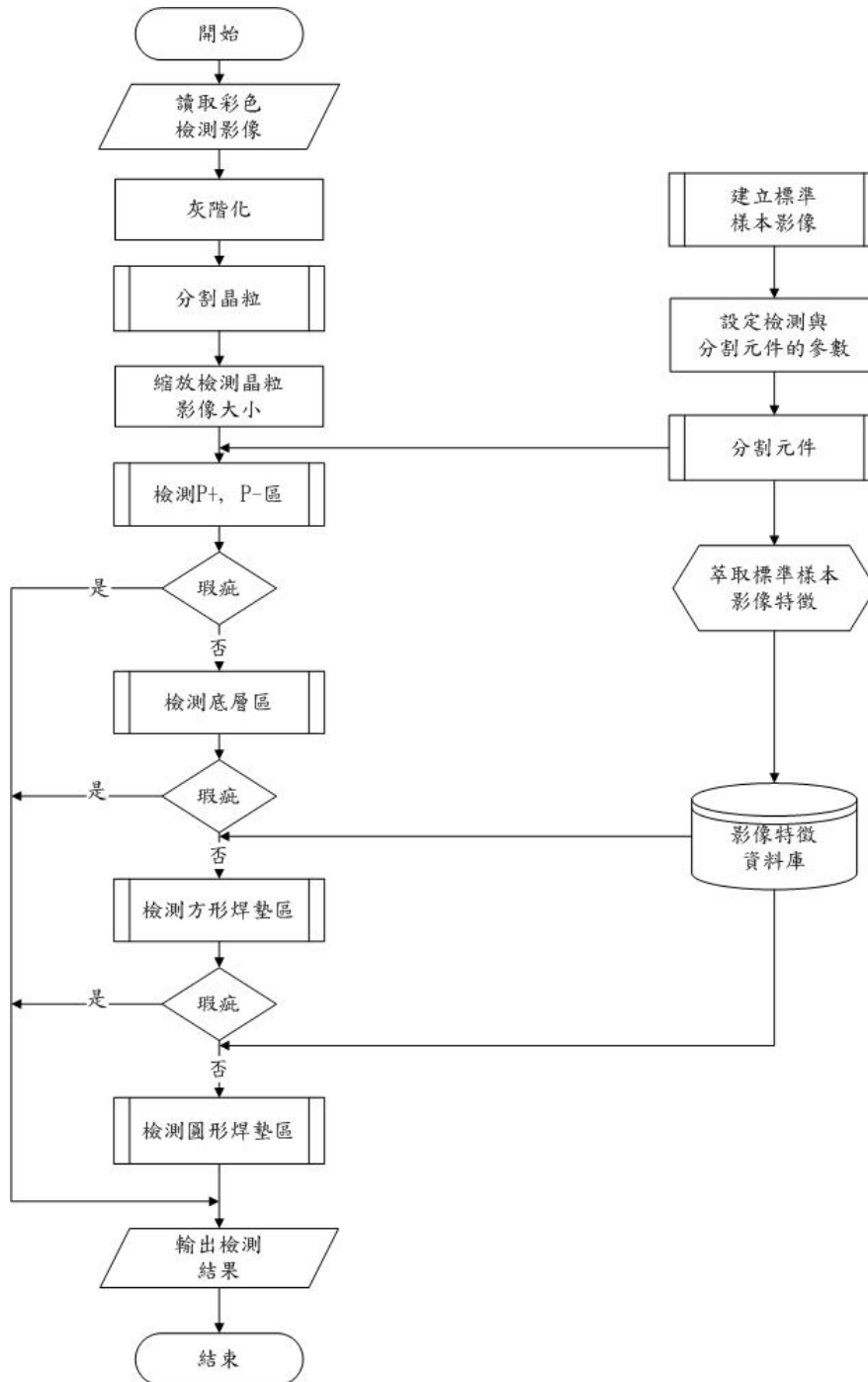


圖 3.3：晶粒缺陷檢測演算法流程圖



對晶粒缺陷檢測演算法流程圖中，各處理(Process)、程序(Subroutine)與準備(Preparation)步驟說明如下：

- 灰階化：將讀取的彩色檢測影像轉換成灰階值介於 0 到 255 的灰階檢測影像。
- 分割晶粒：將晶粒從檢測影像中分割出來，得到晶粒影像，詳細內容見 3.3 節說明。
- 建立標準樣本影像：見 3.4 節說明。
- 設定檢測與分割元件的參數：設定檢測時所使用的相關參數和閾值，與利用標準樣本影像做分割元件時，形態學處理所使用的參數。所需設定的參數如下：
  - $\alpha_1$ ：底層區變色面積不得超過晶粒面積的比例。
  - $\alpha_2$ ：方形鐳墊區其面積缺損、鋁化物或異物殘留，不得超過方形鐳墊區面積的比例。
  - $\alpha_3$ ：圓形鐳墊區其面積缺損、鋁化物或異物殘留，不得超過圓形鐳墊區面積的比例。
  - *PixelSize*：影像中一個像素值實際上所對應的大小，即一個像素值大小為多少  $\mu m$ 。
  - *Ero1*：分割元件時內縮 P+, P-區的參數。
  - *Ero2*：分割元件時內縮底層區的參數。
  - *Ero3*：分割元件時內縮方形鐳墊區與圓形鐳墊區的參數。
  - *Th1*：對差值影像二值化的臨界值，把差值影像中灰階值低於 *Th1* 的過暗區域視為缺陷可能發生區域。
  - *Th2*：對差值影像二值化的臨界值，把差值影像中灰階值高於或等於 *Th2* 的過亮區域視為缺陷可能發生區域。
- 分割元件：由標準樣本影像分割出元件，並記錄元件所在的區域，見 3.5 節說明。

- 萃取標準樣本影像特徵：從建立好的標準樣本影像中萃取出特徵值(區域的面積)，做為檢測方形焊墊區與圓形焊墊區檢測的判斷條件之一。
- 縮放檢測晶粒影像大小：缺陷檢測使用和標準樣本影像相減的標準樣本法，為了要做後續影像檢測，需先對欲檢測的晶粒影像進行校正，使欲檢測的晶粒影像縮放成和標準樣本影像一致的大小。
- 檢測 P+, P-區：見 3.6 節說明。
- 檢測底層區：見 3.7 節說明。
- 檢測方形焊墊區：見 3.8 節說明。
- 檢測圓形焊墊區：見 3.9 節說明。



### 3.3 分割晶粒

分割晶粒使用區域成長法，把和種子點灰階值相近的像素加進來進行區域成長，使用區域成長的目的，是為了分割定義的檢測區域，而區域成長後的區域範圍，即是檢測晶粒所在的範圍。完成分割晶粒後，可得到晶粒影像。本論文使用單一起始點，當作最初的種子點。分割晶粒流程圖如圖 3.4 所示。

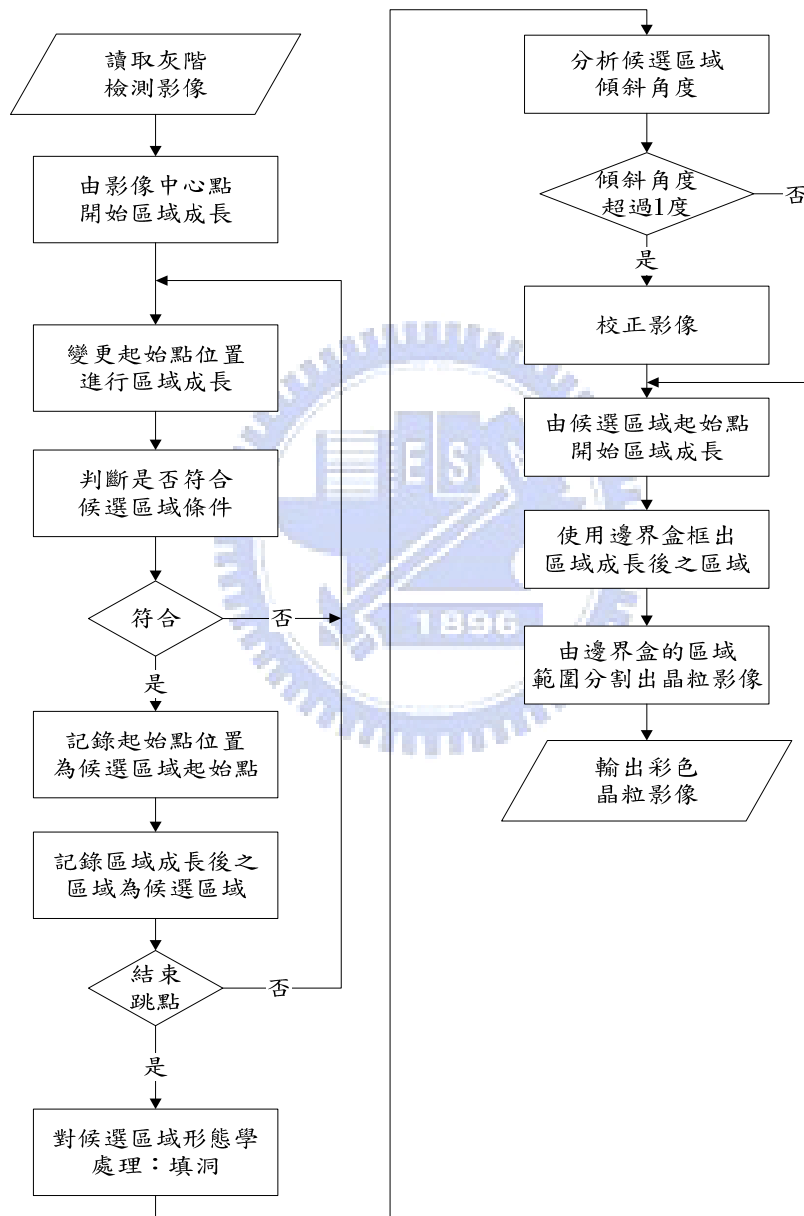


圖 3.4：分割晶粒流程圖

對分割晶粒流程圖主要處理步驟說明如下：

- 由影像中心點開始區域成長：作法是由灰階檢測影像中心點當作起始點，開始進行區域成長。而後記錄灰階檢測影像中心點，當作候選區域的起始點，並將區域成長後的結果，記錄為候選區域。
- 變更起始點位置進行區域成長：由灰階檢測影像中心點往上下左右方向，依影像的某一長寬比例跳動間隔，當作起始點進行區域成長。以跳動間隔為影像的三分之一寬，從中心點往水平方向左右跳動；以跳動間隔為影像的三分之一高，從中心點往垂直方向上下跳動為例，跳點順序如圖 3.5 所示；中心圓點代表最初的起始點，方點代表所有變更的起始點位置。

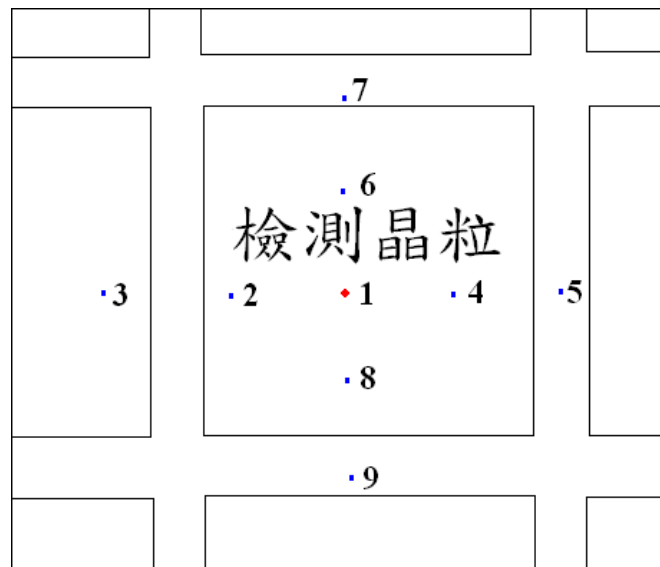


圖 3.5：起始點跳點示意圖

- 判斷是否符合候選區域條件：使用區域成長，其目的是找出檢測影像中要檢測的晶粒。區域成長後的區域要符合晶粒特徵，又檢測晶粒在影像中的形狀為一方正的正方形，區域成長後的區域是否取代舊有的候選區域，成為新的候選區域，其判斷的條件如下：
  - (1) 區域不能為空集合；
  - (2) 區域的面積要大於現有的候選區域的面積；
  - (3) 區域的長寬比要介於 0.95 到 1.05 之間。

- 分析候選區域傾斜角度：使用blob analysis的基本矩形，來分析候選區域的傾斜角度。
- 校正影像：使用仿射轉換做幾何學的旋轉轉換，若影像傾斜 $\theta$ 度則旋轉 $-\theta$ 度將影像校正。
- 使用邊界盒框出區域成長後之區域：使用區域成長的目的，是為了找出定義的檢測區域，而最後選出的候選區域範圍即是檢測晶粒的範圍。使用邊界盒框選最後的候選區域，即可將晶粒從檢測影像中分割出來，得到晶粒影像。



### 3.4 建立標準樣本影像

標準樣本影像為完美無缺陷的彩色晶粒影像，由大小縮放後的彩色晶粒影像，經由影像平均的方法，取其像素平均值所建立而成。

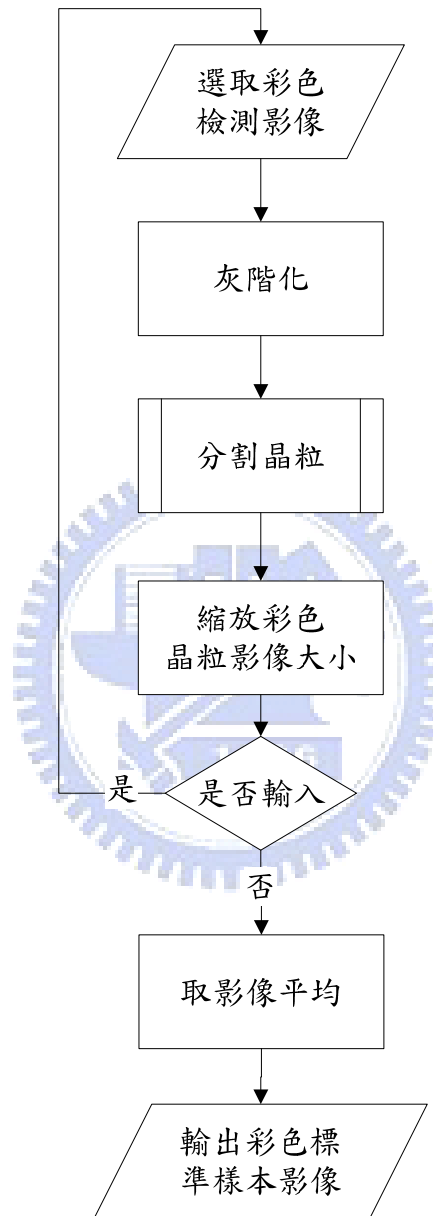


圖 3.6：建立標準樣本影像流程圖

對建立標準樣本影像流程圖主要處理與程序步驟說明如下：

- 選取彩色檢測影像：由品質專家或製程工程師選取檢測影像，被選取的檢測影像要符合其檢測晶粒是完美，沒有任何缺陷的檢測影像，至少選取三張以

上的檢測影像，當作是建立標準樣本影像的訓練影像。

- 分割晶粒：經此程序後，會得到分割後的彩色晶粒影像，詳細內容見 3.3 節說明。
- 縮放彩色晶粒影像大小：建立標準樣本影像時，需先對分割後的彩色晶粒影像進行校正(對準)，本步驟將分割後的彩色晶粒影像縮放成一致的大小。
- 取影像平均：影像平均是為了減少影像中的雜訊，將所有經過大小縮放後的彩色晶粒影像，取其像素值的平均，透過影像平均來減少影像中的雜訊，建立一張完美無缺陷的彩色標準樣本影像。



### 3.5 分割元件

對晶粒上所要檢測的元件進行分割，使用標準樣本影像分割出元件所在的區域位置。檢測的元件如下：P+, P-區、底層區、方形焊墊區、圓形焊墊區，對上述區域進行分割。

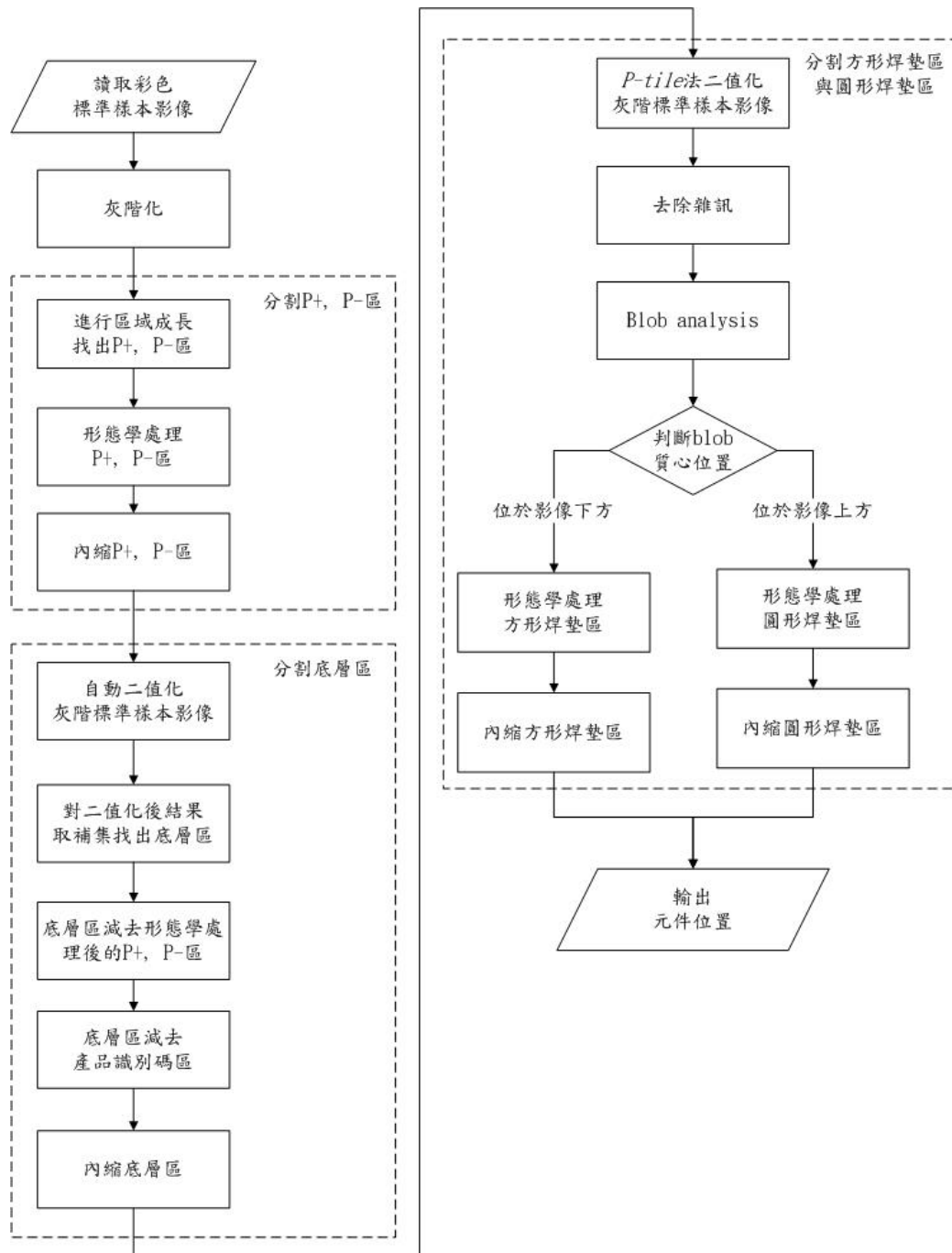


圖 3.7：分割元件流程圖



對分割元件流程圖中，主要處理的步驟說明如下：

- 灰階化：將讀取的彩色標準樣本影像轉換成灰階標準樣本影像。
- 形態學處理 P+, P-區：將區域成長後的 P+, P-區，使用形態學的閉合將 P+, P-的小洞填補起來與斷線連接起來，以平滑 P+, P-區的輪廓。
- 內縮 P+, P-區：因為標準樣本法有對準的問題，所以使用形態學處理的侵蝕運算去內縮 P+, P-區，避免檢測的晶粒影像與標準樣本影像在對準時，因為元件的位置有些微差異，造成誤判為缺陷。其中，內縮的 P+, P-區為影像相減時 P+, P-區之相減範圍。
- 自動二值化灰階標準樣本影像：使用 Otsu 法，自動灰階二值化標準樣本影像，即可分割出底層為背景。
- 對二值化後結果取補集找出底層區：使用補集將分割出的底層區從背景轉換為前景。
- 底層區減去產品識別碼區：因產品識別碼印在底層區，但不同晶粒有不同的產品識別碼，造成產品識別碼所在的區域，在和標準樣本影像相減時會產生差異，因此底層區要減去產品識別碼所在的區域。
- 內縮底層區：原因和內縮 P+, P-區相同。
- *P-tile* 法二值化灰階標準樣本影像：焊墊是晶粒影像中最亮的部分，且佔晶粒影像的比例  $p$  可得知，使用 *P-tile* 法選取臨界值，將焊墊分割為影像的前景。
- 形態學處理方形焊墊區：使用填洞運算。
- 形態學處理圓形焊墊區：使用填洞運算。
- 內縮方形焊墊區：原因和內縮 P+, P-區相同。
- 內縮圓形焊墊區：原因和內縮 P+, P-區相同。

### 3.6 檢測P+, P-區

檢測 P+, P-區的缺陷種類主要可分為二個項目，分別是微粒或污染與護層不良。使用影像相減的方法，計算檢測晶粒影像與標準樣本影像上，P+, P-區其所對應的像素之間的灰階值的差異，其中 P+, P-區之相減範圍由 3.5 節分割元件中使用標準樣本影像來定義。

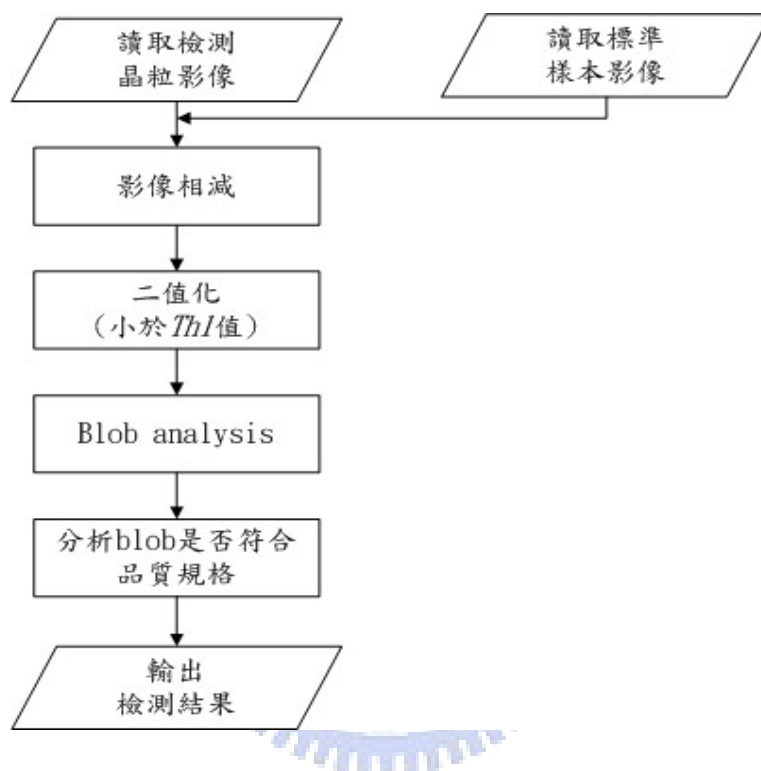


圖 3.8：檢測 P+, P-區流程圖

對檢測 P+, P-區流程圖中，主要處理的步驟說明如下：

- 影像相減：相減的主要用途在於影像間差異的增強。作法是計算對應像素之間的灰階值差異，將影像中所有像素的灰階值差異調整到[0, 255]這個區間，調整後的影像為差值影像。
- 二值化(小於  $ThI$  值)：使用  $ThI$  當臨界值對差值影像二值化，把差值影像中過暗的區域視為缺陷可能發生區域。
- Blob analysis：分析缺陷可能發生區域的主軸長度。
- 分析 blob 是否符合品質規格：可以找出微粒或污染與護層不良的缺陷。

### 3.7 檢測底層區

檢測底層區的缺陷種類主要可分為三個項目，分別是微粒或污染、變色與護層不良。使用影像相減的方法，計算檢測晶粒影像與標準樣本影像上，底層區其所對應的像素之間的灰階值的差異，其中底層區之相減範圍由 3.5 節分割元件中使用標準樣本影像來定義。

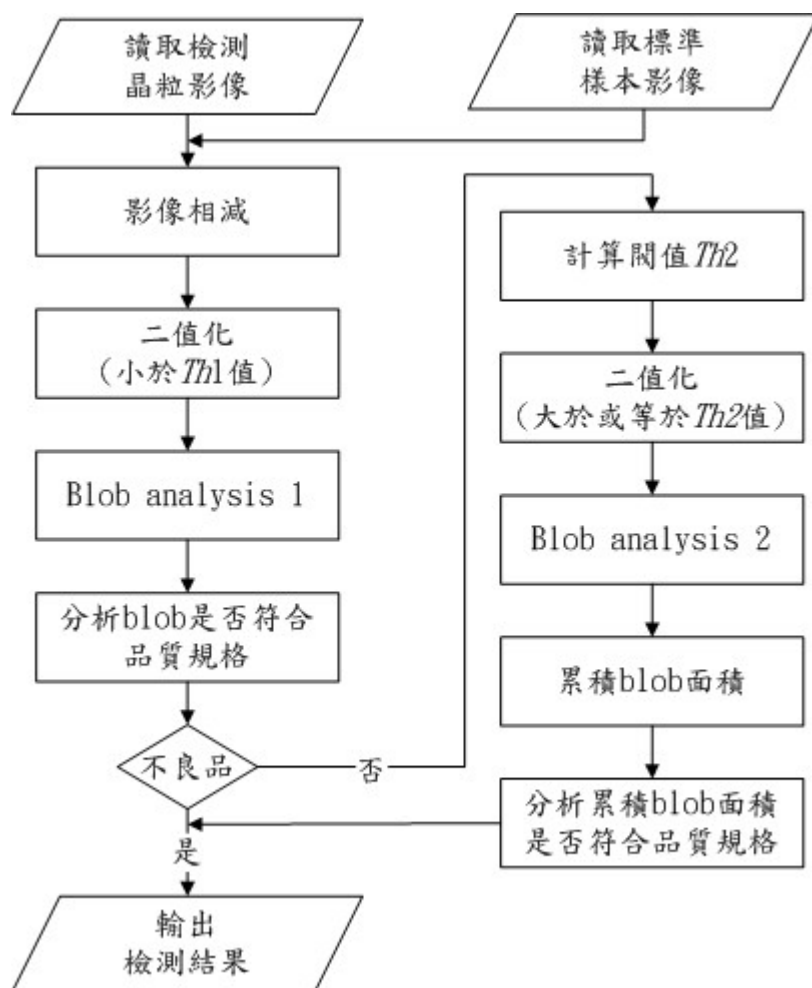


圖 3.9：檢測底層區流程圖

對檢測底層區流程圖中，主要處理的步驟說明如下：

- 影像相減：和 3.6 節中影像相減說明相同。
- 二值化(小於  $Th1$  值)：和 3.6 節中二值化(小於  $Th1$  值)說明相同。
- Blob analysis 1：分析缺陷可能發生區域的主軸長度、副軸長度。

- 分析 blob 是否符合品質規格：可以找出微粒或污染與護層不良的缺陷。
- 計算閾值  $Th2$ ：依檢測晶粒影像的灰階值亮度來調整，計算  $Th2$  的閾值。
- 二值化(大於或等於  $Th2$  值)：使用  $Th2$  當臨界值對差值影像二值化，把差值影像中過亮的區域視為缺陷可能發生區域。
- Blob analysis 2：分析缺陷可能發生區域的面積。
- 分析累積 blob 面積是否符合品質規格：若累積 blob 面積超過晶粒面積的指定比例  $\alpha_1$ ，判斷為底層區變色，檢測結果為不良品。



### 3.8 檢測方形鐳墊區

檢測方形鐳墊區的缺陷種類主要可分為四個項目，分別是微粒或污染、面積缺損、變色與護層不良。使用影像相減的方法，計算檢測晶粒影像與標準樣本影像上，方形鐳墊區其所對應的像素之間的灰階值的差異，其中方形鐳墊區之相減範圍由 3.5 節分割元件中使用標準樣本影像來定義。

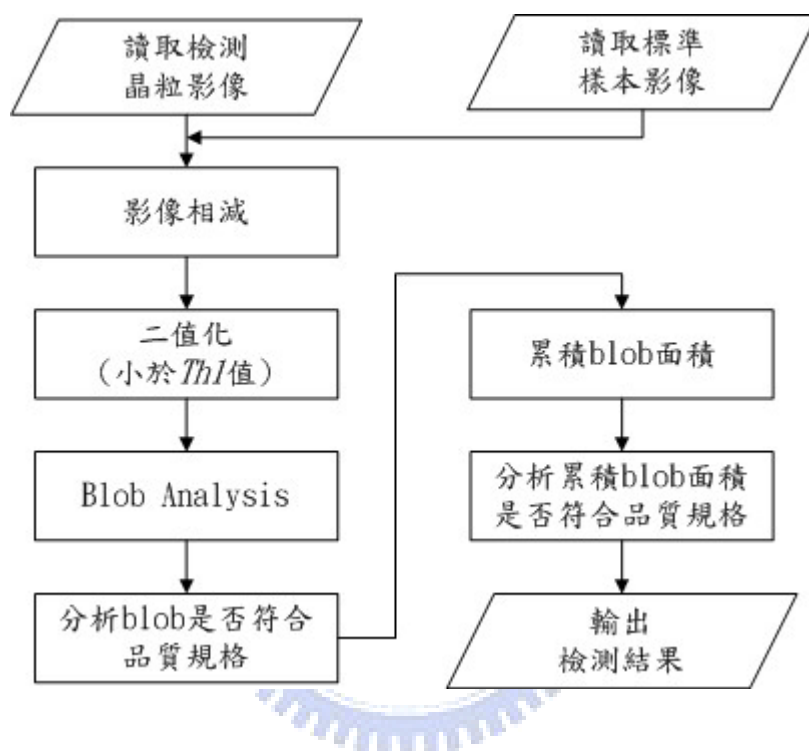


圖 3.10：檢測方形鐳墊區流程圖

對檢測方形鐳墊區流程圖中，主要處理的步驟說明如下：

- 影像相減：和 3.6 節中影像相減說明相同。
- 二值化(小於  $Th1$  值)：和 3.6 節中二值化(小於  $Th1$  值)說明相同。
- Blob analysis：分析缺陷可能發生區域的主軸長度、副軸長度與面積。
- 分析 blob 是否符合品質規格：可以找出微粒或污染與護層不良的缺陷。
- 分析累積 blob 面積是否符合品質規格：若累積缺陷面積超過方形鐳墊區面積的指定比例  $\alpha_2$ ，判斷為面積缺損或方形鐳墊區變色所造成的缺陷，檢測結果為不良品。

### 3.9 檢測圓形鐳墊區

檢測圓形鐳墊區的缺陷種類主要可分為四個項目，分別是微粒或污染、面積缺損、變色與護層不良。使用影像相減的方法，計算檢測晶粒影像與標準樣本影像上，圓形鐳墊區其所對應的像素之間的灰階值的差異，其中圓形鐳墊區之相減範圍由 3.5 節分割元件中使用標準樣本影像來定義。

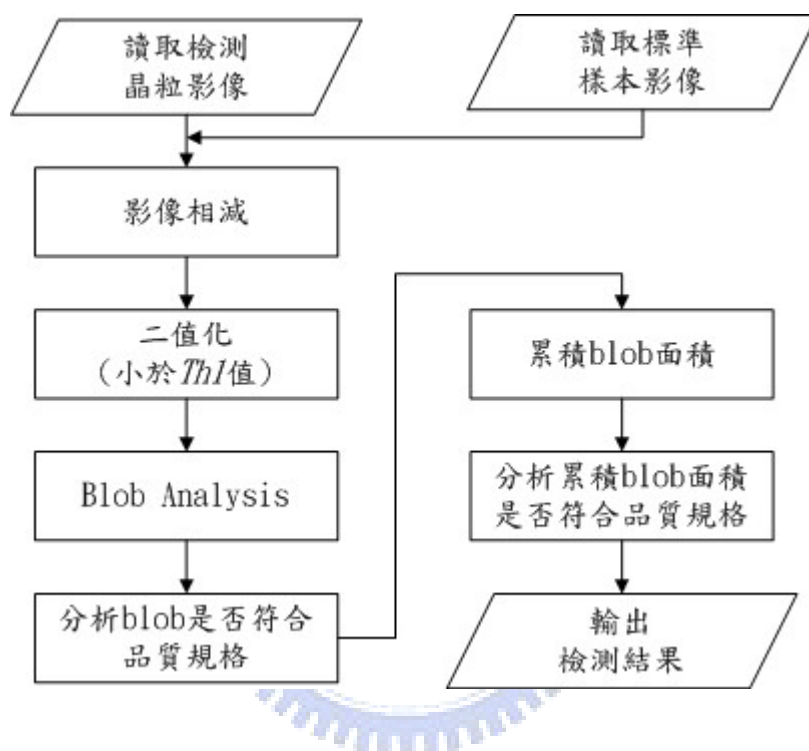


圖 3.11：檢測圓形鐳墊區流程圖

- 影像相減：和 3.6 節中影像相減說明相同。
- 二值化(小於  $Th1$  值)：和 3.6 節中二值化(小於  $Th1$  值)說明相同。
- Blob analysis：和 3.8 節中 Blob analysis 說明相同。
- 分析 blob 是否符合品質規格：可以找出微粒或污染與護層不良的缺陷。
- 分析累積 blob 面積是否符合品質規格：若累積缺陷面積超過圓形鐳墊區面積的指定比例  $\alpha_3$ ，判斷為面積缺損或圓形鐳墊區變色所造成的缺陷，檢測結果為不良品。

## 第四章 實驗結果與分析

### 4.1 系統設備

檢測影像為彩色影像，是使用半導體製造廠商的取像機台，在無塵室中所拍攝的影像。取像方式是對每顆要檢測的晶粒，各別拍攝一張檢測影像。本論文所設計的系統再對所拍攝的檢測影像做離線檢測。本論文的系統設備為：晶粒表面缺陷檢測系統做離線檢測所使用的設備，設備之詳細規格如下說明：

- (1) 個人電腦：使用 CPU 為 AMD 2.0 GHz 個人電腦、記憶體為 1024MB SDRAM、顯示卡為 ATI-X300 VGA Chip。
- (2) 影像處理函式庫：HALCON 9.0 影像處理函式庫。
- (3) 程式語言：Microsoft Visual Studio 2005 的 Visual Basic 2005，配合影像處理函式庫，撰寫檢測系統之程式。

半導體製造廠商的取像機台之詳細規格如下說明：

- (4) 攝影機(CCD Camera)：Hitachi KP-FD202GV(解析度 1620×1220，兩百萬像素，GE 介面)。
- (5) 鏡頭(Lens)：Olympus Lens 鏡頭(光學倍率 5X，N.A=0.1，Working distance 為 19.6 mm，Resolution 為 3.36  $\mu m$ )。
- (6) 光源系統(Lighting Source)：12V / 100W 同軸黃光環形鹵素燈。

## 4.2 實驗操作

由於同一個產品但不同型號其晶圓製程的差異，使得同一個產品但不同型號的晶粒，在製程上其晶粒的薄膜保護層(護層)的厚度不同，使得不同型號的晶粒在取像機台，所拍攝之影像特徵有差異。不同型號晶粒所拍攝之影像，如圖 4.1(a)、(b)所示，其灰階影像的灰階直方圖，如圖 4.2(a)、(b)所示，其灰階直方圖分佈的特徵已不相似。



圖 4.1：不同型號晶粒所拍攝之影像

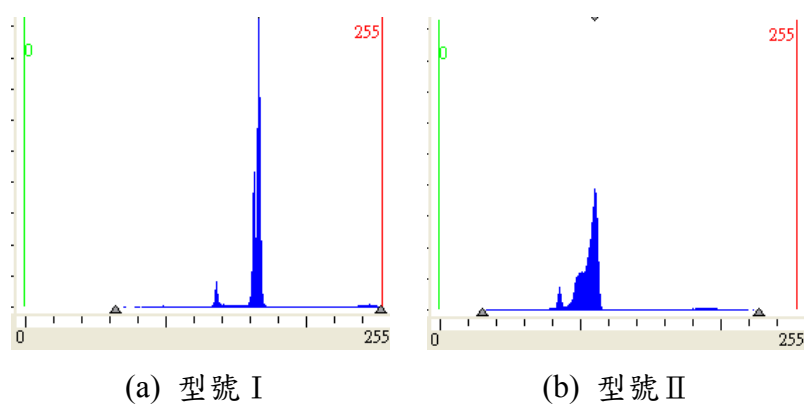


圖 4.2：不同型號晶粒其灰階影像之灰階直方圖



即使是同一型號的晶粒，也可能因其製程的變異、取像時光源系統其光源不均或取像機台鏡頭有經過調整變動，造成同一型號但不同批號(Lot ID)的晶粒，其所拍攝之檢測影像，在影像特徵(如灰階值)有變異過大的情形發生。

本論文所開發的系統，設計了可供品質專家或製程工程師自行調整參數的功能，可調整的參數如下：

- *PixelSize*：影像中一個像素值實際上所對應的大小，即一個像素值大小為多少  $\mu\text{m}$ 。
- *Ero1*：分割元件時內縮 P+, P-區的參數。
- *Ero2*：分割元件時內縮底層區的參數。
- *Ero3*：分割元件時內縮方形鐳墊區與圓形鐳墊區的參數。
- *Th1*：對差值影像二值化的臨界值，把差值影像中灰階值低於 *Th1* 的過暗區域視為缺陷可能發生區域。
- *Th2*：對差值影像二值化的臨界值，把差值影像中灰階值高於或等於 *Th2* 的過亮區域視為缺陷可能發生區域。

因為不同型號的晶粒影像(檢測影像經過分割晶粒後所得的影像)，其灰階值的變異很大，或者同型號但不同批號的晶粒影像，其灰階值的變異也可能很大，由於晶粒影像其灰階值的變異，會影響到晶粒影像檢測結果。

為了避免上述情形發生，若是檢測不同型號的晶粒影像，或是同型號但不同批號的晶粒影像，當其影像特徵有變異時，建議要由品質專家或製程工程師，選取檢測影像中其檢測晶粒是完美無任何缺陷的影像，重新建立標準樣本影像，並調整上述的參數，其參數的設定由品質專家或製程工程師，依實際的取像狀況自行調整設定。因此上述的參數在本論文所開發之系統中沒有預設值，參數可依檢測影像其取像特徵的差異來調整，而能有較好的檢測彈性。

### 4.3 實驗結果

以型號 I 的 1649 張檢測影像當作測試樣本，並於本論文所設計之系統下進行檢測。系統在電腦自動檢測前並不知道人工檢測結果，並於檢測後再與人工檢測結果比對，結果如下，檢測統計結果如表 4.1 所示：

- (1) 人機一致性：電腦自動檢測結果與人工檢測結果一致，數目為 1503 張(佔全部的 91.15%)。
- (2) False Positive(誤判)：人工檢測為良品，電腦自動檢測結果為不良品，即統計上的型 I 誤差，數目為 100 張(佔全部的 6.06%)。
- (3) False Negative(漏判)：人工檢測為不良品，電腦自動檢測結果為良品(優良品與規格良品)，即統計上的型 II 誤差，數目為 46 張(佔全部的 2.79%)。

表 4.1：檢測統計結果

項目	結果
人機一致性	91.15%
False Positive	6.06%
False Negative	2.79%

## 4.4 結果分析

首先針對 False Positive(誤判)進行相關後續分析，隨機選取其中兩張影像為樣本說明，如圖 4.3(a)、(b)所示。

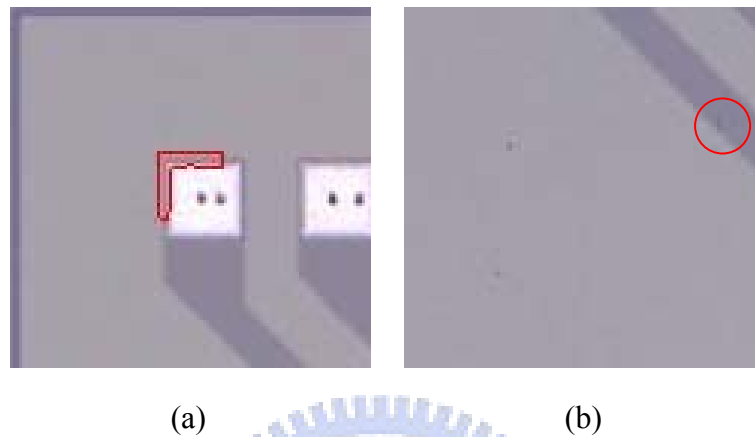


圖 4.3：誤判的晶粒影像

圖 4.3(a)其解釋原因，主要是因為檢測的晶粒影像和標準樣本影像，其影像有對準、校正不準確的問題發生，造成晶粒影像元件的位置與標準樣本影像元件的位置有些微差異，在影像相減時而誤判為缺陷。圖 4.3(b)其解釋原因，主要是 P+, P-區的品质規格(微粒或污染的主軸長度小於  $5\mu m$ )過於嚴格，無法確定影像上的缺陷原因，是來自 P+, P-區上本身的瑕疵，或是取像時有雜訊產生，造成影像的解析度不清晰，使雜訊被誤判為缺陷。

接著針對 False Negative(漏判) 進行相關後續分析。首先是污染所造成的問題，好幾個小污染點密集散佈在一個區域，如圖 4.4(a)、(b)所示。

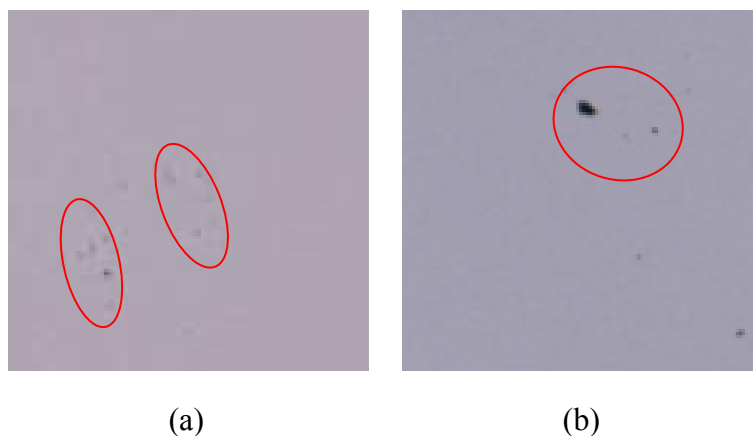


圖 4.4：漏判的晶粒影像

這些小污染點就單一缺陷來看，雖有缺陷但仍在品質規格範圍內，這些小污染點雖然其缺陷沒有超過品質規格，但人工檢測把這些小的污染點連起來看，當看起來大於某個長度(實際人檢判斷標準為污染點連起來的長度超過  $200\mu m$ )，就判斷為不良品，如圖 4.4(a)所示，但也可能是人眼疲勞，污染點和污染點之間的距離，要多近才能連起來的標準不一致，使得污染點連起來沒有大於某個長度，但是人工檢測卻判為不良品，如圖 4.4(b)所示，因此才有人工檢測為不良品，電腦自動檢測結果為良品。

再者是元件邊緣與跨元件邊緣的檢測問題，由於本論文使用標準樣本法，要避免檢測的晶粒影像與標準樣本影像在影像相減時，因為晶粒影像與標準樣本影像有對不準的問題發生，造成元件的位置有些微差異而誤判為缺陷，因此在分割元件時，有內縮各元件的檢測區域大小，造成和標準樣本影像相減的範圍變小。

若缺陷發生在元件邊緣，會因為內縮各元件的檢測區域大小，而無法檢測到元件邊緣的缺陷，如圖 4.5(a)所示，也因各元件的檢測區域內縮，造成當缺陷發生在元件與元件交接處會遺漏無法檢測，如圖 4.5(b)所示。

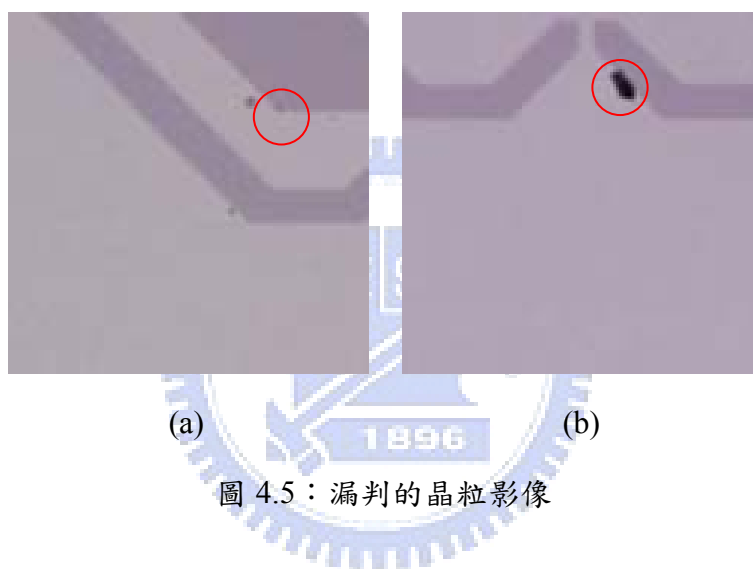


圖 4.5：漏判的晶粒影像

最後扣除小污染點、元件邊緣與跨元件邊緣的缺陷，對所剩下的漏判筆數進行分析。第一種情形的 False Negative 是底層區異常的檢測問題，在影像相減時，有檢測出底層區發生缺陷，但就單一缺陷來看，雖有缺陷但仍在品質規格範圍內，然而人工檢測時依實際經驗，認為影像上所呈現的缺陷特徵，對應到實際晶粒上，認為是底層區的護層有異常，因此斷判為不良品，如圖 4.6 所示。在現有的檢測方法和品質規格下，有 2 張檢測的晶粒影像，會遺漏無法檢測出此不良品晶粒。

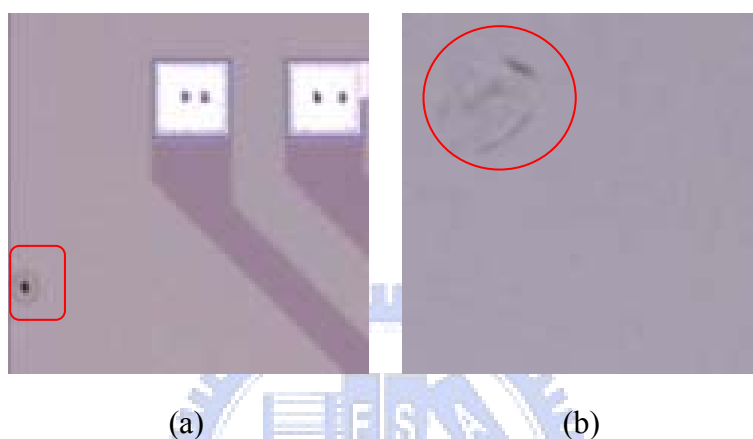


圖 4.6：漏判的晶粒影像

第二種情形的 False Negative 是 P+, P-區的微粒或污染的檢測問題，如圖 4.7 所示。

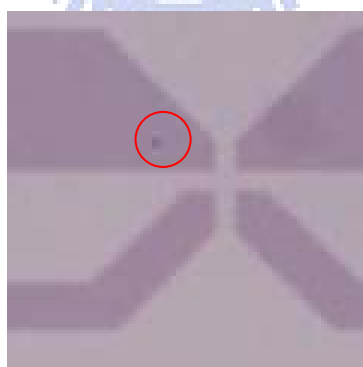


圖 4.7：漏判的晶粒影像

其解釋原因，是因為取像時機台的光源不均，造成拍攝的影像其整體灰階值較標準樣本影像的灰階值高，在現有的檢測閾值  $Th1$  (對差值影像二值化的臨界值，把差值影像中灰階值低於  $Th1$  的過暗區域視為缺陷可能發生區域) 下，在影

像相減時，因其微粒或污染的灰階值較高，所以偵測不出底層區發生微粒或污染的缺陷。

但人檢可以直接判斷 P+, P-區發生微粒或污染的缺陷，且超出品質規格範圍，因此斷判為不良品。在現有的檢測閾值下，有 18 張檢測的晶粒影像，會遺漏無法檢測出此不良品晶粒。



結果分析後的檢測統計結果如表 4.2 所示：

- (1) 人機一致性：電腦自動檢測結果與人工檢測結果一致。
- (2) False Positive Rate：人工檢測為良品，電腦自動檢測結果為不良品的數目，佔人工檢測為良品總數的比例。
- (3) False Negative Rate：人工檢測為不良品，電腦自動檢測結果為良品(優良品與規格良品) 的數目，佔人工檢測為不良品總數的比例。
- (4) False Negative Rate(分析後)：人工檢測為不良品，電腦自動檢測結果為良品(優良品與規格良品)，經過分析，扣除小污染點、元件邊緣檢測與跨元件邊緣的缺陷的漏判筆數，在本論文的研究方法下，本系統的 False Negative Rate 為 10.47%。

表 4.2：結果分析後的檢測統計結果

項目	結果
人機一致性	91.15% (1503/1649)
False Positive Rate	6.86% (100/1458)
False Negative Rate	24.08% (46/191)
False Negative Rate(分析後)	10.47% (20/191)



## 第五章 結論與建議

### 5.1 結論

本論文設計與開發出一套晶粒表面缺陷自動視覺檢測系統。藉由此系統的缺陷檢測，可進行晶粒品質分類，並將檢測結果回饋給製程相關單位，以提升檢測效率、減少成本，並達成可進行全檢的三項目標。

系統使用者可依制定的品質規格，訂定可允許的品質規格參數，如缺陷大小、面積缺損比例，本論文所開發之缺陷檢測演算法，將可依據系統使用者定義的品質規格參數，自動挑選出檢測影像中所有不符合品質規格的晶粒，並進行檢測結果自動分類。

本論文所開發之演算法，檢測一張檢測影像所耗費的時間小於 2 秒鐘，檢測 1649 張檢測影像最多約花 50 分鐘；相較人工目視檢測 1649 張取像機台已拍攝好的檢測影像，有經驗且熟練的檢測人員，尚需花費 90 分鐘以上來完成檢測，本論文設計的檢測系統擁有更大的產出表現，而且在瑕疵規格的判定上更具標準與一致性。詳細時間列於表 5.1。

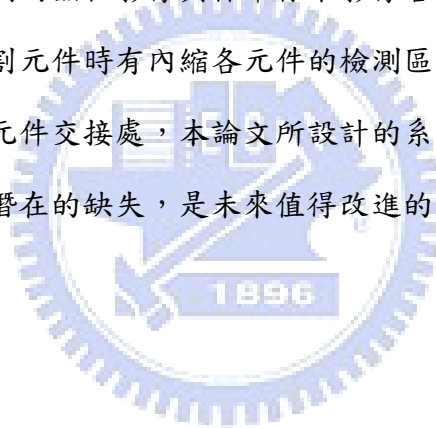
表 5.1：各項目檢測所需時間整理表

項目	時間(秒)
讀取檢測影像與分割晶粒	1.5
檢測缺陷	0.2

## 5.2 後續研究與建議

本論文所設計之自動視覺檢測系統，雖可有效提升檢測速度與準確率，但仍有以下幾點可以持續做改進：

- (1) 小污染點檢測：好幾個小污染點散佈在一個區域，這些小污染點就單一缺陷來看，雖有缺陷但仍在品質規格範圍內，未來可將這些污染點，依一定的標準，如污染點和污染點在一定的距離內，就將污染點連接起來，判斷其連接後污染點的長度，是否超過某個品質規格的長度。
- (2) 元件邊緣檢測與跨元件邊緣檢測：由於本論文使用標準樣本法，在進行比較前，要避免檢測的晶粒影像與標準樣本影像含有對準、校正不準確的問題發生，故在分割元件時有內縮各元件的檢測區域大小，若缺陷發生在元件邊緣或元件與元件交接處，本論文所設計的系統，會遺漏而無法檢測出此缺陷。對於此潛在的缺失，是未來值得改進的部分。



## 參考文獻

- [1] 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.
- [2] S. L. Albin and D. J. Friedman, "The impact of clustered defect distributions in IC fabrication," *Management Science*, vol. 35, pp. 1066-1078, 1989.
- [3] D. J. Friedman and S. L. Albin, "Clustered defects in IC fabrication: impact on process control charts," *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, vol. 4, pp. 36-42, 1991.
- [4] F. L. Chen and S. F. Liu, "A neural-network approach to recognize defect spatial pattern in semiconductor fabrication," *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, vol. 13, pp. 366-373, 2000.
- [5] L. I. Tong, C. H. Wang, and D. L. Chen, "Development of a new cluster index for wafer defects," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 31, pp. 705-715, 2007.
- [6] D. P. Mital and E. K. Teoh, "Computer based wafer inspection system," in *International Conference on Industrial Electronics Control and Instrumentation*, pp. 2497-2503, 1991.
- [7] J. K. W. Tobin, T. P. Karnowski, and F. Lakhani, "Integrated applications of inspection data in the semiconductor manufacturing environment," in *Metrology-based Control for Micro-Manufacturing*, San Jose, CA, USA, pp. 31-40, 2001.
- [8] J. M. Zhang, R. M. Lin, and M. J. J. Wang, "The development of an automatic post-sawing inspection system using computer vision techniques," *Computers in Industry*, vol. 40, pp. 51-60, 1999.
- [9] P. B. Chou, A. R. Rao, M. C. Sturzenbecker, F. Y. Wu, and V. H. Brecher, "Automatic defect classification for semiconductor manufacturing," *Machine Vision and Applications*, vol. 9, pp. 201-214, 1997.
- [10] P. Xie and S. U. Guan, "A golden-template self-generating method for patterned wafer inspection," *Machine Vision and Applications*, vol. 12, pp. 149-156, 2000.
- [11] S. U. Guan, P. Xie, and H. Li, "A golden-block-based self-refining scheme for repetitive patterned wafer inspections," *Machine Vision and Applications*, vol. 13, pp. 314-321, 2003.
- [12] C. T. Su, T. Yang, and C. M. Ke, "A neural-network approach for semiconductor wafer post-sawing inspection," *IEEE Transactions on*

- Semiconductor Manufacturing*, vol. 15, pp. 260-266, 2002.
- [13] C. Y. Chang, Y. C. Chang, C. H. Li, and M. D. Jeng, "Radial basis function neural networks for LED wafer defect inspection," in *Second International Conference on Innovative Computing, Information and Control*, pp. 230-230, 2007.
- [14] C. Y. Chang, C. H. Li, J. W. Chang, and M. D. Jeng, "An unsupervised neural network approach for automatic semiconductor wafer defect inspection," *Expert Systems with Applications*, vol. 36, pp. 950-958, 2009.
- [15] B. G. Batchelor and J. R. Charlier, "Machine vision is not computer vision," in *Machine Vision Systems for Inspection and Metrology VII*, Boston, MA, USA, pp. 2-13, 1998.
- [16] K. C. Fan and C. Hsu, "Strategic planning of developing automatic optical inspection (AOI) technologies in Taiwan," in *Journal of Physics: Conference Series*, pp. 394-397, 2005.
- [17] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, 2nd ed.: Prentice Hall, 2002.
- [18] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins, *Digital Image Processing Using MATLAB*: Prentice Hall, 2003.
- [19] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms," *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 9, pp. 62-66, 1979.
- [20] 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.
- [21] "Blob Analysis," in *ActiveMIL user guide*, 8th ed.: Matrox Electronic systems Ltd., pp. 165-189, 2005.
- [22] M. Quirk and J. Serda, *Semiconductor Manufacturing Technology*: Prentice Hall, 2001.
- [23] P. V. Zant, *Microchip Fabrication: A Practical Guide to Semiconductor Processing*, 4th ed.: McGraw-Hill, 2000.