

高速線掃描之晶背瑕疵自動光學檢測系統

An AOI System for Chip Backside Defects Based on A High Rate Line Scanner

陳銘福、黃柏瑄、周志忠、翁睿謙

Ming-Fu Chen, Po-Hsuan Huang, Chih-Chung Chou, Rui-Cian Weng

依據廠商需求設計一種運用高速線掃描取像裝置與高空間解析鏡頭之光機模組。配合影像處理與快速檢測演算法的開發，研發一種檢測驅動晶片瑕疵的光學檢測系統，以精確檢測晶背上大於規格的瑕疵。檢測系統由線陣列影像擷取、照明控制、瑕疵檢測及操作管理等模組構成，以檢測包含殘膠、缺角與晶裂等瑕疵。系統之取像照明採 LED 為光源，具有體積小、低功耗與高照度等優點。系統以低幾何形變之高性能線掃描光機取像及二值化邊緣像素統計分布方法，進行晶片瑕疵之偵測與尺寸解算。使得檢測系統具有：(1) 可在受檢晶片封裝的運送過程中取得檢測影像，避免停頓式取像的缺點；(2) 每一晶片對應一幅影像，不需影像幾何校正與拼接，可大幅縮減影像處理時間；(3) 以邊緣影像為基礎的新檢測法，可提高瑕疵檢測的精度與效率等優點。因此可大幅降低晶片瑕疵的檢測人力與時間，並且免用顯微鏡等檢測設備，具有可大幅降低成本及提高晶片品質控管等優勢。本系統已可整合於封裝設備之挑選機，並可依廠商之機台需求來修改及進行系統整合測試，以滿足驅動晶片瑕疵之自動化光學檢測需求。

According to customer requirements, an optical inspection system for driver IC defects on chip backside is developed to identify defects with size of greater than criteria. An opto-mechanical device is completed to acquire raw images using a high line rate scanner and high resolution lens. A novel defect inspection algorithm is also developed for precisely defects detection. Proposed inspection system is composed of 4 modules including line image acquisition with $5\ \mu\text{m}$ spatial resolution, illumination environment control, defect inspection, and operations and management to inspect defects including residual glue, chipping and crack. LED light source is used for image acquisition because of small size, low power consumption and high illumination. System has some advantages based on a high line rate imager with low geometric distortion and a method of edge pixels statistic for defects detection and size derivation as follows: (1) acquiring chip raw images during packaging process to avoid the pause image acquisition; (2) each chip has a corresponding raw image then image calibration and mosaic can be removed to reduce processing time substantially; (3) inspection accuracy and efficiency can be enhanced based on chip edge image and novel detection method. Therefore, manpower, time and cost for manually defect inspection can be saved. And quality control can be improved comparing with the one by manual way.

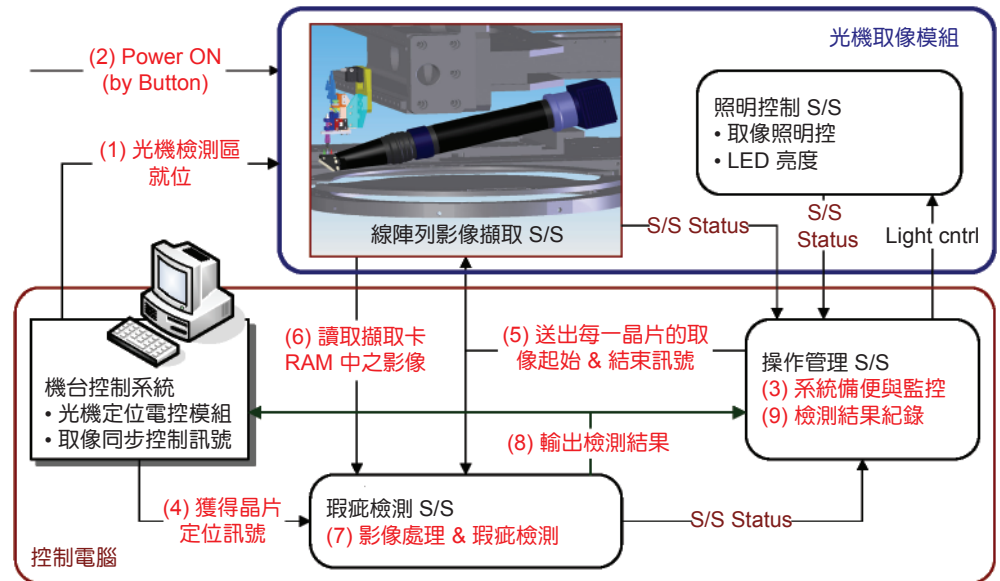


圖 1. 瑕疵檢測系統架構與操作場景。

一、前言

小部分的晶片在製造過程中會有瑕疵存在，在封裝過程中，對瑕疵大小超過標準而會影響品質的不合格晶片必須檢出並加以剔除。目前業界所發展的晶背瑕疵檢測系統採用面陣列光機裝置進行取像，對檢測較長晶片時，須採停頓式的分段取像，而有取像控制複雜而時間長、影像處理複雜而耗時等缺點，加上驅動 IC 晶片一般以長晶片較多，使得檢測效能大幅降低。因而目前在生產線上，仍以人工方式在顯微鏡檢測設備來檢測瑕疵為主，檢測時間與成本不易降低，也會引發如檢測標準不一致的品管問題。

本檢測系統提出以高解析之高速線掃描光機裝置為基礎的晶片瑕疵檢測系統及新的晶片瑕疵檢測演算法，可以有效率地檢測長驅動 IC 晶片的瑕疵。完成檢測系統之軟硬體製作及封裝實驗機台之系統整合測試後，已取得品質符合預期的良好影像及瑕疵檢測成果，目前正與均豪精密工業股份有限公司 (GPM) 挑選機 (chip sorter) 進行全系統功能整合與性能測試。

本檢測系統研發計畫係源於當初向科管局申請之研發精進產學合作計畫，國研院儀器科技研究中心負責發展高效能之晶背瑕疵檢測系統，使得 GPM 之封裝機台更具有競爭力。晶片瑕疵檢測系統具有可在定速運送的過程中連續拍攝取得檢測用

影像，可避免停頓式取像的諸多缺點，例如取像控制難度高、取像時間長、運動組件易損壞等問題。系統以一幅原始影像，利用影像處理與偵測技術進行瑕疵檢測，不需進行影像拼接校正等程序，可提高檢測效能、簡化取像機構與控制與提高組件可靠度等優點。

二、檢測系統架構及其設計與分析

依照廠商的系統需求，瑕疵檢測系統之需求規格為：

- (1) 檢測晶片尺寸在 0.5 mm × 0.5 mm 至 2.0 mm × 40 mm 間。
- (2) 尺寸在 15 μm 以上的瑕疵需檢測出，包含殘膠、缺角與晶裂等。
- (3) 具有 read on fly，受檢晶片的移動速度 ≥ 0.6 m/s (未來目標則為速度可達到 1.2 m/s)。
- (4) 瑕疵檢測須達 99% 的正確率。

依封裝機台的瑕疵檢測的操作環境、流程、檢測條件、對外介面及使用者需求等系統條件，檢測系統之系統操作場景可以圖 1 來加以描述。如此可將所要發展的檢測系統之功能、介面及操作等需求規格作完整的定義，並釐清與其相關系統的功能或介面，以利於完成一個完整而可操作的瑕疵檢測系統。

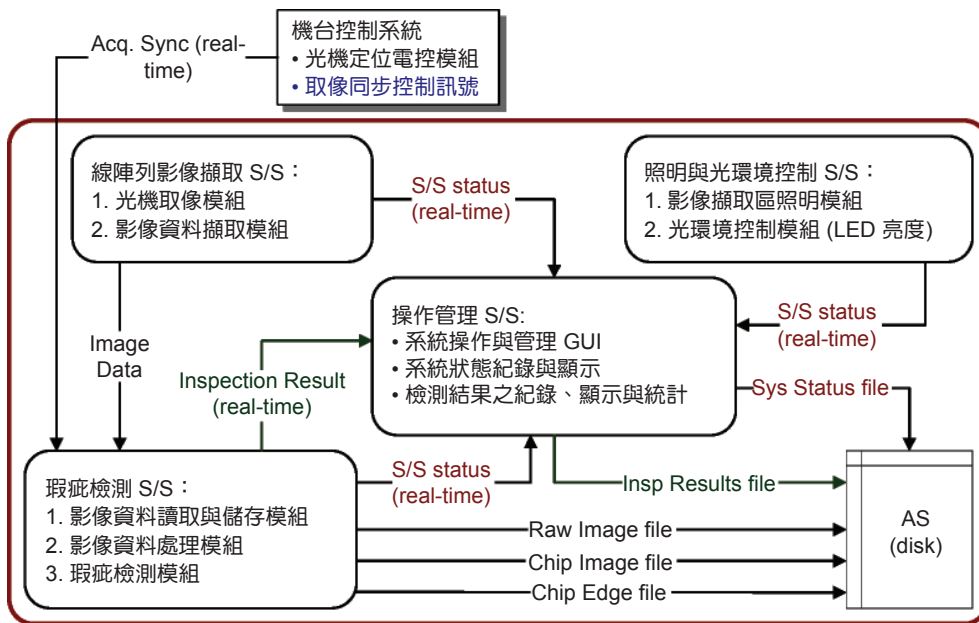


圖 2. 晶片瑕疵檢測系統之系統功能方塊圖。

依據上述規格與操作場景，晶片瑕疵檢測系統可由下列次系統構成：

- (1) 線陣列影像擷取 (linear array image acquisition) 次系統：主要功能為高線速率及高傳輸率之線陣列影像的擷取與輸出，以作為瑕疵檢測的基礎影像。由光機模組、線陣列取像模組及高性能影像擷取卡所組成。
- (2) 照明控制 (illumination & control) 次系統：主要功能為取像區照明控制，以增加影像對比度與凸顯晶片瑕疵。由 LED 光源模組、照明控制電路模組及控制軟體等組成。
- (3) 瑕疵檢測 (defects inspection) 次系統：主要功能為影像資料之傳輸與儲存、影像處理與晶片瑕疵之檢測。由影像資料存取模組、影像處理模組及瑕疵檢測模組等所構成，以進行快速即時之晶片瑕疵檢測。
- (4) 操作管理 (operations & management) 次系統：提供系統操作管理與介面及系統型態設定、參

數顯示等功能，此次系統為軟體模組。

依上述系統架構與功能及組成模組之描述，瑕疵檢測系統之功能方塊可以圖 2 表示。

從系統需求規格中須分析及推導出較具體的重要規格，以進行系統／次系統之設計及軟硬體規格訂定，系統相關需求規格的分析與評估如表 1 所示，而影像的輸出線速率與資料流量的分析則如表 2 所示。

依市場上所能獲得的高速影像儀之線影像輸出率最大為 140 kHz (Basler sprint spL2048-140 km)，故檢測系統的晶片移動速度可至 0.7 m/s、其線陣列感測器數量為 2048 (10 μm)。考量欲達到的系統性能、可取得的取像模組與成本、可搭配的鏡頭解析能力與成本，以及有足夠的瑕疵點數可進行檢測判定等因素，故系統之取像光機規格訂定如下：

- (1) 物空間解析度及鏡頭解析力：5 μm。
- (2) 相機取像線速率：大於 120 kHz。
- (3) 光機設計：採 2 倍放大率。

| 瑕疵大小 | 晶片 size | 物空間解析度 | 最少像素數目 (2 mm 寬) | 影像線數 (40 mm 寬) | 瑕疵之像素數目 (> 15 μm) |
|---------|-----------------------|--------|-----------------|----------------|-------------------|
| > 15 μm | 0.5 × 0.5 – 40 × 2 mm | 3 μm | 700 pixels | 14000 lines | 25 |
| | | 4 μm | 525 pixels | 10500 lines | 16 |
| | | 5 μm | 420 pixels | 8400 lines | 9 |

表 1. 系統之相關需求規格的分析與評估。

表 2.
輸出線速率與資料
量分析。

| 物空間解析度 | 最小像素數目 (2 mm width) | 影像線數 (40 mm width) | 所需之影像線 速率輸出 | 影像資料輸出速率及 影像大小 / chip |
|-----------------|------------------------|-----------------------|----------------|--------------------------------|
| 3 μm | 700 pixels | 14000 lines | 400 kHz | |
| 4 μm | 525 pixels | 10500 lines | 300 kHz | |
| 5 μm | 420 pixels | 8400 lines | 240 kHz | raw : 492 MB/s, 18 MB/image |

註：取像線速率 = read on fly 速度 ($1.2 \times 10^6 \mu\text{m}$) / 像素物空間解析度 (μm)。

(4) 影像擷取卡：輸出速率須大於 500 Mbytes/sec、
記憶體須大於 500 MB。

依上述分析，規劃本系統採用線陣列取像模
組，其優點分述如下：

- (1) 可在晶片以定速運送中進行快速的取得檢測用
影像。
- (2) 可避免停頓式取像的缺點，如取像定位控制難
度提高、取像時間長、運動組件易損壞等。
- (3) 可僅以一幅影像，利用影像處理與辨識的技術
來進行瑕疵檢測，可提高檢測效能、簡化取像
機構與控制、提高模組件的操作壽限。
- (4) 未來市場上有輸出線速率更高的線掃描影像儀

時，僅需更換該影像儀及設定相關系統與模組
等參數，即可輕易地提高檢測速度。

1. 光機取像裝置－線掃描光機影像儀之設計 與製作

線掃描光機裝置的座標定義與光路布局，如圖
3 所示，線影像儀的安裝，需使線感測器成上下的
配置方式，且感測器 #1 位於下方而感測器 #2048
位於上方。

依據系統設計與分析結果，選定 Basler sprint
spL2048-140km⁽³⁾ 線影像儀及 Schneider MRV
4.5/85⁽⁴⁾ 鏡頭組成合於需求規格的線掃描光機裝

圖 3.
線掃描光機裝置之座標
定義與光路布局。

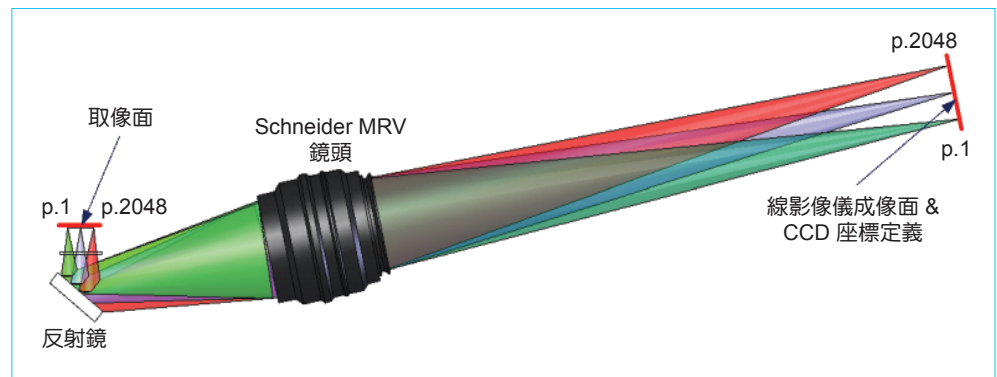


圖 4.
線掃描光機裝置的外型
構形。



置。影像儀的最大線輸出速率為 140 kHz、感測器尺寸為 10 μm ；Schneider 鏡頭的物空間解析度為 5 μm 、放大倍率範圍為 0.5 至 2。且鏡頭的相對照度變異與幾何形變均很小，在其像高範圍內分別為小於 3% 與 0.2%，故取得的線影像之輻射度與幾何的糾正可加以忽略，而不影響檢測精度，如此則可大幅減少檢測的時間。

線掃描光機裝置的外型構形則如圖 4 所示，線掃描光機裝置安裝於封裝機台的示意圖如圖 5，因受限於機台可安裝的空間，線掃描光機裝置與水平面呈一傾斜度，並具一反射鏡來改變光線方向，以正確取得檢測用影像。

影像資料擷取模組則採用 DALSA/CORECO X64-CL Full⁽⁵⁾ 擷取卡，其最大資料傳輸率為 528 Mbytes/sec，符合系統資料傳輸量之需求，Camera Link 為線影像儀與影像擷取卡之間的資料介面。

2. 取像照明機構與控制

具 LED 照明模組的取像區機構如圖 6 所示，照明的光源、波段與角度等對獲取品質與對比度良好的影像有重要的影響，經過測試與篩選之後，以紅光波段 LED (憶光 630 nm) 作為取像之照明光源，LED 具有體積小、光效能高及免調變的特性，適合作為光學檢測系統的照明取像光源，圖 6 的照明設計可提供晶片瑕疵檢測的適宜光源。LED 光源控制裝置可提供 7 段亮度的光源控制，透過 RS232 介面與機台控制器溝通。

3. 晶片影像處理與瑕疵檢測演算法

晶片瑕疵檢測系統的影像處理與流程如圖 7 所示。在進行瑕疵檢測之前，一般而言，須先對獲取的原始影像進行影像輻射度與幾何校正的程序。本系統為提高檢測效能及盡可能滿足即時檢測的要

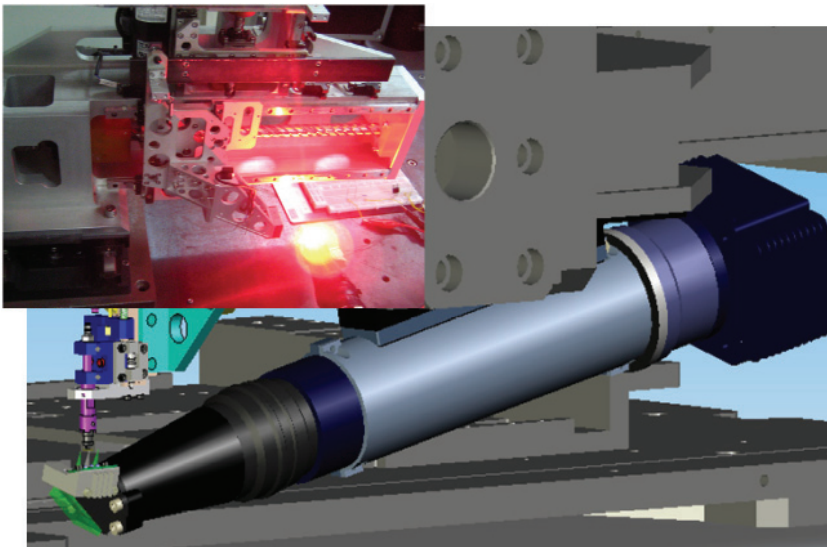


圖 5. 線掃描光機裝置安裝於封裝機台的示意圖。

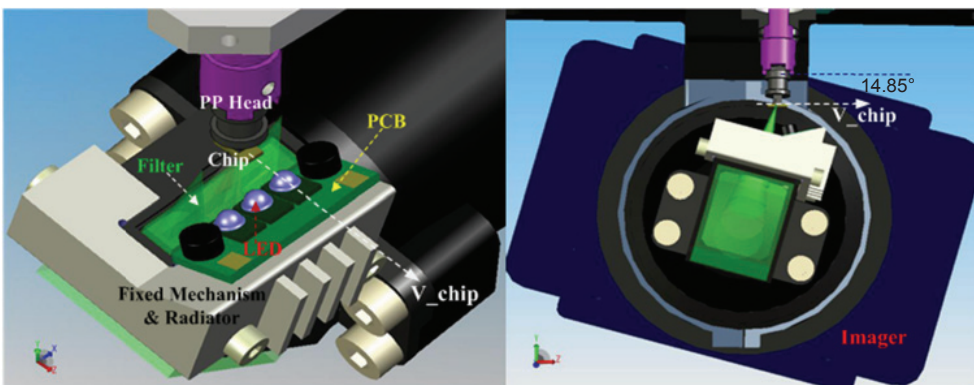


圖 6. LED 照明模組取像區機構示意圖。

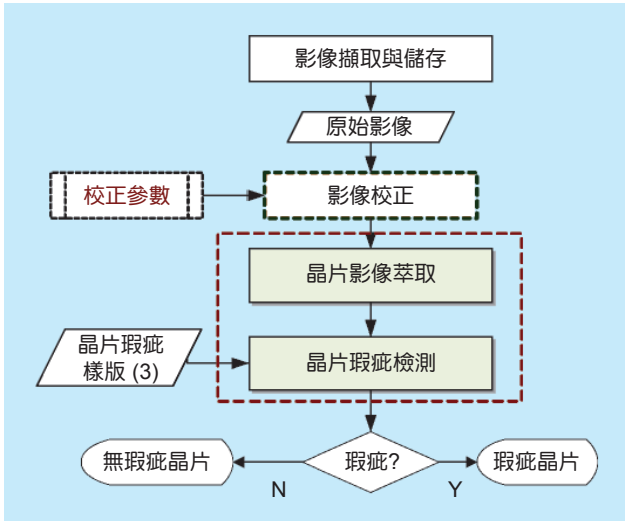


圖 7. 影像處理與晶片瑕疵檢測流程。

求，故選用具有很小的光學相對照度變易與幾何形變的鏡頭與影像儀，還有在晶片取像時使晶片影像位於原始影像的中間區域，以使得晶片影像的變易最小，而幾乎不影響瑕疵檢測的準確性。因此可忽略影像輻射度與幾何校正的程序，而大幅提昇系統檢測效能。

(1) 晶片影像萃取

圖 8 為晶片影像萃取之流程，包含邊緣偵測、晶片邊緣與四角點位的解算、仿射轉換參數解算及影像切割等程序，而得到晶片灰階影像 (chip image) 與晶片二值化邊緣影像 (chip edge image)，

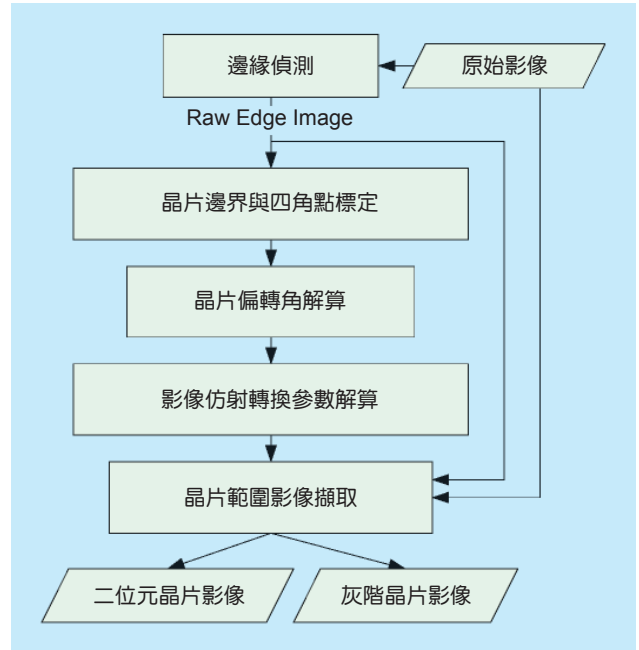


圖 8. 晶片影像萃取流程。

邊緣偵測則採用 Canny 邊緣偵測法^(7, 8)。晶片灰階影像可作為資料庫儲存與驗證之用，晶片邊緣影像則直接用以晶片瑕疵的檢測。

(2) 晶片瑕疵偵測演算法

依照瑕疵位置的分布範圍，可分成殘膠、缺角與晶裂等三種瑕疵模式，須先建立如圖 9 所示及圖 10 上方的三種檢測樣版 (template)，以利於進行瑕疵檢測程序：

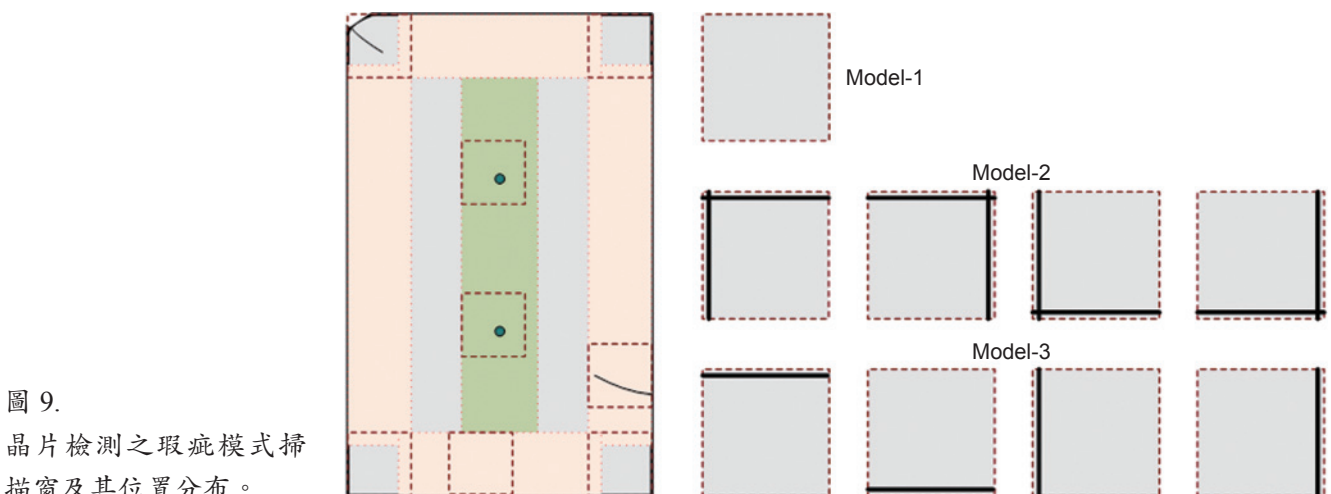


圖 9. 晶片檢測之瑕疵模式掃描窗及其位置分布。

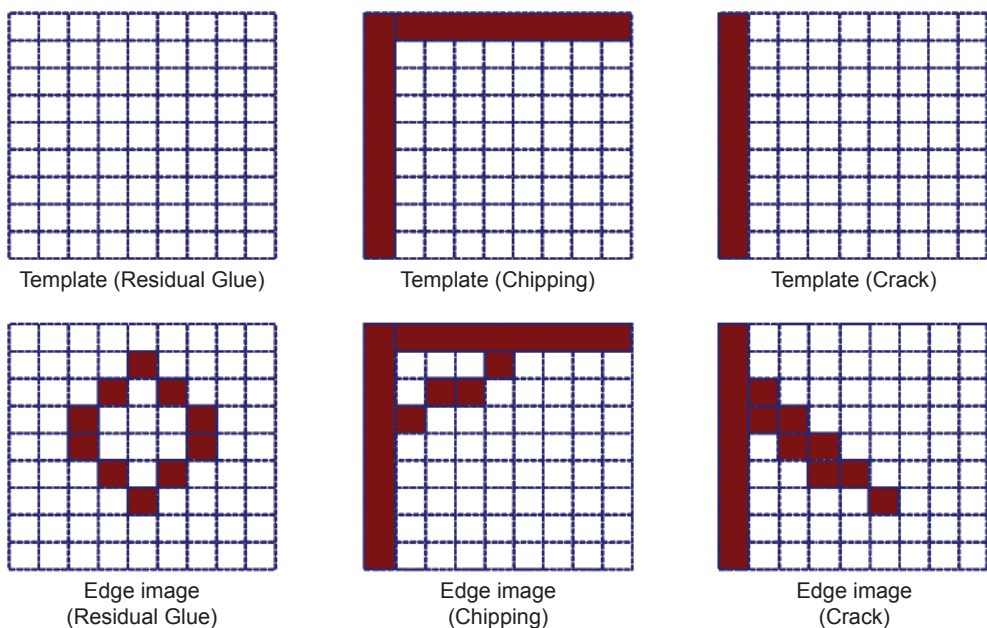


圖 10. 晶片檢測三種瑕疵模式之檢測樣版及掃描窗影像之瑕疵分布示意圖。

- a. Model-1 (殘膠)：進行殘膠瑕疵之檢測。此類瑕疵分布於晶片中央附近的條帶區域，依封裝機頂針的數量，可能會有一或兩個殘膠點。因此檢測殘膠瑕疵時，可僅對其可能出現的區域進行檢測比對。
- b. Model-2 (缺角)：進行缺角瑕疵之檢測。此類瑕疵分布於晶片四個角區域，故檢測缺角瑕疵時，可僅對晶片的四個角區域進行檢測比對。
- c. Model-3 (晶裂)：進行晶裂瑕疵之檢測。此類瑕疵分布於晶片四個週邊區域，在檢測晶裂瑕疵時，可僅對晶片的四個邊緣區域進行檢測比對。

因此，本檢測系統所提出的演算法，可僅依每類瑕疵可能出現的區域進行檢測，在滿足檢測需求條件下，可提高瑕疵檢測的效能。

系統依次以三種瑕疵模式掃描窗，在晶片邊緣影像上的可能出現瑕疵的區域，以檢測程序進行每一晶片的瑕疵檢測，瑕疵檢測程序概述如下：

- a. 依次在可能出現瑕疵的區域，計算每一瑕疵掃描窗邊緣影像內的兩軸向邊緣像素統計分布。
- b. 依不同模式的檢測樣版，以掃描窗影像進行兩者之邊緣像素統計分布之差異計算，可得到瑕疵的大小。
- c. 檢查瑕疵的大小是否超過會影響晶片品質的瑕疵篩檢標準，並輸出檢測結果。若是瑕疵為晶裂，則依邊緣像素統計的兩軸向分布來計算其晶裂與晶片邊緣法線的夾角，以評估該晶裂瑕疵對晶片品質的可能影響性。

三、測試與驗證

1. 實驗機台建置與測試規劃

本晶片瑕疵檢測系統已完成與封裝實驗機台的整合測試及基本的驗證，整合完成之實體如圖 11 所示，取像用 LED 照明光源經實驗之後，採紅光

| Date: 2012/03/13 – 2012/03/15 | | |
|-------------------------------|--|--|
| chip ID | Chip velocity, Exposure time | DN of chip image |
| #1 – #10 | 704.2 mm/sec & 7.1 μ s (~140 kHz) 500.0 mm/sec & 10.0 μ s (~100 kHz) 301.2 mm/sec & 16.6 μ s (~60 kHz) | 150, 170, 190, 210, 230 (average DN on chip area) |

表 3. 晶片瑕疵檢測系統驗證矩陣。

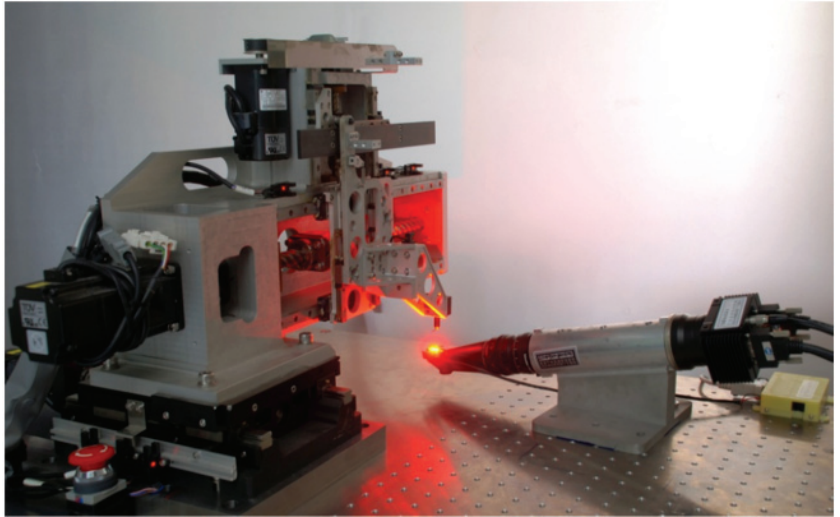


圖 11.
晶片瑕疵檢測系統整合封裝實驗機台
之實體圖。

波段可取得較佳品質的影像。

系統驗證以 150 個測試例來進行測試，測試參數包含不同長度／寬度之驅動 IC 晶片、不同的晶片取像移動速度、調整照明 LED 亮度來獲得不同晶片影像的灰階值 (DN) 及於不同時間進行重覆測試。系統驗證矩陣 (verification matrix) 如表 3 所示，其中的線影像儀的曝光時間需與受檢晶片的移動速度相匹配，例如晶片移動速度為 704.2 mm/sec 時，曝光時間須設定為 7.1 μ s，以得到 140 kHz 及 5 μ m 空間解析度的影像輸出。

2. 測試結果與分析

依據系統測試驗證結果，茲將檢測結果與討論分述如下：

- (1) 在進行瑕疵檢測測試時，可透過照明控制模組，以軟體來調整取像照明 LED 的電流，以得到所需的照明亮度。依檢測演算法的需求，照明亮度需使晶片區的影像灰階值在 180 至 200 之間，使系統具有最佳的檢測正確率，而 Canny 法之邊緣偵測的高低閾值則設為 175 與 70，以得到較佳的檢測用邊緣影像。
- (2) 由於實驗封裝機台的振動效應，使得影像中的晶片邊緣在運動方向有約 10 μ m (2 pixels) 的低頻抖動現象。本系統新設計的偵測演算法，依測試結果可成功的克服及自我調適此晶片邊緣的抖動現象，亦可依邊緣像素統計分布方法正

確而快速地解算出瑕疵尺寸。

- (3) 一般而言，封裝機台的取放頭 (PP head) 吸取晶片時，晶片與取像移動的傾斜角通常都接近 0°，而本系統則具有較佳的調適性，亦可萃取出傾斜角較大的晶片影像。
- (4) 正常的驅動 IC 晶片的四邊緣都互相垂直，然而在檢測時可能因晶片斷裂而產生其上下邊緣出現傾斜的情形，傾斜邊緣將造成晶片影像萃取失敗或長度偏離正常晶片長度，此類晶片則直接判定為瑕疵晶片。

3. 系統檢測精度驗證

- (1) 為驗證受檢測之瑕疵尺寸精度，因此使用儀器科技研究中心現有的 ARCS MAX-2010 光學量測系統，測量受檢驅動 IC 晶片背面上的瑕疵尺寸。其中一個量測例，請參見圖 12 之以顯微照片之瑕疵量測尺寸驗證晶片瑕疵檢測的精度，依比較結果可知檢測系統之瑕疵尺寸誤差在 1 pixel 之內。
- (2) 檢測系統可在晶片移動速度為 0.7 m/sec 的條件下取得清晰原始影像，且以 5 μ m 空間解析度之影像，可正確檢測出尺寸大於 15 μ m 的瑕疵。依 150 個測試例的檢測結果，其檢測正確率可達 99%，殘膠、晶裂與缺角均可被正確標定。

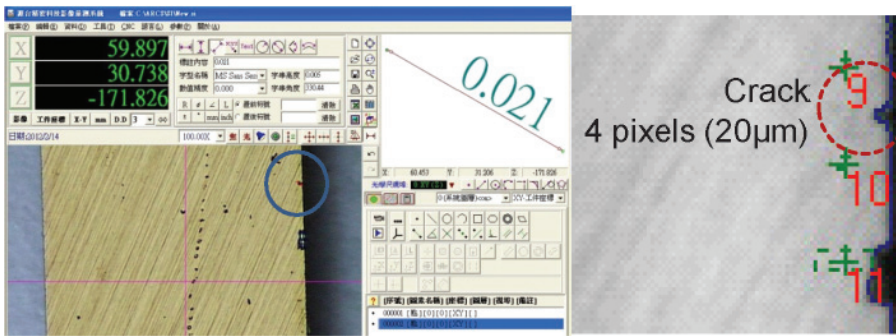


圖 12.

以顯微照片之瑕疵量測尺寸驗證晶片瑕疵檢測結果之精度。

四、結果與討論

- (1) 取像用 LED 照明光源經實驗後，採用紅光波段 (630 nm) 可取得較佳品質的原始影像。
- (2) 本檢測系統採低幾何形變之高性能線掃描光機與邊緣像素統計分布方法，可進行快速取像及克服晶片邊緣抖動現象，能正確而快速的解算瑕疵尺寸，並解算出晶裂瑕疵的角度。避免停頓式取像的諸項缺點，而大幅提高檢測效能，故可節省大量的檢測人力、設備與時間、大幅降低檢測成本及提高晶片品質控管等優勢。
- (3) 檢測系統之瑕疵尺寸誤差在 1 pixel 內，檢測正確率可達 99%。以 5 μm 空間解析度光機裝置

取像之晶片最大移動速度可至 0.7 m/sec。若要再提高晶片最大移動速度，但卻受限於影像儀輸出線速率 140 kHz 之狀況下，可以光機裝置的空間解析度降為 8 μm 的設計，達到 1.12 m/sec 的晶片最大移動速度，以增加挑選機之封裝效能。

- (4) 本瑕疵檢測系統也先後獲得 2012 台北國際發明展及 2012 紐倫堡國際發明展之金牌獎榮譽與肯定 (圖 13、14)。
- (5) 本系統已整合於封裝設備之挑選機，並可依機台需求來修改及進行系統整合測試，以滿足不同封裝設備廠商之驅動晶片瑕疵的自動化光學檢測需求。



圖 13. 紐倫堡國際發明展金牌獎狀。



圖 14. 台北國際發明展金牌獎狀。

參考文獻

1. 陳銘福, 黃柏瑄, 陳永祥, 鄭羽成, 賴君怡, 晶片瑕疵檢測系統細部設計文件, 儀器科技研究中心技術報告文件 (2012).
2. 陳銘福, 黃柏瑄, 周志忠, 賴君怡, 翁睿謙, 晶片瑕疵檢測系統測試計畫、程序與報告, 儀器科技研究中心技術報告文件 (2012).
3. *User's Manual for Mono Cameras of Basler Sprint*, Document Number: AW000162, Version: 10, Release Date: 13 July (2010).
4. *Data Sheet of Schneider MRV 4.5/85 Lens*, Release Date: Oct. (2007).
5. X64-CL Series User Manual of Acquisition Card, Edition 1.22, CORECO IMAGING.
6. R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Prentice-Hall, New Jersey (2002).
7. P. Bao, L. Zhang, and X. Wu, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **27** (9), 1485 (2005).
8. M. Heath, S. Sarkar, T. Sanocki, and K. Bowyer, *Computer Vision and Image Understanding*, **69** (1), 38 (1998).
9. M.-F. Chen*, P.-H. Huang, C.-C. Chou, and J.-Y. Lai, *43rd International Symposium on Robotics (ISR)*, Taipei, August 29-31 (2012).



陳銘福先生為國立臺灣大學機械工程碩士，現任國家實驗研究院儀器科技研究中心副研究員。

Ming-Fu Chen received his M.S. in mechanical engineering from National Taiwan University. He is currently an associate researcher at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.



黃柏瑄先生為國立中央大學光電工程碩士，現任國家實驗研究院儀器科技研究中心副研究員。

Po-Hsuan Huang received his M.S. in opto-electrical engineering from National Center University. He is currently an associate researcher at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.



周志忠先生為國立中興大學電機工程碩士，現任國家實驗研究院儀器科技研究中心助理研究員。

Chih-Chung Chou received his M.S. in electrical engineering from National Chung-Hsing University. He is currently an assistant researcher at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.



翁睿謙先生為國防大學中正理工學院電機電子工程碩士，現任國家實驗研究院儀器科技研究中心助理研究員。

Rui-Cian Weng received his M.S. in electrical and electronic engineering from Chung-Cheng Institute of Technology, National Defense University. He is currently an assistant researcher at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.