

# LED 晶粒瑕疵自動光學檢測系統研發

## An Automatic Optical Inspection System Development for LED Chip Defects

陳銘福、周志忠、陳志文、翁睿謙、黃鴻基

Ming-Fu Chen, Chih-Chung Chou, Chih-Wen Chen, Rui-Cian Weng, Hung-Ji Huang

依據 LED 晶粒製造廠商的需求設計一種運用高空間解析光學取像模組，配合影像處理與檢測演算法的開發，以研發一種檢測 LED 晶粒瑕疵的自動光學檢測系統，以精確檢測晶粒上大於規格的瑕疵。檢測系統由影像擷取裝置、檢測定位平台、晶粒瑕疵檢測、操作管理、晶圓定位及取像規劃等次系統或模組構成，藉以達成可自動化檢測 LED 晶粒表面包含電極斷裂缺損與邊緣缺裂等瑕疵的功能與目標。本檢測系統新設計一組具有優於  $2\ \mu\text{m}$  空間解析力與寬 FOV 的光機取像模組，配合獨特的整合照明亮度調整的自動對焦方法，受檢晶圓置入晶圓吸盤中央區之後，可快速的完成光機取像模組的合適照明亮度調整及精確對焦，以利於晶圓定位及取得品質良好的晶粒影像。完成對焦後可進行自動晶圓定位程序，故以光機取像模組搭配檢測定位平台的移動，以影像空間頻率域為基礎的對位法所開發的自動晶圓定位方法，達成自動化的晶圓精確對位，及完成取像規劃，接著即可進行晶圓的連續取像及晶粒瑕疵檢測。目前所研發的 LED 自動光學檢測系統已完成原型機的製作與初步測試，已可達成原研發計畫的功能目標，可對未劈裂的 Wafer form 晶圓進行精確對位、擷取影像及瑕疵檢測。但由於合作廠商希望亦能對已劈裂開並置放於藍膜上的 Chip form 晶粒能進行對位取像與檢測，故亦已完成此項功能。但所研發的原型機尚有若干議題與挑戰需於後續提出分析與解決方法，以滿足合作廠商的實際使用需求，例如 LED 晶粒的電極線越來越細，需再開發具有更高空間解析力的光機取像模組，以提高其表面瑕疵的檢測正確性。對於在晶圓邊緣有未劈裂開 LED 晶粒的 Chip form 晶圓，在進行檢測取像時會有定位偏移的問題等。

According to collaborated customer's requirements, an optical inspection system for LED chip defects on wafers is developed to identify defects with size of greater than evaluated criteria. Inspection system is composed of an image acquisition device with high spatial resolution, a software package for image pre-processing and defect inspection, an inspection platform for precisely positioning. This LED chip defects inspection system consisted of an image acquisition device and a positioning platform, and modules of defect inspection, wafer positioning, image acquisition planning, and operations and management to achieve the capabilities and targets of automatically inspecting LED chip defects of electrode disconnection and flaws, and boundary collapses. Inspection system has a new designed opto-mechanical device with a spatial resolution of greater than  $2\ \mu\text{m}$  and wide FOV and integrated with a unique algorithm of auto-focusing integrated with illumination adjustment. Then the precisely focusing with suitable illumination for opto-mechanical device can be completed efficiently for wafer positioning and acquiring chip images with good quality. Thus based on the image acquisition device and the positioning platform, automatically wafer positioning can be completed precisely based on the registration methods in spatial frequency domain of acquired images. Therefore, image acquisition planning can be completed as well for continuous image

acquisition and the chip defects inspection. This prototype of LED chip AOI system has been developed and tested preliminarily. The goals of our R&D project can be achieved to conduct the precisely wafer positioning, image acquisition and defect inspection for non-split LED wafers. But cooperative customer hoped this system can also inspect the chip defects for chip form LED wafers that have been split and plastered on bluefilm. And this requirement was accomplished as well. But this prototypical inspection system still has a few of issues and challenges need to be solved to meet customer's practical usages. For example, the spatial resolution of opto-mechanical device needs to be raised for LED chips with more narrow electrodes (less than  $4\ \mu\text{m}$ ) to enhance the correctness of inspection. When performs the image acquisition for chip form LED inspection, there's the problem of positioning deviation at wafer boundary regions with un-split LED chips.

## 一、前言

國內半導體科技多年來隨著技術的發展，光學檢測設備相關的開發能力及工程技術與經驗已具有相當的水準，包含光機設計與取像技術、影像處理與檢測演算法的開發及光機電系統整合能力與經驗等。鑑於全球照明市場在節能減碳的趨勢之下，LED 需求量強勁且年年高度成長，LED 製程技術不斷的提昇，晶圓越來越大、晶粒的尺寸越來越小，因此以自動化高解析光學取像為基礎之瑕疵檢測系統的需求亦隨之殷切。

LED 元件已逐漸成為目前照明設備與燈具的發光元件運用主流，具有體積小、高光電轉換效能、耐用省電等優勢，需求量正快速的擴大。因此，運用更高解析度與檢測精度之自動檢測設備，於晶圓切割前或經過劈裂擴張之後即進行晶粒瑕疵之檢測，可避免不良 LED 晶粒的後續封裝浪費，對 LED 製造廠商而言，已存有實際的迫切需要。在自動光學檢測 (Automatic Optical Inspection, AOI) 的應用領域，微米量級以下的光學成像技術過於昂貴，往往僅光學部件即需台幣數十甚至數百萬元以上，且視野 (FOV) 太小造成檢測速度過慢，故較不適合應用於需進行大量產品檢驗的 AOI 檢測。

目前國內外的自動化光學檢測系統之解析度在  $3-5\ \mu\text{m}$  之間，因 LED 晶粒的電極線寬也約為  $5\ \mu\text{m}$ ，因此對 LED 晶粒的瑕疵檢測，現今幾乎均以人工顯微鏡檢測為主，然而除了效能之外也存在

有檢測員的檢測標準差異及人眼疲勞漏檢等品質控管問題。且隨著製造技術的不斷提昇，LED 尺寸越來越小，自動化的 LED 品管需求也越殷切。因此，開發具有高解析度之自動光學檢測系統已是 LED 製造產業的迫切需求。

此 LED 晶粒瑕疵之自動化光學檢測系統的研發，係依合作企業實際的 LED 晶粒瑕疵檢測需求而進行系統合作開發，依據 LED 電極特徵寬度約  $5\ \mu\text{m}$  之晶粒，其瑕疵能被正確檢出，LED 尺寸介於  $2.5-0.15\ \text{mm}$  間，系統需具有快速取像與檢測等需求。因此，系統採用具有高空間解析力 ( $1-2\ \mu\text{m}$ ) 取像裝置及適宜的定位精度與價格之檢測定位平台，及新開發的晶圓對位方法及瑕疵檢測演算法，以開發具有高檢測精度之 LED 晶粒瑕疵自動化光學檢測系統。系統除了可運用在 LED 晶圓於劈裂前後的晶粒檢測之外，亦可依需求加以修訂後運用於 LED 不同封裝過程中的檢測，以進行分段品質控管，及節省人工顯微鏡檢測等成本，提高廠商競爭力。

## 二、檢測系統架構及設計分析

研發的 LED 晶粒瑕疵自動化光學檢測系統為運用具有高空間解析光學取像裝置、檢測定位平台、晶圓定位與取像規劃及瑕疵檢測分類法與軟體等整合而成。依合作企業之使用者需求及系統分析結果，開發之 LED 晶粒瑕疵自動化光學檢測系統

的功能與性能需求規格為：

- (1) LED 晶粒尺寸範圍：2.5 mm – 0.15 mm [TBR]。
- (2) 須可檢測晶粒尺寸為 0.02 mm – 0.15 mm [TBR] 之邊緣瑕疵。
- (3) 須可檢測晶粒中的電極 (Finger & Pad) 缺陷及尺寸大於篩檢標準之邊緣缺裂。
- (4) 檢測正確率須  $\geq 95\%$ 。
- (5) 檢測定位機台需求規格：須能穩定的驅動光機取像裝置，移動速度可配合晶粒尺寸及取像速率進行設定與調整。
- (6) 須能產生檢測映像 (Mapping) 圖及對應之屬性資料，建立晶圓檢測基本資訊。
- (7) 檢測之取像效能：以 6" 晶圓為例，每片晶圓須在 20 [TBR] 分鐘內完成。

依瑕疵檢測系統的使用者需求、操作環境、系統需求規格及介面等條件，系統操作場景可以圖 1 來加以描述，使能完整的定義所要發展的檢測系統之功能、介面及操作等需求規格，以利於發展一個儘可能完整而具可操作性的 LED 晶粒瑕疵 AOI 系統。

依據上述需求規格與操作場景，LED 晶粒瑕疵 AOI 系統可由下列裝置或模組構成：

- (1) 影像擷取裝置 (Image Acquisition Device)：主要功能為高解析影像的擷取與輸出，作為瑕疵檢

測的基礎影像。由光機取像模組及照明與控制模組構成。

- (2) 檢測定位平台 (Positioning Platform for Inspection)：主要功能為提供光機模組與晶圓的移動與定位控制。由 XYZ 三移動軸與一旋轉軸的機構與電控平台、晶圓吸盤模組及控制軟體等組成。
- (3) 晶圓定 (Wafer Positioning) 模組：主要功能為照明調整與自動對焦、晶圓的初始對位、取像定位與控制、座標系統定義等。由晶圓對位與取像定位軟體等構成。
- (4) 取像規劃 (Image Acquisition Planning) 模組：主要功能為規劃取像路徑及取像定位與控制等。由取像路徑規劃與取像定位控制軟體等構成。
- (5) 瑕疵檢測 (Defects Inspection) 模組：主要功能為影像資料儲存、影像前處理、晶粒影像萃取及瑕疵檢測等。由影像資料存取、影像處理與晶粒影像萃取及瑕疵檢測等軟體構成，以進行多工的即時晶粒瑕疵檢測。
- (6) 操作管理 (Operations & Management) 模組：提供系統操作管理與 GUI 介面，及系統與檢測之參數設定與顯示、檢測結果之影像與資料的記錄與顯示等功能。

依所描述的系統架構與功能介面及構成系統的裝置或模組，此 LED 晶粒瑕疵 AOI 系統的功能方

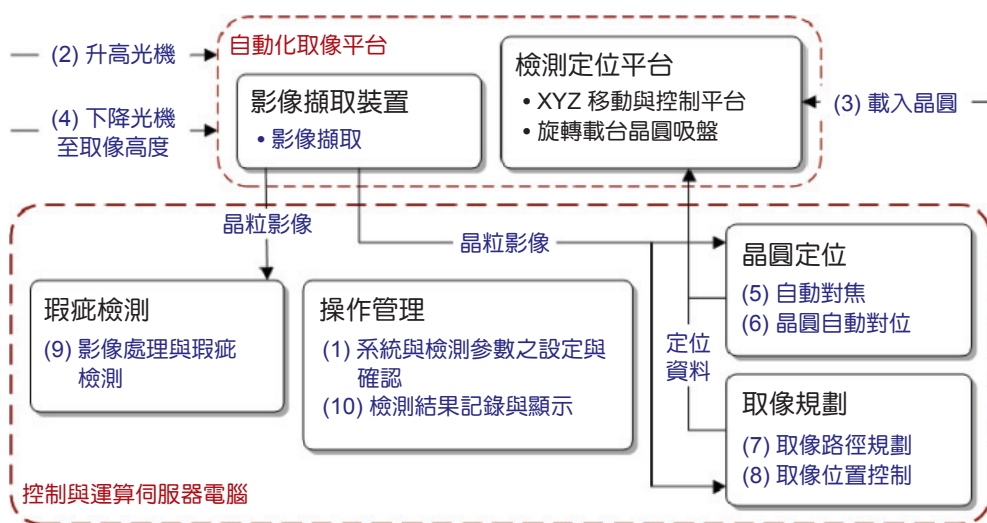


圖 1. 瑕疵檢測系統架構與操作場景。

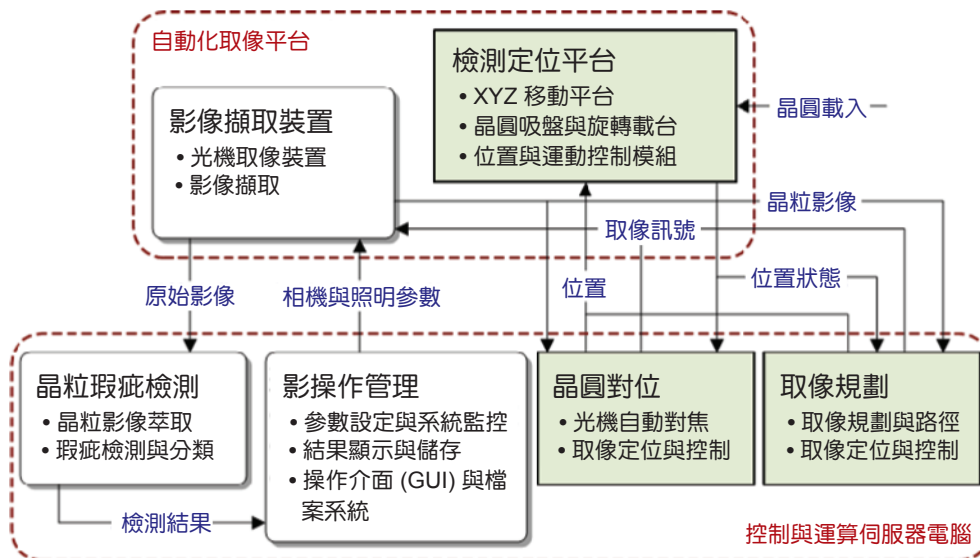


圖 2. LED 晶粒瑕疵 AOI 系統之系統功能方塊圖。

塊如圖 2 所示。

依系統需求規格進行分析及推導較具體各裝置或模組的重要規格，以設計及訂定系統各軟硬體的需求與規格。其中，高解析光學取像模組之鏡頭與影像儀的選取，主要是以市場架上產品為標的。因影像需能涵蓋  $2.5 \times 2.5 \text{ mm}$  物空間範圍，且空間解析度須達  $1-2 \mu\text{m}$ ，因此採用高解析微距鏡（解析力約  $1 \mu\text{m}$ ）搭配高解析影像儀，但所取得的具側向光照明的商用微距鏡經取像測試後發現，因 LED 晶粒表面電極呈鏡射反應現象，而無法取得合於檢測需求的影像。又因該微距鏡頭的前後群已無可加同軸光源的空間，考量相機感測器大小及儘可能提高影像的空間解析力，及有足夠的影像像素數目可呈現電極線寬進行檢測判定等，故修訂鏡頭需求為具有 3 倍放大率的高解析力遠心鏡頭 (Telecentric lenses)。

## 1. 影像擷取裝置

檢測系統的影像擷取裝置可分為定位光機取像模組及檢測光機取像模組，定位光機取像模組主要運用於提供操作員，調整與檢視晶圓的置放位置與角度的輔助影像及進行晶圓粗定位，檢測光機取像模組為提供精細的晶圓對位及檢測用影像的擷取。兩組光機模組依各自的工作距離及其差異，共同固定於可以電控方式上下調整高度的檢測載台之 Z

軸機構上，以進行定位與取像等功能，圖 3 為兩組光機取像模組在檢測平台上的架構與相對位置示意圖。

### (1) 定位光機取像模組

定位光機取像模組的需求規格訂定如下：

- (1) 物空間解析度： $11 \mu\text{m}/\text{pixel}$ ，取像 FOV 範圍需大於  $50 \times 35 \text{ mm}$ 。
- (2) 光學鏡頭之物空間解析能力： $5 \mu\text{m}$ ，具有 0.5–2.0 倍放大功能的極低幾何形變之鏡頭。
- (3) 影像感測器：感測器像素尺寸： $5.5 \mu\text{m}$ ，解析像素數：大於  $4800 \times 3200$ ，GiGE 傳輸介面。

依據系統檢測需求及上述之定位光機取像模組的需求規格，選取 Illunix RMV-16050<sup>(1)</sup> 高解析影像儀及 Schneider MRV 4.5/85<sup>(2)</sup> 鏡頭組成符合規格的定位光機取像模組，取像 FOV 範圍約  $53.8 \times 35.8 \text{ mm}$ 。Schneider 鏡頭的相對照度變異與幾何形變均很小，在像高範圍內分別為小於 3% 與 0.2%，故可忽略影像的輻射度與幾何形變的糾正，而不影響定位精度。

### (2) 檢測光機取像模組

高解析的檢測光機取像模組的需求規格，依系統對影像擷取的性能及解析度與尺寸等需求訂定如下：

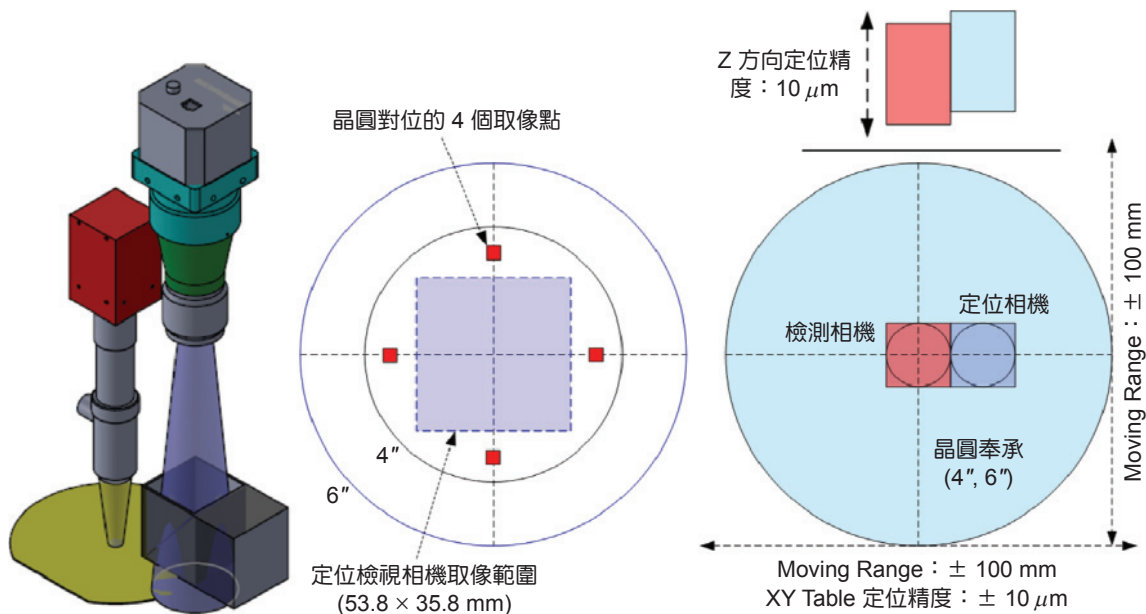


圖 3. 檢測平台光機架構示意圖。

- (1) 物空間解析度：1.83  $\mu\text{m}/\text{pixel}$ ，取像 FOV 範圍大於  $3.6 \times 2.5 \text{ mm}$ 。
- (2) 光學鏡頭之物空間解析能力：2.1  $\mu\text{m}$ ，具有 3 倍放大率的低幾何形變遠心鏡頭。

影像感測器：配合物空間解析度與光學鏡頭解析性能，及市場上可獲得的 COLTS 產品，感測器像素尺寸約為 5.5  $\mu\text{m}$ ，解析像素數須大於  $2300 \times 1600$ ，及採用 GiGE 資料傳輸介面，在滿足影像資料傳輸速率的條件下，可免除使用影像擷取卡而節省硬體成本。

依系統與檢測光機取像模組的需求規格，選用 Bobcat B2320M<sup>(3)</sup> 高解析影像儀及具有三倍放大率的遠心鏡頭組成符合規格的檢測光機取像模組。低幾何形變的遠心鏡頭可省略影像幾何糾正，以儘量減少影像處理的時間。

## 2. 檢測定位平台

檢測之定位平台的量測行程 (XYZ 三軸機構行程) 至少為  $200 \times 200 \times 200 \text{ mm}$ ，平台行程需可符合檢測六吋晶圓使用，三軸操作之重複定位精度  $\leq \pm 10 \text{ mm}$ 。檢測定位平台的設計製作為依其需求規格，及與光機取像模組的機構與電性之介面規格，委託自動化精密機械專業廠商來執行，依需求

規格而設計製作完成的檢測定位平台如圖 4 所示，其中已將製作完成的光機取像模組整合至原型機的檢測平台。

晶圓吸盤 (chuck table) 則固定於一組電控旋轉載台上，並能以伺服控制系統依旋轉角度指令 (instruction) 調整吸盤上晶圓的旋轉角，旋轉載台再精確固定於 XY 移動定位平台上，如圖 4 的右圖為製作測試完成的原型機的檢測定位平台。

## 3. 晶圓對位與取像規劃

### (1) 晶圓對位

將晶圓置於晶圓吸盤約中央位置及吸氣固定之後，光機模組下降至預設的接近焦距的高度，先以整合照明調節的光機自動對焦法進行光機取像模組的適當照明強度與精確對焦，完成後即可進行晶圓對位，然後建立晶圓晶粒的座標系統及完成取像規劃，晶圓對位與座標系統及取像規劃示意圖如圖 5 所示。

晶圓對位自動程序之方法與流程敘述如下：

- (1) 晶圓傾角校正：擷取影像後即以基於影像空間頻域強度<sup>(4)(6)</sup>的方法調整晶圓角度，使晶圓傾角趨近於水平。
- (2) 尋找晶圓的中央位置：左右移動光機取像模組



圖 4. 原型機之檢測定位平台。

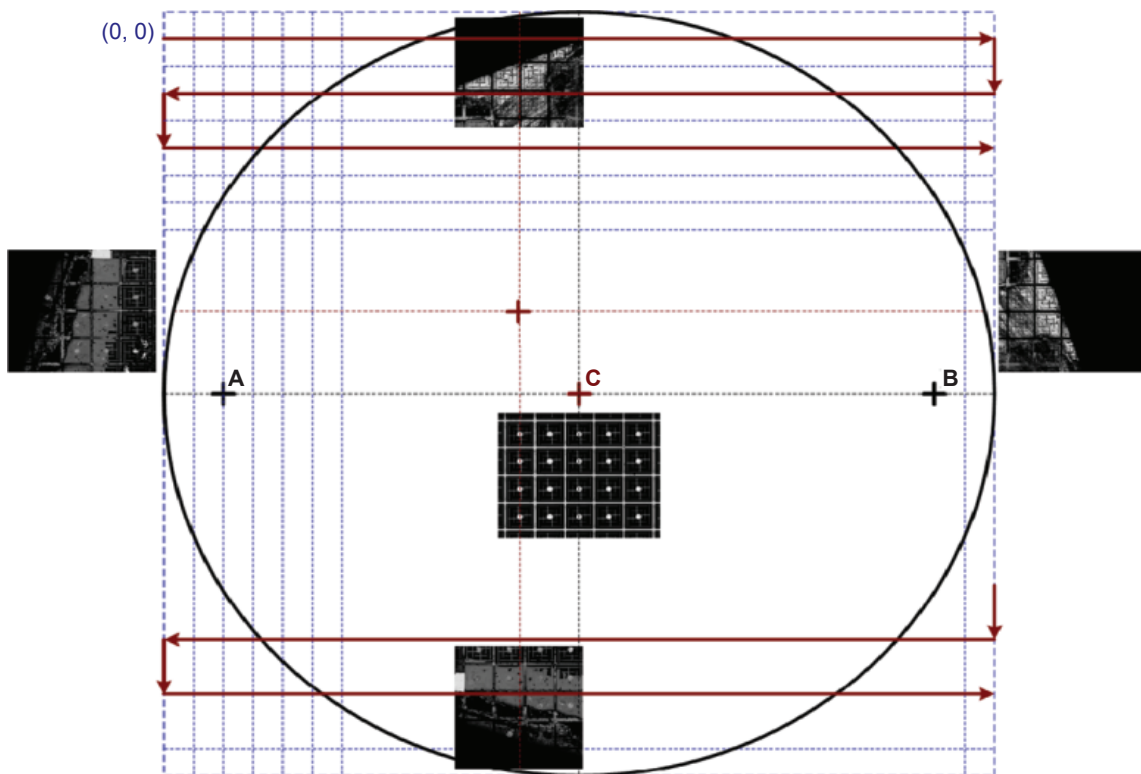


圖 5. 晶圓對位與座標系統及取像規劃示意圖。

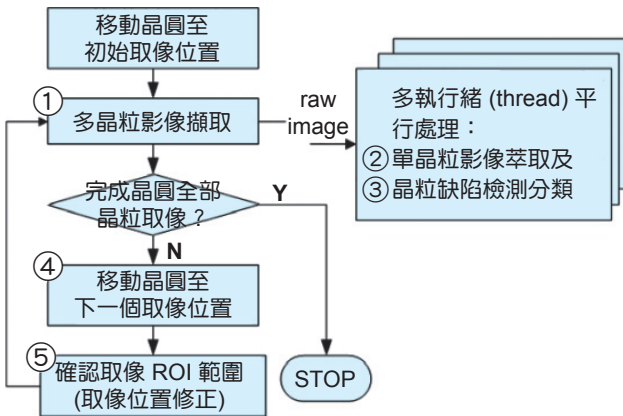


圖 6. 多工架構之晶粒瑕疵檢測分類流程圖。

進行取像，以尋找晶圓的左右邊緣，計算晶圓垂直中央線；再以垂直中央線為移動基準線，上下移動光機取像模組進行取像，尋找晶圓的上下邊緣，計算晶圓水平中央線；依兩條中央線即可獲得晶圓中央晶粒的位置。

(3) 以相位相關法 (phase correlation) 進行晶圓精確對位<sup>(4-5)</sup>；完成後即可定義出晶圓晶粒的座標系統，並進行取像規劃。座標系統之原點 (0, 0) 定義於左上角，對未經挑揀排列於藍膜上的 wafer/chip form 晶圓而言，原點位置通常不存有晶粒。

## (2) 取像規劃

取像規劃採用最簡易的從晶圓上方開始、由左至右再下移由右至左的方式進行取像與檢測，如圖 5 中的褐色行進線所示。

## 4. 影像前處理與瑕疵檢測

多工處理架構之 LED 晶粒瑕疵檢測分類流程如圖 6，一般而言，獲得原始影像之後須進行包含影像的輻射度與幾何形變的校正之影像前處理，但因採用遠心頭鏡的幾何形變與相對照度變易均很小，對檢測幾乎無影響而可加以忽略，亦有利於縮短處理時間及提高檢測效能。

所取得的原始影像可以多執行緒 (multi-thread) 架構進行晶粒影像萃取與晶粒瑕疵檢測分類處理，以提高系統整體檢測效能。圖 6 中的程序主要是運用於已排列置放於藍膜上的 chip form 晶圓的取像，以即時修正晶粒排列的小幅度位置變易。

## (1) 晶粒影像萃取

在獲得含有多晶粒的原始影像之後，即進行以交互相關法 (cross-correlation)<sup>(6)</sup> 為基礎的晶粒影像萃取，將每一原始影像中的所有完整晶粒影像依序切取出並加以儲存，以作為 LED 晶粒瑕疵檢測的依據資料。因為取像的速率會比檢測的速率快，故採取每一原始影像對應一個處理執行緒 (thread) 的架構，以提高系統檢測效能。

## (2) 晶粒瑕疵檢測

檢測系統現階段所要檢測的瑕疵主要為 LED 晶粒表面的電極 (Pad與Finger) 斷裂及邊緣缺裂 (chipping) 等，檢測方法為以檢測樣板 (template) 為基準，對每一萃取得到的單晶粒影像，進行傳統的以影像精確對位 (image registration)<sup>(6-7)</sup> 及樣式比對 (pattern matching)<sup>(8-9)</sup> 方法為基礎的瑕疵檢測與比對，將瑕疵尺寸大於篩檢標準的 LED 晶粒加以檢出。檢測樣板的製作可依據每批具有不同尺寸與電極型態的受檢晶粒，挑選任一片晶圓置於檢測載盤上，並挑選其中任一顆無瑕疵的晶粒，以檢測樣板製作軟體模組進行檢測樣板的製作，完成後即可依產品編號而儲存於檢測樣板資料庫中，以利於後續的該批 LED 晶粒的自動化光學瑕疵檢測。圖 7 為合作廠商 LED 產品中的兩種不同晶粒尺寸與電極型態的檢測樣板影像。

## 三、系統測試與分析

設計製作完成如圖 4 的檢測定位平台，及整合光機取像模組至檢測平台的原型機後，配合完成的影像處理與檢測軟體，整合軟硬體系統模組，以不同型態的 LED 晶粒進行瑕疵檢測，並不斷的對研發系統進行測試、修訂與驗證。

除了原研發計畫目標需完成 wafer form 晶圓 (未切割劈裂者) 的 LED 晶粒瑕疵檢測之外，依合作廠商的實用需求亦開發可使用於 chip form 晶圓 (放置於藍膜上之已切割劈裂或挑揀者) 的晶粒瑕疵檢測。取像照明光源的選取，經以四種不同波段 (藍、綠、紅及白光) 及功率 (3 瓦及 5 瓦) 的同軸光源進行取像實驗之後，依比對所取得晶粒影像上的電極細線清晰度與影像品質，照明光源採紅光波段

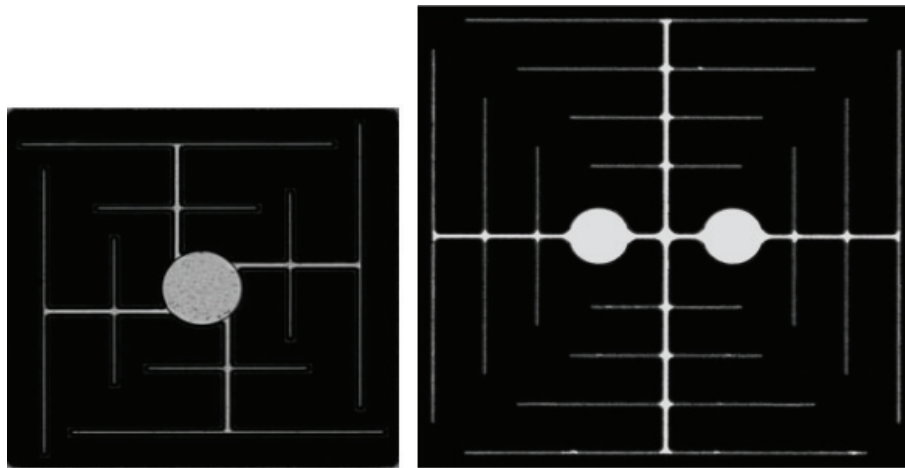


圖 7. 兩種不同晶粒尺寸與電極型態的檢測樣板影像。

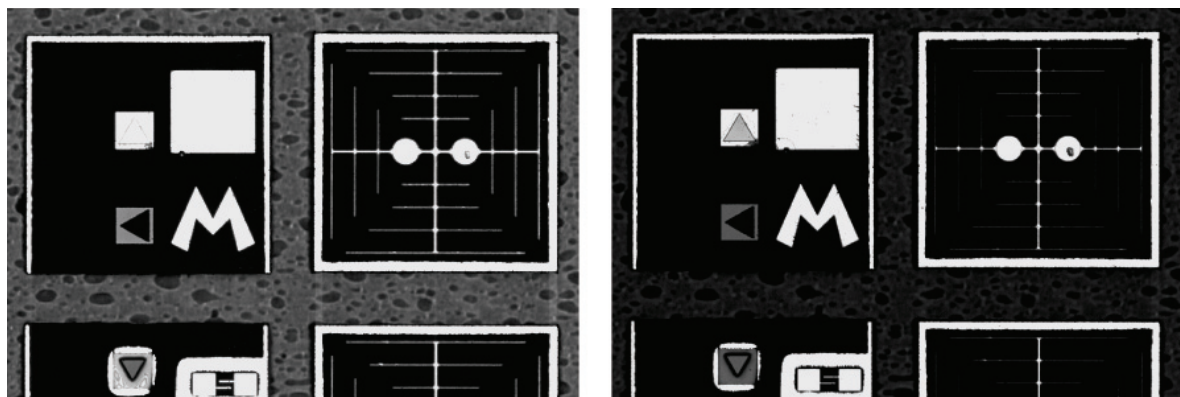


圖 8. 以紅光(左)與白光(右)照明光源取景的晶粒影像比較。

及 5W 之 LED 同軸光源可取得最佳品質的晶粒影像。圖 8 為以紅光與白光照明光源及曝光時間 200 ms 取景之晶粒影像，較細的電極線在紅光照明下可清楚呈現，但白光照明者則不明顯。

另外，在其他條件不變的狀況下，以不同的相機曝光時間進行取景，因 LED 較細的電極線約為 3-5 μm，若取景的曝光時間不足，則其在影像上會有亮度不足而無法用於檢測，或檢測正確率差等問題。圖 9 為以紅光照明，相機曝光時間分別為 100、150 及 200 ms 所取得的晶粒影像。圖 10 為以檢測樣板為基礎的檢測系統的一張 LED 晶粒瑕疵檢測結果影像，目前初步的檢測測試結果之誤檢率尚未達預期有頗多的改善空間，已設法改進取景光機的性能來提高 LED 電極細線的影像清晰度與品質，以提高檢測正確率。

初步的檢測測試結果略述如下：

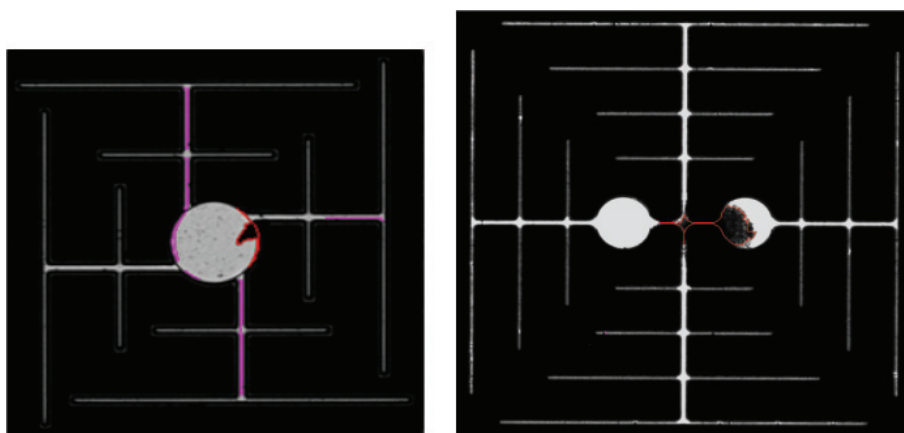
- (1) 晶圓定位時間：3-5 分/wafer (for wafer/chip form)；
- (2) Wafer form 晶圓：取景時間約 7 分 (3" wafer)；
- (3) 以邊長 500 μm 之晶粒為例，瑕疵檢測的處理時間約需 300 ms；
- (4) Wafer form 晶圓：以晶粒尺寸為 500 μm 的 3" 晶圓為例，完成所有晶粒檢測的處理時間約需 20 分鐘；
- (5) Chip form 晶圓：以尺寸 1 mm 的 50 × 50 顆晶粒為例，取景加檢測的時間約為 15 分；
- (6) 目前檢測系統對 chip form 晶圓的取景定位尚需再改進其穩定度，且效能尚無法達到要求，正在修訂取景掃描模式，以提高穩定度與取景效能。





圖 9. 相機曝光時間分別為 100、150 及 200 ms (由左至右) 所取得的晶粒影像。

圖 10.  
瑕疵晶粒影像。



#### 四、結果與討論

- (1) 取像照明光源採用紅光波段及足夠的曝光時間之下，可取得品質較佳而能較清楚呈現 LED 電極細線的原始影像。
- (2) 檢測系統採低幾何形變之空間解析力可達  $1.83 \mu\text{m}$  的光機取像模組，以滿足可檢測電極細線約  $4 \mu\text{m}$  的 LED 晶粒之瑕疵。
- (3) 除 wafer form 晶圓的 LED 晶粒瑕疵檢測之外，亦可進行完成劈裂而黏貼於藍膜上的 chip form 晶圓之晶粒瑕疵檢測，但對於邊緣未劈裂完整的晶圓則尚需改善其穩定性。
- (4) 為再改善晶粒的影像品質，將繼續評估具有更高解析力與 FOV 的遠心光學鏡頭或顯微鏡頭，以匹配的影像儀組成光機模組，以期再提高晶粒影像品質與空間解析力，增加晶粒影像的 LED 電極細線的像素數與清晰度，使系統的檢測能力再提高。
- (5) 完成檢測系統所有功能之後，將配合廠商進行

大量樣本的取像與檢測測試，以改進方法及提高檢測正確率。未來亦將評估採用彩色檢測相機，及以分區拼圖後檢測的方式，開發可檢測與分辨較多瑕疵種類的 LED 晶粒瑕疵檢測系統。

#### 誌謝

感謝科技部及晶元光電公司提供研發計畫經費及共同為完成計畫努力的 ITRC 伙伴，在此致上衷心謝忱。

#### 參考文獻

1. Operations Manual for Illunix RMV-16050 camera, v2 (2013).
2. Data sheet of Schneider MRV 4.5/85 Lens, Oct (2007).
3. Bobcat Hardware User Manual, v2 (2013).
4. B. Srinivasa Reddy and B. N. Chatterji, *An FFT-Based Technique for Translation, Rotation, and Scale-Invariant Image Registration*, IEEE Transactions on Image Processing, 5(8), 1266 (1996).

5. 李了了, 鄭善熙, 丁興號, 基于大津法的圖像分塊二值化算法, 大陸中文期刊—微計算機訊息, **21** (8-3), 76 (2005).
6. R.C., Gonzalez, and R.E., Woods, *Digital Image Processing*, Prentice-Hall, New Jersey (2002).
7. Barbara Zitova and Jan Flusser, *Image registration methods: a survey*, Image and Vision Computing, **21**, 977 (2003).
8. Wen-Yen Wu, Mao-Jim J. Wang, Chih-Ming Liu, *Automated inspection of printed circuit boards through machine vision*, Computers in Industry, 28, 103 (1996).
9. Madhav Moganti, Fikret Ercal, Cihan H. Dagli, Shou Tsunekawa, *Automatic PCB Inspection Algorithms - A Survey*, Computer Vision and Image Understanding, **63** (2), 287 (1996).



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專案經理。

Ming-Fu Chen received his MS in the department of mechanical engineering from National Taiwan 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 MS in the department of electrical engineering from National Chung-Hsing University. He is currently an assistant researcher at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.



陳志文先生為國立中央大學機械工程碩士，現任國家實驗研究院儀器科技研究中心副研究員。

Chih-Wen Chen received his MS in the department of opto-electrical engineering from National Center University. He is currently an associate 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 MS in the department of 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.



黃鴻基先生為國立台灣大學物理學博士，現任國家實驗研究院儀器科技研究中心副研究員。

Hung-Ji Huang received his Ph.D in the department of physics from National Taiwan University. He is currently an associate researcher at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.