

# 半導體製造業中槽位基板之自動辨識及人機介面建置

洪宗貝<sup>1</sup>，王昱程<sup>2</sup>，黃偉銘<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 國立高雄大學資訊工程學系

E-mail: tphong@nuk.edu.tw

<sup>2</sup> 國立高雄大學資訊工程學系

E-mail: l1105510@mail.nuk.edu.tw

<sup>3</sup> 中國鋼鐵股份有限公司電控處

E-mail: granthill168@gmail.com

## 摘要

在半導體製造業中，彈匣通常用作存放基板和晶圓的容器，準確判定彈匣槽位內是否存在基板是製造流程中至關重要的步驟。然而，傳統感測方法難以準確辨識槽位內基板的存在，且需依賴人工確認，影響生產效率。因此，本研究提出一種基於影像前處理與 YOLO 模型的電腦視覺辨識系統，透過 Sobel、Laplacian 與 Canny 濾波器提升影像邊緣銳利度，並將處理後的影像輸入 YOLOv5 模型進行辨識，實驗結果顯示其在準確性上表現優異，可將準確率提高到 100%。此外，我們使用 Visual Studio 2015 與 C# 語言開發人機介面，允許使用者直觀地框選多個感興趣區域，並批次裁剪彈匣影像，也能顯示及分析辨識結果，從而有效提升辨識效率，降低成本，為半導體製造業的自動化帶來顯著效益。  
**關鍵字：**槽位基板、YOLO、人機介面、影像前處理、濾波器、電腦視覺辨識。

## Abstract

In semiconductor manufacturing, cassettes are commonly used as containers for storing substrates and wafers. Determining whether substrates are present in cassette slots is a critical step in the manufacturing process. Traditional sensing methods struggle to accurately detect the presence of substrates in slots and rely on manual verification, which impacts production efficiency. This study thus proposes a computer vision recognition system based on image preprocessing and the YOLO model. The Sobel, Laplacian, and Canny filters are applied to images to enhance their edge sharpness. The preprocessed images are then fed into the YOLOv5 model for recognition. The experimental results demonstrate that the proposed approach performs very well and can get to 100% accuracy. Additionally, we developed a user interface using Visual Studio 2015 and C# that allows users to intuitively select multiple regions of interest (ROI), crop cassette images in batch, and display and analyze recognition results. The user interface effectively improves recognition efficiency, reduces costs, and significantly benefits semiconductor

manufacturing automation.

**Keywords:** Substrate, YOLO, Human-machine Interface, Image Preprocessing, Filter, Computer Vision Recognition.

## 1. 前言

在半導體製造業[3]中，彈匣[1]是一種常見的容器，用於存放基板、晶圓等產品。在自動化機台入料的過程中，準確檢測彈匣中每個槽位是否存在基板[2]是一個關鍵步驟，以避免混料或缺料問題，從而節省生產成本。傳統的檢測方法通常依賴感測器與馬達搭配，透過軸控系統移動彈匣來觸發感測器，判斷每個槽位是否有基板。然而，這種方法不僅成本高，還難以準確辨識槽位內的基板狀態。傳統系統辨識後依賴人力操作，誤判「有基板」會導致損失，而「無基板」的情況則需人工再檢驗及處理不合格品。這些過程設定複雜且耗時費力，不利於製造流程的連續性，影響生產效率。因此，提高槽位基板的辨識準確性和速度成為亟待解決的問題。

本研究將辨識系統與人機介面（Human-Machine Interface, HMI）結合，解決辨識後的耗時人力操作問題。HMI 提供圖形化界面，簡化操作流程，使操作人員能快速存取和調整生產參數，從而提高系統的反應速度。HMI 的優點包括增強監控能力、改善數據記錄和分析、減少人工錯誤以及提高系統的靈活性和可擴展性。透過 HMI，即時監控、遠程操作、記錄和分析生產數據可以大幅提升生產效率和品質。

本研究的目的是開發一個基於 YOLO 模型的電腦視覺辨識系統，用於準確辨識彈匣內槽位基板的有無，並結合 HMI 來快速處理辨識結果，以提高製造過程的自動化水平。這將有助於提高生產效率，降低操作成本，並提升整個半導體製造過程的穩定性和可靠性。通過這種方法，本文研究希望能夠為半導體製造業自動化機台帶來顯著效益。

## 2. 相關研究工作

### 2-1. YOLO 發展

YOLO (You Only Look Once) 是一種單階段的物體檢測算法，與傳統的兩階段方法[4]相比，YOLO 直接從圖像中提取特徵並預測邊界框和物體類別，省略了區域建議和後處理的步驟，使得檢測過程更加快速。YOLO 將輸入圖像劃分為固定大小的網格單元，能夠在一次前向傳播中完成對整張圖像的「全域檢測」，這種全域處理方式有別於候選(感興趣)區域的檢測方法，能對圖像中所有物體檢測，減少了漏檢的可能性，也使得 YOLO 在檢測多個目標時可節省計算時間並能提高處理效率，此令 YOLO 在處理速度上具有明顯優勢，特別適用於需要快速響應的應用場景，從而厚植目標檢測的能力。

在機器學習領域，專業化工具和平台方式之人機介面應用已很常見，如 AutoML 工具與數據標註工具。在 Google AutoML 及 H2O.ai 平台能自動化機器學習模型的構建過程，使非專業人員能使用數據標註工具如 Labelbox、Supervise.ly 等。這些工具提供方便的界面，用於大規模數據標註任務，支援圖像、文本、語音等多種數據格式，因此我們將參考這些工具來建置與 YOLOv5[5]結合之人機介面。由於 YOLOv5 也有提供數據標註工具之平台，故擬將由 Labelimg 平台為基礎來設計符合本研究之人機介面，參考數據標註工具如 Labelbox、Supervise.ly 等，設計將以簡單和直觀、回饋機制、自適應和個性化、安全性和隱私保護為原則，期使人機介面更易於操作和使用。YOLOv5 能夠自適應地調整圖片的大小，以適應不同尺寸的物體檢測，從而提高了模型的泛化能力。YOLOv5 亦支援在不同硬件平台上運行，包括 CPU、GPU 和 TPU 等，能夠滿足不同場景下的需求。其實際應用的範圍相當廣泛，包含即時偵測老年人跌倒行為降低死亡或長期治療的風險[6]、在火災發生初期偵測到火焰並即時發出警報[7]，防止火勢的惡化、在建築工地領域，也可有效的監測工人是否正確配戴頭盔以及口罩[8]，以保障人身安全、更可應用在果園，可識別櫻桃並進行採摘作業[9]。

### 2-2. 影像處理

經驗上，辨識槽位內有無基板，與基板邊緣經攝像後是否明顯(清晰)有很大關聯。若是邊緣明顯，通常辨識(檢測)準確性高；反之，則容易誤判。常態上，與上方槽位內基板相比，下方槽位內基板邊緣是不明顯的，故若能在模型使用(訓練驗證及測試)前先將基板不明顯之邊緣，藉由某些影像處理技術做增強或是經由再次的增強，將使得模型容易檢測槽位基板。基此，本節將探討三種邊緣檢測方法，期能評估合於本研究使用。

#### (一) Sobel Filter

Sobel 濾波器[10]於 1973 年由 Irwin Sobel 和

Gary Feldman 提出，是一種簡單且有效的邊緣檢測方法，廣泛應用於圖像處理中。其工作原理基於圖像梯度的計算，通過檢測像素灰度值的變化率來識別圖像中的邊緣。Sobel 濾波器使用兩個 3x3 的卷積核，分別計算水平方向(x 方向)和垂直方向(y 方向)的梯度，使其具有方向性，能夠檢測圖像中的水平和垂直邊緣。這使得它在物體輪廓識別和特徵提取，如紋理與結構特徵提取中，發揮重要作用。

Sobel 濾波器的應用流程包括：首先將彩色圖像轉換為灰度圖像，然後將 Sobel 遮罩應用於每個像素點，計算水平方向和垂直方向的梯度值。這些梯度值反映了圖像中每個像素的灰度變化，進而識別出邊緣的位置和方向。可選擇進行非極大值抑制以細化邊緣，最後根據設定的閾值判斷是否為邊緣點。這些步驟使 Sobel 濾波器能夠有效檢測圖像中的邊緣結構，增強圖像中的邊緣特徵，使圖像更清晰鮮明，成為圖像處理中不可或缺的工具之一。它的簡單有效性和廣泛應用性使其成為圖像處理中不可或缺的工具之一，其應用範圍包含提取虹膜特徵[12]、人臉區域辨識[11]等。

#### (二) Laplacian Filter

Laplacian 濾波器[13]於 20 世紀初由 Pierre-Simon Laplace 提出，用於檢測圖像中的邊緣與細節，並增強高頻部分如邊緣與結構特徵。其原理基於 Laplacian 二階微分操作，透過一個 3x3 的卷積核計算圖像的二階導數，因邊緣處的二階微分值較大，故可藉由閾值判斷或零交叉來檢測邊緣。Laplacian 濾波器增強高頻部分的方法是生成 Laplacian 圖像後，進行閾值化與加權相加，使高頻特徵更加突出。它不僅適用於邊緣檢測，還可增強圖像中的細節，使圖像更清晰鮮明。此濾波器也支持多尺度特徵檢測，能在不同尺度下檢測圖像的細節與結構特徵，並且在紋理分析中具有廣泛應用。

使用 Laplacian 濾波器進行邊緣檢測的流程包括：首先將彩色圖像轉換為灰度圖像，接著應用 Laplacian 濾波器進行二階微分操作，必要時增強高頻部分，最後進行閾值處理與零交叉檢測，以提取出圖像中的邊緣與細節信息，這使得 Laplacian 濾波器在圖像處理中應用廣泛。

#### (三) Canny Filter

Canny 濾波器[14]於 1986 年由 John F. Canny 提出，是一種經典且高效的邊緣檢測算法，旨在保留邊緣細節的同時減少噪聲，並提供精確清晰的邊緣檢測結果。其技術基於 Sobel 濾波器，並加入了高斯模糊、雙閾值處理和邊緣連接三個步驟，以提高檢測的準確性和穩定性。

首先，通過高斯模糊將圖像平滑化，減少噪聲，從而提升後續邊緣檢測的穩定性。接著，計算圖像的梯度幅值和方向，並應用非極大值抑制來細化邊緣，僅保留邊緣上的像素。之後，通過雙閾值處理將像素分類為強邊緣、弱邊緣和非邊緣，並進行邊緣連接來確保邊緣的連續性和完整性。這些步驟使

Canny 濾波器能夠有效檢測圖像中的細微邊緣特徵，並生成清晰、連續的邊緣輪廓。由於其對噪聲敏感度低且檢測結果精確，Canny 濾波器在圖像處理和計算機視覺領域中得到了廣泛應用。藉由以上這些步驟，Canny 邊緣檢測器能夠高效而準確地檢測圖像中的邊緣，甚至是檢測到圖像中細微的邊緣特徵，並且對圖像的噪聲敏感度較低，生成的邊緣輪廓清晰、鮮明[15]，因此被廣泛應用於圖像處理和計算機視覺領域。

### 3. 研究方法

本研究旨在使用 YOLOv5 模型結合人機介面 (Visual Studio 2015 與 C#語言)，進行槽位基板的辨識 (物件偵測) 及實現對辨識結果快速操控。整體方法包括 YOLOv5 環境建置、數據收集準備、模型訓練驗證、模型測試、辨識執行 (人機介面使用) 等五個主要步驟，工作流程如圖 1 所示。其中模型測試，若辨識率不佳，則重新調整模型參數，並再訓練直到有好的辨識率為止。接著將訓練的模型透過人機介面載入，執行影像輸入辨識。

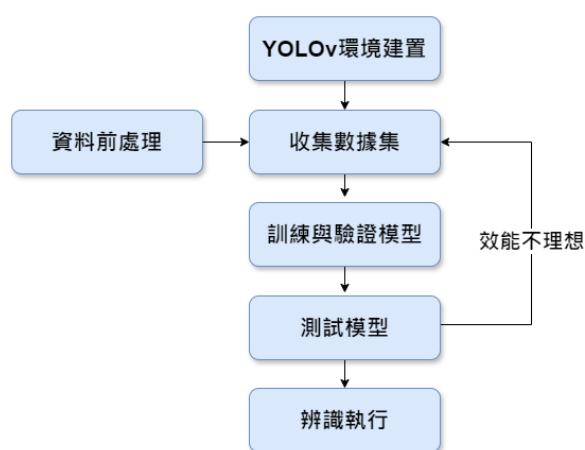


圖 1. 工作規劃及流程

#### 3-1. YOLOv5 環境建置

本實驗首先進行模型訓練和檢測，同時藉由人機介面以圖形化方式顯示辨識結果。首先，安裝 Anaconda 以配置 Python 環境，並下載 YOLOv5 的不同版本 (v5s、v5m、v5l、v5x 等)，其中 v5s 為輕量級模型，因其速度最快且適合於人機介面操作，因此選為該研究的主要模型。接著，從 YOLOv5 官方下載相應的程式碼，以進行模型訓練和辨識。YOLOv5s 的網路架構包括三個主要部分：Backbone (主幹網路)，使用 CSP-Darknet53 結構；Neck (頸部)，使用 SPPF 和 CSP-PAN 結構，連接主幹與頸部；Head (頭部)，負責產生最終輸出。這些架構設計使 YOLOv5s 在保持速度的同時，具備優異的檢測性能。

#### 3-2. 收集數據集

首先，收集彈匣圖片做為數據集。這些圖片將

以彈匣中每個槽位是否隨機放置基板為特徵，並拍攝多張不同角度和光線的圖片，提供不同特徵的數據集用於訓練。在這些圖片中，彈匣槽位的主要特徵將包括兩側是否有基板以及中間是否有一條細長的基板邊緣。這些圖片將用於訓練模型以準確識別彈匣中每個槽位是否存在基板。其次，使用 Labellmg 工具對這些彈匣圖片進行標記。本研究將標記分為兩大類別：有基板和沒有基板，透過標記，將在圖片中標示出彈匣槽位的位置和是否存在基板的信息，作為訓練模型的標籤數據。

標記完成會產生與圖片名稱對應的文件，其格式內容包含五個資訊，分別是第幾個類別、 $x$  與  $y$  值 (中心點的  $x$  座標與  $y$  座標)、 $w$  與  $h$  值 (Bounding Boxes 的寬度與高度)， $x$ 、 $y$ 、 $w$  及  $h$  值皆是歸一化後的結果，如圖 2 所示。接下來，將利用標記好的數據集進行模型的訓練。使用這些圖片和相應的標籤數據來訓練 YOLOv5s 模型，以便模型能夠準確地識別彈匣中每個槽位的狀態。

| 檔案(F) | 編輯(E)    | 格式(O)    | 檢視(V)    | 說明       |
|-------|----------|----------|----------|----------|
| 1     | 0.054953 | 0.520492 | 0.107014 | 0.926230 |
| 1     | 0.510484 | 0.549180 | 0.909617 | 0.524590 |
| 1     | 0.063268 | 0.413669 | 0.116414 | 0.712230 |
| 1     | 0.508315 | 0.428058 | 0.919740 | 0.510791 |
| 1     | 0.064296 | 0.537383 | 0.111351 | 0.850467 |
| 1     | 0.518319 | 0.542056 | 0.926006 | 0.485981 |

圖 2. 訓練集與驗證集之標記數據

#### 3-3. 訓練模型

本研究的模型訓練過程分為訓練和驗證兩個階段。訓練階段使用收集到的彈匣圖片和標籤數據對 YOLOv5s 模型進行訓練，目標是準確識別彈匣中每個槽位的狀態。在此過程中，調整包括批次大小 (Batch Size)、迭代次數 (Number of Epochs) 等超參數，以優化模型性能。批次大小決定了每次模型更新時使用的樣本數，影響訓練速度與模型泛化能力；迭代次數表示模型運行整個訓練資料集的次數，影響模型的擬合程度；其他如卷積濾波器大小、池化層大小等結構超參數則直接影響模型效能與計算複雜度。

在驗證階段，使用驗證集來評估模型性能，以確保模型在訓練集和新數據上都能表現良好。訓練過程中，通過監視訓練和驗證損失函數的變化來評估模型，理想情況下，兩者應同步下降，這有助於避免模型過度擬合。最後，將選擇性能最佳的模型，並進行進一步的優化和調整，以確保其在實際應用中的準確性和穩定性。

總結來說，本研究通過對 YOLOv5s 模型的訓練與優化，建立了一個具有良好泛化能力的彈匣內基板辨識系統。訓練過程中，通過合理調整超參數和優化模型結構，達到更高的準確性與穩定性，從而提高了模型在實際應用中的辨識效果。

### 3-4. 測試模型

在完成模型訓練後，需要通過測試來評估其性能，使用的指標包括準確率（Accuracy）、精確度（Precision）、召回率（Recall）和 F1 分數（F1-Score）。這些指標可以幫助全面了解模型的效能。

準確率表示模型在測試集中預測正確的樣本比例，精確度指模型預測為某一類別的樣本中，實際為該類別的比例，以正類為例，表示預測為正類且實際為正類的樣本占預測為正類樣本的比例。召回率則表示模型成功辨識為某一類別的樣本比例，以正類為例，即實際為正類且被正確預測的樣本數占實際正類樣本數的比例。F1 分數是精確度和召回率的加權平均值，用於綜合評估模型性能，特別是在精確度和召回率之間取得平衡。

在模型測試中，本文研究將正類（無基板）和反類（有基板）作為兩個分類，並針對每個類別計算這些指標。通過測試集的結果，可以評估模型在實際應用中的表現，特別是在自動化流程中正確識別彈匣中基板的能力。

通過這些指標的分析，本研究能夠了解模型的優劣並進一步優化。這不僅有助於提高模型的準確性，還能確保其在實際應用中的穩定性和效率，使自動化流程更加順利。

### 3-5. 執行辨識（人機介面使用）

本研究透過 YOLOv5 模型結合人機介面實行辨識系統，可讓使用者透過人機介面更直觀的操作軟體，透過引導步驟與說明，能夠快速上手操作，並提升產業的效率，人機主要操作介面如圖 2 所示。

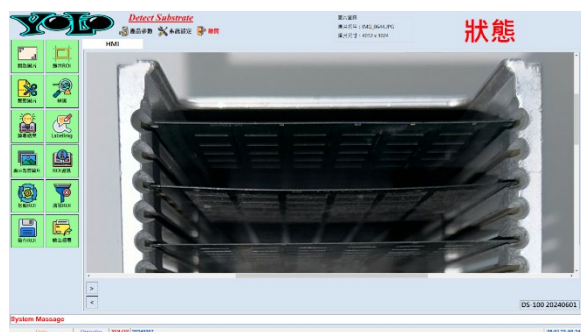


圖 2. 人機介面

而我們所設計的辨識系統流程圖如圖 3 所示，使用者可透過人機介面打開所要辨識的圖片，根據需求對影像做前處理，顯示與調整各槽位的 ROI 位置、大小，並批次裁剪圖片，以進行後續的辨識、顯示結果，最後可輸出報表做資料分析。

## 4. 研究結果

本節將介紹本研究的實驗結果與討論部分。前三小節將詳細描述模型數據集、訓練、驗證以及測試集的結果。最後一小節則針對實驗過程中的挑戰

和解決方案進行討論，尤其是由於相機焦距的限制導致彈匣圖片下半部不清晰，對影像辨識率造成影響的問題。為了解決此問題，本研究採用 Sobel、Laplacian 與 Canny 濾波器進行影像前處理，顯著提升影像銳利度和辨識率。詳細分析三種濾波器的效果，並比較使用前後的辨識準確率，說明影像前處理技術在提高辨識精確度中的重要性。

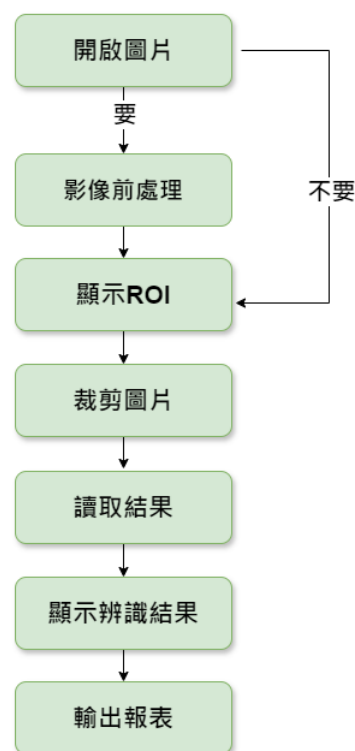


圖 3. 人機介面辨識流程圖

### 4-1. 數據集

數據集來源為實際拍攝彈匣內槽位有無基板的多種狀況，包含不同角度以及不同光源，詳細建置圖像張數如下表 1 所示：

表 1. 訓練集、驗證集及測試集在各分類之數量

| 類別<br>資料集 | 類別一 | 類別二 |
|-----------|-----|-----|
| 訓練集       | 50  | 50  |
| 驗證集       | 10  | 10  |
| 測試集       | 57  | 43  |

### 4-2. 訓練與驗證

損失函數隨著訓練與驗證的進行，在初期迅速下降，而後趨於穩定(未有較大或突然的波動)，由於驗證之損失函數收斂值甚小，顯示預測值相當接近實際值，且經由比較，驗證之損失函數收斂值小於訓練之損失函數收斂值，表示模型未出現過擬合。

### 4-3. 測試

經統計數量，測試之二分類混淆矩陣如下表 2

所示，在 100 張圖片中，套用了濾波器之後，正確的辨識出 57 種類別一（無基板）與 43 種類別二（有基板），辨識準確率達到了 100%。

表 2 測試之二分類混淆矩陣

| 實際 \ 預測 | 類別一 | 類別二 |
|---------|-----|-----|
| 類別一     | 57  | 0   |
| 類別二     | 0   | 43  |

實際辨識的準確率、精確度、召回率與 F1 分數如表 3，可看到精確率、召回率與 F1 分數的平均值皆為 1，較高的 F1 分數表示模型在精確度與召回率之間取得很好的平衡，對於二分類之 F1 分數(類別一及二)皆等於 1，表示模型在各類別上都有較高的精確度與召回率。

表 3. 各項評分指標分數

| 項目 \ 分數 | 類別一                             | 類別二                             |
|---------|---------------------------------|---------------------------------|
| 準確率     | $(57+43)/(57+0+0+43)=1$         | $(57+43)/(57+0+0+43)=1$         |
| 精確度     | $57/(57+0)=1$                   | $43/(0+43)=1$                   |
| 召回率     | $57/(57+0)=1$                   | $43/(0+43)=1$                   |
| F1 分數   | $2 \times (1 \times 1)/(1+1)=1$ | $2 \times (1 \times 1)/(1+1)=1$ |

#### 4-4. 討論

由於相機焦距的限制，彈匣圖片的下半部較不清晰，影響影像的辨識率。為了解決這個問題，本研究採用了 Sobel、Laplacian 和 Canny 濾波器來提高影像的銳利度和辨識精度。Sobel 濾波器主要用於增強圖像中的邊緣細節，適合用於強調水平和垂直方向的邊緣；Laplacian 濾波器則著重加強整體邊緣對比度，有助於強化細微的邊緣變化。而 Canny 濾波器因其多階段處理和雙閾值檢測技術，能更精確地提取圖像中的邊緣信息，特別適用於噪聲較多或邊緣細節豐富的圖像。這些濾波器的應用顯著提高了彈匣下半部影像的辨識率。

在研究過程中，未經影像前處理（未使用濾波器）下，辨識 100 張彈匣圖片時，6 張位於彈匣底部的照片出現誤判，辨識準確率為 94%。在應用了影像前處理（如 Sobel、Laplacian 和 Canny 濾波器）後，特別是使用 Canny 濾波器的情況下，邊緣銳利度和對比度顯著提升，所有圖片均能被準確辨識，準確率提高到 100%，如下表 4。這結果強調了影像前處理的重要性，尤其是針對辨識難度較高的場

景時。

具體而言，Sobel 濾波器適合於增強局部邊緣細節，而 Laplacian 濾波器可以進一步強化整體圖像的邊緣對比。Canny 濾波器則提供更精細的邊緣檢測效果，能有效處理噪聲並保持邊緣的連續性。在本研究中，Canny 濾波器的表現優於其他濾波器，顯示其在提高影像辨識率方面的潛力。因此，未來使用者可根據具體的辨識需求，靈活選擇適當的濾波器來優化影像處理的效果。

總結來說，影像前處理對於提高影像辨識的準確性和穩定性至關重要。通過採用適當的濾波技術，可以顯著改善模糊影像的品質，從而提升整體系統的效能和可靠性。

表 4 三種濾波器辨識準確率

| 彈匣圖片內有基板之槽位                               | Sobel          | Laplacian      | Canny            |
|-------------------------------------------|----------------|----------------|------------------|
| IMG_0644<br>1.3.5.7.9.10.11.<br>16.17.20  | 辨識成功           | 辨識成功           | 辨識成功             |
| IMG_0647<br>3.5.7.9.10.11.16<br>.17.20    | 辨識成功           | 第 20 槽辨識錯誤     | 辨識成功             |
| IMG_0648<br>5.7.9.10.11.16.1<br>7.20      | 第 20 槽辨識錯誤     | 第 6 槽辨識錯誤      | 辨識成功             |
| IMG_0649<br>7.9.10.11.16.17.<br>20        | 辨識成功           | 辨識成功           | 辨識成功             |
| IMG_0650<br>9.10.11.12.13.1<br>4.16.17.20 | 辨識成功           | 辨識成功           | 辨識成功             |
| 準確率                                       | 99/100<br>=99% | 98/100<br>=98% | 100/100=<br>100% |

#### 5. 結論與未來展望

本研究成功開發一個基於 YOLOv5 模型的電腦視覺辨識系統，結合 Sobel、Laplacian 與 Canny 濾波器，以解決半導體製造過程中因相機焦距限制導致的彈匣影像模糊問題。這些技術提升了影像銳利度與辨識率，使系統在處理模糊影像時更加準確，降低漏判與誤判的發生。此外，開發的人機介面不僅提高了系統準確性，還能自動生成報表，用於資料探勘與巨量資料分析，進一步提升產品品質與生產效率。透過此系統的應用，企業能有效降低生產與人力成本，並提升整體生產的穩定性和可靠性。本系統不僅提供了一個高效且準確的解決方案，也為未來的智能製造奠定了基礎。

在未來計畫中，我們將引入更多濾波器，以應對不同的辨識需求，並結合半導體業界的 SecsGem 通訊協定，實現資料收集、異常回報與遠端控制，達成無人化工廠的全面自動化。

## 6. 致謝

本論文由國家科學及技術委員會研究計畫 (NSTC 112-2221-E-390-014-MY3)經費贊助，特此感謝。

## 7. 參考文獻

- [1] M. Weiss, "Semiconductor Factory Automation," *Solid State Technology*, Vol. 39, No. 1, pp. 89-94, 1996.
- [2] K. Martens, C. O. Chui, G. Brammertz, B. De Jaeger, D. Kuzum, M. Meuris and G. Groeseneken, "On the Correct Extraction of Interface Trap Density of MOS Devices with High-Mobility Semiconductor Substrates," *IEEE Transactions on Electron Devices*, Vol. 55, No. 2, pp. 547-556, 2008.
- [3] S. H. Huang and Y. C. Pan, "Automated Visual Inspection in The Semiconductor Industry: A Survey," *Computers in Industry*, Vol. 66, pp. 1-10, 2015.
- [4] A. Krizhevsky, I. Sutskever and G. E. Hinton, "Imagenet Classification with Deep Convolutional Neural Networks," *Communications of the ACM*, Vol.60, No. 66, pp. 84-90, 2012.
- [5] D. Thuan, "Evolution of Yolo Algorithm and Yolov5: The State-of-the-Art Object Detection Algorithm," 2021.
- [6] H. Wu, X. Zhao, J. Qiao and Y. Che, "An Improved YOLOv5 Algorithm for Elderly Fall Detection," In *2023 International Conference on Innovation, Knowledge, and Management*, pp. 83-88, 2023.
- [7] Y. Zhou, M. Wu, Y. Bai and C. Guo, "Flame Detection with Pruned and Knowledge Distilled YOLOv5," In *2021 5th Asian Conference on Artificial Intelligence Technology*, pp. 780-785, 2021.
- [8] E. Wanlin, Z. Yang and J. Yu, "Detection and Recognition of Personal Protection Equipment Wearing Based on an Improved YOLOv5 Algorithm," In *2023 4th International Symposium on Computer Engineering and Intelligent Communications*, pp. 229-232, 2023.
- [9] R. Gai, M. Li and N. Chen, "Cherry Detection Algorithm Based on Improved YOLOv5s Network," In *2021 IEEE 23rd International Conference on High Performance Computing & Communications; 7th International Conference on Data Science & Systems; 19th International Conference on Smart City; 7th International Conference on Dependability in Sensor, Cloud & Big Data Systems & Application*, pp. 2097-2103, 2021.
- [10] J. Monson, M. Wirthlin and B. L. Hutchings, "Optimization Techniques for a High Level Synthesis Implementation of The Sobel Filter," *The 2013 International Conference on Reconfigurable Computing and FPGAs*, pp. 1-6, 2013.
- [11] A. Singh, M. Singh and B. Singh, "Face Detection and Eyes Extraction Using Sobel Edge Detection and Morphological Operations," In *2016 Conference on Advances in Signal Processing*, pp. 295-300, 2016.
- [12] N. Vishwakarma and V. Patel, "Biometric Iris Recognition Using Sobel Edge Detection for Secured Authentication," In *2019 2nd International Conference on Intelligent Communication and Computational Techniques*, pp. 119-123, 2019.
- [13] M. Aubry, S. Paris, S. W. Hasinoff, J. Kautz and F. Durand, "Fast Local Laplacian Filters: Theory and Applications," *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 33, No. 5, pp. 1-14, 2014.
- [14] L. Ding and A. Goshtasby, "On the Canny Edge Detector," *Pattern Recognition*, Vol. 34, No. 3, pp. 721-725, 2001.
- [15] Z. Ying and H. Yujun, "Edge Detection of Space Station Docking Mark Based on Improved Canny Operator," In *2020 International Conference on Information Science and Education*, pp. 159-162, 2020.