

國立臺灣大學工學院機械工程學系



碩士論文

Department of Mechanical Engineering

College of Engineering

National Taiwan University

Master's Thesis

基於俯視法之大面積親水性成像系統之設計與開發

Design and Development of a Large-Area Hydrophilicity

Imaging System based on a Top-View Approach

曹善亞

Shan-Ya Tsao

指導教授：廖先順 博士

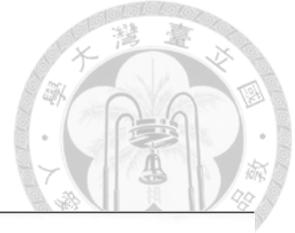
Advisor: Hsien-Shun Liao, Ph.D.

中華民國 114 年 7 月

July, 2025



# 口試委員會審定書



## 國立臺灣大學碩士學位論文 口試委員會審定書 MASTER'S THESIS ACCEPTANCE CERTIFICATE NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY

基於俯視法之大面積親水性成像系統之設計與開發

Design and Development of a Large-Area Hydrophilicity Imaging  
System based on a Top-View Approach

本論文係 曹善亞 ( R12522622 ) 在國立臺灣大學機械工程系完成之碩士學位論文，於民國 114 年 7 月 15 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明。

The undersigned, appointed by the Department of Mechanical Engineering on 15, July, 2025 have examined a Master's thesis entitled above presented by TSAO, SHAN-YA (R12522622) candidate and hereby certify that it is worthy of acceptance.

口試委員 Oral examination committee:

廖先順                      高豐志  
(指導教授 Advisor)                      \_\_\_\_\_  
蘇偉傑                      \_\_\_\_\_

系主任/所長 Director: 莊嘉揚

## 致謝



在本論文完成之際，謹向在研究過程中給予我最親愛的師長、同儕及親友表達最誠摯的感謝。

首先，衷心感謝廖先順教授，在研究過程中不僅提供我深入的專業知識與寶貴的研究方向，更在每一階段都耐心指導與鼓勵，使我得以在學術上持續精進。教授的嚴謹治學態度與開放思維，對我有深遠的影響。

同時也感謝實驗室的學長姐與同儕們，感謝郭博總是非常關心我們的研究狀況，並予以技術上與精神上的支援，還有彥瑋學長非常細緻地將所有東西交接給我，讓我在開始進行研究的時候不會過於慌張。還有我的碩二好同學們，每個禮拜五的午餐已經變成我們的默契，讓我們在各自忙碌地生活中可以互相分享跟交流各種好的壞的事情，也因為有你們，我的碩士生活才不至於過得枯燥乏味，大家的善良跟熱情還有跟你們一起野餐的樣子都是我最美好的回憶。還有就是工研院的同事們，感謝高博總是像一盞明燈，不管是研究的方法或方向都給予我非常大的幫助。另外還想感謝怡真，因為有你的照顧跟幫忙，我才能順利的完成我的研究，從儀器跟器材的使用到日常的各種需求，怡真總是像個媽媽一樣的在教導我跟照顧我，有怡真在就是能讓我感覺非常的安心。

最後，特別感謝我的家人一直以來的支持，讓我可以不愁吃穿，快快樂樂的體驗生活，然後順順利利的完成了所有學業。

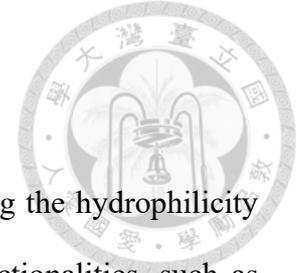
## 摘要



在先進製程與表面工程領域中，透過改變固體表面之親水性來提升其表面功能性，已成為常見且關鍵的技術手段，應用範疇包括增強表面接合強度、提升抗污性能等。座滴法是目前用於量測表面親水性的標準方法，其原理為將水滴滴加於材料表面後，從側面觀測其平衡狀態下的接觸角作為親水性強弱之指標。然而，此方法僅能針對樣品局部區域進行單點量測，難以提高其自動化程度以及量測效率，因此無法滿足需要快速量測大面積樣品親水性分布之工業應用。本研究建構一適用於大面積樣本之表面親水性成像系統，利用線相機配合超音波噴霧進行掃描，掃描擷取之影像再透過影像處理來獲得霧滴之平均面積，並進一步透過一檢量曲線轉換面積為量化之接觸角。本研究所開發之系統能量測樣品之最大範圍可達 300 mm × 300 mm，接觸角成像解析度為 2.52 mm。實驗中對局部表面改質之矽晶圓及聚醯亞胺膠帶樣品進行測試，驗證系統可於 2 分 22 秒完成 65.52 mm × 75.6 mm 範圍的表面親水性成像。結果顯示本研究之量測系統可明顯區分樣品表面之親水與疏水區域，並得到量化之接觸角影像。

關鍵字：接觸角量測、線相機、超音波噴霧

## Abstract



In advanced manufacturing and surface engineering, modifying the hydrophilicity of solid surfaces is a crucial technique for enhancing surface functionalities, such as adhesion strength and anti-fouling properties. The sessile drop method, which measures the contact angle (CA) of a droplet, is the standard approach for evaluating surface hydrophilicity. However, this method is limited to measuring the CA at one position at a time, posing challenges for industrial applications that require automation, high throughput, and large-area assessment. In this study, a novel surface hydrophilicity imaging system was proposed for rapidly analyzing large-area samples. The system integrates a line-scan camera with a broadband ultrasonic generator to spray microdroplets while scanning the surface. Top-view images of the microdroplets are captured and processed to determine their average size, which is then converted to CA value using a calibration curve. The developed system enables measurements over areas up to  $300\text{ mm} \times 300\text{ mm}$  with a pixel resolution of  $2.52\text{ mm}$ . In the experiments, a silicon wafer and polyimide tapes with surface treatments were imaged, demonstrating that an area of  $65.52\text{ mm} \times 75.6\text{ mm}$  can be imaged within 2 minutes and 22 seconds. Distinct hydrophilic and hydrophobic regions were clearly identified, and quantitative CA measurements were successfully obtained, confirming the potential of the developed system for industrial applications.

**Keywords:** contact angle measurement, line-scan camera, ultrasonic spray.

# 目次



口試委員會審定書.....	i
致謝.....	ii
摘要.....	iii
Abstract.....	iv
目次.....	v
圖次.....	ix
表次.....	xvi
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景及動機.....	1
1.2 文獻回顧.....	2
1.2.1 座滴法.....	2
1.2.2 原子力顯微鏡測量法.....	3
1.2.3 紅光雷射曲面掃描分析.....	6
1.2.4 上視影像量測法.....	10
1.2.5 輪廓辨識.....	16
1.3 研究目標.....	19
第二章 量測原理.....	21
2.1 接觸角量測原理.....	21



2.2 液滴輪廓識別方法 .....	25
第三章 系統架構.....	28
3.1 大面積親疏水性量測系統架構.....	28
3.2 定位控制系統 .....	29
3.2.1 嵌入式控制儀器 .....	29
3.2.2 X 軸與 Y 軸馬達驅動器 .....	31
3.2.3 Z 軸馬達驅動器.....	32
3.2.4 X 軸自動滑台 .....	33
3.2.5 Y 軸自動滑台 .....	33
3.2.6 Z 軸自動滑台 .....	33
3.2.7 雙滑塊線性滑軌.....	34
3.3 噴霧系統.....	35
3.4 影像擷取系統 .....	36
3.4.1 線相機 .....	36
3.4.2 遠心鏡頭.....	37
3.4.3 光源 .....	38
3.4.4 線相機參數設定軟體 .....	40
3.5 人機介面 .....	45
3.5.1 自動掃圖控制區與即時資料顯示區 .....	45



3.5.2 手動馬達控制區 .....	49
3.5.3 掃描結果顯示區 .....	50
3.6 Python 程式.....	51
3.6.1 圖像切割功能 .....	52
3.6.2 圖像合併功能 .....	53
3.6.3 霧滴平均面積之計算與 TCP 通訊功能.....	54
3.6.4 平均霧滴面積轉換接觸角之功能.....	56
第四章 實驗方法與量測結果.....	57
4.1 材料選用 .....	57
4.1.1 矽晶圓樣本 .....	57
4.1.2 聚醯亞胺膠帶樣本 .....	58
4.2 樣本製作及標準接觸角量測.....	58
4.2.1 樣本製作 .....	58
4.2.2 標準接觸角量測.....	59
4.3 噴霧參數調整及檢量線建構.....	62
4.3.1 影像尺寸校準 .....	63
4.3.2 噴霧參數調整 .....	64
4.3.3 檢量線建置 .....	65
4.4 表面親疏水特性成像量測.....	69

4.4.1 矽晶圓樣本之表面濕潤性量測.....	70
4.4.2 聚醯亞胺膠帶樣本之表面濕潤性量測.....	77
第五章 結果討論及改進方向.....	84
參考資料.....	86
附錄.....	88



## 圖 次



圖 1.1 液體與表面接觸所形成之接觸角示意圖[4]。.....	1
圖 1.2 座滴技術示意圖[6]。.....	3
圖 1.3 接觸角量測儀器和實際量測圖像[6]。.....	3
圖 1.4 原子力顯微鏡架構示意圖[7]。.....	4
圖 1.5 掃描式電子顯微鏡(Scanning electron microscope, SEM)掃描 NADIS 技術之探針頭結構[8]。.....	5
圖 1.6 NADIS 技術之探針頭於樣本表面附著液滴之過程示意圖[8]。..	5
圖 1.7 NADIS 技術對四種樣本表面量測出的液滴接觸角[8]。.....	6
圖 1.8 (a)親水性高與(b)親水性低之表面對平行光源之反射現象[10]。 7	
圖 1.9 趙彥瑋等人所提出的(a)量測光路設計圖與(b)樣本順時針偏移 2 度光路示意圖[10]。.....	7
圖 1.10 趙彥瑋等人之實驗測試樣品。(a)聚醯亞胺膠帶黏貼於銅板， (b)以黑色紙膠帶包覆不改質之區域[11]。.....	8
圖 1.11 趙彥瑋等人對聚醯亞胺膠帶量測之表面親疏水特性影像[11]。 9	
圖 1.12 C. Janeczko 等人之實驗架構圖[12]。.....	11
圖 1.13 上視影像擷取系統示意圖[12]。.....	12
圖 1.14 上視影像液滴量測示意圖(a)全親水表面、(b) 全疏水表面 [12]。.....	13



圖 1.15 接觸角計算流程示意圖[12]。 ..... 13

圖 1.16 接觸角量測結果圖。(a)葉子的正面、(b)葉子的反面， $CA = Mean \pm 3 \times Standard\ deviation$ [12]。 ..... 14

圖 1.17 (a)、(c) 座滴法量測之接觸角與(b)、(d) 上視影像量測法研究之接觸角量測結果[12]。 ..... 14

圖 1.18 幼葉接觸角量測結果圖。(a)實際辨識圖、(b)色彩映射圖， $CA = Mean \pm 3 \times Standard\ deviation$ [12]。 ..... 15

圖 1.19 老葉接觸角量測結果圖。(a)實際辨識圖、(b)色彩映射圖， $CA = Mean \pm 3 \times Standard\ deviation$ [12]。 ..... 15

圖 1.20 花瓣接觸角量測結果圖。(a)實際辨識圖、(b)色彩映射圖， $CA = Mean \pm 3 \times Standard\ deviation$ [12]。 ..... 16

圖 1.21 BAU Kul 的 HSV 圖像(a) sample-1 (b) sample-2 [13]。 ..... 17

圖 1.22 閾值處理後的 BAU Kul 圖像(a) sample-1 (b) sample-2 [13]。 . 17

圖 1.23 輪廓偵測後的 BAU Kul 圖像(a) sample-1 (b) sample-2 [13]。 . 18

圖 2.1 光滑均質固體表面上的液滴形成接觸角之示意圖[15]。 ..... 21

圖 2.2 液滴形狀與接觸角之關係，(a)接觸角小於等於 90 度(b)接觸角大於 90 度[17]。 ..... 22

圖 2.3 計算液滴體積比  $V_r$  與接觸角  $\theta_{con}$  的關係曲線，(a)親水(b)疏水表面[17]。 ..... 23



圖 2.4 本研究接觸角計算之示意圖，其中(a)為量測疏水樣品之示意圖、(b)為量測親水樣品之示意圖以及(c)為檢量線建置之示意圖。  
 ..... 25

圖 2.5 外輪廓及孔洞輪廓起始點之辨識法。 ..... 26

圖 2.6 8-connected neighborhood 示意圖，中間藍色方框為主像素，其周圍 8 個綠色方框即為待編碼之相鄰像素。 ..... 26

圖 2.7 Freeman 鏈碼示意圖，(a)為逆時針編碼、(b)為順時針編碼。 27

圖 3.1 大面積親疏水性量測機構(a)示意圖、(b)實體圖。 ..... 28

圖 3.2 大面積親疏水性量測系統架構圖。 ..... 29

圖 3.3 嵌入式控制儀器輸出電壓示意圖[附錄 A]。 ..... 30

圖 3.4 myRIO-24V DIO 擴充板實體圖[附錄 B]。 ..... 30

圖 3.5 MEXE02 軟體驅動器腳位觸發資料設定。 ..... 31

圖 3.6 東方馬達驅動器信號腳位示意圖。 ..... 32

圖 3.7 Z 軸馬達驅動器脈波輸入時序圖。 ..... 32

圖 3.8 電動滑台 EZSM3D030AZAK 實體圖[附錄 E]。 ..... 33

圖 3.9 Z 軸滑台 C-ZMBS650-L-A-2 實體圖[附錄 F]。 ..... 34

圖 3.10 Y 軸電動滑台與雙滑塊線性滑軌最長行程示意圖[附錄 G]。 .35

圖 3.11 (a)針筒幫浦實體圖[附錄 H]、(b)寬頻超音波發射器實體圖[附錄 I]、(c)微量超音波霧化噴嘴實體圖[附錄 J]、(d)微量超音波霧化



噴嘴剖面圖。.....	36
圖 3.12 線掃描相機 PA4KGV-80KM 實體圖[附錄 K]。.....	37
圖 3.13 遠心鏡頭 WWH10-65CT 實體圖[附錄 L]。.....	38
圖 3.14 白色點光源 HRPL2-2108-3W 實體圖[附錄 M]。.....	38
圖 3.15 光源控制模組 HRPSC4-2005-4-LSE-Z 實體圖[附錄 N]。.....	39
圖 3.16 IkapCViewer 線掃描相機控制軟體實際介面。.....	40
圖 3.17 行頻與曝光時間的設置畫面。.....	41
圖 3.18 增益與偏置的設置畫面。.....	42
圖 3.19 行高的實際設置畫面。.....	43
圖 3.20 啟用幀觸發模式之相關設置。.....	43
圖 3.21 關閉線觸發模式。.....	44
圖 3.22 輸入腳位之相關設置。.....	44
圖 3.23 人機介面控制劃分區。.....	45
圖 3.24 自動掃描控制區與即時資料顯示區示意圖。.....	46
圖 3.25 影像掃描擷取模式之流程圖。.....	47
圖 3.26 RS-485 通訊訊號輸出示意圖。.....	49
圖 3.27 手動控制滑台位置區。.....	49
圖 3.28 掃描結果顯示區實際操作畫面。.....	50
圖 3.29 霧滴輪廓辨識影像，平均霧滴面積及接觸角顯示於左上角。.....	51

圖 3.30 影像處理流程圖。.....	51
圖 3.31 影像切割功能示意圖。.....	53
圖 3.32 影像合併功能示意圖。.....	54
圖 3.33 輸出計算結果影像與傳輸資料至 LavVIEW 之功能示意圖。.....	55
圖 3.34 平均霧滴面積換算成接觸角。.....	56
圖 4.1 矽晶圓樣本。.....	57
圖 4.2 聚醯亞胺膠帶樣本。.....	58
圖 4.3 紫外線臭氧清潔機，(a)外觀，(b)樣品放置空間。.....	59
圖 4.4 座滴法量測系統。.....	60
圖 4.5 電腦分析軟體進行接觸角判別。.....	60
圖 4.6 矽晶圓樣本接觸角量測區域劃分。.....	61
圖 4.7 表面改質處理 50 秒之矽晶圓樣本各區域之接觸角。.....	61
圖 4.8 矽晶圓樣本處理時間與接觸角關係圖。.....	62
圖 4.9 線相機擷取之標準校正片影像。.....	63
圖 4.10 噴霧參數實際設置圖。.....	64
圖 4.11 噴霧寬度實際測量圖。.....	65
圖 4.12 矽晶圓樣本之檢量線。.....	66
圖 4.13 聚醯亞胺膠帶樣本之檢量線。.....	66
圖 4.14 矽晶圓與聚醯亞胺膠帶之檢量線比對圖。.....	67

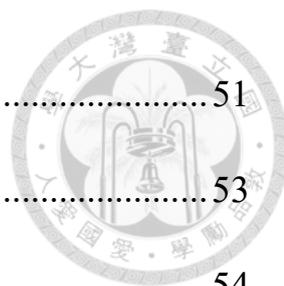


圖 4.15 矽晶圓樣本表面經親水處理 1min 的(a)標準接觸角與(b)影像辨識結果圖。 .....	68
圖 4.16 聚醯亞胺膠帶樣本表面經親水處理 3 min 的(a)標準接觸角與(b)影像辨識結果圖。 .....	68
圖 4.17 矽晶圓樣本表面未經親水處理的(a)標準接觸角與(b)影像辨識結果圖。 .....	69
圖 4.18 聚醯亞胺膠帶樣本表面經親水處理 2 min 的(a)標準接觸角與(b)影像辨識結果圖。 .....	69
圖 4.19 部分經表面改質的矽晶圓樣本。 .....	70
圖 4.20 矽晶圓樣本於系統之量測結果，(a)為合併之全圖，(b)為平均霧滴面積強度圖，(c)為平均接觸角強度圖。 .....	70
圖 4.21 矽晶圓樣本之(a)平均液滴面積強度圖及(b)截面圖。 .....	72
圖 4.22 矽晶圓樣本之(a)接觸角強度圖及(b)截面圖。 .....	73
圖 4.23 矽晶圓樣本疏水部分之霧滴面積及接觸角的分布分析，(a)影像辨識結果圖與其像對應位置，(b)小圖之霧滴面積分布圖及平均霧滴面積與標準差，(c)小圖之霧滴接觸角分布圖及平均接觸角與標準差。 .....	75
圖 4.24 矽晶圓樣本親水部分之霧滴面積及接觸角的分布分析，(a)影像辨識結果圖與其像對應位置，(b)小圖之霧滴面積分布圖及平均霧	



滴面積與標準差，(c)小圖之霧滴接觸角分布圖及平均接觸角與標準差。 ..... 76

圖 4.25 部分經表面改質的聚醯亞胺膠帶樣本。 ..... 77

圖 4.26 聚醯亞胺膠帶樣本於系統之量測結果，(a)為合併之全圖，(b)為平均霧滴面積強度圖，(c)為平均接觸角強度圖。 ..... 77

圖 4.27 聚醯亞胺膠帶樣本之(a)平均液滴面積強度圖及(b)截面圖。 .79

圖 4.28 聚醯亞胺膠帶樣本之(a)接觸角強度圖及(b)截面圖。 ..... 80

圖 4.29 聚醯亞胺膠帶樣本疏水部分之霧滴面積及接觸角的分布分析，(a)影像辨識結果圖與其像對應位置，(b)小圖之霧滴面積分布圖及平均霧滴面積與標準差，(c)小圖之霧滴接觸角分布圖及平均接觸角與標準差。 ..... 82

圖 4.30 聚醯亞胺膠帶樣本親水部分之霧滴面積及接觸角的分布分析，(a)影像辨識結果圖與其像對應位置，(b)小圖之霧滴面積分布圖及平均霧滴面積與標準差，(c)小圖之霧滴接觸角分布圖及平均接觸角與標準差。 ..... 83

## 表 次



表 1.1 六個 BAU-Kul 樣本之計算周長、實際量測周長以及誤差[13]。 .....	19
表 1.2 各種親水性量測方法的比較。.....	20
表 3.1 X 軸電動滑台 EZSM3D030AZAK 規格表。.....	33
表 3.2 Z 軸滑台 C-ZMBS650-L-A-2 規格表。.....	34
表 4.1 各樣本處理時間之接觸角平均值與標準差。.....	62



# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景及動機

接觸角(Contact angle, CA)是衡量液滴在固體表面親水性的重要參數，常用於材料科學、微流體、生物醫學與半導體製程等領域。例如在半導體製程中，接觸角測量可用於評估晶圓清潔效果[1]，而在開發塗層技術時，則可用於優化表面改質技術[2]，抑或是在生物醫學技術上協助製作出仿生的表面[3]。因此，透過精確的接觸角測量，可有效分析材料的表面特性，進而改良應用設計。

當液滴與固體表面接觸時，表面的親水性是由液體的表面張力與固體表面的化學性質及粗糙度共同決定。而接觸角的大小則反映出表面的親水性或疏水性，角度較小 ( $< 90^\circ$ ) 表示親水性較高，角度較大 ( $> 90^\circ$ ) 則表示疏水性較強[4]，如圖 1.1 所示。

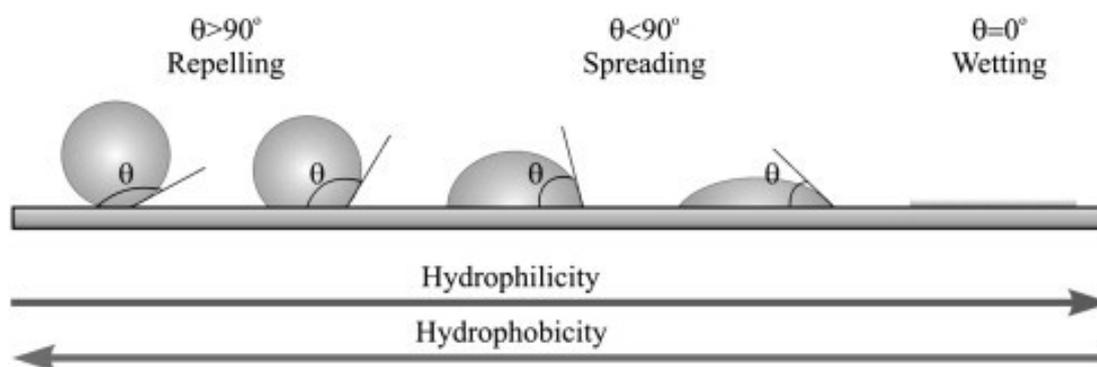


圖 1.1 液體與表面接觸所形成之接觸角示意圖[4]。

為了評估固體表面的親水性，研究人員已發展多種接觸角測量方法，其中座滴法(Sessile drop)是最常見且精確的技術之一。該方法透過側向拍攝液滴輪廓，進行影像分析來計算接觸角。然而，座滴法屬於單點量測技術，操作流程較為繁瑣，使其難以用於大面積與快速測量中。先前亦有研究使用雷射反射光強度來評估親疏水性的紅光雷射曲面掃描分析法，雖然能有效提升測量速度，但此方法受待測樣品的反射率所影響，並須對每種樣品材料先預先進行校正，且無法準確量測反射率過

高或過低的樣品。此外，該方法亦無法透過影像輔助觀察表面親疏水特性，造成應用上的限制。

為了解決上述問題，本研究將提出一個在高反射率樣品上仍能實現大面積且快速的量測方法，期望能克服目前量測的局限性。

## 1.2 文獻回顧

過去的研究中有多種方法能對固體表面親水性進行分析，除了透過座滴法測量接觸角外，還有雷射掃描及影像量測等多種方法可用於分析其特性。本節將以建立檢測機構所需的理論基礎來彙整相關文獻，提供後續研究參考。

### 1.2.1 座滴法

座滴法是分析接觸角最常用的方法之一，透過直接測量三相交界處的切線角來評估表面親水性。此方法是透過觀察光滑平坦的基材上的液滴輪廓來確定接觸角。W. C. Bigelow 等人[5]之研究驗證了使用望遠鏡測角儀觀察液滴輪廓，並量測出接觸角的可行性。圖 1.2 簡要呈現了座滴法的量測裝置與其組成，主要是藉由相機搭配背景光源來將附著液滴的樣品影像擷取入電腦中，並描繪液滴輪廓來進行角度測定。圖 1.3 則展示了一接觸角量測儀及其實際量測影像[6]，安裝時建議將望遠鏡測角儀稍微向下傾斜 1 至 2 度，使焦點從樣品台的邊緣轉移到液體和樣品的接觸面上。此外，注射液滴的針頭直徑越小，可以避免扭曲液滴的輪廓形狀。座滴法具有操作簡便、樣品需求量低的優勢，僅需少量液體與小面積基材，即可進行測試。

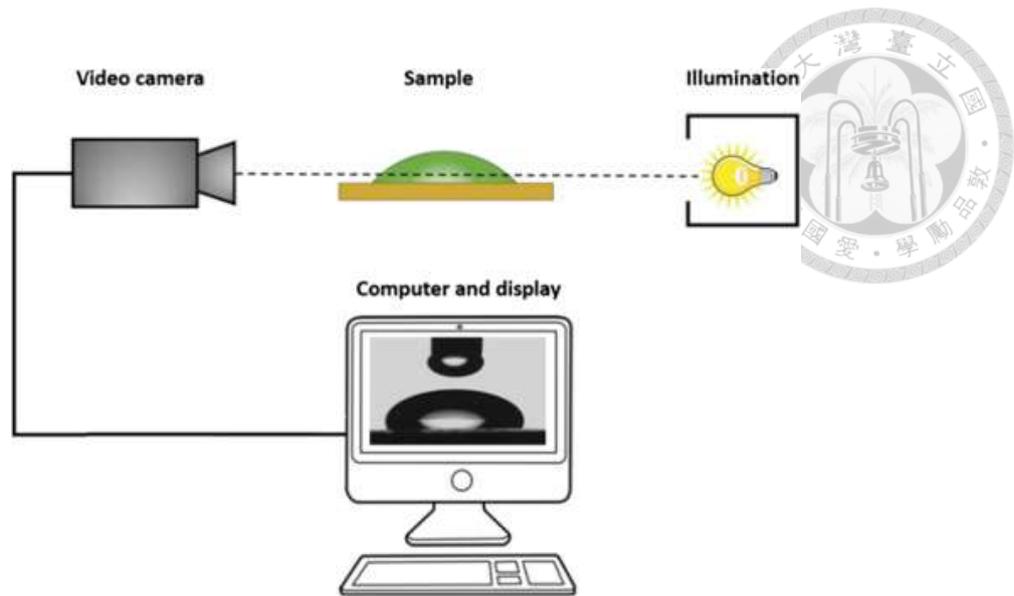


圖 1.2 座滴技術示意圖[6]。

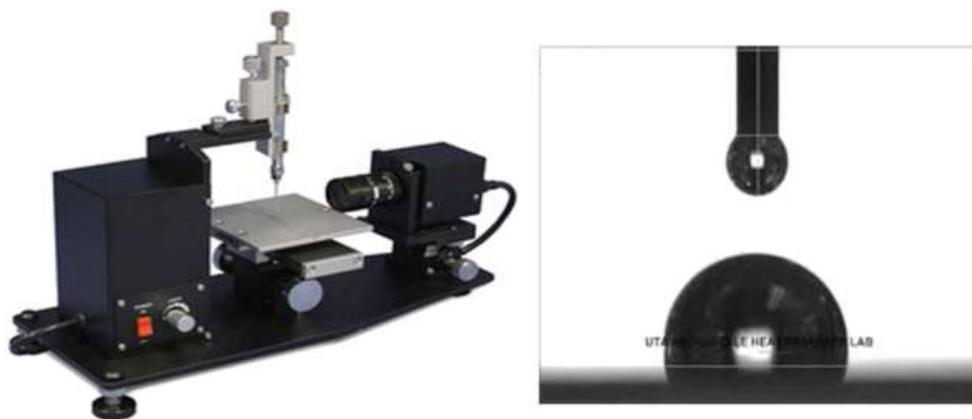


圖 1.3 接觸角量測儀器和實際量測圖像[6]。

### 1.2.2 原子力顯微鏡測量法

原子力顯微鏡(Atomic force microscope, AFM)是一種奈米級的掃描探針顯微鏡[7]，其原理是藉由微小探針與待測物之間的原子作用力讓微懸臂產生微小位移後，再結合雷射光結合光電檢測器(Photodetector)計算反射進檢測器的雷射位置進而分析出樣品表面之形貌起伏，如圖 1.4 所示。

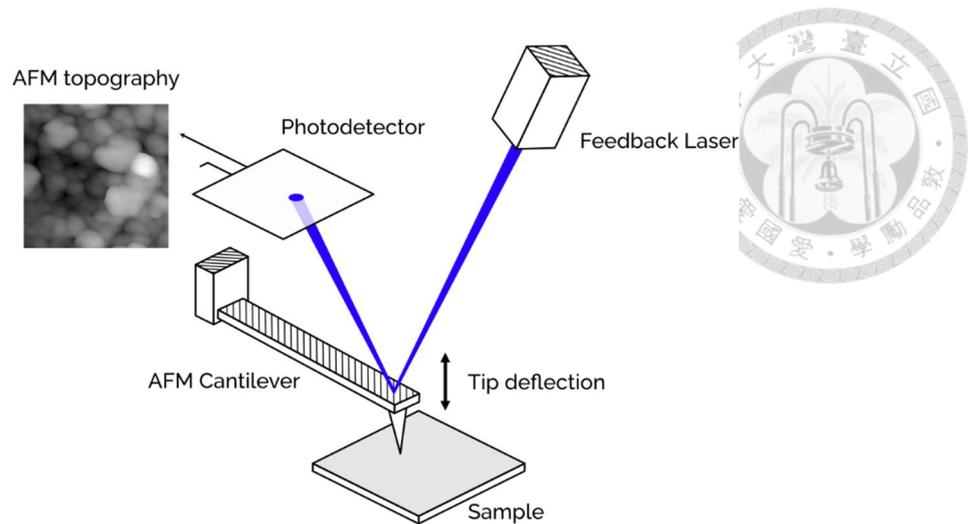
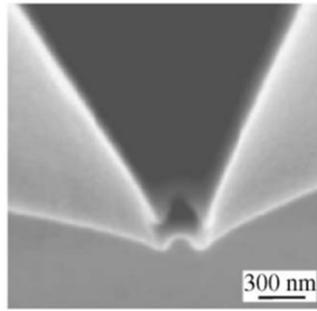


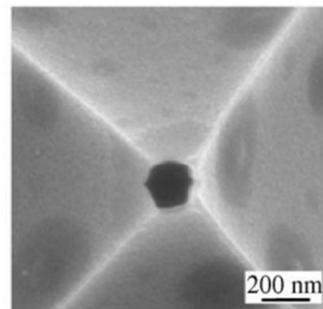
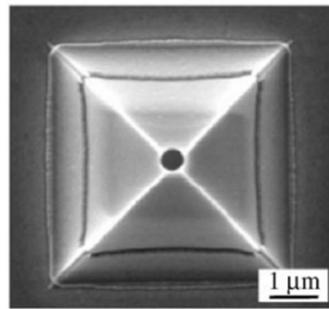
圖 1.4 原子力顯微鏡架構示意圖[7]。

Y. C. Jung 等人[8]於 2008 年運用 AFM 來進行表面親水性的測量，該研究中選用矽(Si)和聚甲基丙烯酸甲酯(Polymethyl methacrylate, PMMA)兩種材料作為待測物，這兩種材料表面皆為疏水性。為了使量測能產生區別，研究利用氣相沉積技術(Vapor phase deposition technique)，在矽表面塗佈三氟化磷(PF<sub>3</sub>)而在 PMMA 表面塗佈全氟癸基三乙氧基矽烷(Perfluorodecyltriethoxysilane, PFDTES)，以此提升兩者的親水性。

該研究在實驗過程中使用兩種不同的探針分別量測液體體積以及液滴與樣本表面的接觸面積，再進一步計算出接觸角。第一種探針是利用 A. Meister 等人[9]提出的奈米級滴注(Nanoscale dispensing, NADIS)技術所設計之具漏斗狀結構針頭的探針。為製作出可供 NADIS 技術應用之探針，A. Meister 等人透過聚焦離子束(FIB)來修改市售的氮化矽(SiN)AFM 探針，將原本的探針針尖以及內部的金屬去除掉，形成一個可裝載液體的空間，並透過針頭孔徑來控制液滴的大小，如圖 1.5 所示。當探針的尖端接觸表面時，會透過毛細管作用在樣本表面留下液滴，如圖 1.6 所示。而探針內的液體減少後，探針的共振頻率會改變，藉此計算出液體減少的量，即可得知在樣本上的液滴重量和體積。第二種探針是常規的 AFM 探針，該實驗中使用的液滴為玫瑰紅(Rhodamine)溶液。液滴蒸發後，再利用 AFM 量測樣本與液滴接觸面的殘留玫瑰紅溶液輪廓。由於微小液滴的輪廓近似於圓形，因此只要得知接觸面的半徑和液滴體積，就可以計算出接觸角，如圖 1.7 所示。



Side view



Bottom view

圖 1.5 掃描式電子顯微鏡(Scanning electron microscope, SEM)掃描 NADIS 技術之探針頭結構[8]。

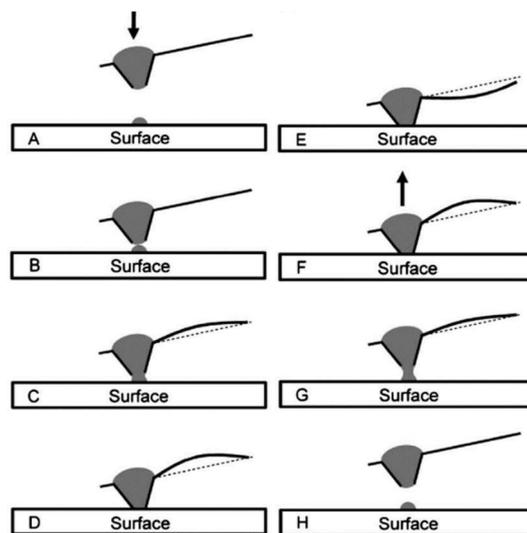


圖 1.6 NADIS 技術之探針頭於樣本表面附著液滴之過程示意圖[8]。

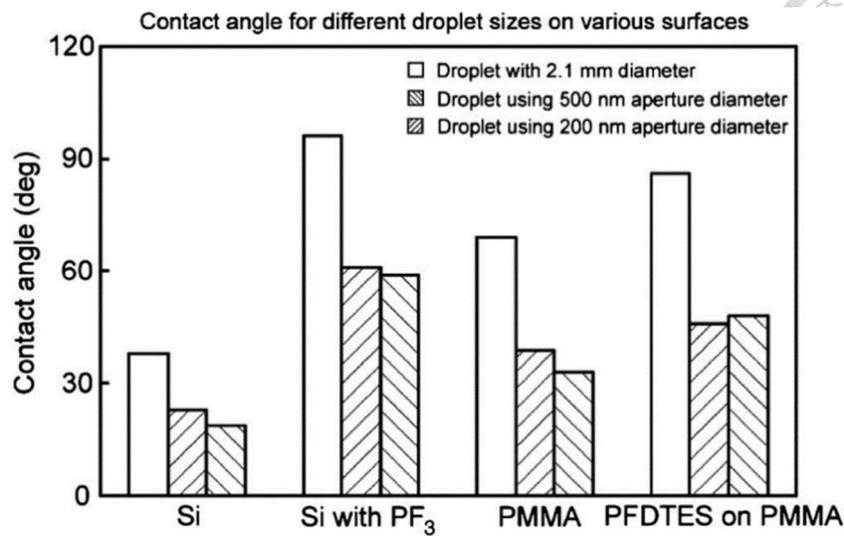
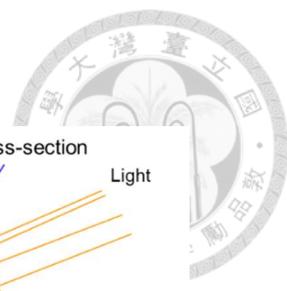


圖 1.7 NADIS 技術對四種樣本表面量測出的液滴接觸角[8]。

### 1.2.3 紅光雷射曲面掃描分析

2024 年趙彥璋等人[10]開發出一個透過雷射反射強度來判定表面親水性的量測系統，此一系統利用一商用雷射位移感測器(IL-065, Keyence)搭配放大器模組(IL-1000, Keyence)控制雷射與樣品之垂直距離，以及一四象限偵測器(PDQ80A, Thorlab)配合一旋轉定位機構以達成曲面量測的需求。該研究選用波長 633 nm、功率 35 mW 的聚焦紅光雷射(StingRay, Coherent)照射於佈滿水霧之待測物表面。在光線反射的光路徑上架設四象限偵測器和偏振片。當光線以 70 度的入射角照射到待測物表面上的水霧時，光線會在水面進行反射和折射，最後由四象限偵測器來獲得反射之雷射光的總強度跟位置。水珠在親水表面時，其形狀會較為扁平，反射雷射光強度較強，如圖 1.8 (a)所示。反之當表面較疏水時，水珠的形狀較接近球狀，反射雷射光強度訊號則變得較弱，如圖 1.8 (b)所示。透過此現象即可由四象限偵測器所收到的訊號強弱，來判斷待測物表面的親水性。透過校正雷射光強度訊號與接觸角之關係，即可透過檢量線公式得到量化之接觸角。其雷射親水性量測系統的架構如圖 1.9(a)所示，當待測物與入射光角度有變化時，反射光束的路徑亦隨之偏移，使反射光點偏移四象限偵測器中心點，如圖 1.9 (b)所示。透過回饋控制方法，結合一 Z 軸位移平台及旋轉定位機構分別對入射光之高度與角度進行調整，使之回復



至  $70^\circ$  入射角條件，進而實現對曲面表面的親水性量測。

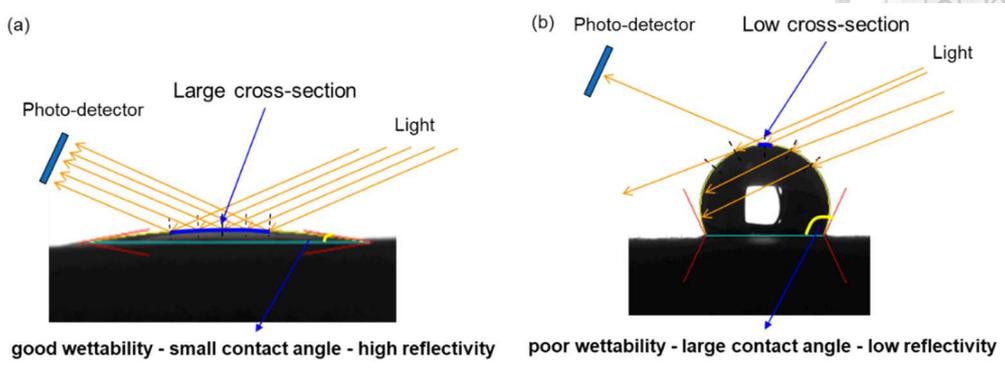


圖 1.8 (a)親水性高與(b)親水性低之表面對平行光源之反射現象[10]。

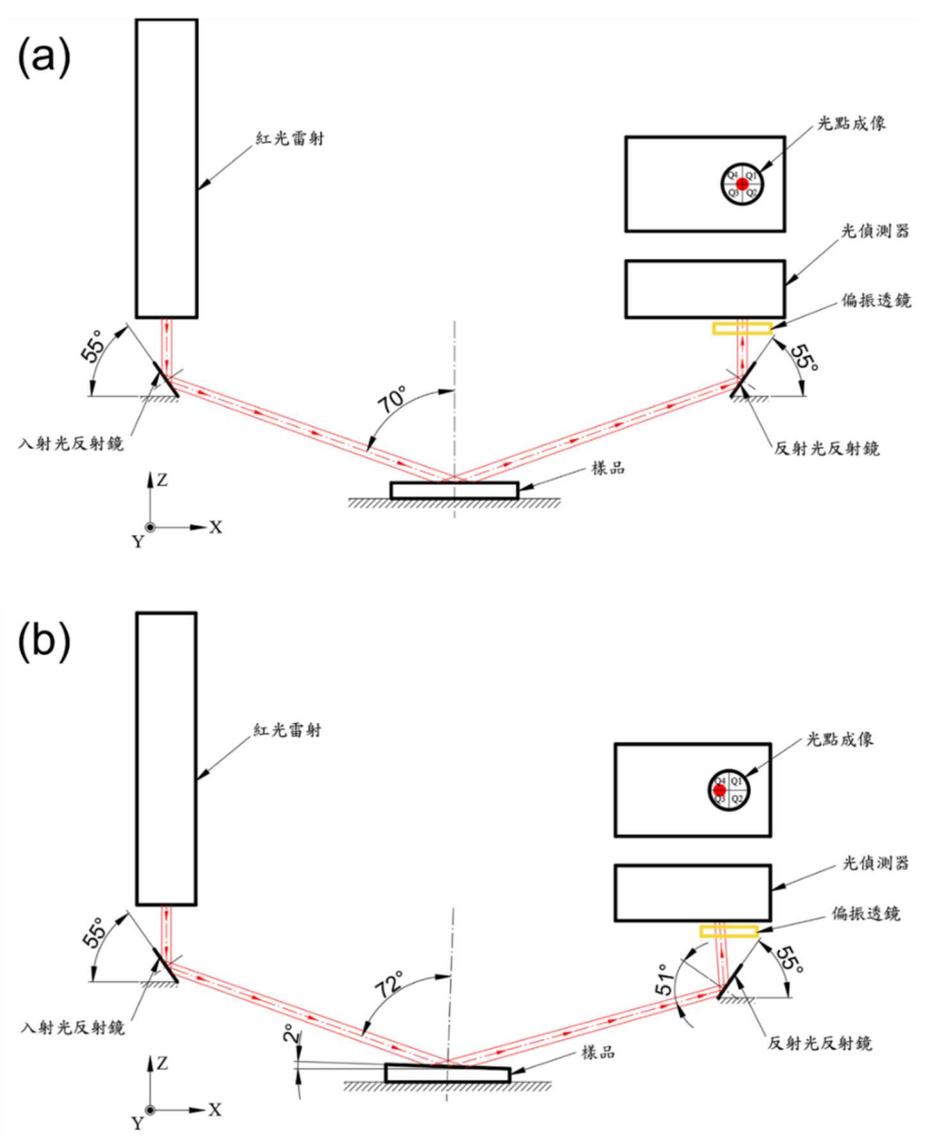


圖 1.9 趙彥瑋等人所提出的(a)量測光路設計圖與(b)樣本順時針偏移 2 度光路示意圖[10]。

趙彥瑋等人的研究利用四象限偵測器接收訊號的強度來判別親水性與回饋控制追蹤曲面兩種技術所開發之系統對局部表面改質之聚醯亞胺膠帶樣品進行測試，研究首先將聚醯亞胺膠帶黏貼於彎曲的銅板上，如圖 1.10 (a)所示，接著以商用的紫外線臭氧清潔機(Model 342, Jelight)對樣本中間寬度 25 mm 之區域面積進行親水改質，如圖 1.10 (b)所示。對樣本改質完成後，該研究以節距 5 mm、點數 15 點之 X、Y 軸掃描參數來對樣本進行曲面自動掃描，掃描結果的強度圖如圖 1.11 所示，圖中可見中央較為暗的區域，這是由於親水表面形成的水膜能夠反射較多雷射光，導致四象限偵測器接收到的電壓值較高，故代表較小之接觸角。結果顯示其系統可快速辨識出親水與疏水區域的邊界，並得到量化之接觸角影像[11]。

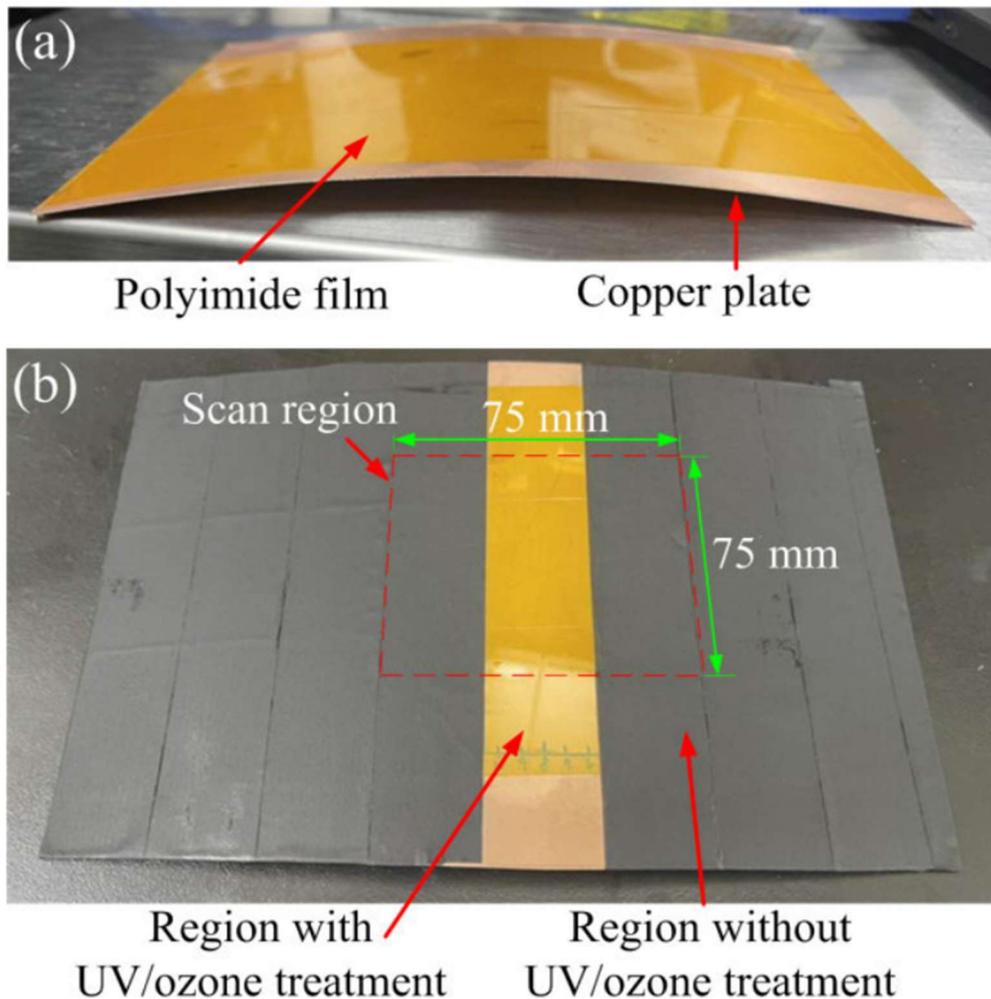


圖 1.10 趙彥瑋等人之實驗測試樣品。(a)聚醯亞胺膠帶黏貼於銅板，(b)以黑色紙膠帶包覆不改質之區域[11]。

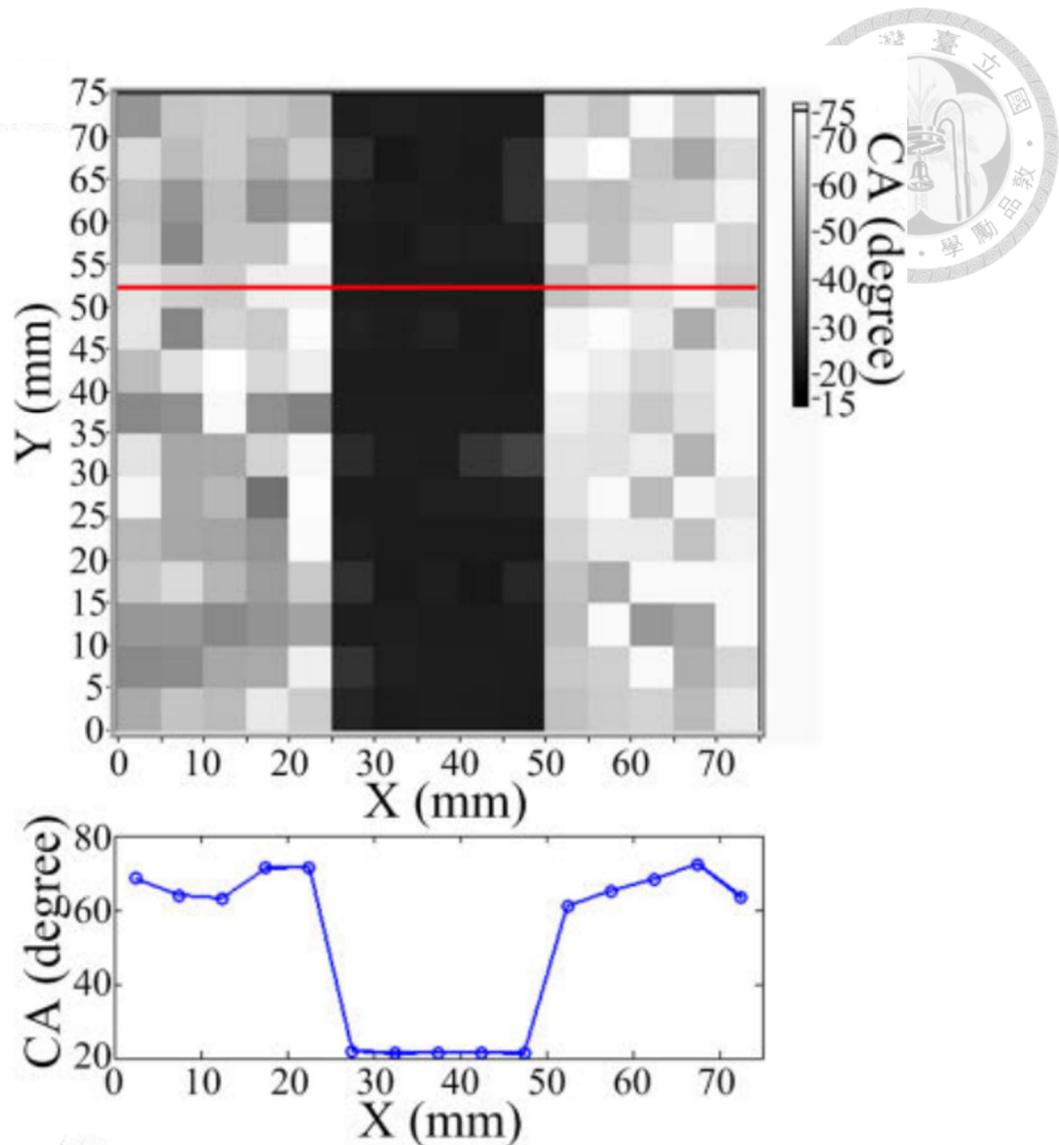


圖 1.11 趙彥璋等人對聚醯亞胺膠帶量測之表面親疏水特性影像[11]。

然而，該研究所使用的雷射位移感測器需要透過樣本表面漫反射的光線回傳到光感應器中，若用於鏡面或漫射效果不佳之樣品表面時，將會導致雷射位移感測器接收不到漫反射光線而無法對樣本距離進行判斷，進而使得高度量測發生錯誤。同時，由於四象限偵測器需要足量的反射光線來判定親水性，如果表面的反射率不足或是過度疏水，導致反射光無法被四象限偵測器接收，也會導致光強度量測的失準。該研究所開發的量測系統無法用在太高或太低反射率的樣品，因此限制了其可應用之範圍。



#### 1.2.4 上視影像量測法

目前常見的接觸角量測方法多以側視成像為主，雖具備一定的實用性，卻存在一些限制。如液滴需放置於樣品邊緣無法進行中心區域的量測，或是量測面必須水平且平直，否則可能會出現量測誤差。且因其多為單點量測，難以進行大面積的量測。

而上視影像接觸角量測法(Top-down contact angle mapping)則提供了一個低成本、高效率且可靠的新選擇，突破傳統側視法的限制，實現大面積表面濕潤性的量測，為材料分析、品質控管與表面量測應用開啟全新的可能。

2019 年 C. Janeczko 等人[12]透過從待測物正上方的影像來識別老株與幼株卡特蘭(*Cattleya*)的綠葉及紫色花朵的親疏水性。此方法不僅能測量到葉片中間的大面積表面，還能避免傳統側視接觸角測量所需的切割步驟，從而實現無損葉片的大面積接觸角量測。

該研究使用微量移液管來製備體積為 4  $\mu\text{L}$  的水珠，該體積足夠小，可以使表面張力大於重力並形成球狀液滴。接著將一台可攜式迷你顯微鏡連接至電腦，以拍攝液滴的上方影像。而光源則使用兩顆高功率白光 LED 垂直放置於距離樣本表面約 1 m 的位置，如圖 1.12 所示，即可獲得兩個近似點光源，可以減少液滴的反射光斑。



圖 1.12 C. Janeczko 等人之實驗架構圖[12]。

圖 1.13 示意了影像擷取的原理，其中入射光(黃線)照射到樣本表面後反射，部分光線進入顯微鏡鏡頭(綠線)，使這些區域在影像中呈現較高亮度。另一方面，部分光線照射到液滴表面後因反射角度偏移至視野範圍外(紅線)，導致液滴區域在影像中相對於背景呈現較暗的特徵，此現象可作為影像辨識液滴範圍之依據。

此外，葉片與花瓣表面的曲率變化，會影響液滴的樣態，進而降低影像品質。為改善此問題，此研究設計了一種高分子基板，其上設有微小孔洞，並透過真空幫浦吸附樣本，以提升表面平整度。此方法不僅可降低因曲面影響光線反射所造成的暗區，亦能提高影像擷取的穩定性與準確性。

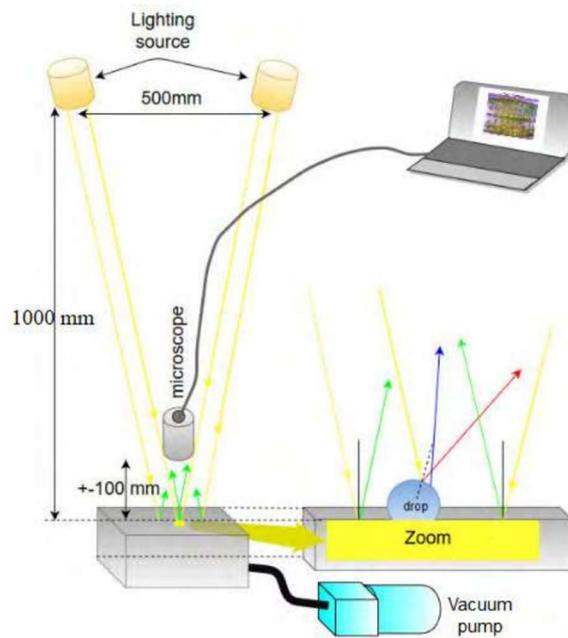


圖 1.13 上視影像擷取系統示意圖[12]。

C. Janeczko 等人的研究中所使用的影像辨識演算法是基於圓形霍夫變換演算法 (Circular Hough transform, CHT) 的變體，達到抗雜訊、高解析度的效果。並使用二維累加陣列以降低處理時間與資料量。運算時利用邊緣像素來限制候選像素的數量，並將輸入影像的梯度強度作為閾值，僅將高梯度像素的數量納入計算。這種方法在低雜訊、高對比度的影像條件下能達到最佳效果。

然而從正上方觀察液滴時，可能會出現兩種情況：如圖 1.14 (a) 所示，對於全親水 (Omniphilic) 表面，接觸角 $\theta$ 小於  $90^\circ$ ；如圖 1.14 (b)所示，對於全疏水 (Omniphobic) 表面，接觸角大於或等於  $90^\circ$ 。因此僅靠上視影像偵測液滴的半徑值(圖 1.14 中的紅色圓圈)無法判斷樣品是全親水或全疏水。為解決此一問題，該研究提出一個計算流程來準確判別液滴之接觸角，如圖 1.15 所示。其計算方法在本論文之第二章進行詳細探討。

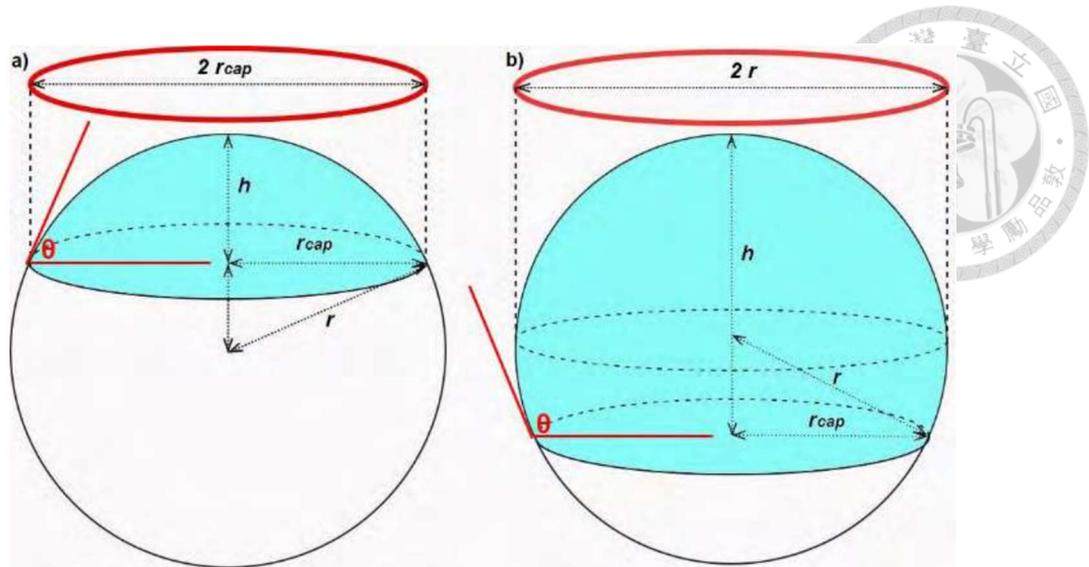


圖 1.14 上視影像液滴量測示意圖(a)全親水表面、(b) 全疏水表面[12]。

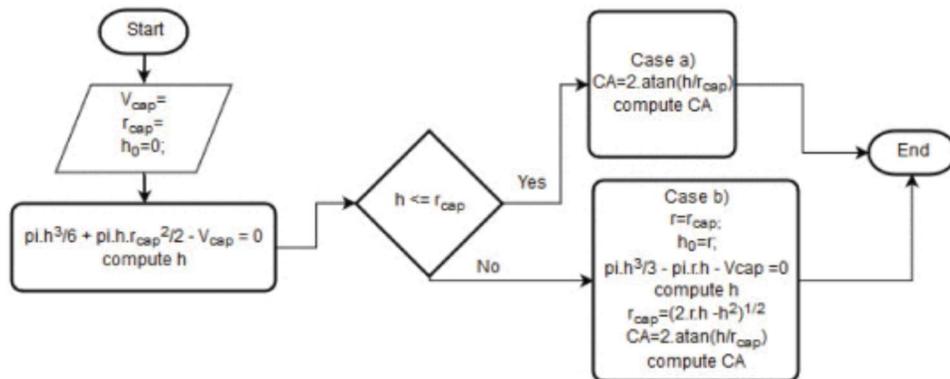


圖 1.15 接觸角計算流程示意圖[12]。

C. Janeczko 等人對葉子進行接觸角的量測結果如圖 1.16 所示。考慮到水滴在部分區域的分佈不連續，該研究採用了形態學膨脹技術來修補這些斷裂的部分。該技術使用一個扁平圓盤狀的結構元素來進行，並使其中心定位於像素原點，膨脹半徑則根據葉片表面水滴的尺寸及其間距進行適應性調整。完成膨脹處理後，影像進一步通過一個低通濾波器進行改善，該濾波器採用三階巴特沃斯(third-order low-pass Butterworth filtration)設計，截止頻率設定為採樣頻率的 0.5 倍，並使用一個尺寸為結構元素直徑 $\pm 70\%$ 的遮罩，來提升色彩變化的平滑度。通過這一系列影像處理流程，可有效確保影像的連續性與視覺平滑度。最後將影像辨識之結果跟使用座滴法所量測的接觸角做比對，如圖 1.17，驗證研究辨識之結果具有一定的準確度。

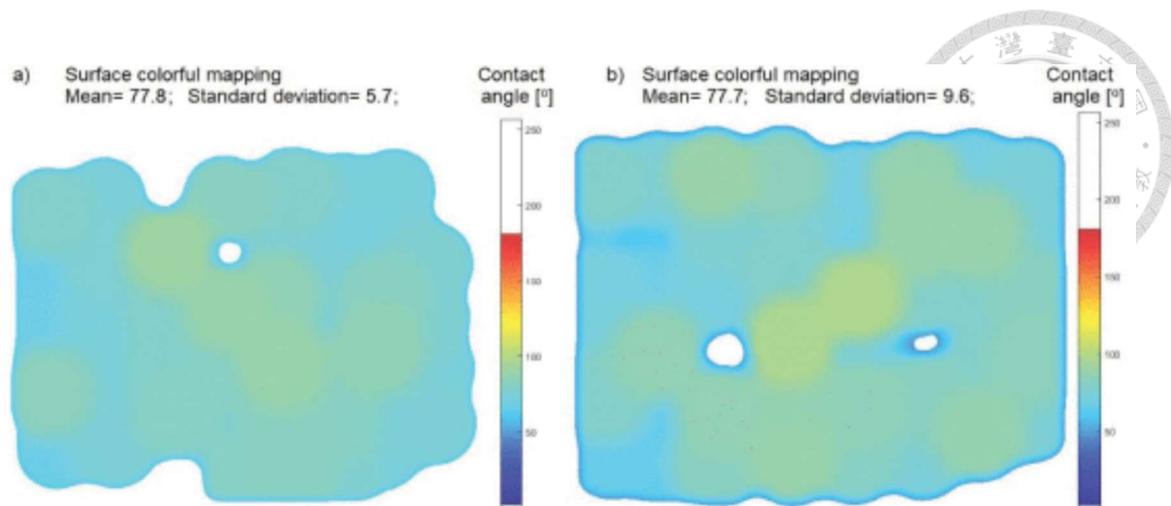


圖 1.16 接觸角量測結果圖。(a)葉子的正面、(b)葉子的反面， $CA = Mean \pm 3 \times Standard\ deviation[12]$ 。

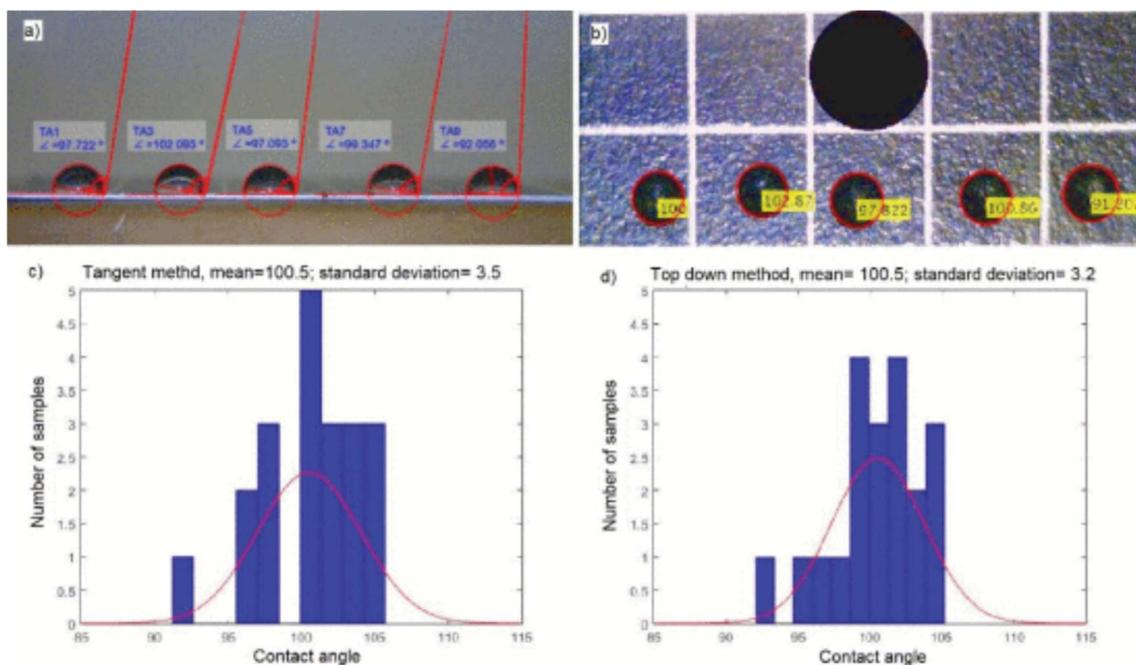


圖 1.17 (a)、(c) 座滴法量測之接觸角與(b)、(d) 上視影像量測法研究之接觸角量測結果[12]。

C. Janeczko 等人亦對卡特蘭(Cattleya)的幼葉(圖 1.18)和老葉(圖 1.19)表面以及其紫色花朵表面(圖 1.20)進行接觸角量測。結果顯示，幼葉片的平均接觸角值為  $\theta = (85 \pm 15)^\circ$ ，而 5 年的老葉片之平均接觸角值為  $\theta = (64 \pm 11)^\circ$ ，紫色花瓣表面的平均接觸角值則為  $\theta = (119 \pm 15)^\circ$ 。年輕葉片的高接觸角表示其仍接近疏水性，而年長葉片的低接觸角則顯示其表面已變得更加親水，與文獻中的理論一

致。嫩葉是疏水的而老葉則變得親水，這主要是由於隨著時間，葉面不斷暴露於空氣溫度、空氣濕度、降雨、灰塵髒汙等環境變化所致。它們會改變葉子表面的表皮蠟質，進而改變表皮的微結構，使其逐漸變得親水。而花朵具有疏水性且遠大於葉片的接觸角值，這是因為疏水的特性不僅能防止水分積聚在花瓣上，減少病原體滋生和花朵損壞的風險，還能通過保持花瓣乾燥來促進昆蟲授粉。

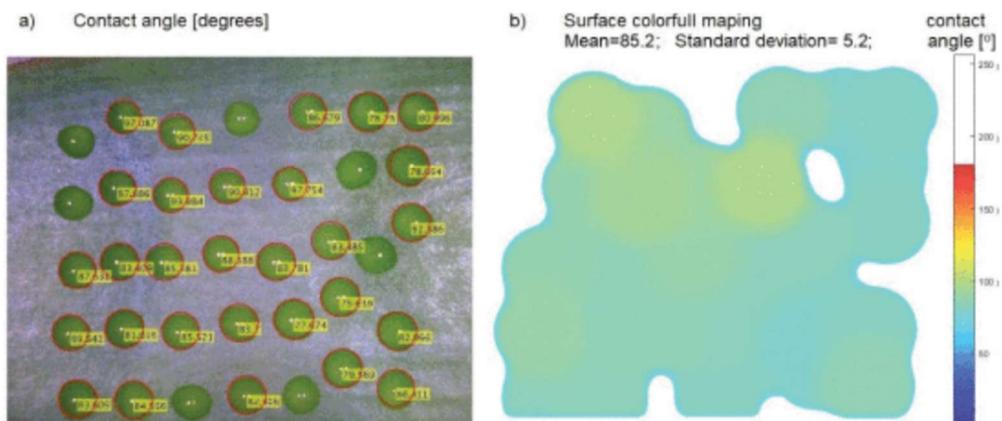


圖 1.18 幼葉接觸角量測結果圖。(a)實際辨識圖、(b)色彩映射圖， $CA = Mean \pm 3 \times Standard\ deviation$ [12]。

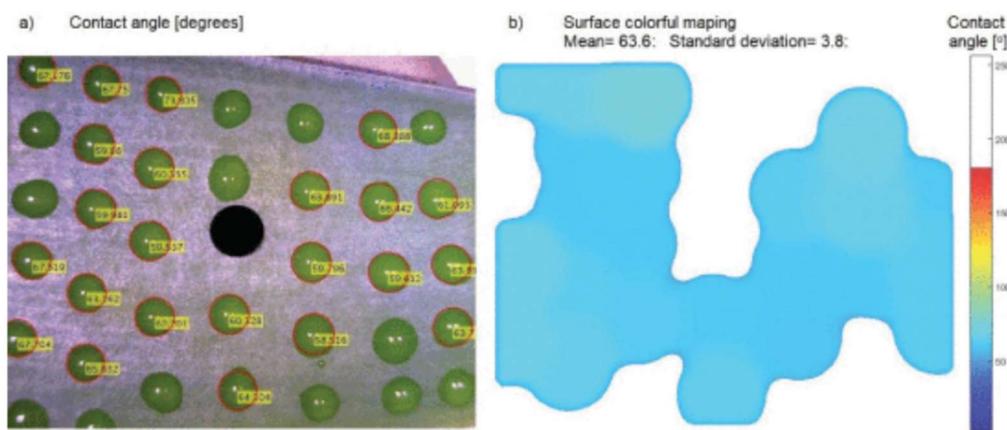


圖 1.19 老葉接觸角量測結果圖。(a)實際辨識圖、(b)色彩映射圖， $CA = Mean \pm 3 \times Standard\ deviation$ [12]。

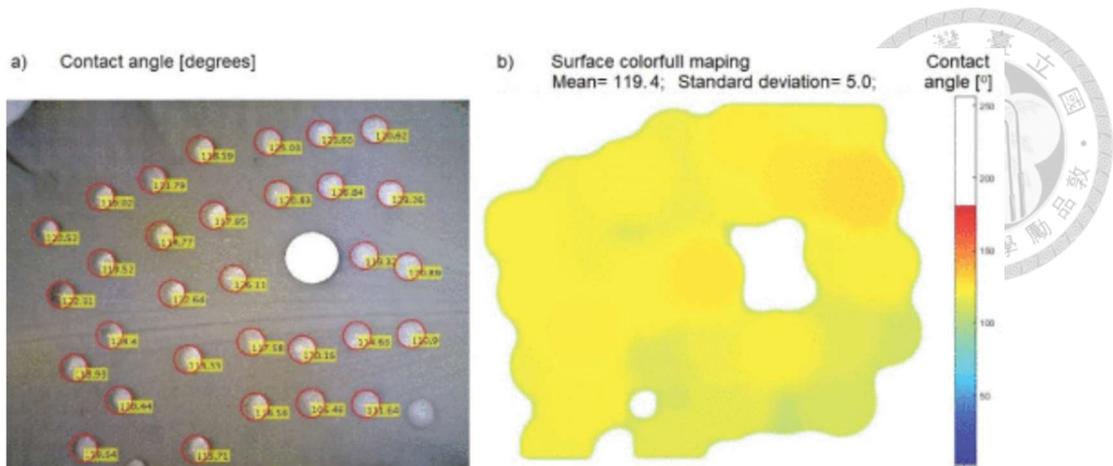


圖 1.20 花瓣接觸角量測結果圖。(a)實際辨識圖、(b)色彩映射圖， $CA = Mean \pm 3 \times Standard\ deviation$ [12]。

### 1.2.5 輪廓辨識

進行接觸角量測與表面性質分析時，選擇一套具備高靈活性、處理效率的影像處理工具十分重要。相較於傳統的商業影像處理軟體或需高額成本之專業硬體設備，Python 結合 OpenCV (Open source computer vision library) 為一套具高度潛力的開源方案，Python-OpenCV 不僅可自由取得與使用，亦能與其他數據分析或機器學習模組進行整合，提升系統的自動化程度與即時分析能力。除此之外，Python-OpenCV 還提供完整的影像處理功能，如邊緣偵測、形狀辨識與幾何量測等，亦具備高度彈性與可客製化的優勢，能依據不同需求進行調整與優化。為實現高效率且需大規模應用的量測系統提供一個具可行性與高靈活性的技術基礎。

M. M. Rahman 等人[13]在 2019 年首次嘗試使用影像處理技術對孟加拉的一種棗 (BAU-Kul) 進行研究。研究利用 Python-OpenCV 軟體中的顏色閾值、邊緣檢測和輪廓檢測進行分割和輪廓繪製等技術進行影像處理。

該研究首先蒐集六個 BAU-Kul 樣本的影像資料，接著將這些 RGB 圖像轉換成 HSV 圖像，如圖 1.21，由於 RGB 色彩模型僅透過三原色的組合來定義顏色，無法有效區分色調與亮度，轉換成 HSV 圖像後可分離顏色 (Hue)、飽和度 (Saturation) 與亮度 (Value) 三個參數。此轉換不僅有助於獨立調整色調及其與黑、白色的混合程度，還能提升後續影像辨識的準確性。

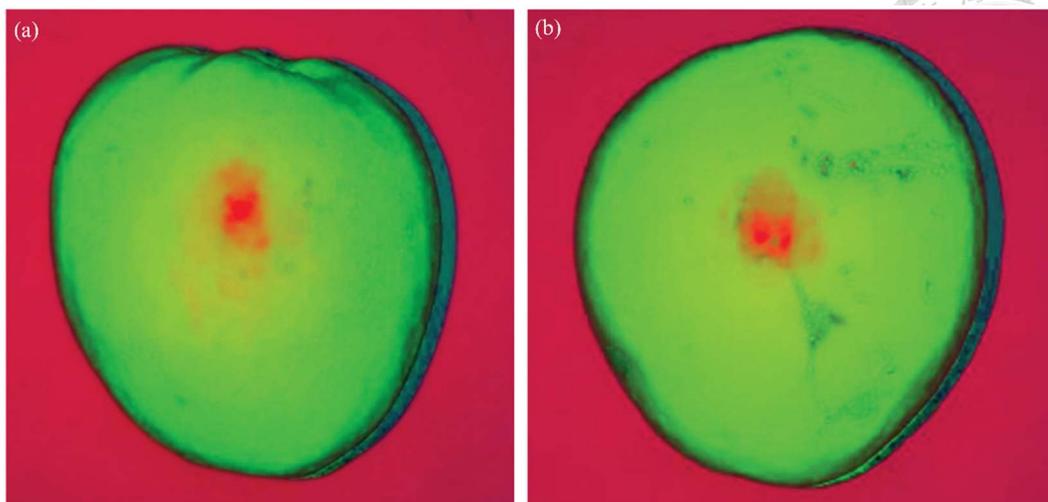


圖 1.21 BAU Kul 的 HSV 圖像(a) sample-1 (b) sample-2 [13]。

接下來，對樣本影像應用 Canny 邊緣檢測與閾值處理 (Thresholding) 以進行影像分割。Canny 邊緣檢測是一種多階段的邊緣提取技術，結合了高斯濾波、梯度運算、非極大值抑制以及雙閾值處理等步驟，能有效找出圖像中的細微邊界。而閾值處理的主要功能是將灰階影像轉換為二值影像，透過適當設定閾值來區分前景與背景，如圖 1.22。此方法特別適用於對比度較高的影像，能有效提升影像分割的準確性。然後透過 `cv2.findContours()` 和 `cv2.drawContours()` 函式對 BAU-Kul 影像進行輪廓偵測與視覺化處理，如圖 1.23。最後使用 `cv2.arcLength()` 函式計算輪廓的周長，以比較手動測量結果與演算法計算值之間的差異，進而評估其準確性。

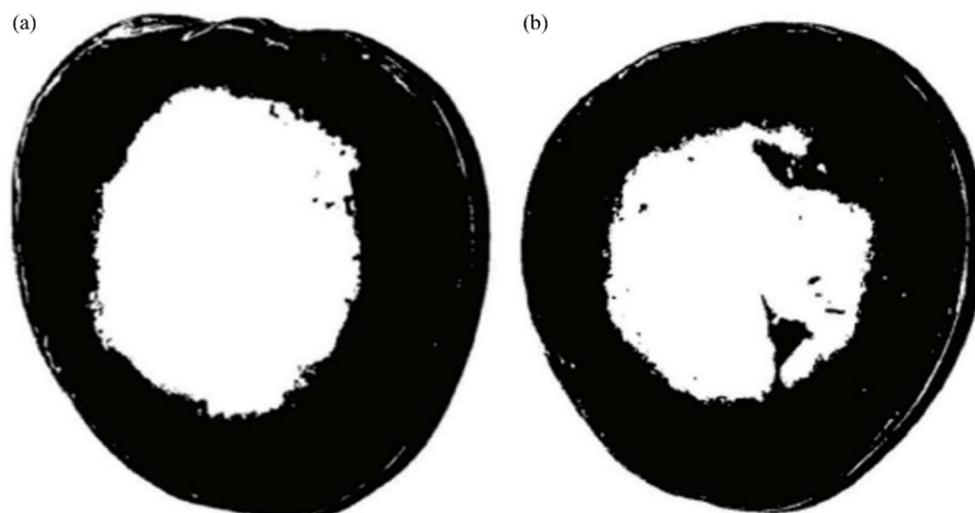


圖 1.22 閾值處理後的 BAU Kul 圖像(a) sample-1 (b) sample-2 [13]。

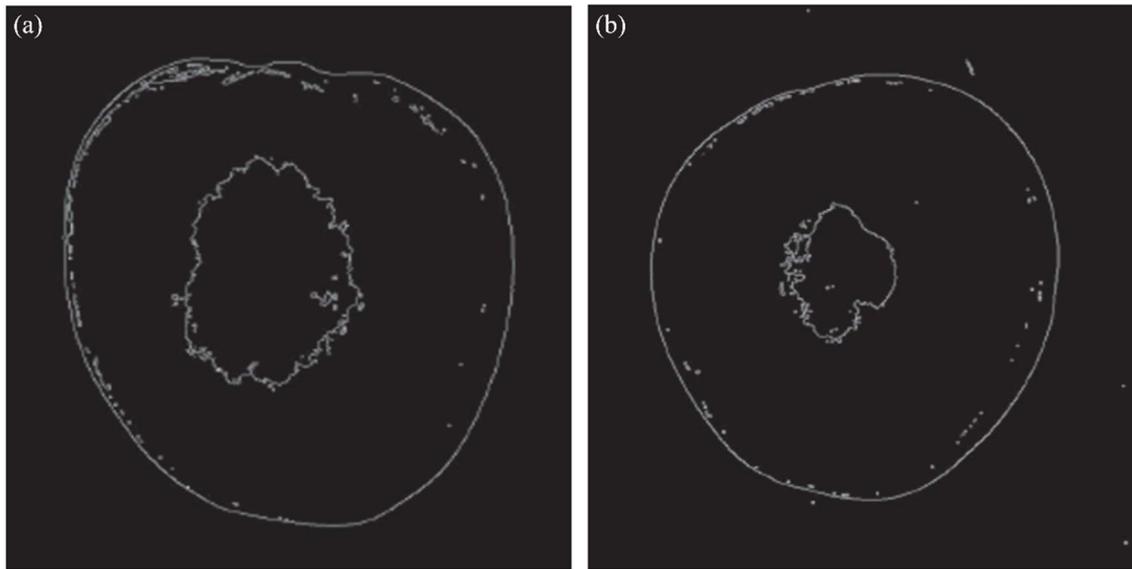


圖 1.23 輪廓偵測後的 BAU Kul 圖像(a) sample-1 (b) sample-2 [13]。

為確保測量結果的準確性，每次計算時皆使用尺寸已知的  $4\text{ cm} \times 4\text{ cm}$  標準正方形進行像素與實際長度的校準，且樣本的實際邊界長度則透過精度  $\pm 0.1\text{ cm}$  的刻度尺測得。測量值與計算值之間的差異以百分比誤差表達，並彙整於表 1.1。結果顯示，該研究所開發的演算法能有效預測 BAU-Kul 樣本的周長，誤差範圍介於  $6.33\%$  至  $10.13\%$ 。計算所得的六組樣本周長介於  $17.9\text{ cm}$  至  $20.20\text{ cm}$ ，平均值 ( $\pm$ 標準差) 為  $19.29 (\pm 1.02)\text{ cm}$ ；而實際測量的周長則落在  $16.2\text{ cm}$  至  $19.1\text{ cm}$  之間，平均為  $17.75 (\pm 1.3)\text{ cm}$ ，此演算法的平均誤差為  $7.98\% (\pm 1.02)$ 。

表 1.1 六個 BAU-Kul 樣本之計算周長、實際量測周長以及誤差[13]。

Samples	Calculated Perimeter (cm)	Measured Perimeter (cm)	% Error
S1 	17.90	16.20	9.49
S2 	20.20	18.90	6.46
S3 	19.36	17.40	10.13
S4 	20.39	19.10	6.33
S5 	19.67	18.00	8.49
S6 	18.22	16.90	7.22

整體而言，該研究提出的方法可透過行動裝置拍攝的影像，以 92.02% 的準確率計算 BAU-Kul 樣本的周長。若能在光線均勻且拍攝條件受控的環境下擷取影像，測量準確度將進一步提升。

### 1.3 研究目標

分析上述各技術在自動化程度、解析度、樣本反射率限制、量測速度以及量測範圍之性能，將各個技術的表現統整、分級，並在表 1.2 呈現比較結果，以利建立本論文研究之研究方向。



表 1.2 各種親水性量測方法的比較。

量測方式	可自動化程度	空間解析度	樣本反射率限制度	量測速度	量測影像範圍
座滴法	低	毫米	無限制	慢	單點量測
AFM 量測	中	奈米	無限制	慢	小於 100 微米
雷射曲面掃描	高	毫米	高	快	公分
上視影像量測	中	毫米	中	中	公分
大面積親水性成像(本研究)	高	毫米	中	快	公分

回顧現有技術後可發現，座滴法雖然較廣泛被運用且較為精準，但需要單點的注上水滴並量測，以至於無法提高自動化程度及效率，AFM 量測也因其量測範圍小以及速度緩慢而不利於快速大範圍量測的應用。紅光雷射掃描分析技術相較於其他方法，具備高度自動化、量測速度快以及量測範圍大的優勢。然而，由於該技術對樣本反射率的限制較多，由於無法測量高反射率的樣本，限制了其應用範圍。而目前文獻中之上視影像量測系統通常使用面陣相機進行拍攝與利用移液管將水滴置於樣品上，由於移液管每次僅能產生單一液滴，因此限制了其成像速度，此外其自動化程度也十分有限。

因此，本研究基於上視影像量測法，結合線相機、影像辨識技術與噴霧系統，實現一種具備高度自動化、快速且能夠進行大範圍量測的技術。此方法進一步突破紅光雷射掃描和傳統影像量測的限制，使其能夠應用於高反射率樣本，且即時提供高解析的實際影像資料，以提升量測的可靠性與適用性。

## 第二章 量測原理



本章著重於說明接觸角之計算方法以及鈴木輪廓追蹤演算法，以奠定表面親水性量測系統的理論基礎。鈴木輪廓追蹤演算法可自二值化影像中擷取液滴輪廓，進而提供接觸角量測所需的幾何參數，例如上視影像中的霧滴面積。接觸角的評估方法亦參考了球冠模型的物理概念，作為量測原理之基礎。

本章內容分為兩節：第一節介紹接觸角的物理原理與計算方法；第二節則探討鈴木輪廓追蹤演算法的理論基礎與實際應用。

### 2.1 接觸角量測原理

接觸角是指液體-固體界面與液體-氣體界面在相交界處所形成的角度，可透過在液滴輪廓上沿液氣界面從接觸點繪製切線來獲得。三相交界處的區域被稱為「三相接觸線」，其穩定狀態由固體、液體與氣體間的界面張力平衡所決定。因此，接觸角可作為特定環境條件下基材表面的固有特性。

當液體在固體表面鋪展時，接觸角較小；反之，若液體在表面收縮形成水珠，則接觸角較大，如圖 2.1 所示。具體而言，接觸角小於  $90^\circ$  表示良好的親水性，液體可在表面擴散形成較大的鋪展範圍；而當接觸角大於  $90^\circ$ ，則表明親水性較差，液體傾向於縮小接觸面積並形成球形液滴。另外，當接觸角為  $0^\circ$  時，液滴完全鋪展於表面，為超親水表面。而當水滴接觸角超過  $150^\circ$  時，液滴與基材的接觸極少，呈現出極強的疏水性則稱為超疏水表面。[14]。

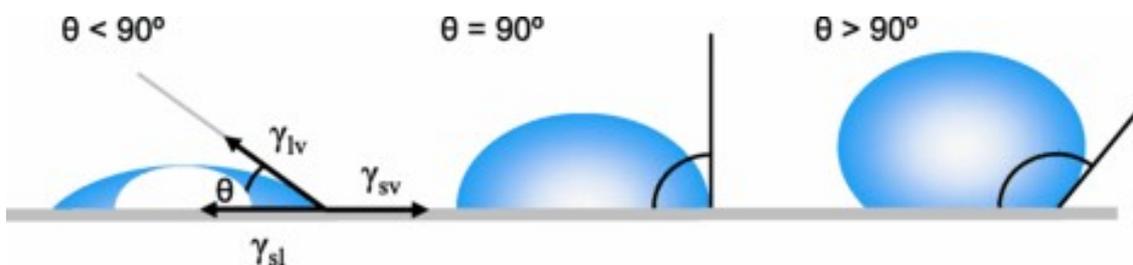


圖 2.1 光滑均質固體表面上的液滴形成接觸角之示意圖[15]。

在理想狀態下，液滴的形狀主要受液體表面張力的影響。在純液體中，本體內的分子受到來自周圍液體分子的均勻吸引，使得其淨受力為零。然而，位於液體表面的分子因缺少上方相鄰分子的拉力，導致其受到內部分子吸引而產生內聚力，使液體內部壓力增加。由於液體趨於最小化其表面自由能，因此會主動縮小表面積。

日常現象顯示，小液滴與氣泡通常呈球形，這是因為在固定體積下，球形可使表面積最小。這種驅動液體收縮表面的分子間作用力即為表面張力，並直接影響液滴的形態。然而，在實際情況下，外力（如重力）會使液滴產生形變，因此接觸角的大小受到表面張力與外力的綜合影響[15]。如 T. Young [16]在 1805 年首次提出的理論，透過一個能量平衡法來得出三個界面張力的平衡，其理論方程式稱為楊氏方程式，如(2.1)式所示。

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{SG} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LG}} \quad (2.1)$$

其中  $\theta$  表示接觸角， $\gamma_{LG}$ 、 $\gamma_{SG}$  和  $\gamma_{SL}$  分別表示液體-蒸汽、固體-蒸汽和固體-液體界面張力。

為了透過上視影像來計算接觸角此外，G. Dutra 等人[17]於 2017 年，提出了一套計算理論來得出液滴橫截面半徑與接觸角之關係。在此理論中，液滴高度為  $h$ ，液滴與材料接觸所形成的圓形截面直徑記為  $d_{cap}$ ，半徑則為  $r_{cap}$ ，液滴球面的曲率半徑為  $r$ 。另外，若液滴接觸角大於  $90^\circ$  則將球面的直徑記為  $d$ ，如圖 2.2 所示。

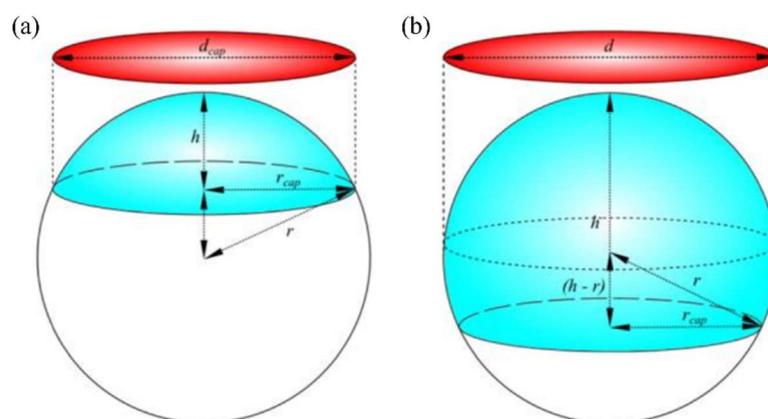


圖 2.2 液滴形狀與接觸角之關係，(a)接觸角小於等於 90 度(b)接觸角大於 90 度

[17]。



對於液滴而言，接觸角與  $r$ 、 $r_{cap}$  和  $h$  的關係如(2.2)式、(2.3)式，體積  $V$  則可表示為(2.4)式。

$$\theta = \tan^{-1} \frac{r_{cap}}{r-h} \quad (2.2)$$

$$r_{cap}^2 = 2rh - h^2 \quad (2.3)$$

$$V = \frac{\pi h}{6} (3r_{cap}^2 + h^2) \quad (2.4)$$

進一步將高度和體積無因次化，如(2.5)式及(2.6)式，即可得到無因次高度  $H$  跟無因次體積  $V_r$ ，其中  $V_r$  即為液滴實際體積與半徑  $r$  之球體體積之比值。

$$H = \frac{h}{r} \quad (2.5)$$

$$V_r = \frac{V}{\frac{4}{3}\pi r^3} \quad (2.6)$$

將(2.3)式及(2.5)式代入(2.2)式即可得出(2.7)式。(2.6)式轉換成  $V = \frac{4}{3}\pi r^3 V_r$  代入(2.4)式，並將(2.3)式跟(2.5)式替換進去，即可得出(2.8)式。

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{r_{cap}}{r-h} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{\sqrt{2H-H^2}}{1-H} \right) \quad (2.7)$$

$$H^3 - 3H^2 + 4V_r = 0 \quad (2.8)$$

最後藉由(2.7)式和(2.8)式可以得出無因次體積  $V_r$  與接觸角  $\theta$  之間的關係，如圖 2.3 所示：

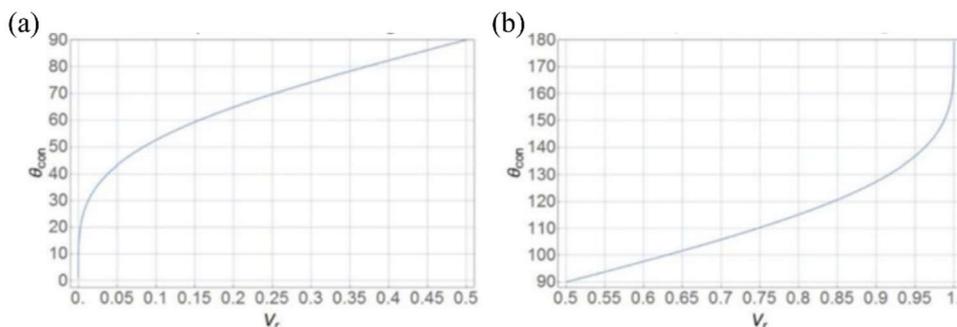


圖 2.3 計算液滴體積比  $V_r$  與接觸角  $\theta_{con}$  的關係曲線，(a)親水(b)疏水表面[17]。

因此系統在量測小於等於  $90^\circ$  的接觸角時，僅需使用電控注射器在樣本表面滴定定量的液滴，再將已知固定體積  $V$  跟透過相機量測到的  $r_{cap}$  帶入(2.4)式即可求得  $h$ ，進而得知(2.3)式中的  $r$ ，最後透過(2.6)式求得  $V_r$  即可帶入圖 2.3 (a)來得到接觸

角數值。而接觸角大於  $90^\circ$  的計算過程中，當固定體積  $V$  與測得之  $r_{cap}$  代入(2.4)式求得  $h$  後，如果  $h$  大於  $r_{cap}$ ，即代表相機所拍攝到之半徑為  $r$ ，僅需改將  $r$  代入(2.6)式進行運算並將計算出的  $V_r$  代入圖 2.3 (b)即可得知其接觸角。

上述方法假設液滴橫截面為理想圓形，且需要精準控制液滴之體積。因此本研究採用與 G. Dutra 等人不同之方法，使用霧化噴頭對樣品表面進行霧滴噴灑，先沿一方向邊移動邊噴灑霧滴，噴灑完成後立即反向移動並使用線掃描相機擷取樣品的上視影像。此設計可有效避免霧滴蒸發與二次噴灑對影像造成干擾，確保所拍攝影像僅呈現第一次噴灑後的霧滴分布情形。接著，透過影像辨識技術統計每個區域中的平均霧滴截面面積，並以多組已知標準接觸角的樣本資料為基礎，擬合建立霧滴截面面積與接觸角之間的檢量線模型，如圖 2.4 所示，使得在未知接觸角樣品的測量中，可透過其表面霧滴的平均面積得到出相應的接觸角數據，進而快速評估材料表面的親疏水特性。此一方式不僅可避免 G. Dutra 等人仍需仰賴側視影像以判別表面親水性之限制，亦突破側視影像一次僅能觀測單行液滴的瓶頸，使量測過程得以改以噴霧方式進行，從而大幅提升系統之量測效率與空間解析度。

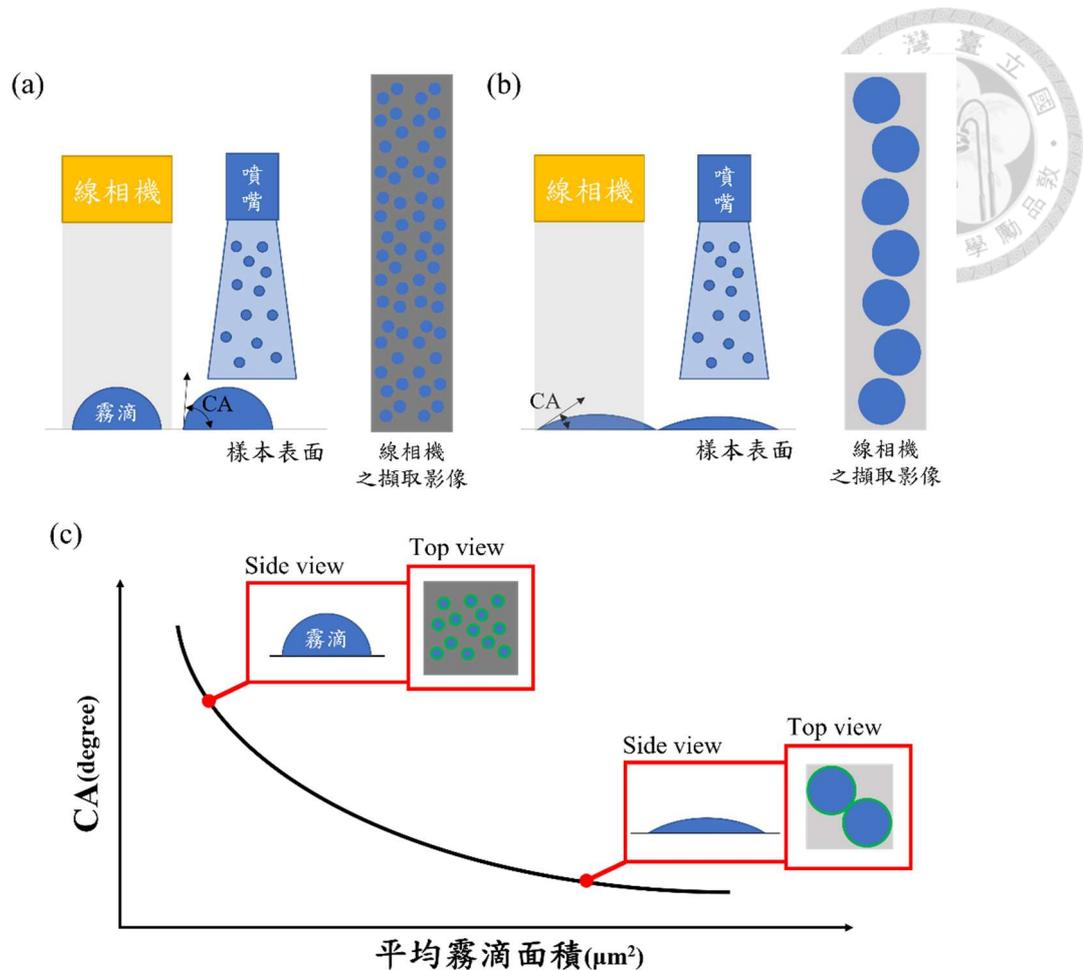


圖 2.4 本研究接觸角計算之示意圖，其中(a)為量測疏水樣品之示意圖、(b)為量測親水樣品之示意圖以及(c)為檢量線建置之示意圖。

## 2.2 液滴輪廓識別方法

S. Suzuki 等人[18]於 1985 年提出了鈴木輪廓追蹤演算法，是一種用於二值影像中邊界偵測與拓撲結構分析的經典方法。至今仍被廣泛應用於各種影像處理函式庫中。此演算法的主要目的是從一張二值影像中偵測所有的輪廓邊界，並建立它們之間的層級關係，例如外輪廓與其內部的孔洞之對應關係。該方法具有低記憶體消耗、高效率與完整記錄拓撲資訊的特點，為影像分割後形狀分析與物件識別等應用奠定了基礎。

鈴木演算法屬於一種邊界追蹤 (Border following) 方法，其核心思想為沿著目標物邊緣進行順時針或逆時針追蹤，並根據像素間的空間關係來區分輪廓的層級



結構。首先會從左上至右下掃描二值化後的影像來尋找輪廓起始點，如圖 2.5，座標為  $I(i, j)$ 。若  $I(i, j) = 1$  且  $I(i, j-1) = 0$  則為外輪廓起始點，若  $I(i, j) \geq 1$  且被像素 0 包圍則為孔洞輪廓起始點。

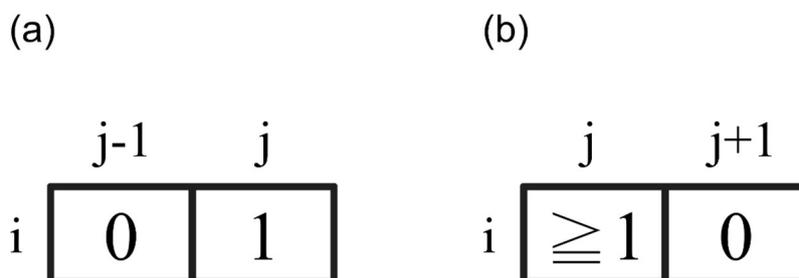


圖 2.5 外輪廓及孔洞輪廓起始點之辨識法。

接下來就開始進行邊界追蹤，這裡使用的是所謂的 8-鄰域 (8-connected neighborhood) 概念。即每個像素周圍最多有 8 個相鄰像素，包括上下左右與四個對角線方向的像素，如圖 2.6。使用 8-鄰域概念可確保輪廓追蹤不會因斜對角方向而中斷，有助於精確還原物件的實際邊界。

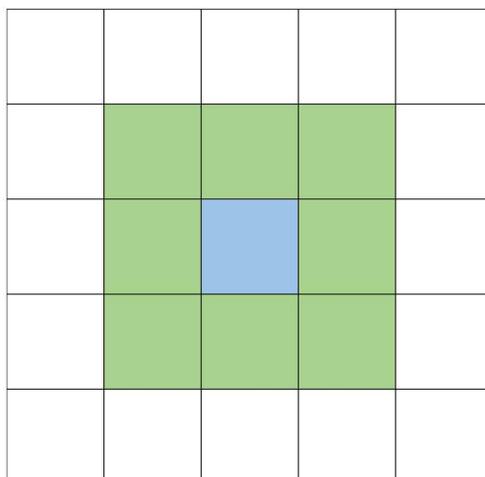


圖 2.6 8-connected neighborhood 示意圖，中間藍色方框為主像素，其周圍 8 個綠色方框即為待編碼之相鄰像素。

追蹤輪廓前先利用 Freeman 鏈碼[19]將周圍的 8 個鄰近像素進行編碼，編碼方向是透過起始點的類型來判斷，若起始點為外輪廓起始點即逆時針編碼，如果是孔洞輪廓起始點就以順時針方向進行編碼，如圖 2.7。

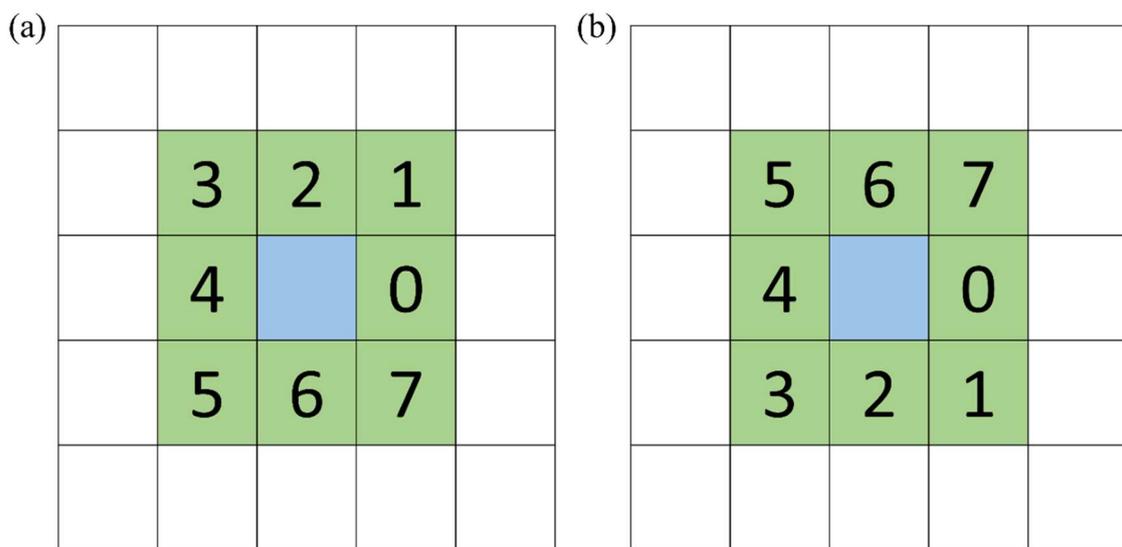


圖 2.7 Freeman 鏈碼示意圖，(a)為逆時針編碼、(b)為順時針編碼。

接著以目前像素為中心，按照指定方向在周圍的八個像素中按照順序尋找下一個像素值為 1，且不為原始像素的座標，再以找到的新座標值作為原始像素重新進行編碼繼續進行輪廓追蹤，直至回到初始像素座標且下一個像素方向與首次相同，表示輪廓完成。最後再將每個輪廓以點序列  $\{(x_i, y_i)\}$  或方向序列  $\{d_i\}$  儲存像素之移動方向，即完成輪廓的提取，以供後續應用。在本研究中，影像中水滴與水膜的輪廓偵測係透過 OpenCV 函式庫中的 `findContours()` 函式實現，其核心為使用鈴木演算法從二值化影像中辨識並擷取所有封閉區塊的輪廓，並建立輪廓間的層級關係。藉由此方法，本研究能夠精確區分圖像中不同區塊之邊界輪廓，作為後續霧滴識別、平均霧滴面積計算等分析步驟的重要基礎。

## 第三章 系統架構



### 3.1 大面積親疏水性量測系統架構

本研究的量測系統架構，主要是將趙彥璋等人所建構的位移系統及噴霧系統 [10]作為本研究的基礎，結合線相機、光源以及影像辨識技術所設計出一量測系統，整體架構示意圖與實際照片分別如圖 3.1(a)、(b)所示。本系統中的影像擷取模組與噴霧模組主要透過 X 軸與 Z 軸滑台實現左右及上下方向的移動，以便進行多張影像的擷取與霧滴噴灑。而前後方向的位移則由 Y 軸滑台結合滑軌帶動移動平台運行，使平台上的待測物得以沿 Y 軸方向前後移動，進而完成單張影像的精確擷取。

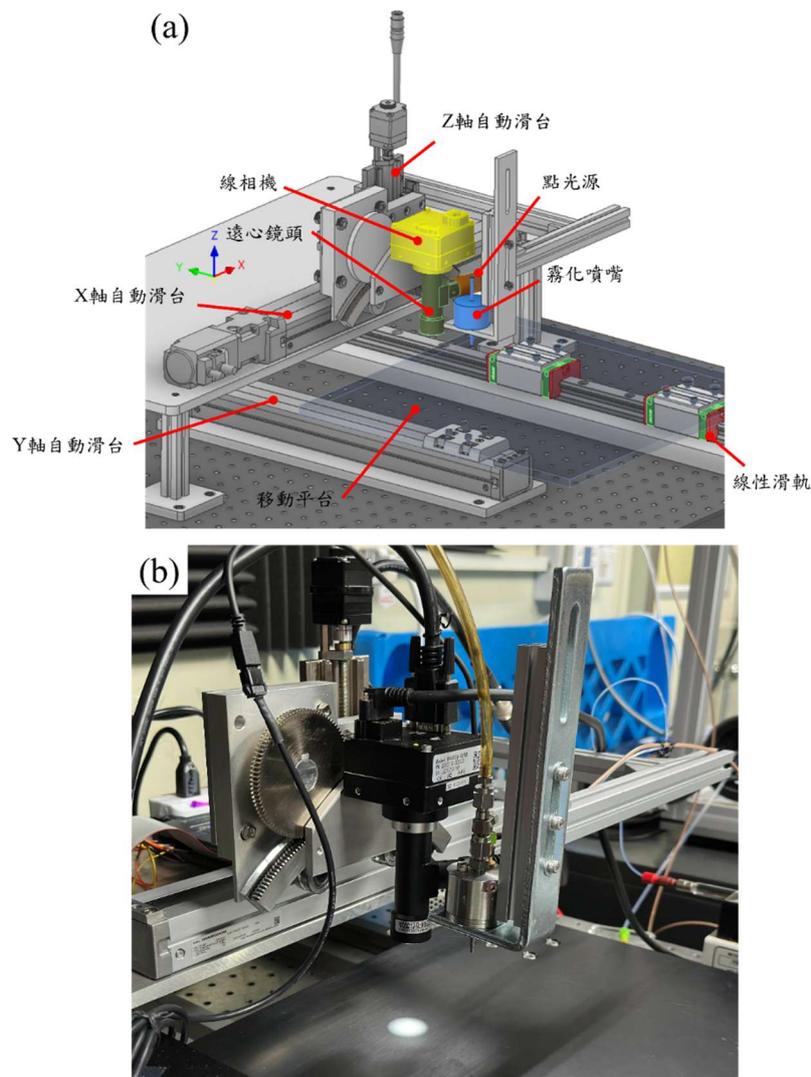


圖 3.1 大面積親疏水性量測機構(a)示意圖、(b)實體圖。

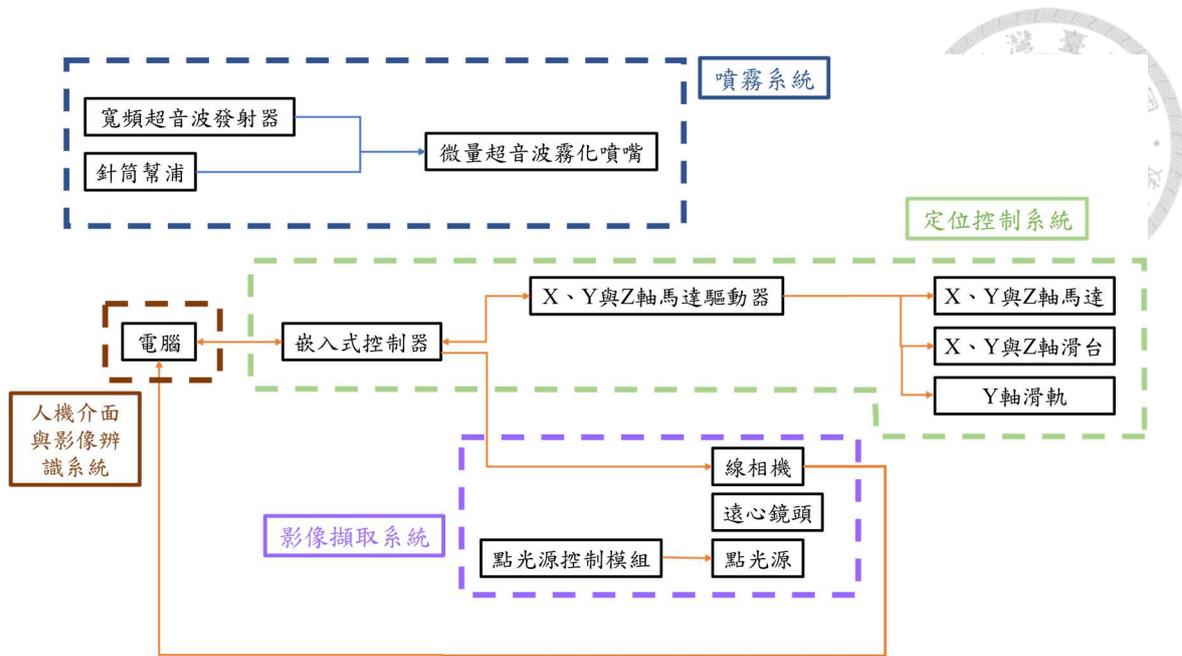


圖 3.2 大面積親疏水性量測系統架構圖。

本研究將整體量測系統架構劃分為四大子系統，分別為：定位控制系統、噴霧系統、影像擷取系統，以及人機介面與影像辨識系統，如圖 3.2 所示。整體操作流程由人機介面傳送控制訊號至嵌入式控制器，透過嵌入式控制器上的訊號傳輸埠發送觸發訊號到馬達驅動器與線掃描相機進行精密控制與影像擷取。擷取到的影像將由 Python 程式進行後續處理與分析，並將處理結果回傳至人機介面進行顯示。各子系統之功能與設計細節，將於後續章節中分別說明。

## 3.2 定位控制系統

本研究的控制系統採用商用的嵌入式控制儀器 NI myRIO-1900 (National Instruments) 作為核心控制單元[附錄 A]，負責訊號的接收與傳送。該裝置主要用於向馬達驅動器與線掃描相機發出控制指令。由於各設備所需的控制訊號類型有所差異，故在第 3.2.1 至 3.2.3 節中，將分別說明各元件所對應的訊號需求。

### 3.2.1 嵌入式控制儀器

在嵌入式控制儀器中，可將輸入輸出通道分為數位輸入輸出與類比輸入輸出，在此研究中所使用到的訊號傳輸埠如圖 3.3 所示。

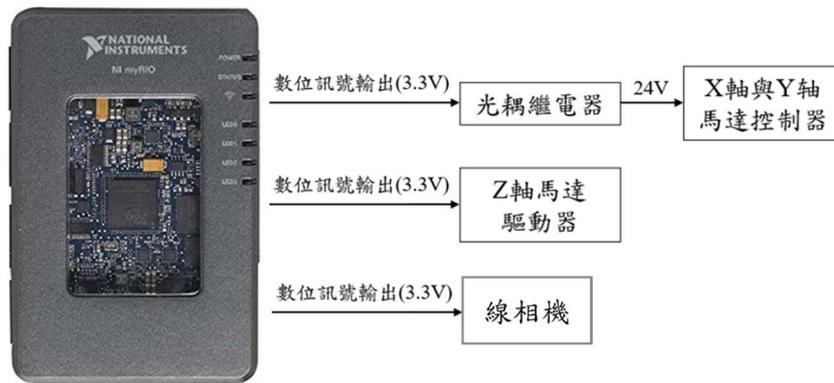


圖 3.3 嵌入式控制儀器輸出電壓示意圖[附錄 A]。

在進行數位訊號輸出時，該嵌入式控制裝置所提供的數位訊號電壓為 3.3V，透過此輸出可直接將脈波訊號傳送至 Z 軸馬達控制器及進行線相機的幀觸發。而 X 軸與 Y 軸的馬達驅動器需要更高的輸入電壓，因此需將 myRIO 輸出的 3.3V 數位訊號經由 myRIO-24V DIO 擴充模組[附錄 B]轉換為 24V，方可驅動滑台進行動作，圖 3.4 為 myRIO-24V DIO 擴充模組的實體圖。

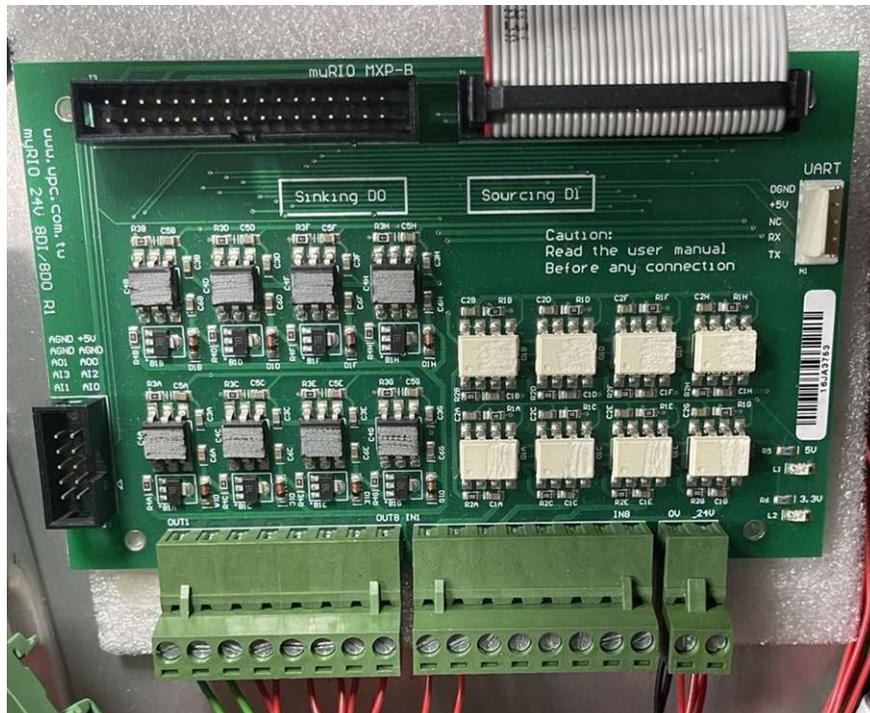


圖 3.4 myRIO-24V DIO 擴充板實體圖[附錄 B]。



### 3.2.2 X 軸與 Y 軸馬達驅動器

本研究中所使用的 X 軸與 Y 軸馬達驅動器為市售型號 AZD-KD (Oriental Motor) [附錄 C]，其控制方式與 Z 軸馬達的脈波輸入型驅動器不同，需透過觸發預先設定的運轉條件進行動作。操作上需先透過 Oriental Motor 所提供的 MEXE02 軟體，將所需的運轉參數寫入驅動器，如圖 3.5 所示。例如，在設定 No.0 位置資料時，可輸入 150 mm 並選擇相對定位模式，當此設定被觸發後，滑台便會以 150 mm 為單位進行移動。若欲反向驅動滑台，僅需如 No.1 所示，在位置欄位中輸入負值即可實現。在本研究中，運轉資料中的速度和線相機的擷取頻率配合，設定為 30 mm/s，加減速斜率與停止斜率皆採用原廠預設值，無額外調整。

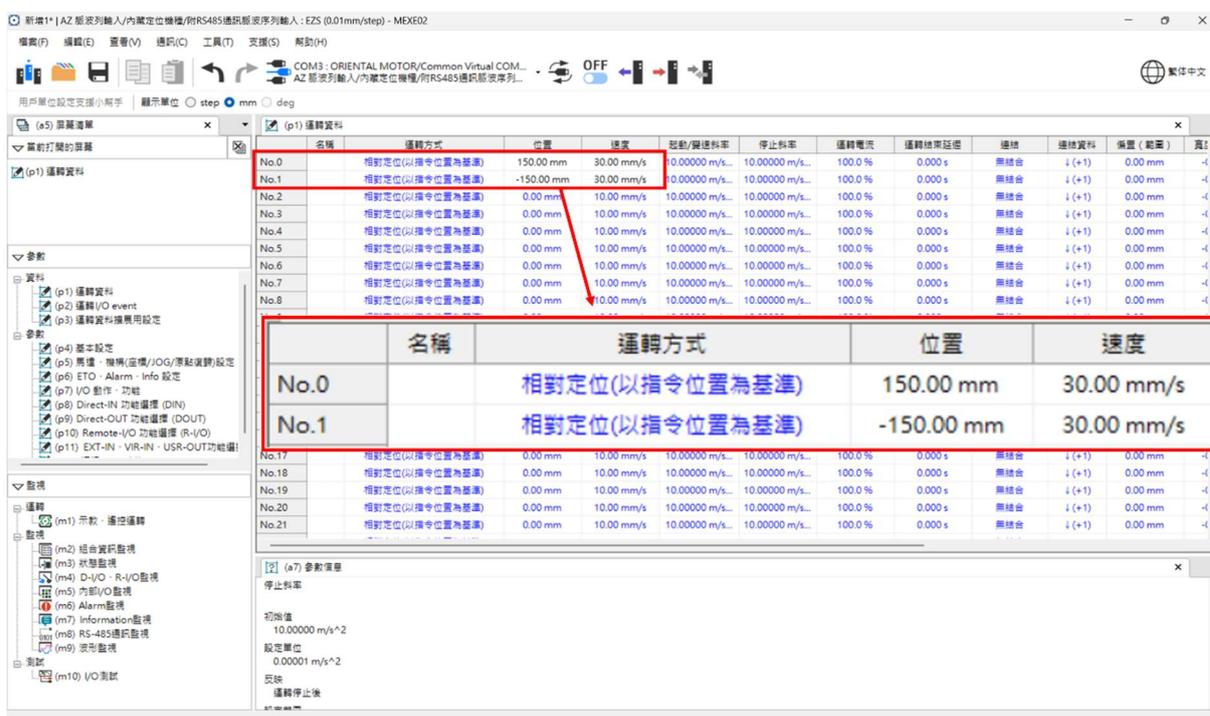


圖 3.5 MEXE02 軟體驅動器腳位觸發資料設定。

在設定完運轉資料後，若需啟動相應的運轉資料動作，必須提供相對於共點電壓為 24V 的高電位訊號觸發驅動器 CN4 端的特定腳位。信號名稱與其相對應的腳位如圖 3.6 所示。為實現此功能，嵌入式控制裝置可透過其數位輸出通道，控制 myRIO-24V DIO 模組，使其輸出 24V 的數位訊號到特定腳位，從而驅動馬達依照相應之信號名稱的位移條件進行動作。

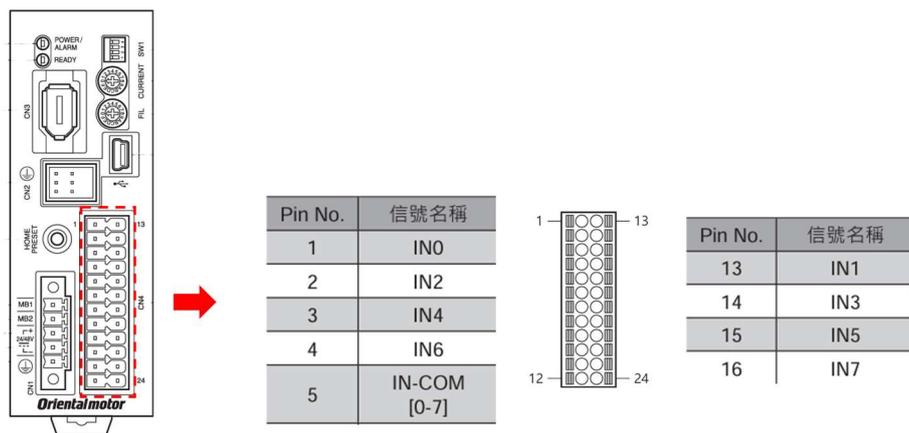


圖 3.6 東方馬達驅動器信號腳位示意圖。

### 3.2.3 Z 軸馬達驅動器

本研究使用商用的馬達驅動器(C-DR42A, Misumi) [附錄 D]作為 Z 軸滑台驅動器，此馬達驅動器是採用雙脈波的輸入模式，控制器需同時提供 PULSE（脈波）與 DIR（方向）兩組控制訊號。其中，PULSE 用於控制馬達的移動步數，每當輸入一個有效脈波，馬達便會旋轉一個步距角；而 DIR 則用來控制馬達的轉動方向，高電位（例如 5V）表示正方向（順時針），低電位（例如 0V）則表示反方向（逆時針）。在 C-DR42A 馬達驅動器的雙脈波輸入模式中，PULSE 與 DIR 必須配合使用，才能正確完成一步的驅動動作。除此之外，控制器也必須根據驅動器所規範的時序圖，精準輸出符合要求的脈波與方向訊號，才能正確控制馬達的旋轉行為。而此馬達驅動器所需輸入的脈波時序要求如圖 3.7 所示。

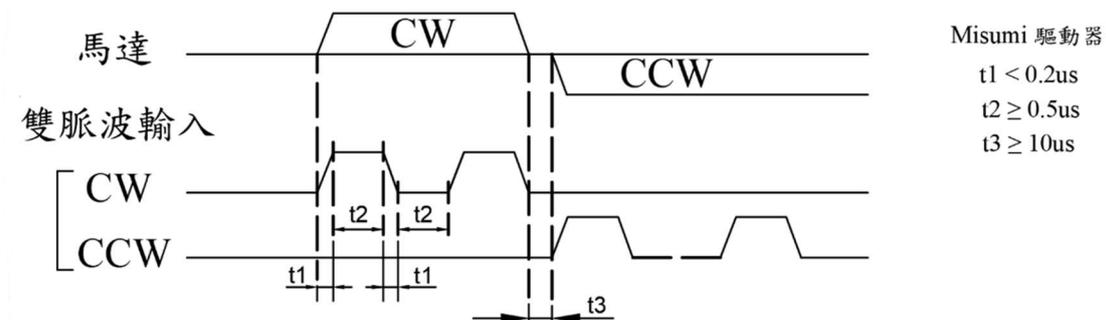


圖 3.7 Z 軸馬達驅動器脈波輸入時序圖。



### 3.2.4 X 軸自動滑台

本研究所使用的 X 軸自動滑台(EZSM3D030AZAK, 東方馬達)[附錄 E], 如圖 3.8 所示, 主要負責帶動量測系統與噴霧裝置到指定定位點。此自動滑台精度為 0.01 mm, 致動行程為 300 mm, 詳細的資料如表 3.1 所示。



圖 3.8 電動滑台 EZSM3D030AZAK 實體圖[附錄 E]。

表 3.1 X 軸電動滑台 EZSM3D030AZAK 規格表。

最小移動量	0.01 mm
反覆定位精度	$\pm 0.02$ mm
最大載重(水平放置)	$\sim 7.5$ kg
行程	300 mm

### 3.2.5 Y 軸自動滑台

本研究採用與 X 軸相同規格的型號作為 Y 軸電動滑台[附錄 E], 其致動行程同樣為 300 mm, 與表 3.1 中所列之規格一致。

### 3.2.6 Z 軸自動滑台

本研究所採用的 Z 軸自動滑台為 Misumi 的 C-ZMBS650-L-A-2 型號, 其外觀

如圖 3.9 所示[附錄 F]。該滑台由步進角度為 1.8 度的馬達驅動，搭配導程為 1 mm 的滾珠螺桿，以實現 Z 軸方向的精密定位。根據步進角與螺桿導程換算，其最小可移動單位為 5  $\mu\text{m}$ ，總行程達 43 mm，相關技術參數詳列於表 3.2。



圖 3.9 Z 軸滑台 C-ZMBS650-L-A-2 實體圖[附錄 F]。

表 3.2 Z 軸滑台 C-ZMBS650-L-A-2 規格表。

最小移動量	0.005 mm
反覆定位精度	$\pm 0.005$ mm
單向定位精度	0.02 mm 以內
最大載重(水平放置)	5 kg
行程	43 mm

### 3.2.7 雙滑塊線性滑軌

本研究選用雙滑塊線性滑軌，其主要考量在於雙滑塊能提升移動平台安裝時的整體穩定性，有助於承載較大重量時減少彎曲變形的情況發生。此外，滑軌長度的規劃需滿足滑塊間距 240 mm 與 Y 軸電動滑台行程 300 mm 的總和，最終選定滑軌長度為 640 mm，如圖 3.10 所示[附錄 G]，以符合實際應用需求。

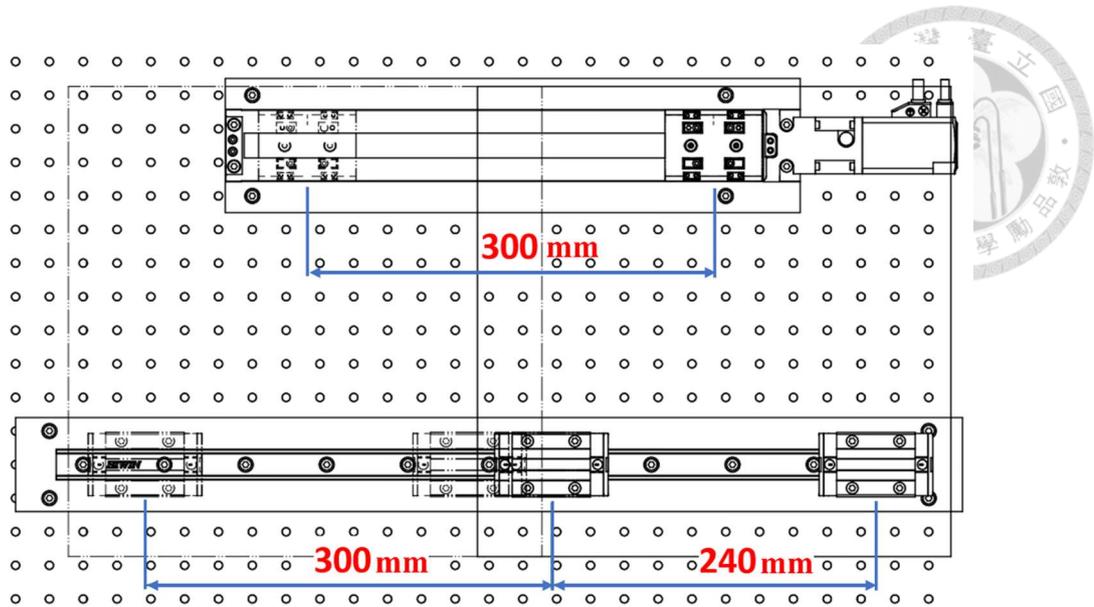


圖 3.10 Y 軸電動滑台與雙滑塊線性滑軌最長行程示意圖[附錄 G]。

### 3.3 噴霧系統

在本研究中，噴霧系統的設計對實驗的可行性與量測結果有顯著影響，因此成為關鍵的研究重點之一。為產生更細小的水滴顆粒，提高量測解析度與準確度，系統採用商用針筒幫浦(YSP-101, YMC)[附錄 H]提供穩定的液體注射量，並將液體輸送至微量超音波霧化噴嘴(Microspray ultrasonic atomizing nozzle, Sono-Tek) [附錄 I]。此噴嘴再由商用寬頻超音波發射器(Broadband ultrasonic generator, Sono-Tek) [附錄 J] 驅動噴嘴，使內部的石英壓電元件沿著噴嘴本體產生穩定的橫向超音波振動，進而將注入液體霧化，噴霧系統的實體零件與噴嘴之細部構造如圖 3.11 所示。

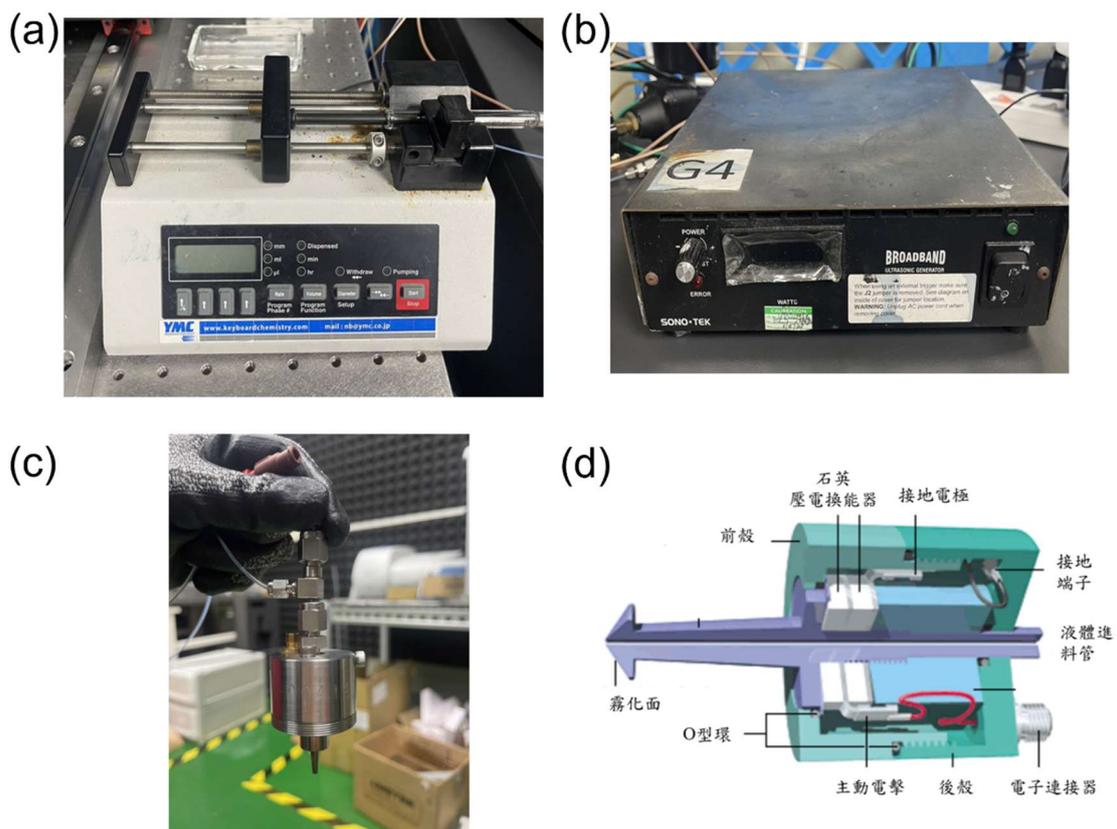


圖 3.11 (a)針筒幫浦實體圖[附錄 H]、(b)寬頻超音波發射器實體圖[附錄 I]、(c)微量超音波霧化噴嘴實體圖[附錄 J]、(d)微量超音波霧化噴嘴剖面圖。

在壓電式霧化噴塗的過程中，噴塗寬度受進氣壓力與噴嘴與待測物之距離所影響，而霧滴大小則可透過與針筒注水量進行調整。為了控制噴灑範圍能夠剛好在相機單條影像的拍攝範圍內，本研究透過調節進氣壓力為 10 psi、噴嘴高度 65 mm、4 ml/hr 的注水量以及 30 mm/s 的移動速度來噴塗出寬度約為 5 mm 的霧面。

### 3.4 影像擷取系統

#### 3.4.1 線相機

本研究採用商用線掃描相機(PA4KGV-80KM, Huirong ideas) [附錄 K]作為主要影像擷取設備，如圖 3.12 所示，以進行高解析度之微結構量測與水滴形貌分析。此線相機具備 4096 像素的單列解析度，並搭配 CMOS 感測器，可提供高達 80

kHz 的線掃描速率。相機每個像素邊長尺寸為  $3.5\ \mu\text{m}$ ，搭配一倍放大倍率之鏡頭後，橫向視野範圍可涵蓋約  $14.336\ \text{mm}$ ，且維持每像素  $3.5\ \mu\text{m}$  的空間解析度。



圖 3.12 線掃描相機 PA4KGV-80KM 實體圖[附錄 K]。

根據奈奎斯特取樣定理(Nyquist sampling theorem)，影像系統需至少以兩個像素以上之解析度，方能有效辨識目標輪廓。據此推算，本系統之最小可偵測目標尺寸約為  $7\ \mu\text{m}$ 。鑒於本研究欲分析之霧滴面積普遍大於此限制，因此所採用之線掃描相機具備足夠解析能力，能有效擷取水滴邊緣與液膜形貌。為進一步提升量測精度，實驗系統亦整合同步觸發模組與點光源配置，並於影像處理階段引入邊緣增強與對比度提升技術，以強化目標邊界之辨識與輪廓擷取準確性。

### 3.4.2 遠心鏡頭

本研究於影像擷取系統中採用遠心鏡頭(Telecentric lens)作為成像光學元件，目的在於提升影像尺寸穩定性與幾何量測精度。與一般傳統鏡頭不同，遠心鏡頭具有特殊的光學設計，其入射光線近乎平行，能有效消除因觀察角度改變所造成的放大倍率變化與影像幾何畸變(Geometric distortion)。

考慮到低工作距離與配合整體機構尺寸之設計，本研究採用型號為 WWH10-65CT(Huirong ideas)[附錄 L]的遠心鏡頭，如圖 3.13 所示，其主要光學規格如下：

放大倍率為一倍、工作距離為 65 mm、景深達 0.9  $\mu\text{m}$ ，適用感測器尺寸為 11 mm，並具備低像差之特性。



圖 3.13 遠心鏡頭 WWH10-65CT 實體圖[附錄 L]。

此外，遠心鏡頭搭配線掃描相機使用時，更能確保掃描過程中各掃描列對應之實體空間一致，有效抑制由不同高度或曲率引起的尺寸變形，進而提升邊緣擷取與接觸角計算之準確度。因此，本研究選用遠心光學系統為基礎，整合高解析成像與高穩定光學量測，確保整體分析流程之可靠性與精密性。

### 3.4.3 光源

為提升影像擷取品質與邊緣辨識精度，本研究於光學成像系統中搭配使用同軸點光源 (Coaxial point light source)，作為主要照明來源。所採用之光源為功率 3W 的高亮度白光模組(HRPL2-2108-3W, Huirong ideas) [附錄 M]，如圖 3.14 所示，發光光線經由同軸反射結構與鏡頭光軸重合，能夠垂直且均勻地照射於待測物體表面。



圖 3.14 白色點光源 HRPL2-2108-3W 實體圖[附錄 M]。

本研究所觀測之樣品包含微米級霧滴與其接觸邊界，具有高反射與曲面特性，若使用非同軸照明，容易因反射光不對稱而造成邊緣模糊或影像飽和，進而影響影像後續處理與量測準確性。透過同軸點光源所產生的垂直照明，本研究得以有效抑制上述反射干擾，顯著提升水滴邊緣與背景之對比度，使其在進行邊緣檢測與形貌輪廓分析時，能取得更穩定、清晰且具可重複性的成像結果。此外，搭配光源控制模組(HRPSC4-2005-4-LSE-Z, Huirong ideas)[附錄 N]，如圖 3.15 所示，可進一步穩定光源輸出，確保每次擷取影像皆處於一致光照條件下，有助於提升整體量測的再現性與精密度。



圖 3.15 光源控制模組 HRPSC4-2005-4-LSE-Z 實體圖[附錄 N]。

綜合而言，同軸點光源不僅能與本系統中的遠心鏡頭及線掃描相機高度整合，亦在光學照明層面為本研究提供了低畸變、高均勻性與高穩定性的理想條件，為微結構影像提供了穩定且可靠的光學條件。



### 3.4.4 線相機參數設定軟體

本研究中使用由合肥埃科光電(Hefei I-TEK)所開發之 IkapCViewer 線掃描相機控制軟體來對線相機參數進行設定與調整，如圖 3.16，以確保成像品質與系統同步性。透過此控制介面，使用者可靈活設定相機的行頻與曝光時間，以配合實際掃描速度與光照條件。此外，軟體亦提供增益與偏置的調整功能，用以優化影像對比與灰階分佈。針對影像擷取功能，控制軟體提供單張影像行高的設定，使用者可依據觀測需求調整擷取範圍。同時，亦支援啟用外部觸發 (Frame trigger) 模式，使相機僅在接收到特定觸發訊號時才進行影像擷取，從而實現與運動平台間的高精度同步控制，以下將分成各小節詳細介紹。

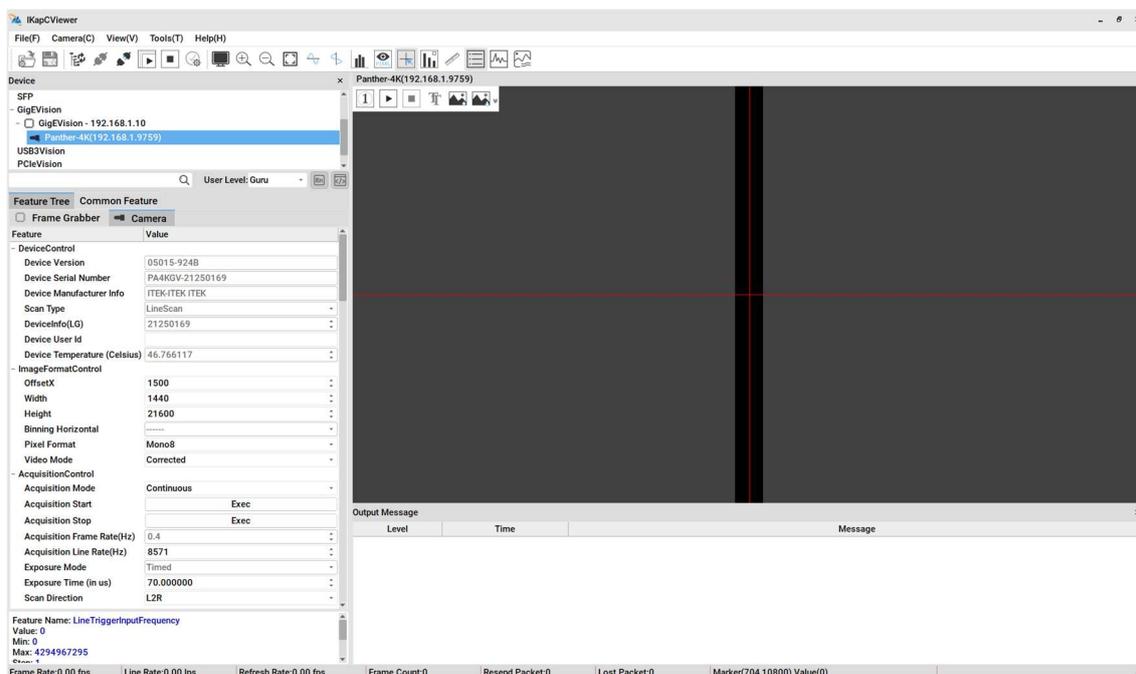


圖 3.16 IkapCViewer 線掃描相機控制軟體實際介面。

#### 3.4.4.1 行頻與曝光時間設定

行頻 (Line rate) 決定相機每秒掃描的線數，直接影響掃描速度與空間解析度，為線掃描系統中極為關鍵的參數之一。例如，當相機行頻設為 5k (即 5000 行/秒) 時，對應的線週期為  $1000000 \div 5000 = 200$  微秒，代表每 200 微秒拍攝一行影像。而行頻的設定需與平台的移動速度相互配合，否則將導致影像在掃描方向上

的比例失真，若行頻過低，影像會被拉長；反之，若行頻過高，則會造成影像被壓縮。

此外，曝光時間 (Exposure time) 則代表感光元件對光源的整合時間，亦即每一行影像的曝光長度。曝光時間的設定將直接影響影像亮度，若設置過長，容易導致影像過曝；反之，過短則可能造成畫面過暗。因此，需根據實際照明條件與物體反光特性，精確調整曝光時間，以確保所擷取影像具備足夠的亮度與清晰度。

為確保掃描影像中各項特徵的比例與實際物體相符，需依據平台單位時間內的位置量，計算對應所需的掃描行數，使得掃描解析度在空間與時間上達到一致。

因此在本研究中，線掃描相機的行頻設定為 8571 Hz，對應每行掃描週期約為 116.67  $\mu$ s，此參數配合 30 mm/s 的平台移動速度可提供足夠的取樣密度以維持影像完整性。而曝光時間則設定為 70  $\mu$ s，此值低於行週期，確保每次掃描曝光期間不會與下一行重疊，避免影像模糊，同時能有效因應實驗環境中的照度條件，參數實際設置畫面如圖 3.17 所示。經實驗驗證，此組參數可取得亮度適中、細節清晰的掃描影像，為後續影像分析提供穩定可靠的基礎。

- AcquisitionControl

Acquisition Mode	Continuous
Acquisition Start	Exec
Acquisition Stop	Exec
Acquisition Frame Rate(Hz)	0.4
Acquisition Line Rate(Hz)	8571
Exposure Mode	Timed
Exposure Time (in us)	70.000000
Scan Direction	L2R
Compression Transfer Ena...	<input type="checkbox"/>
Acquisition Line Count	0
Reset Acquisition Line Count	Exec

圖 3.17 行頻與曝光時間的設置畫面。



### 3.4.4.2 增益與偏置設定

為增強影像細節，控制軟體提供增益 (Gain) 與偏置 (Offset) 之設定介面，如圖 3.18 所示。增益控制放大倍率，能在曝光時間已經設置到最大值後進一步提升暗部細節的可見度，但過高可能產生雜訊。偏置則可調整整體灰階基準值，用以修正黑階 (Black level)，黑階是指影像中應該為完全黑色的區域所對應的影像訊號或像素值。如果黑階設定過高，低亮度區域會變得過亮，整張影像對比會下降。而黑階設定過低則會導致低亮度區塊的細節消失。

透過適當調整增益與偏置之參數，可優化整體影像的灰階分佈與對比度，提升後續影像處理效果。控制軟體中提供 1、2、4 與 8 倍的類比增益 (Analogue Gain) 倍率來直接放大感測器接收到的訊號，並提供設置範圍為 0.001-16.0 的數位增益倍率直接放大圖像的灰階值，搭配數位偏置使最終圖像灰度值=增益灰度值+數位偏置值/4。

- AnalogControl	
Analogue Gain	Gain_x1
Analogue Offset	0
- DigitalControl	
Digital Gain	1.000000
Digital Offset	0

圖 3.18 增益與偏置的設置畫面。

### 3.4.4.3 圖像行高設定

線掃描相機每張輸出的影像由多條掃描線組成，其垂直解析度可透過「行高」設定進行控制。行高 (Image height) 代表單張影像所包含的掃描行數，通常與欲觀測物體的實體長度或處理效率需求有關。控制軟體提供 1-65535 行的設置範圍，使使用者可根據應用情境調整每張影像的資料量與尺寸，實際行高之設置如圖 3.19 所示。

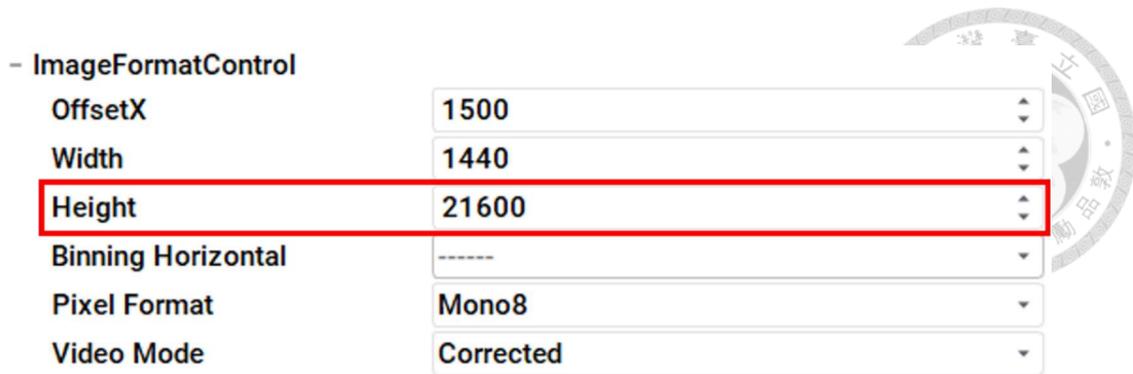


圖 3.19 行高的實際設置畫面。

#### 3.4.4.4 設定幀觸發 (Frame trigger)

為實現與運動平台或外部事件的同步擷取，控制軟體支援外部觸發模式 (Trigger mode)。在幀觸發模式下，相機僅於接收到觸發訊號時開始擷取指定行數的影像資料，有助於減少不必要的資料量並提升系統整體同步性。

在控制軟體中設定線掃描相機的外部幀觸發功能時，首先需確認 Line3 腳位的幀觸發訊號已正確連接，並開啟所有控制權限。接著，在 IO Control 分頁中，將 Trigger Selector 設定為 FrameStart，此項設定代表觸發訊號用於啟動整幀圖像的擷取。將 Trigger Mode 設定為 On，以啟用幀觸發模式；而 Trigger Frames Count 則為每次觸發所擷取的影像張數，預設為 1 張。接著將 Trigger Source 選擇為 Line3，表示此幀觸發訊號來源為外部接入的 Line3 腳位，如圖 3.20 所示。為避免與行觸發功能干擾，須將 Trigger Selector 切換至 LineStart，並將其對應的 Trigger Mode 設為 Off，即關閉行觸發模式，如圖 3.21 所示。

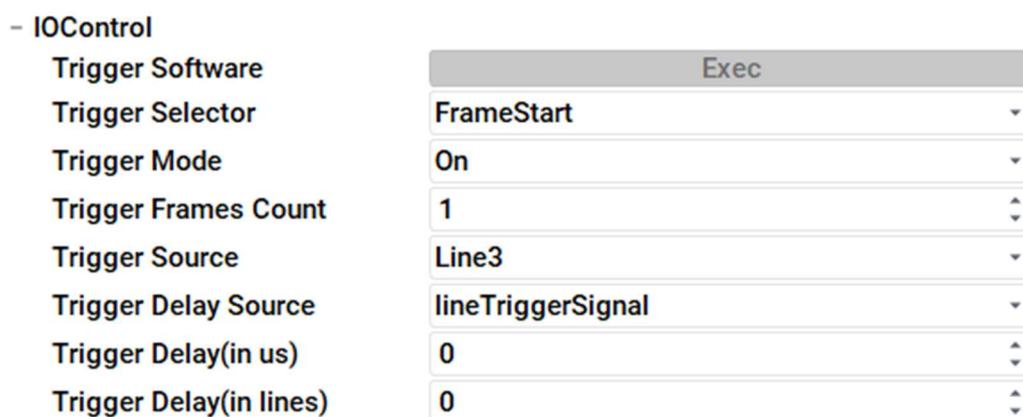
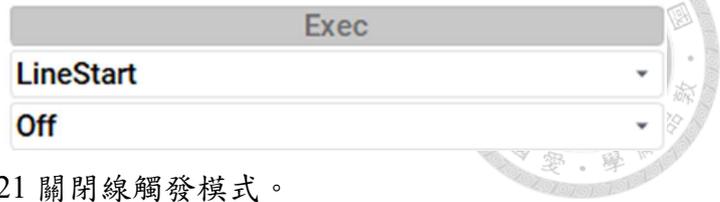


圖 3.20 啟用幀觸發模式之相關設置。

- IOControl

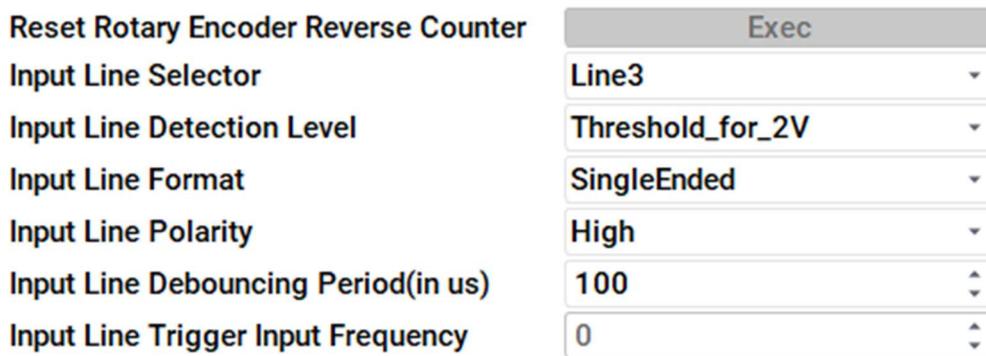
Trigger Software  
Trigger Selector  
Trigger Mode



Exec
LineStart
Off

圖 3.21 關閉線觸發模式。

接下來，於 IO Control 分頁中將 Input Line Selector 設定為 Line3，針對該輸入腳位進行進一步設定，如圖 3.22 所示。由於幀觸發訊號一般為單端輸入，因此在 Input Line Format 中選擇 SingleEnded 模式；而在 Input Line Polarity 中選擇 High，表示相機將偵測該腳位的上升沿訊號作為觸發依據。對於輸入訊號的電壓判斷門檻，可於 Input Line Detection Level 中設定為 Threshold\_for\_2V 或 Threshold\_for\_5V，分別對應於必須達到 2V 或 5V 電壓才能觸發。為提高抗干擾能力，可依據現場訊號穩定程度，調整 Input Line Debouncing Period（訊號濾波時間），一般建議設為 50 微秒，若干擾較嚴重時亦可適當提高此數值。此一完整設定流程有助於實現相機與運動平台間之高精度同步控制。



Reset Rotary Encoder Reverse Counter	Exec
Input Line Selector	Line3
Input Line Detection Level	Threshold_for_2V
Input Line Format	SingleEnded
Input Line Polarity	High
Input Line Debouncing Period(in us)	100
Input Line Trigger Input Frequency	0

圖 3.22 輸入腳位之相關設置。



### 3.5 人機介面

人機介面在本研究中使用 LabVIEW 程式語言進行撰寫開發，在此介面中可分為自動掃描控制區、手動馬達控制區、即時資料顯示區和掃描結果顯示區，如圖 3.23 所示。下面小節將詳述各人機介面區域之使用方法。

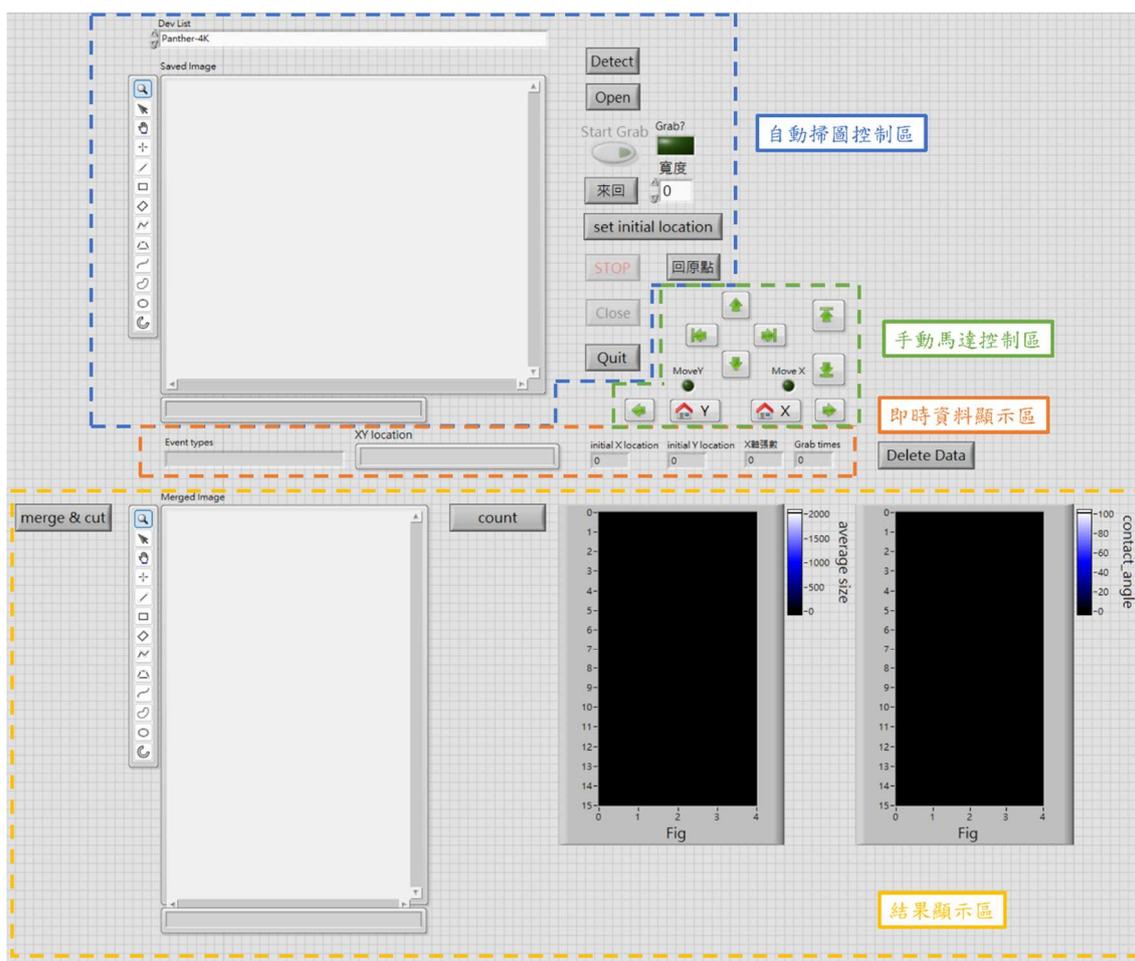


圖 3.23 人機介面控制劃分區。

#### 3.5.1 自動掃圖控制區與即時資料顯示區

如圖 3.24，在自動掃描控制區中，使用者需先輸入欲掃描樣品的寬度（單位為 mm）。系統將自動以每張影像覆蓋寬度 5.04 mm 為基準，將輸入寬度除以 5.04，計算出完成掃描所需的影像張數，並將結果顯示於 X 軸張數欄位中。完成寬度設定後，使用者需先點選「Detect」按鈕，系統將自動搜尋並列出已連接的設備。接著，使用者可於左上方的 Dev List（設備列表）中選取對應的線掃描相機名稱，並



點選「Open」按鈕開啟相機裝置。

當相機成功開啟後，點選「Start Grab」按鈕即可啟動取像功能，此時左下角的 Event Types 欄位將顯示「start grab」訊息，表示相機已進入準備取像狀態。最後，使用者點選「來回」按鈕，即可啟動自動掃描與影像擷取流程，LabVIEW 程式會利用 myRIO 觸發 Y 軸滑台依預設參數帶動位移平台向 +Y 軸方向移動，到達設定距離之後，LabVIEW 程式會透過 myRIO 向線相機發出 3.3V 的控制訊號來觸發影像擷取，並觸發 Y 軸滑台往 -Y 軸方向移動至 Y 軸原點然後觸發 X 軸滑台向 +X 軸方向移動，即完成單張線掃描成像，重複步驟多次直至完成整個圖像的擷取。

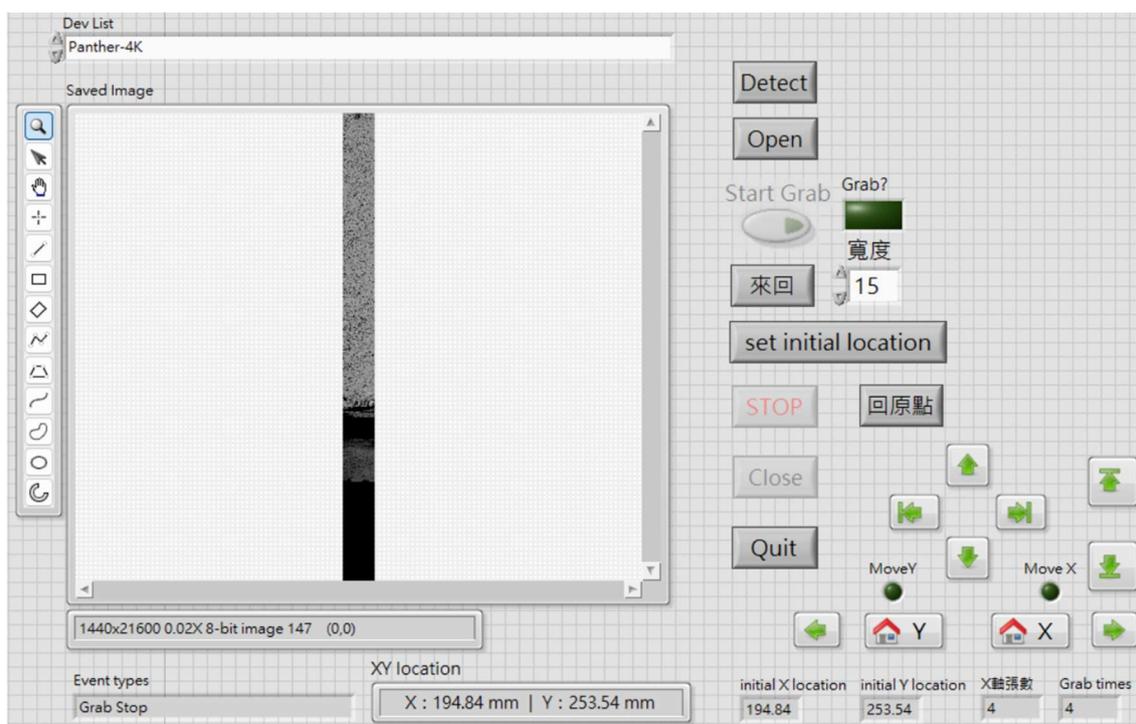


圖 3.24 自動掃描控制區與即時資料顯示區示意圖。

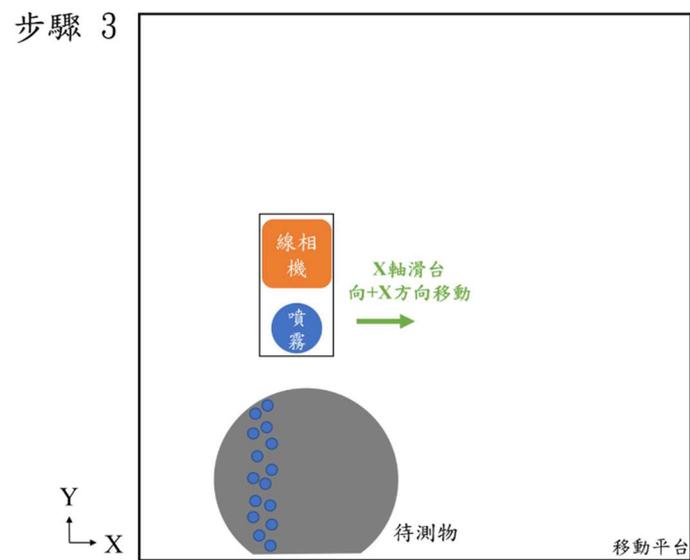
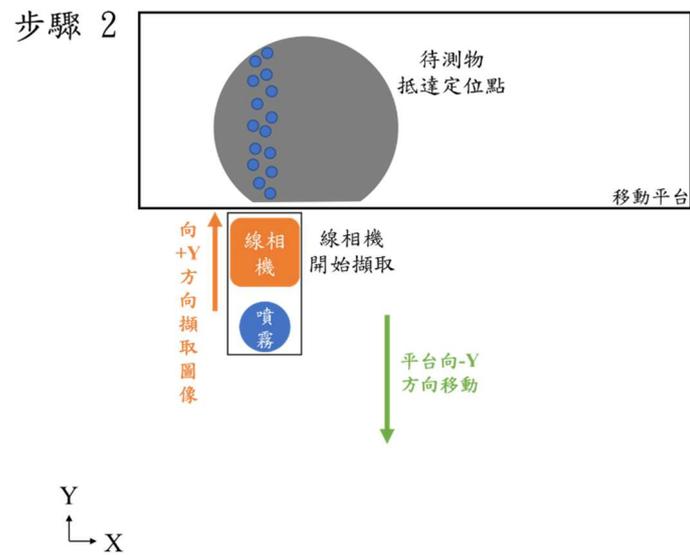
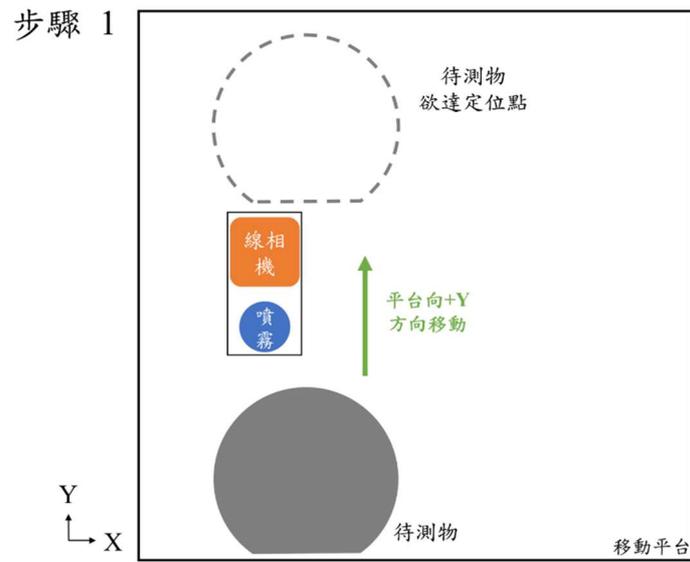


圖 3.25 影像掃描擷取模式之流程圖。



影像掃描擷取的流程如圖 3.25 所示，各步驟的詳細說明如下：

- 步驟 0：將樣本置於移動平台上，透過 Z 軸滑台調整相機高度至對焦位置之後，開啟針筒幫浦及超音波發射器，使水霧穩定噴出之後即可開始量測。
- 步驟 1：Y 軸滑台帶動移動平台往+Y 方向移動，讓水霧均勻噴灑在待測物表面。
- 步驟 2：Y 軸滑台到定位後馬上折返，帶動移動平台往-Y 方向移動，同時觸發線相機的影像擷取進行取圖，取得的圖會依順序存入特定資料夾中。
- 步驟 3：Y 軸滑台回到初始 Y 軸位置後，X 軸滑台帶動影像擷取系統與水霧噴頭向+X 方向移動，準備開始下一張圖的水霧噴灑與取圖。
- 步驟 4：重複步驟 1 到 3，直到設定範圍之影像都擷取完成。

影像擷取完成後，按下「回原點」按鈕即可讓 X 軸滑台回到初始位置。按下「STOP」按鈕即可停止影像擷取，此時左下角的 Event Types 欄位將顯示「Grab Stop」訊息，再按下「Close」按鈕關閉相機，然後按下「Quit」斷開相機通訊。

而在 XY location 欄位中所顯示的 X 軸與 Y 軸絕對位置主要是透過電動滑台馬達的編碼器獲得當前位置資料後，再經由馬達驅動器以 RS-485 通訊訊號的傳輸方式輸出資料給電腦讀取，如圖 3.26 所示，根據輸出資料的顯示，其最小讀數為 0.01 mm，讀取範圍為滑台的位移總長度 300 mm。

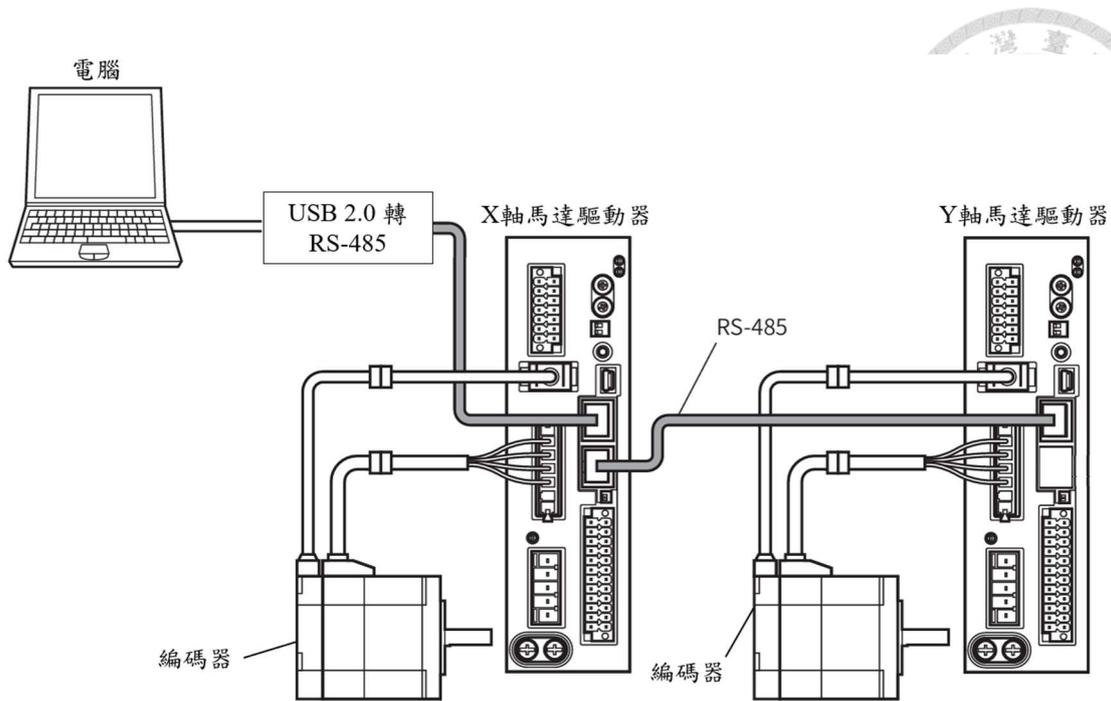


圖 3.26 RS-485 通訊訊號輸出示意圖。

### 3.5.2 手動馬達控制區

在此手動馬達控制區包含了五組控制按鈕及一組顯示燈，如圖 3.27 所示，其分別可以手動控制 X、Y 及 Z 軸電動滑台正方向及負方向的位移、X 軸電動滑台正方向及負方向的單步位移以及將 X、Y 兩軸移動至原點位置。而當 X 軸與 Y 軸移動時作動指示燈號會顯示綠色燈號，以告訴使用者電動滑台移動中。

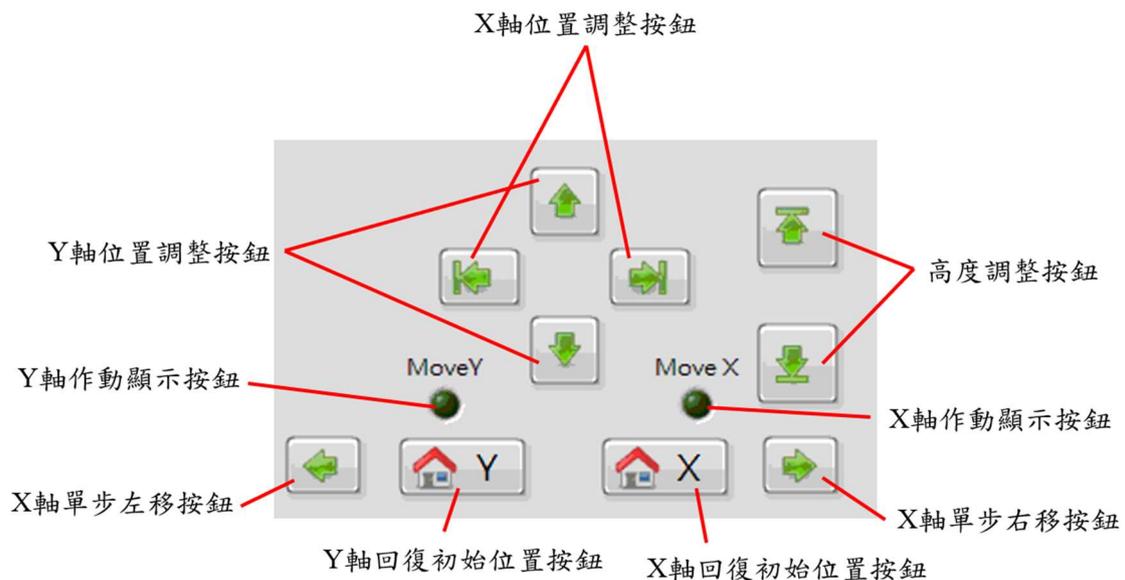


圖 3.27 手動控制滑台位置區。



### 3.5.3 掃描結果顯示區

影像擷取取得的圖會依順序存入特定資料夾中，按下「merge & cut」按鈕後會將資料夾內的所有圖檔依照順序同時進行切割及水平方向合併，將完整的擷取影像切割成多張正方型的圖片之後會存入依原圖檔名建立之子資料夾。而合併之後的結果則會存檔並顯示於圖像框中提供使用者查看，如圖 3.28 所示。

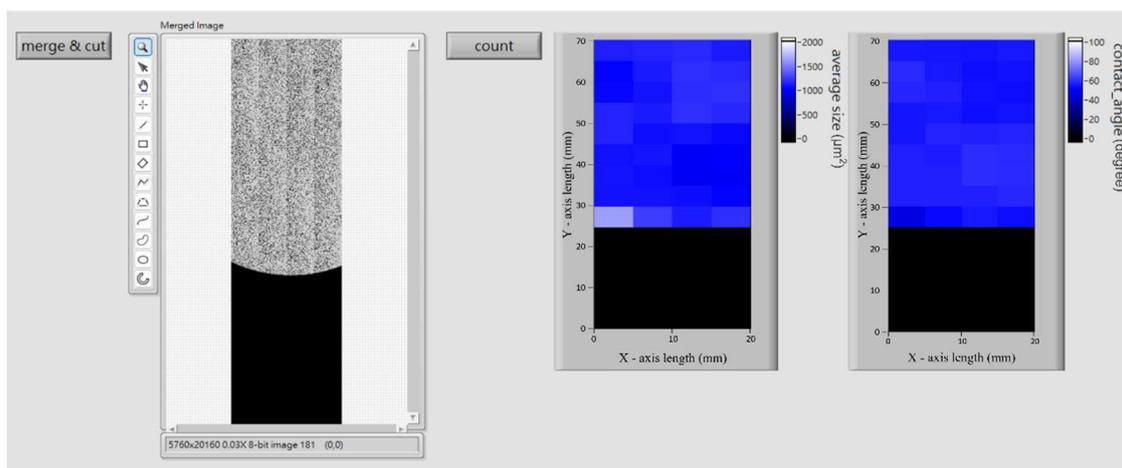


圖 3.28 掃描結果顯示區實際操作畫面。

獲得切割圖片後即可用於輪廓分析，按下「count」按鈕計算出每一區塊的平均霧滴面積以及相對應的接觸角，並利用強度圖將計算結果呈現給使用者，同時將影像資料儲存到資料夾中提供使用者實際的計算結果。如圖 3.29 所示，圖像中會將列入計算的霧滴輪廓框出來，並在左上角以數據顯示平均霧滴面積及接觸角結果，讓使用者能快速明瞭的瞭解各區的表面親水性。

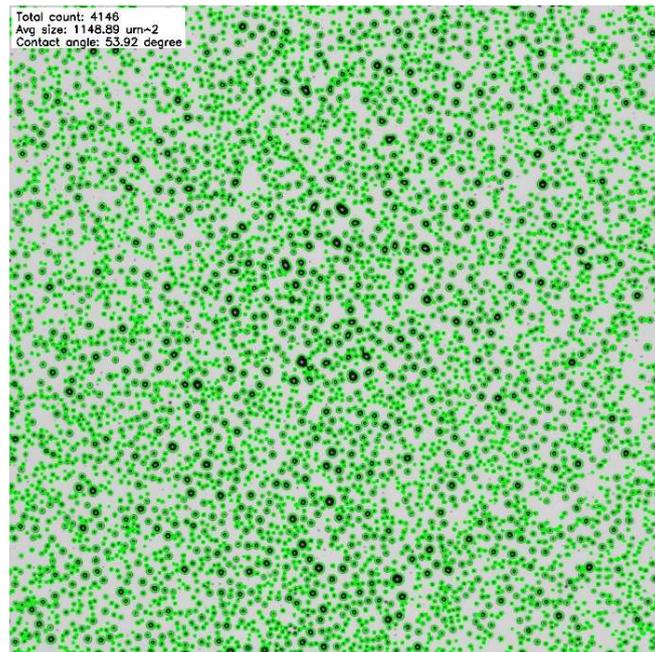


圖 3.29 霧滴輪廓辨識影像，平均霧滴面積及接觸角顯示於左上角。

### 3.6 Python 程式

為了實現對影像中霧滴的自動辨識與定量分析，本研究開發了一套以 Python 為基礎的影像處理程式且合併入 LabVIEW 中，影像處理流程圖如圖 3.30 所示。

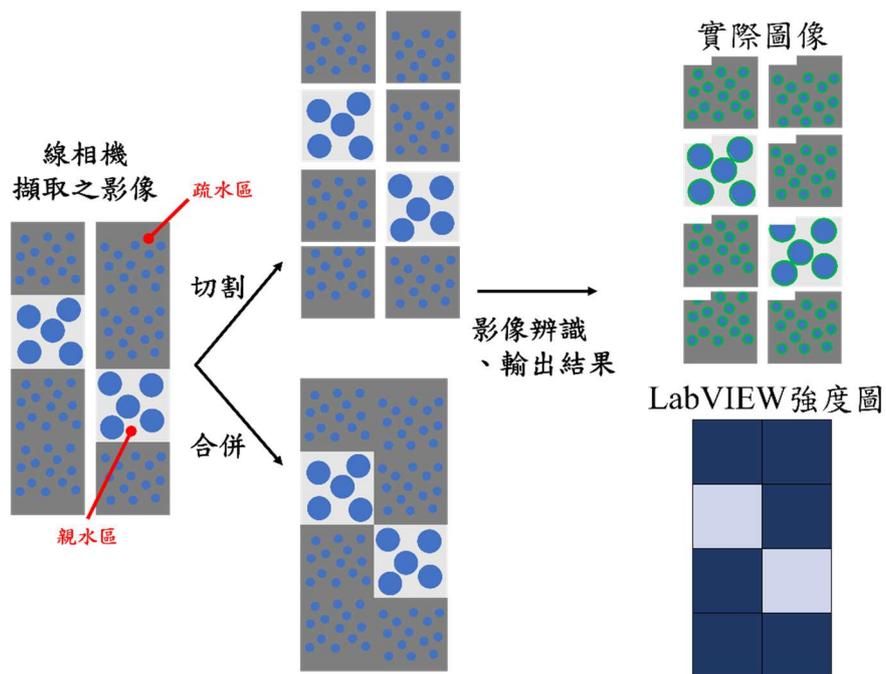


圖 3.30 影像處理流程圖。



藉由在 LabVIEW 中按下相應按鈕來觸發程式執行。該套程式首先執行圖像的切割與合併，接著整合 OpenCV 函式庫進行邊緣偵測與輪廓分析，以有效辨識出霧滴的外形輪廓。系統能進一步計算每張影像中霧滴的平均面積，並自動產出包含面積統計結果的標註影像與數據檔案。此外，分析結果可透過 TCP/IP 協定即時傳送至 LabVIEW 顯示介面。接下來將依不同功能分別進程式碼的詳細說明。

### 3.6.1 圖像切割功能

為了有效處理並分析由線掃描相機取得的高解析度影像，本研究開發一套自動化圖像分割程式，如[附錄 O]所示，其目的在於將原始長條形大圖依指定規格切割成多張小圖，以利後續進行水滴辨識與定量分析。該程式以 Python 撰寫，主要結合標準函式庫 os、正規表示式模組 re 以及影像處理套件 PIL (Python Imaging Library)。整體流程可分為兩個模組：

模組 1：圖像切割模組 (split\_image\_equally)

此函式負責將單張輸入影像依指定之行 (rows) 與列 (cols) 數，平均切割為  $rows \times cols$  張小圖，如圖 3.31 所示。切割過程中會依據原圖尺寸自動計算每張子圖的寬度與高度，並利用 PIL.Image.crop() 函式執行切割。為確保檔案有序，每張子圖會依照其所在之列與行座標命名，如原檔名 1\_1\_0.jpeg 表示位於第 1 行第 1 列之子圖。

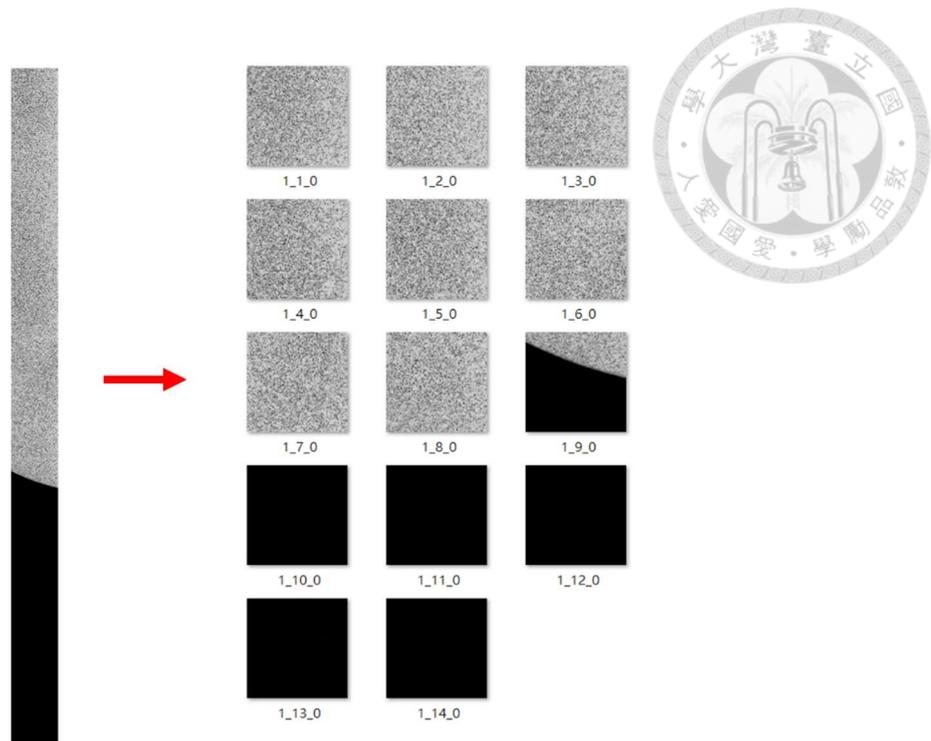


圖 3.31 影像切割功能示意圖。

#### 模組 2：批次處理模組 (batch\_process\_images)

首先篩選出符合「純數字命名 + .jpeg/.jpg 副檔名」之影像命名規則的圖檔進行批次切割。並針對每一張圖片建立專屬的子資料夾存放其切割結果。此設計除了方便管理，亦有助於後續搭配自動辨識模組進行分析。此外，程式在切割前皆自動檢查並建立必要的資料夾結構，使用者僅需指定來源資料夾與期望的分割規格(例如切成 15 行 × 1 列)，即可完成整批影像的預處理。此模組已成功應用於本研究之霧滴面積統計流程中，作為前端圖像分割的核心工具。

### 3.6.2 圖像合併功能

為利於後續結果比對與展示，本研究亦利用 merge\_images 影像合併模組設計一程式可將多張線相機所拍攝之圖像重新水平拼接成一張合併影像，如[附錄 P]所示。該模組會自動掃描指定資料夾中所有以數字命名之 .jpeg 檔案，依據檔名中的數字順序排序後讀取，並調整所有圖片高度一致以確保拼接整齊，如圖 3.32 所示。最後透過 OpenCV 函式進行水平堆疊並儲存為單一圖檔，作為視覺化展示使用。

此模組亦具備自動建立輸出資料夾之功能，便於整體流程自動化。

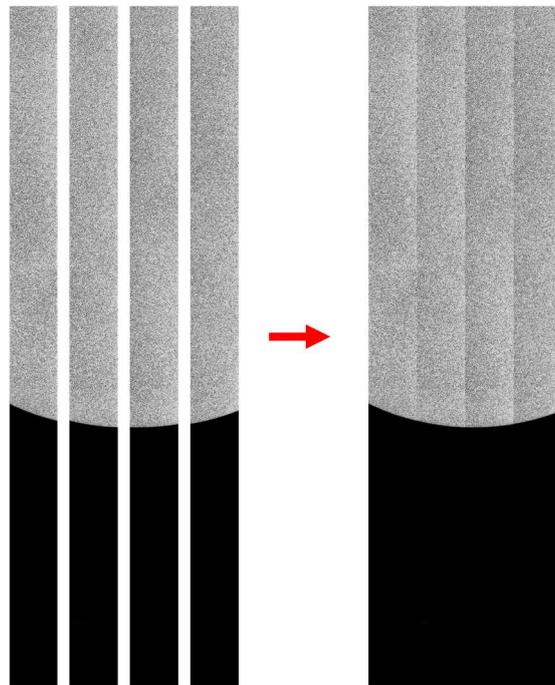


圖 3.32 影像合併功能示意圖。

### 3.6.3 霧滴平均面積之計算與 TCP 通訊功能

本研究之核心程式負責逐一讀取由前述影像切割流程所產生之子圖，並進行霧滴輪廓的自動辨識與統計分析，最後將結果即時回傳至 LabVIEW 顯示介面。

首先針對邊緣清晰、形狀規則、灰階對比明顯之典型霧滴進行自動辨識與面積分析，如[附錄 Q]所示。程式會將輸入影像轉換為灰階影像，再透過閾值化進行二值分割，取得初步的前景遮罩。接著使用 OpenCV 中的 findContours 函式偵測所有外部輪廓，並針對每一輪廓計算其面積與圓形度 (circularity)，圓形度計算公式為  $C = \frac{4\pi A}{P^2}$ ，其中  $A$  為輪廓面積、 $P$  為周長。程式將圓形度與面積的最小門檻分別訂為 0.7 及 50 pixels，以剔除非典型霧滴或過小的輪廓。通過篩選的輪廓將以遮罩形式儲存，並記錄其面積資訊，以利後續統計運算。

而針對面積較大、灰階值偏淺、對比度較低之非典型霧滴，程式設計了一組多層次強度閾值區間進行灰階區間分割。透過 OpenCV 中的 inRange 函式可針對指

定灰階範圍（如 dark、light、very light）建立初步遮罩，再結合形態學運算來去除雜訊與填補空洞。為避免與典型霧滴重複計算，程式會將所有已辨識典型霧滴之遮罩區域從此階段遮罩中移除。最終再根據 10 至 5000 pixels 的面積範圍進行輪廓篩選，進而辨識出非典型霧滴。此模組可有效補足因灰階對比不足而在第一階段被漏檢之潛在霧滴區域，並將其合併至總體分析結果中。

完成所有霧滴（包含典型與非典型霧滴）之辨識後，程式會取得所有有效霧滴區域的面積，進行平均霧滴面積的計算。計算出平均霧滴面積後，將根據影像尺寸與放大倍率進行面積的單位換算。本研究所使用之鏡頭放大倍率為一倍，因此每一像素之面積大小僅與線相機本身的像素大小值有關，故每 1 pixel 可以轉換為  $3.5 \times 3.5 \mu\text{m}^2$  的實際面積。

為了方便之後進行人工檢視與校對，本研究利用程式來將平均霧滴面積之結果自動標註於每張子圖對應之輸出影像上。同時，程式會依據子圖原始排列位置（行列編號）建立面積統計資料表（data\_dict），並據此構建一組反映整體空間分布的 2D 強度圖（Intensity Graph）。為了能與 LabVIEW 即時整合，將 heatmap 轉換為 JSON 格式，並透過 TCP/IP Socket 傳輸協定（127.0.0.1:5005）傳送至指定埠口，使 LabVIEW 能同步接收並顯示統計結果，如圖 3.33 所示，達到跨平台、高度自動化與即時性之整合應用。

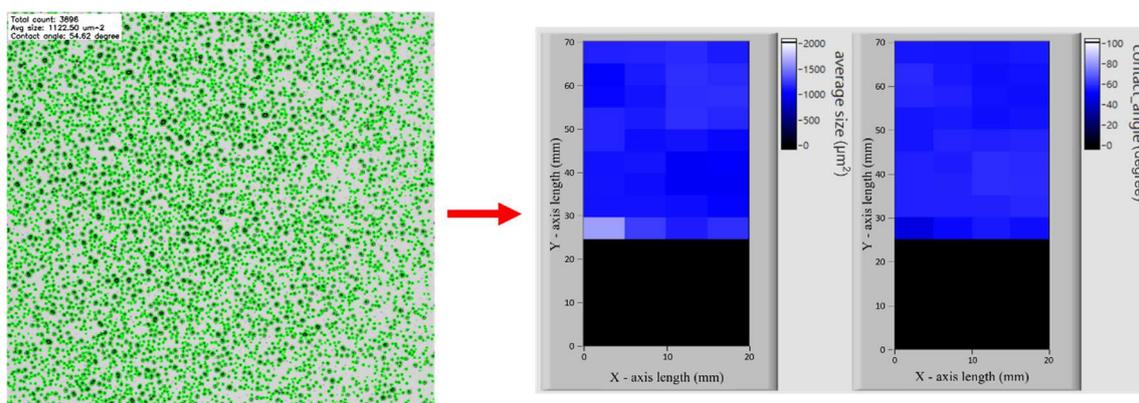


圖 3.33 輸出計算結果影像與傳輸資料至 LavVIEW 之功能示意圖。



### 3.6.4 平均霧滴面積轉換接觸角之功能

建立出檢量線之後，即可透過該檢量線之公式來將算得的平均霧滴面積轉換成接觸角，如圖 3.34 所示，並一樣透過前一小節說明的 TCP/IP Socket 傳輸協定將各子圖的接觸角換算結果以強度圖顯示於 LabVIEW 且輸出圖像。

```
1 if average_size_um2 > 0:
2     contact_angle = 2808.9 * average_size_um2 ** -0.561
3     contact_angle = max(0, min(90, contact_angle))
4 else:
5     contact_angle = 0
```

圖 3.34 平均霧滴面積換算成接觸角。

## 第四章 實驗方法與量測結果



### 4.1 材料選用

為驗證本研究所提出之線掃描相機辨識系統的可行性與效能，特別挑選了具高光反射率的樣本作為測試材料。由於本研究採用紫外線臭氧清潔機進行表面處理，所選材料亦需具備可經由該設備改質的特性。以下各小節將分別說明各類材料在本實驗架構下的適用性與可行性分析。

#### 4.1.1 矽晶圓樣本

矽晶圓因其表面具有優異的光反射特性，能在影像擷取過程中產生清晰且穩定的成像效果。對於使用點光源的本系統而言，這樣的光學性質有助於提升辨識精度與整體影像品質。此外，矽晶圓也適用於紫外線臭氧清潔機進行表面改質，能有效調整其表面性質以配合實驗需求。因此，本研究選擇矽晶圓作為主要測試樣品，用以建立檢量線並進行後續量測分析，以驗證系統在實際應用中的可行性與穩定性。圖 4.1 即為本研究所使用之 2 吋矽晶圓樣本(SGAST0017-02S, SCiKET)。

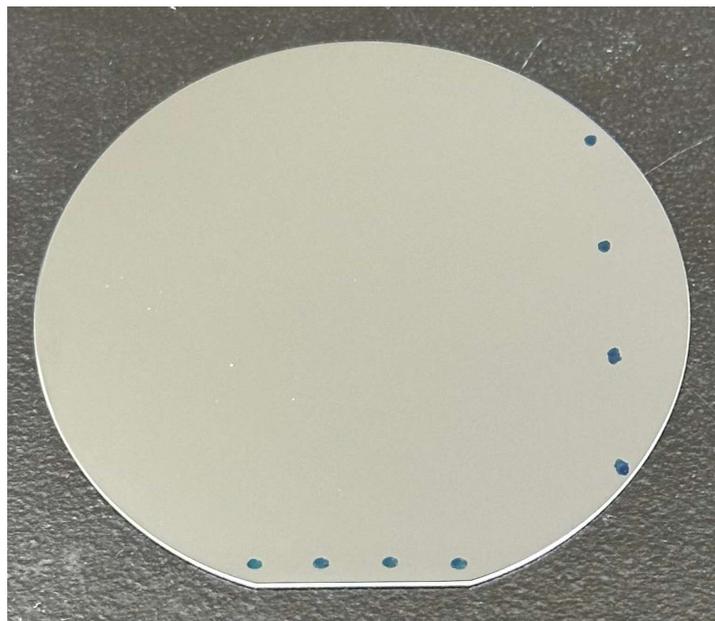


圖 4.1 矽晶圓樣本。



#### 4.1.2 聚醯亞胺膠帶樣本

聚醯亞胺(Polyimide)膠帶具備良好的光反射率與透明性，能貼在矽晶圓表面進一步提升影像亮度。此外，該材料亦可接受紫外線臭氧清潔機進行表面改質，符合本研究對於處理機制的技術要求。因此，本研究選擇聚醯亞胺膠帶作為驗證檢量線是否適用於不同材料之代表性樣本。圖 4.2 即為本研究所使用之聚醯亞胺膠帶貼於矽晶圓之樣本(Kapton tape, DuPont Kapton)。

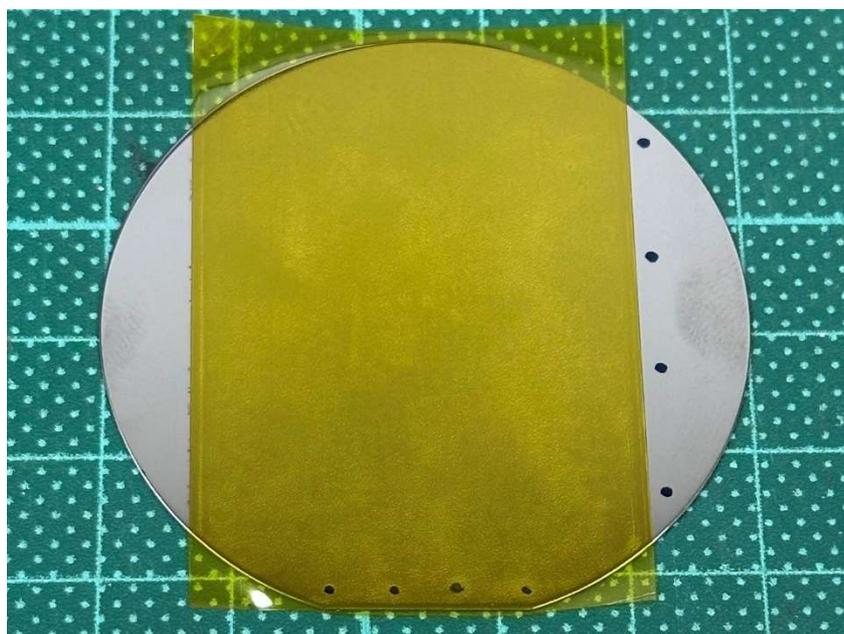


圖 4.2 聚醯亞胺膠帶樣本。

### 4.2 樣本製作及標準接觸角量測

#### 4.2.1 樣本製作

在確立本研究所需的量測模式並選定適當的材料樣本後，需進一步製備具備不同親水性的材料表面，以利觀察噴灑霧滴後其接觸角與平均霧滴面積間的變化關係。為達此目的，本研究採用市售紫外線臭氧清潔機 (Model 342, Jelight) [附錄 R] 進行表面改質處理，如圖 4.3 所示。該設備的運作原理為利用紫外光照射材料表面，使其表層分子中的主要與側鏈鍵結斷裂，進而釋放氫離子並與空氣中的氧離子

產生反應，最終於表面生成親水性官能基，如羥基 (-OH)、羧基 (-COOH) 或醛基 (-CHO)。這些基團可顯著提升材料對水的親和性，降低其接觸角，達到調整親水性的效果。

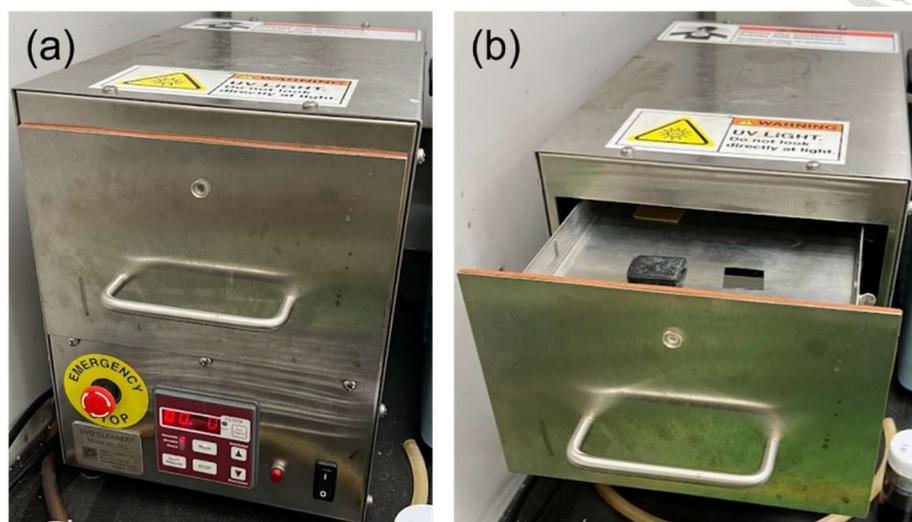


圖 4.3 紫外線臭氧清潔機，(a)外觀，(b)樣品放置空間。

#### 4.2.2 標準接觸角量測

在完成不同親水性表面的製備後，接著需對樣品表面的接觸角進行量測。本研究採用座滴法來量測接觸角的變化。座滴法量測系統由一台商用相機(DMK 21AU04, Imaging Source)[附錄 S]與遠心鏡頭(TEC-M55, Computar)[附錄 T]組成，用以精確捕捉液滴在樣本表面的輪廓影像。隨後，透過圖像分析軟體(FTA32, First Ten Angstrom)對影像進行計算，以求得水滴的接觸角大小。圖 4.4 為量測系統的實際架構，完整的量測流程如下：

1. 將待測樣品放置於量測平台上。
2. 使用微量注射器(GS-1200, Gilmont)[附錄 U]，在材料表面滴加  $2 \mu\text{L}$  的水滴作為測試液體。
3. 透過攝影裝置拍攝水滴在待測樣品表面的側面輪廓形狀。
4. 利用電腦分析軟體對水滴輪廓與樣品接觸處進行判讀，計算其所對應的接觸角，如圖 4.5 所示。

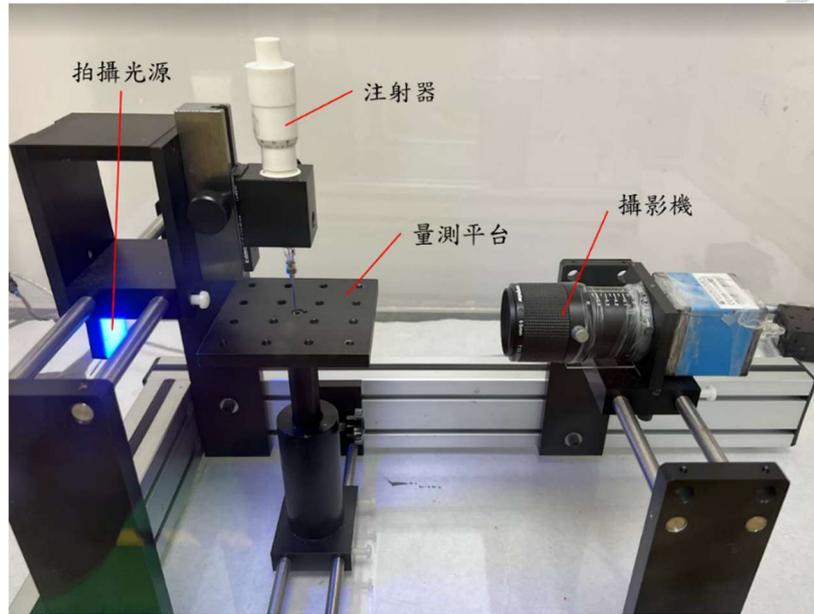


圖 4.4 座滴法量測系統。

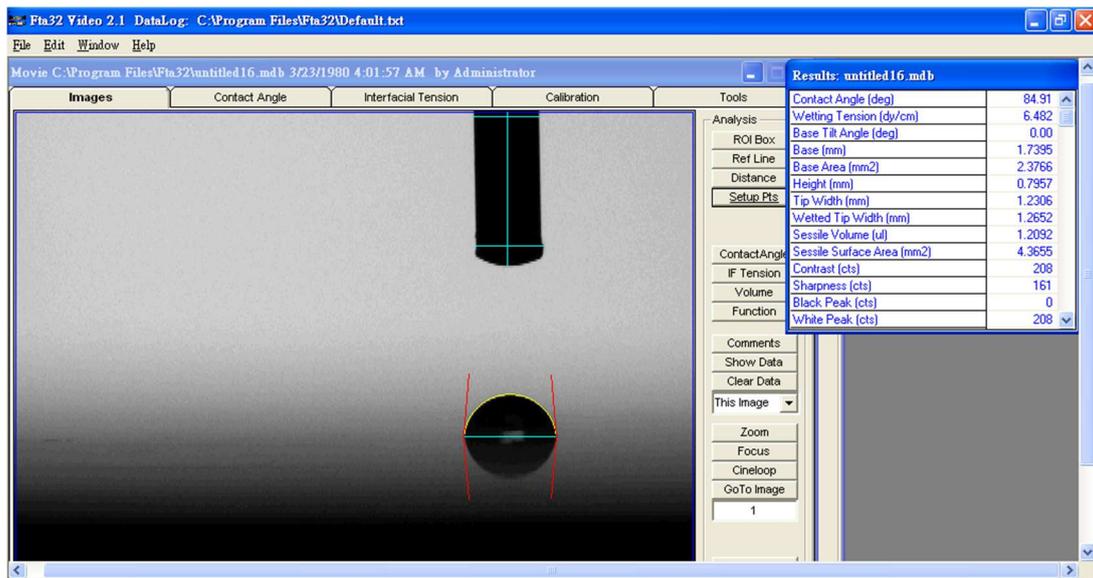


圖 4.5 電腦分析軟體進行接觸角判別。

本研究透過此量測儀器來進行矽晶圓與聚醯亞胺膠帶樣本之標準接觸角之量測。量測之前，先將待量測之樣本以麥克筆畫點作記劃分為 16 個區域，然後使用座滴法取得這 16 個區域之接觸角大小，如圖 4.6 所示。以表面改質處理 50 秒之矽晶圓樣本為例，用座滴法量測各區域的實際接觸角如圖 4.7 所示，而在同一改質時間的均勻矽晶圓樣品上所量測到的標準接觸角平均約為  $27.10 \pm 5.40$  度。

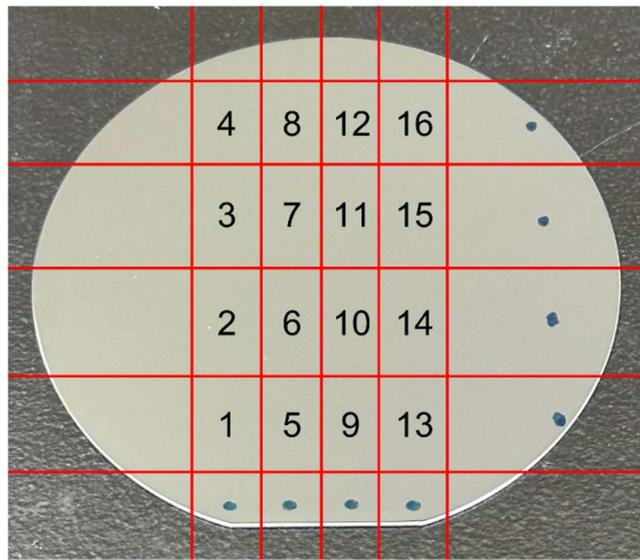


圖 4.6 矽晶圓樣本接觸角量測區域劃分。

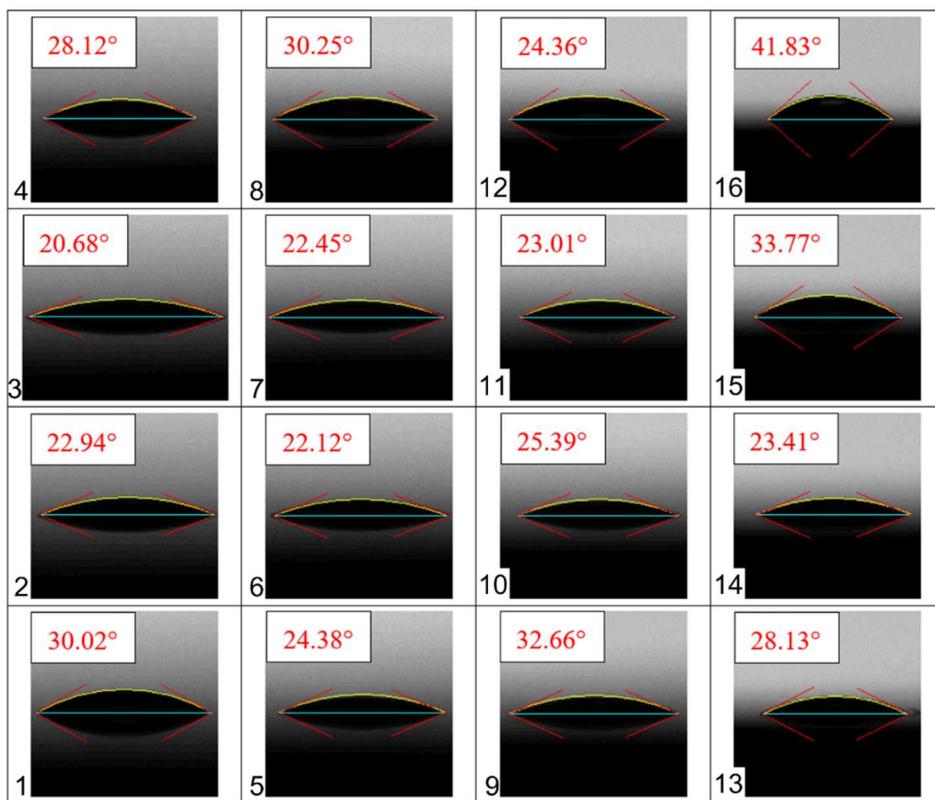


圖 4.7 表面改質處理 50 秒之矽晶圓樣本各區域之接觸角。

為了製備具備不同親水程度的樣品表面，可藉由調整材料表面改質的處理時間，進而獲得具有不同接觸角特性的表面。本研究透過接觸角 0 到 90 度的 18 組矽晶圓樣本來進行測試，並取得每一片矽晶圓上 16 個區域的資料，結果如圖 4.8

所示。從圖中可以看到，隨著改質時間的延長，樣品的接觸角逐漸減小，顯示出表面親水性隨處理時間增加而提升的趨勢，而此變化清楚地反映出改質時間對親水性控制的影響，而各親水處理時長對應之樣本表面接觸角平均值與標準差列於表 4.1 中。

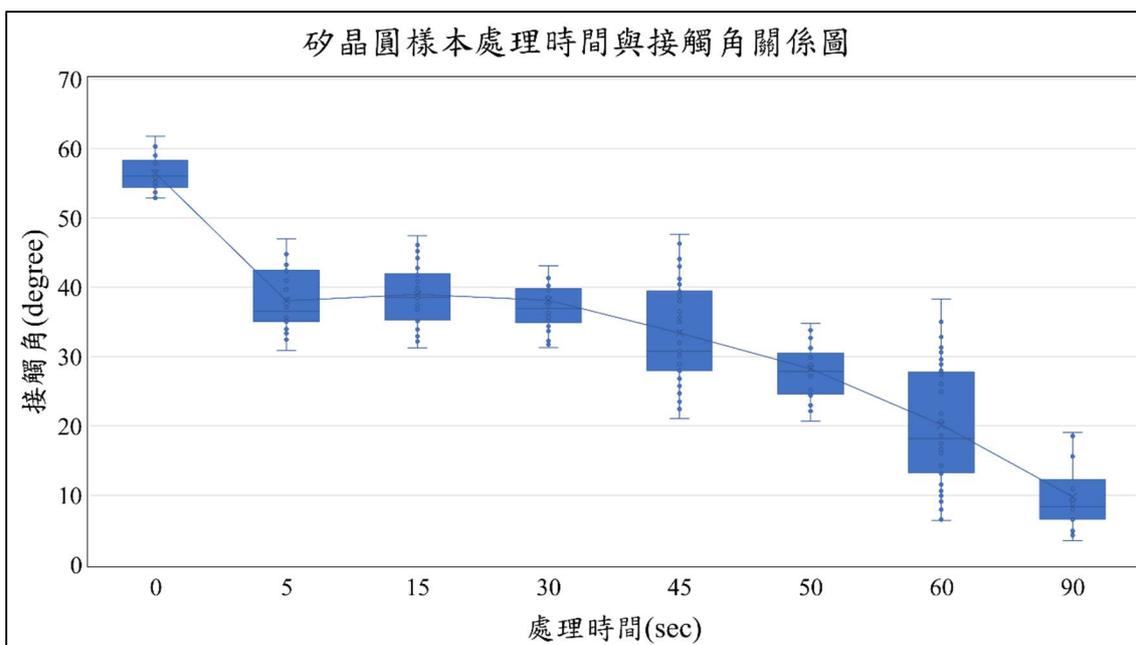


圖 4.8 矽晶圓樣本處理時間與接觸角關係圖。

表 4.1 各樣本處理時間之接觸角平均值與標準差。

處理時間	0s	15s	15s	30s	45s	50s	60s	90s
平均值 (degree)	56.43	38.04	38.94	38.08	33.38	28.22	20.13	9.76
標準差 (degree)	2.34	4.32	4.43	5.23	7.41	4.94	8.48	4.84

### 4.3 噴霧參數調整及檢量線建構

透過前幾個小節的步驟取得具有已知接觸角的樣本後，即可進一步分析各樣

本之接觸角大小與霧滴平均面積之間的關聯性。根據此關聯性，可針對特定材料建立接觸角對應面積的檢量線，作為後續評估未知接觸角樣品的依據。然而，為提升量測結果的一致性與準確性，實驗開始前需先進行影像尺寸的校準以及調整噴霧系統的參數。正確の影像尺寸以及穩定且平均分布の霧滴，是確保面積統計具有代表性、並減少誤差の關鍵。因此，在第 4.3.1 與 4.3.2 小節中，將說明本研究如何進行影像尺寸の校準與噴霧參數の設定與優化，以建立穩定の影像量測條件。

### 4.3.1 影像尺寸校準

由於相機每個像素的邊長為  $3.5\ \mu\text{m}$ ，且鏡頭放大倍率為 1 倍，因此當單張影像的寬度設定為 1440 像素時，對應的實際寬度應為 5.04 mm。為驗證影像尺寸の準確性，本研究使用 Huirong ideas 所提供之標準校正片進行量測。實際量測結果如圖 4.9 所示，可觀察到單張影像寬度約為 5 mm，證實影像尺寸設定無誤。

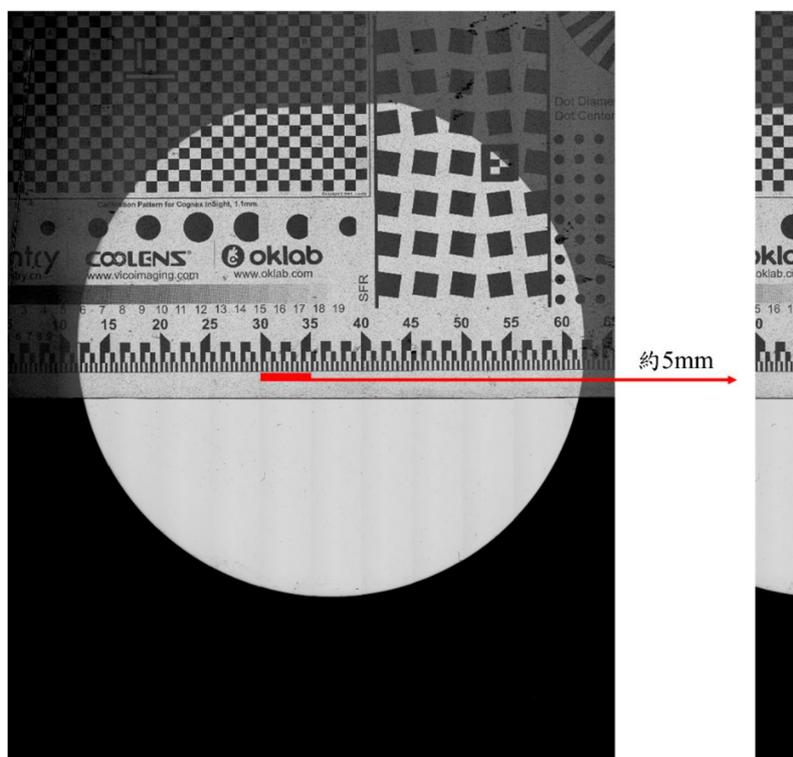


圖 4.9 線相機擷取之標準校正片影像。



### 4.3.2 噴霧參數調整

在進行噴霧參數的調整時，為建立涵蓋疏水至親水範圍的檢量線，需特別確保霧滴在影像中呈現為穩定且平均分布的分離霧滴狀態。若噴灑水量過多或是太集中，霧滴容易提前融合為水膜，進而影響低接觸角樣品之間的區辨能力。為避免此情形影響檢量線的建立與適用性，本研究選擇接觸角約為 20 度之矽晶圓樣品作為噴霧條件調整的基準，以此確保在接觸角 20 度的樣品影像中霧滴仍呈現分離狀態，提升後續面積量測與表面親水性判別的穩定性與準確性。

調整過程中，主要針對噴頭與樣品表面之間的高度、針筒幫浦的注射速率，以及氣壓大小進行優化，目標為在樣品表面形成寬度約等於影像擷取範圍的均勻霧滴分布。經多次實驗調整後，最終確定噴頭與樣品表面距離為 65 mm，注射量為每小時 4 mL，氣壓為 10 psi，此條件下可穩定形成約 5 mm 寬度的霧面，如圖 4.10 與圖 4.11 所示。

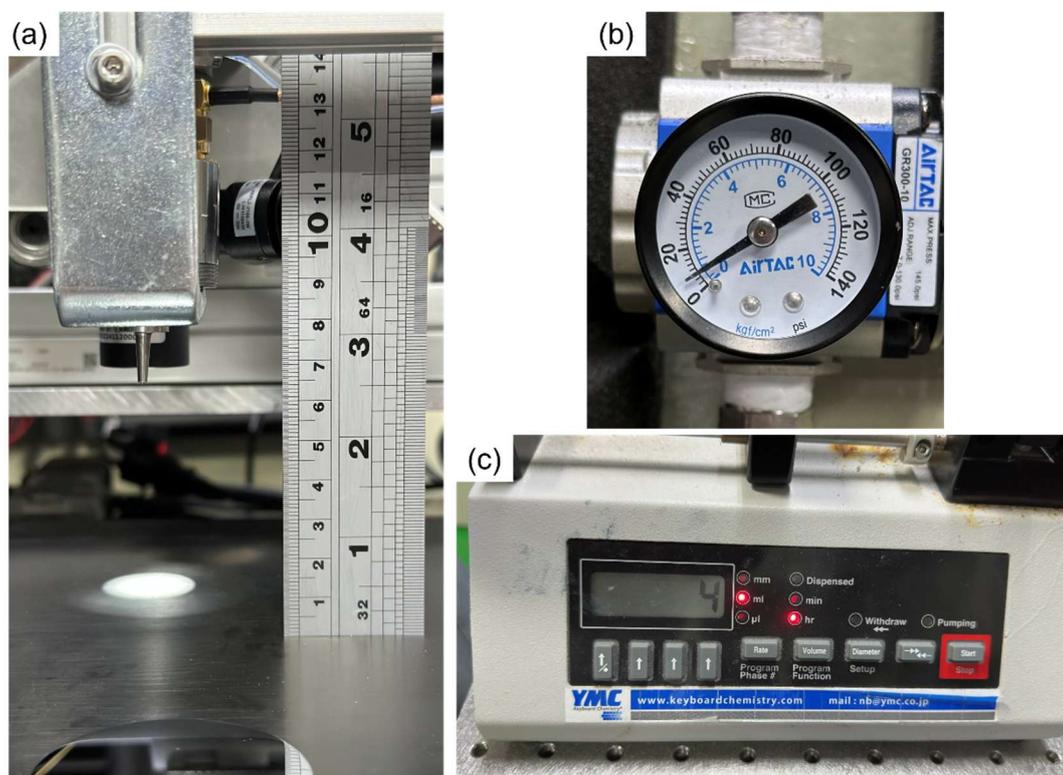


圖 4.10 噴霧參數實際設置圖。

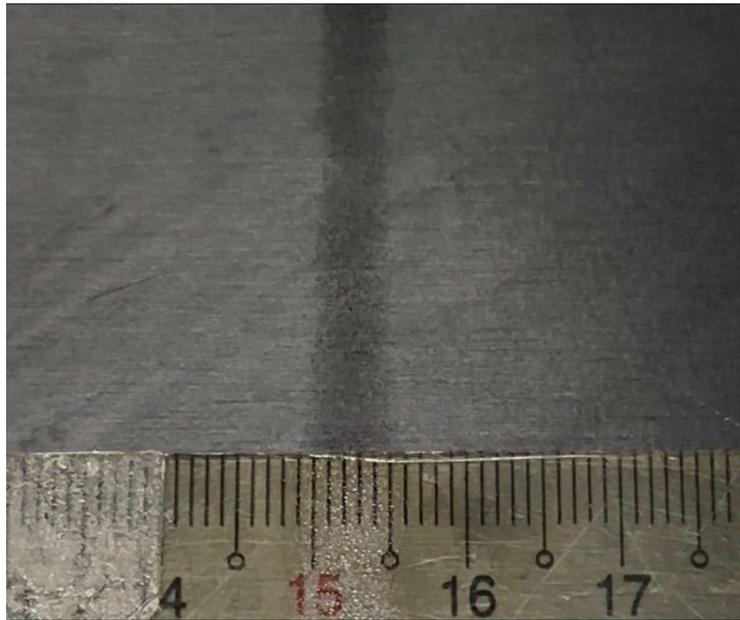


圖 4.11 噴霧寬度實際測量圖。

### 4.3.3 檢量線建置

在完成噴霧參數設定後，本研究進一步建立矽晶圓樣本與聚醯亞胺膠帶樣本的檢量線，使用者可根據此檢量線，透過影像擷取並統計得到的平均霧滴面積，反推待測區域的接觸角大小。

檢量線的建立是透過實驗設備針對經第 4.2 節之步驟，完成表面處理及標準接觸角量測之多組不同表面親水性的矽晶圓樣本與聚醯亞胺膠帶樣本進行量測。實驗流程為：在樣本表面噴灑水霧後，針對事先劃分的 16 個邊長為 5.04 mm 的正方形區域進行量測，並計算各區域內霧滴的平均面積。由於樣本各區域的標準接觸角已於第 4.2 節之步驟獲得，因此可將各區域的平均霧滴面積作為對應該接觸角的特徵參數，據此建立接觸角與平均霧滴面積之對應關係，並以此對應關係作為轉換公式，提供後續量測與評估的依據，矽晶圓樣本與聚醯亞胺膠帶的檢量線分別如圖 4.12 與圖 4.13 所示，兩者的檢量線公式分別為  $y = 2808.9 * x^{-0.561}$  及  $y = 3823.4 * x^{-0.551}$ 。透過將辨識得到之面積數值代入減量線公式之  $x$  值，即可得出相對應之接觸角值  $y$ 。透過矽晶圓樣本之檢量線來將未處理的矽晶圓樣本量測到的平均面積數據轉換成接觸角，並與標準接觸角所計算出的平均值與標準差作比對。未處理的

矽晶圓樣本使用檢量線轉換的接觸角數據之平均值與標準差約為  $55.1 \pm 1.81$  度，跟標準接觸角的平均值與標準差  $56.43 \pm 2.34$  度接近，且標準差比使用座滴法量測到的數據還低，以此可驗證本研究之量測系統之準確度。在圖 4.12 與圖 4.13 中皆可觀察到當接觸角較低時，其對應的平均霧滴面積有更明顯的增幅。其潛在成因將於後續第 4.4.1 節中進一步探討與說明。

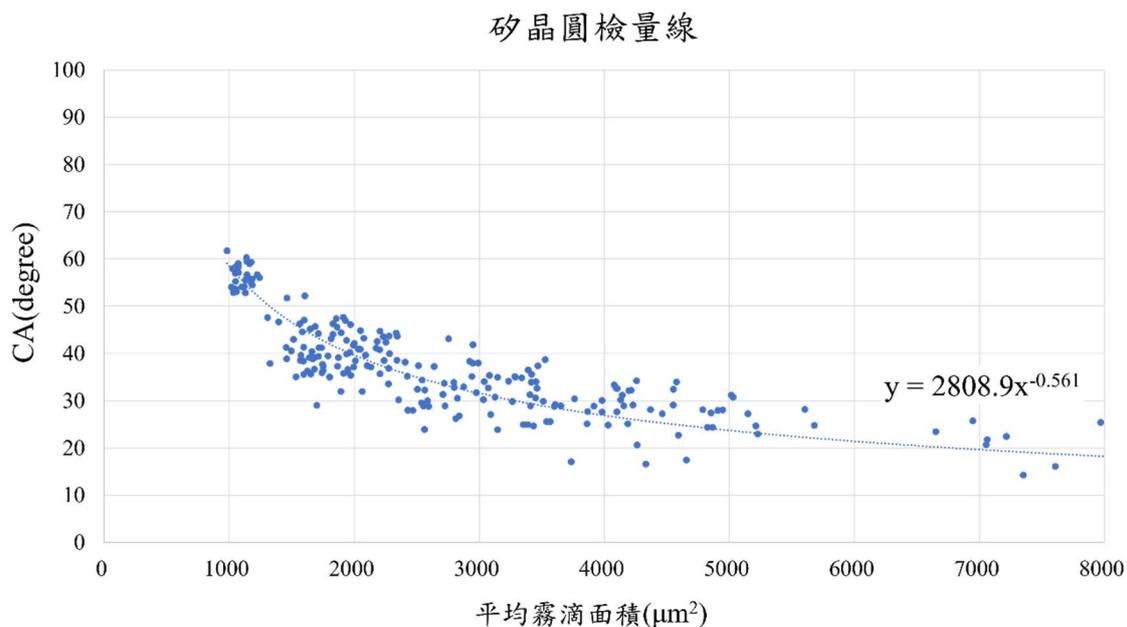


圖 4.12 矽晶圓樣本之檢量線。

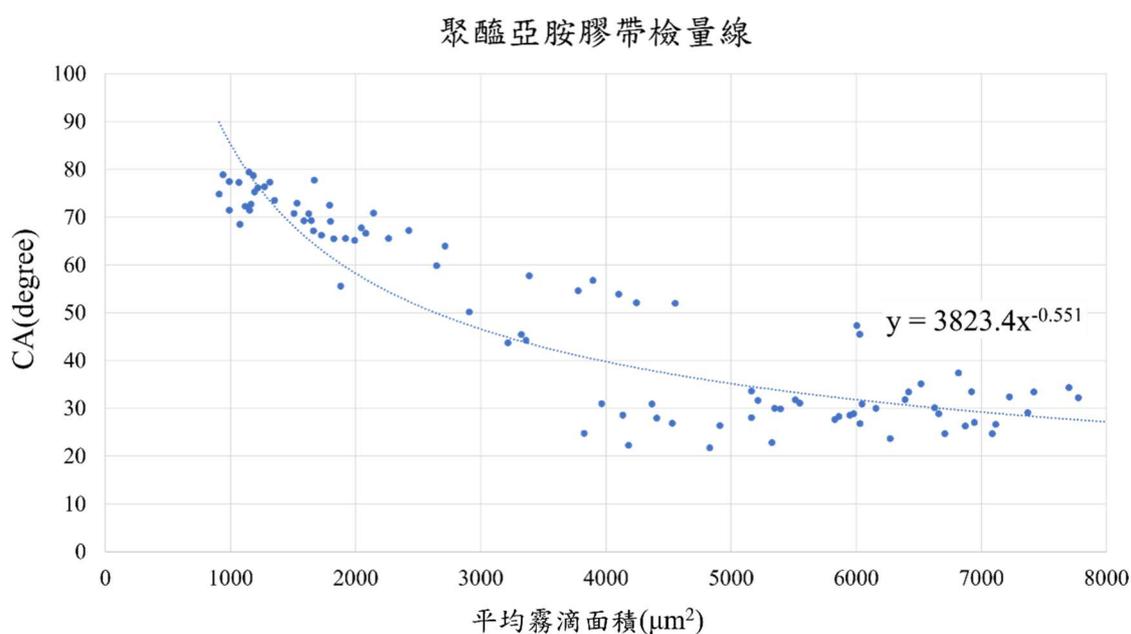


圖 4.13 聚醯亞胺膠帶樣本之檢量線。

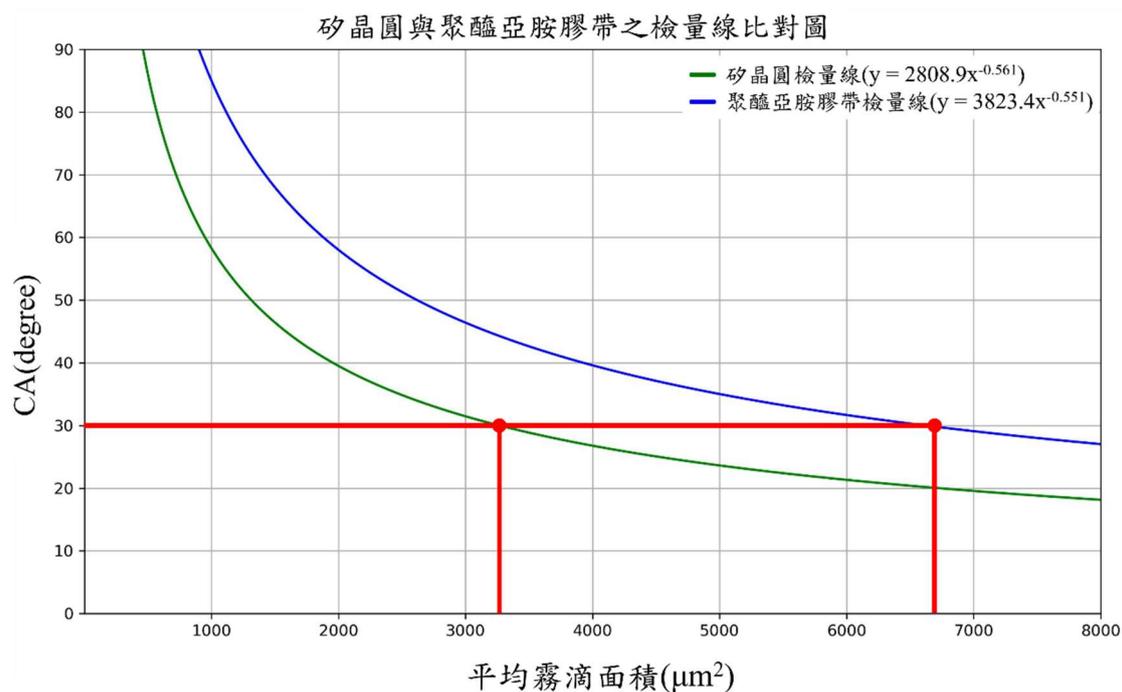


圖 4.14 矽晶圓與聚醯亞胺膠帶之檢量線比對圖。

將兩種樣本之檢量線進行比對，發現兩條檢量線之間有偏移的現象，在相同的標準接觸角中兩種樣本所對應的平均霧滴面積有一段差異。尤其是在標準接觸角約 30 度時，矽晶圓樣本對應的平均霧滴面積僅約  $3451 \mu\text{m}^2$ ，且單張小圖影像中包含的霧滴數量為 2285 顆，而聚醯亞胺膠帶樣本對應的平均霧滴面積則是約  $6800 \mu\text{m}^2$ ，包含的霧滴數量則下降為 1496 顆，如圖 4.14 至圖 4.16 所示。本研究認為造成此偏移的原因在於樣本表面的整潔度與平整度，圖 4.15 為矽晶圓經表面親水處理 1 min 之樣本表面的標準接觸角與影像辨識結果圖，可以看到由於矽晶圓表面相對光滑且平整，因此霧滴在表面依舊能呈現獨立且圓形度較高的形狀。若是表面有刮痕或是不平整，將會導致霧滴呈現不規則狀，如圖 4.16 所示。圖 4.16 為聚醯亞胺膠帶經表面親水處理 3 min 之樣本表面的標準接觸角與影像辨識結果圖，由於膠帶表面可能留有刮痕或撕拉的痕跡，將導致霧滴噴在樣本表面後容易匯聚成不規則的大塊面積，導致統計出來的平均霧滴面積大幅增加，進而使檢量線產生偏移的現象。相同的情況在較疏水的表面也能觀察到，在標準接觸角約 55 度時，矽晶圓樣本對應的平均霧滴面積僅約  $846 \mu\text{m}^2$ ，且單張小圖影像中包含的霧滴數量為 2739



類，而聚醯亞胺膠帶樣本對應的平均霧滴面積則是約  $1593 \mu\text{m}^2$ ，包含的霧滴數量則為 3681 顆，如圖 4.17 與圖 4.18 所示。

因此，為確保量測之準確性，使用本研究之系統進行量測前都須針對不同的樣本表面建立各自的檢量線。

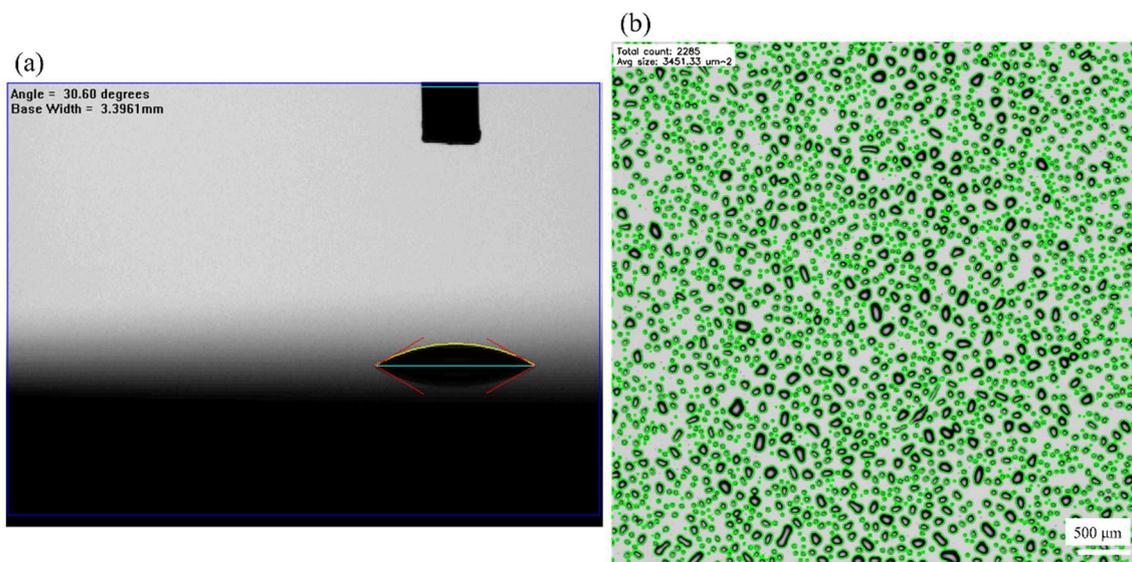


圖 4.15 矽晶圓樣本表面經親水處理 1min 的(a)標準接觸角與(b)影像辨識結果圖。

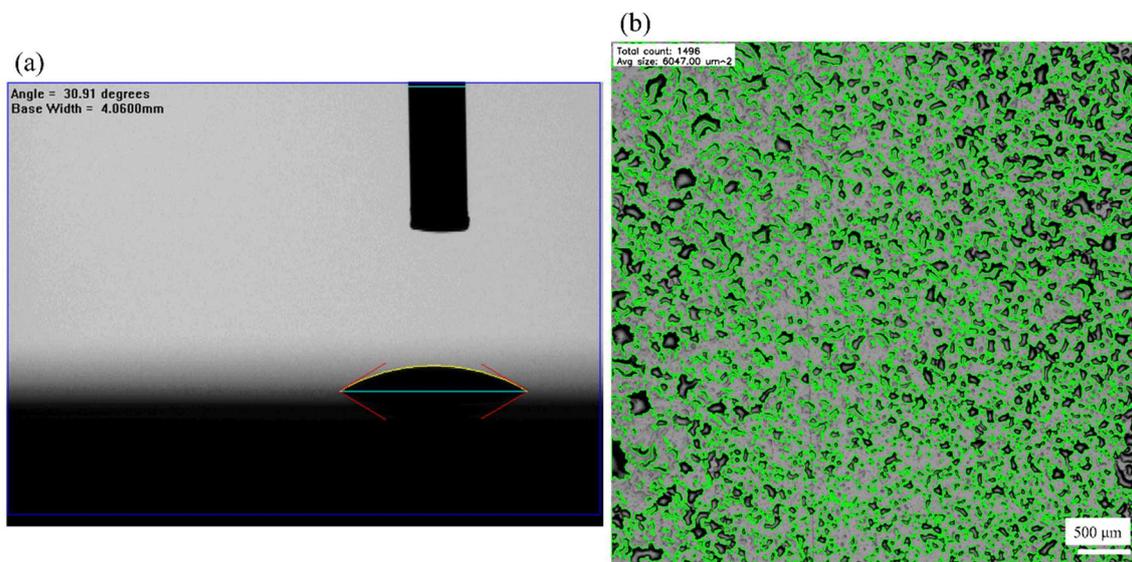


圖 4.16 聚醯亞胺膠帶樣本表面經親水處理 3 min 的(a)標準接觸角與(b)影像辨識結果圖。

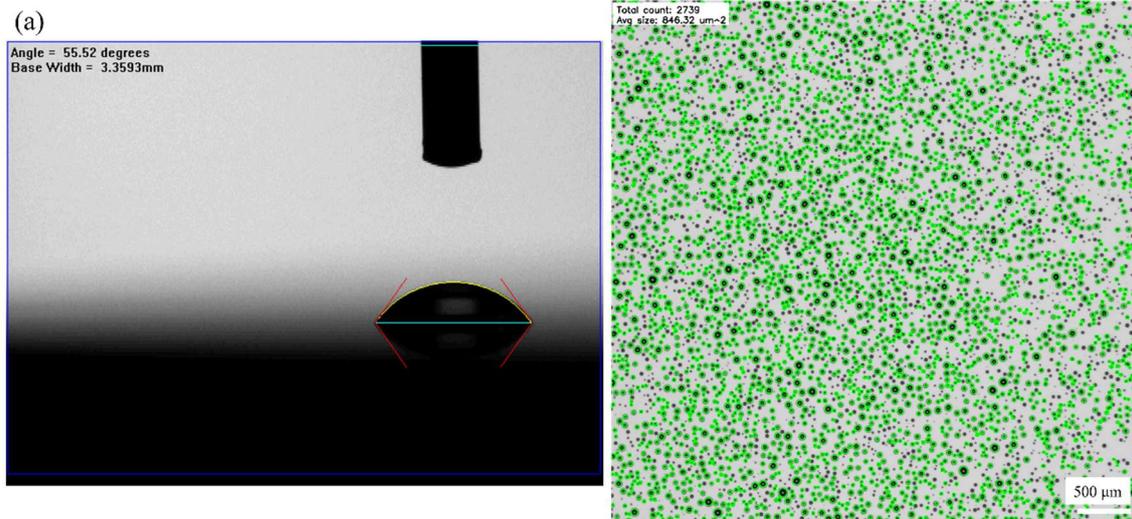


圖 4.17 矽晶圓樣本表面未經親水處理的(a)標準接觸角與(b)影像辨識結果圖。

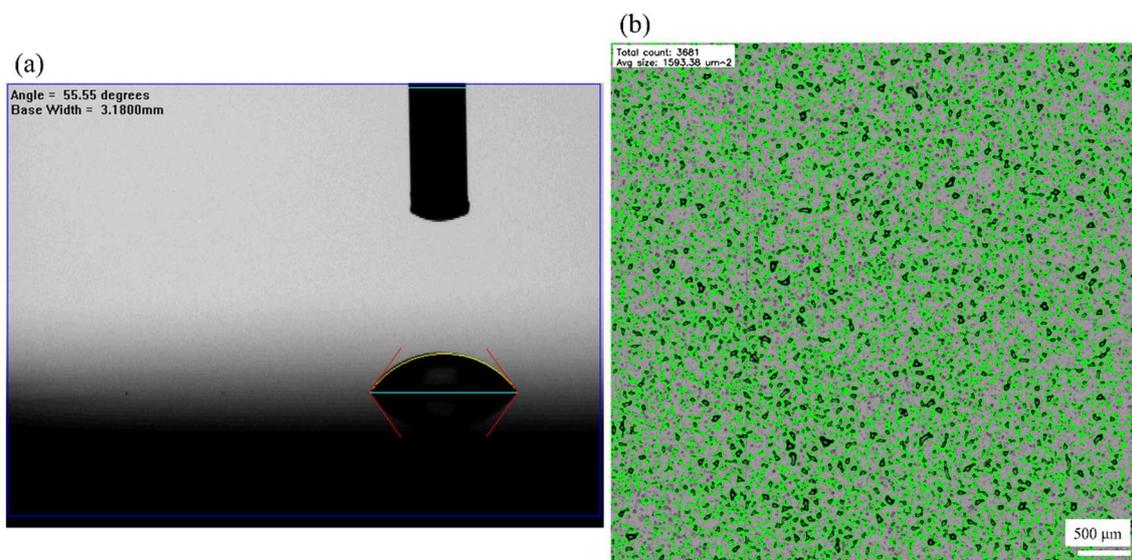


圖 4.18 聚醯亞胺膠帶樣本表面經親水處理 2 min 的(a)標準接觸角與(b)影像辨識結果圖。

#### 4.4 表面親疏水特性成像量測

在建置完成檢量線後，本研究進一步利用實驗設備對矽晶圓與聚醯亞胺膠帶樣本進行表面濕潤性量測。為有效呈現系統之辨識與分析能力，將分別於樣本表面製作出親水區與疏水區。



#### 4.4.1 矽晶圓樣本之表面濕潤性量測

首先在矽晶圓表面部分區域貼上約 2.5 cm × 2.5 cm 的膠帶，以遮蔽其下方區域，如圖 4.19 所示，使其在後續的紫外線臭氧清潔機表面處理過程中不會受到改質，維持原有疏水性，而未貼膠帶的區域則經由紫外線臭氧清潔機處理 30 sec 產生表面能變化，形成具有親水特性的區域。表面處理完之後再將膠帶撕掉進行量測，此對比設計可有效驗證系統對矽晶圓樣本不同表面濕潤性的辨識準確性與穩定性。

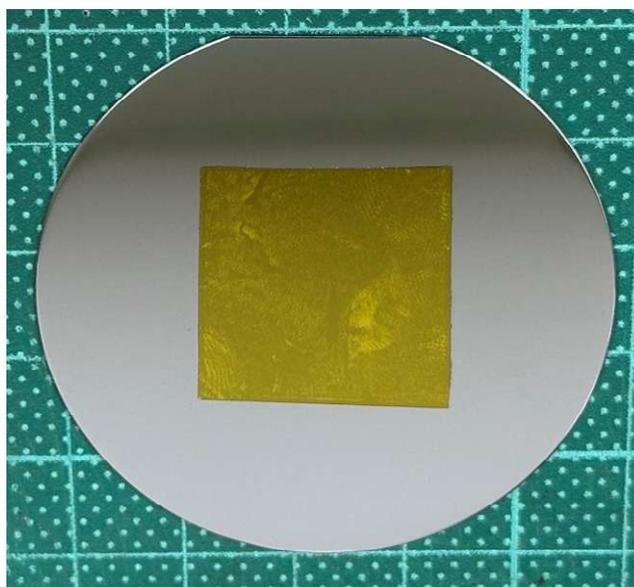


圖 4.19 部分經表面改質的矽晶圓樣本。

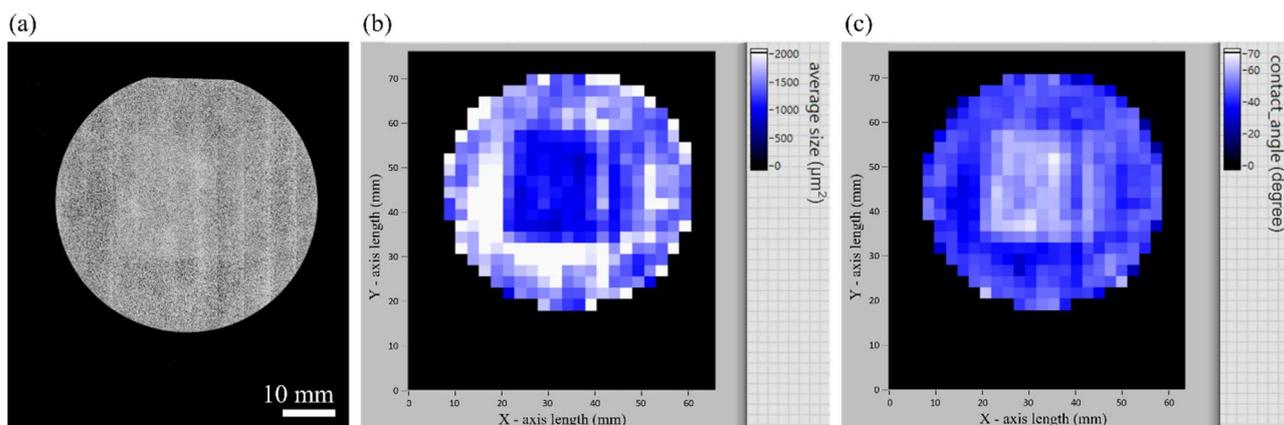


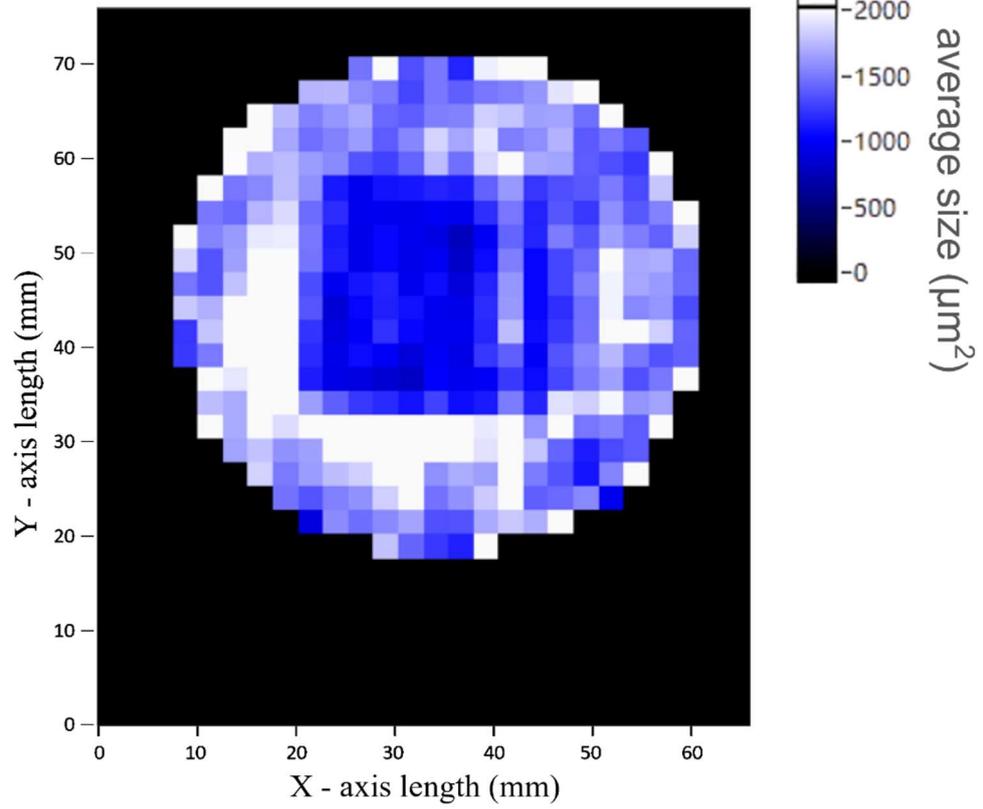
圖 4.20 矽晶圓樣本於系統之量測結果，(a)為合併之全圖，(b)為平均霧滴面積強度圖，(c)為平均接觸角強度圖。



完成樣本表面改質後，本研究以單張掃描寬度為 5.04 mm、長度為 75.6 mm 的設定，對樣本進行自動化掃描與影像擷取。整體掃描過程耗時約 2 分 22 秒，共擷取了 13 張影像，每一張影像皆為 1440 pixels × 21600 pixels，總掃描寬度為 65.52 mm、長度為 75.6 mm。接著將擷取得到的 13 影像都切割成 30(行) × 2(列)之小圖，每一張小圖皆為 720 pixels × 720 pixels (即 2.52 × 2.52 mm<sup>2</sup>)，然後進行影像辨識獲得每一張小圖的霧滴平均面積並透過矽晶圓樣本之檢量線公式  $y = 2808.9 * x^{-0.561}$  換算成接觸角數據，最後將所有數據依照順序分別填入平均霧滴面積與接觸角的二維陣列中，並以強度圖呈現於 LabVIEW 中，如圖 4.20 所示。其中圖(a)是大小為 18720 × 21600 pixels 的實際影像合併圖，圖(b)為霧滴平均面積所生成的強度圖，圖(c)則為根據接觸角換算結果所繪製之強度圖。在圖(c)的接觸角強度圖中，可清楚觀察到中央較淺色區域對應於接觸角較大之區域，平均霧滴面積約為  $1108.66 \pm 213.29 \mu\text{m}^2$ ，對應之平均接觸角大小約為  $55.8 \pm 5.46$  度，與原樣本中未經紫外線臭氧處理，即疏水區之位置一致，且與隨機量測之標準接觸角(55.92 度)相近，顯示本系統具有良好的量測準確性與區域辨識能力。而樣本外圍則是接觸角較小的親水區，平均霧滴面積約為  $1824.22 \pm 724.32 \mu\text{m}^2$ ，平均接觸角約為  $43.29 \pm 6.28$  度，亦與隨機量測三點之標準接觸角平均值(43.32 度)高度一致。除此之外，量測的接觸角標準差值也與前面的圖 4.7 中所量測之標準接觸角的標準差相近，進一步驗證本研究系統於不同表面性質區域之準確量測能力。

另外，由圖 4.21 與圖 4.22 可以更清楚的觀察到矽晶圓樣本親水及疏水表面的平均液滴面積與接觸角差異，圖 4.21(a)為矽晶圓樣本的平均液滴面積強度圖，(b)為紅線處之截面圖，圖 4.22 (a)為矽晶圓樣本的接觸角強度圖，(b)為紅線處之截面圖，兩張截面圖顯示了中間 X 軸位置約 20 mm 至 45 mm 的疏水區域，平均液滴面積略低於兩旁的親水區域，而接觸角數值則略高於兩旁。由圖 4.20 至圖 4.22 可快速辨識親水與疏水區域的分布與邊界，驗證本系統於矽晶圓樣本表面性質判別上的有效性。

(a)



(b)

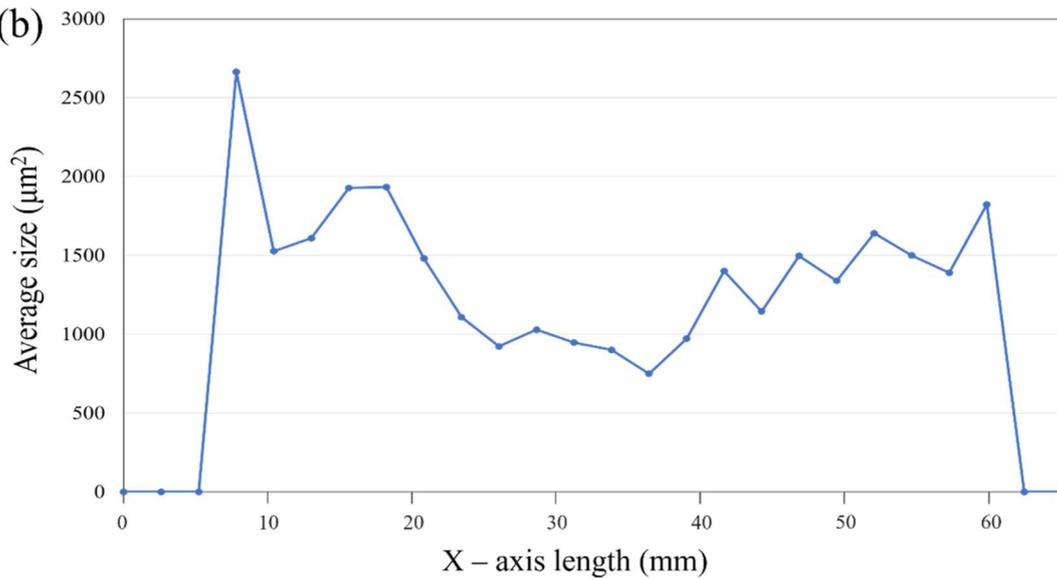


圖 4.21 矽晶圓樣本之(a)平均液滴面積強度圖及(b)截面圖。

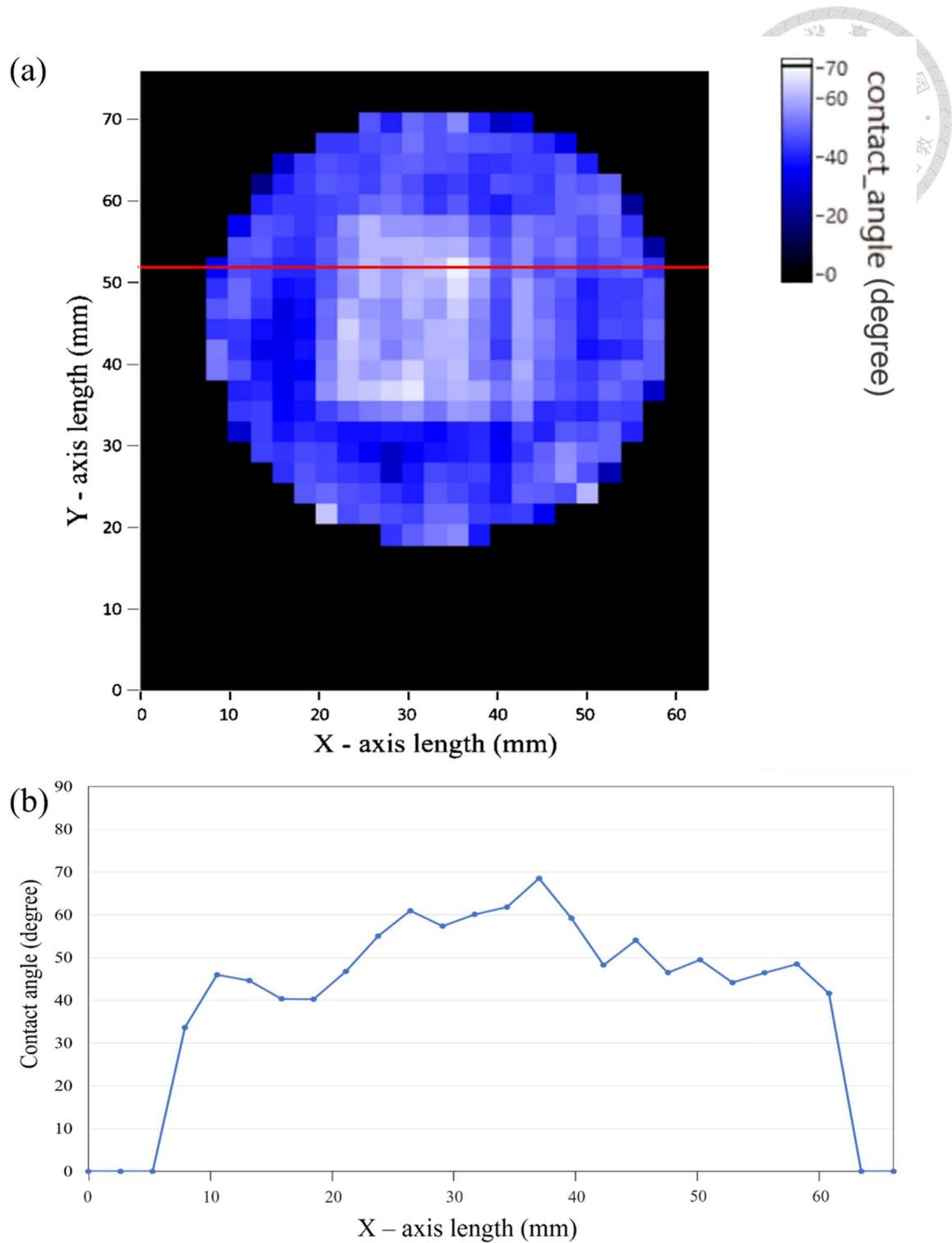


圖 4.22 矽晶圓樣本之(a)接觸角強度圖及(b)截面圖。

為了進一步評估量測系統的性能，本研究針對單張小圖進行霧滴面積及對應接觸角的分布分析，並以標準差作為判斷量測穩定性與一致性的指標。透過影像辨識擷取霧滴輪廓後，統計各影像中所有霧滴的面積與其轉換所得之接觸角，進而繪製對應之直方圖。分布的平均值反映該區域的表面性質，而標準差則量化資料的離

散程度，提供量測準確度之佐證。此分析有助於比較不同表面改質條件下的濕潤行為，並驗證影像處理與接觸角換算模型的可靠性。

如圖 4.23 所示，噴霧於矽晶圓疏水表面所形成之霧滴總數為 1150 個，平均霧滴面積為  $900.79 \mu\text{m}^2$ ，對應之平均接觸角為  $61.80^\circ$ 。此結果顯示霧滴於表面上傾向維持球形且不易展開，為典型疏水性表面的濕潤行為。從面積分布直方圖可觀察到霧滴面積主要集中於  $500$  至  $900 \mu\text{m}^2$  之間，標準差為  $756.54 \mu\text{m}^2$ ，接觸角主要分布於  $50^\circ$  至  $70^\circ$  區間，標準差為  $33.93^\circ$ ，顯示該表面整體具疏水性，但仍有一定程度之區域性差異導致偏高的標準差數值，可能源於表面之微觀粗糙度及不均勻性。

相較之下，圖 4.24 中顯示噴霧於經親水處理之矽晶圓表面所形成之霧滴總數為 762 個，雖數量相對較少，但霧滴的平均面積顯著上升至  $2454.36 \mu\text{m}^2$ ，對應之平均接觸角則明顯下降至  $35.22^\circ$ 。此結果顯示霧滴於矽晶圓親水表面上易於鋪展，形成較大面積之霧滴，為典型親水性表面的濕潤行為。從面積分布直方圖可見，霧滴面積主要集中於  $500$  至  $1500 \mu\text{m}^2$  之間，但標準差高達  $2454.39 \mu\text{m}^2$ ，接觸角分布則以  $20^\circ$  至  $60^\circ$  為主，標準差也高達  $33.24^\circ$ 。

兩種表面的量測結果皆有大多數霧滴尺寸偏小，僅有少數顯著較大的霧滴造成整體平均值提升之現象，同時也導致了標準差數值的提高現象。尤其是親水表面因其更容易形成較大面積之霧滴，甚至進一步與相鄰霧滴結合，而導致霧滴尺寸變異性比疏水表面更大。使得親水表面在本實驗量測系統下的霧滴平均面積數值變動極大，可對應到 4.3.3 節中的檢量線中接觸角值變化不大，但對應之平均霧滴面積變化幅度甚鉅的現象。

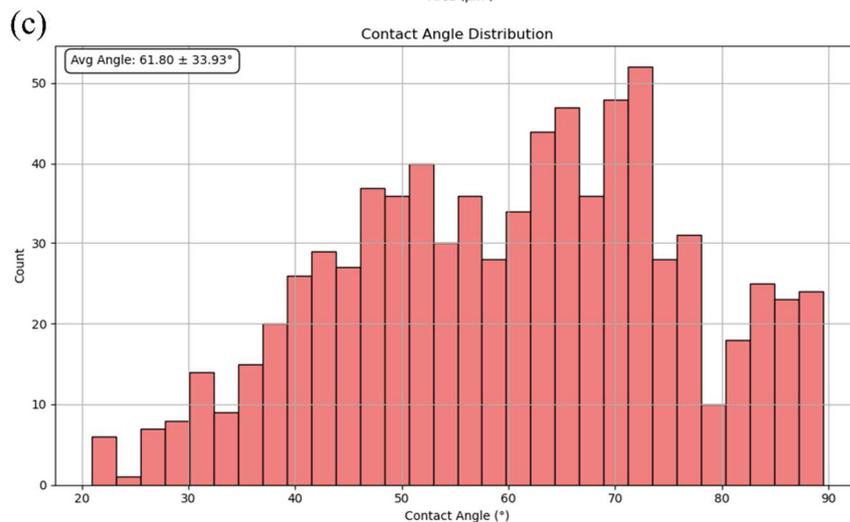
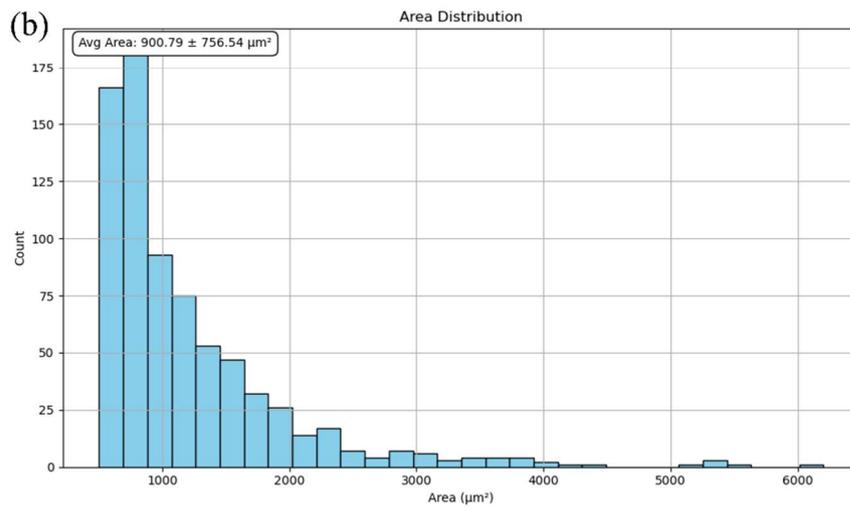
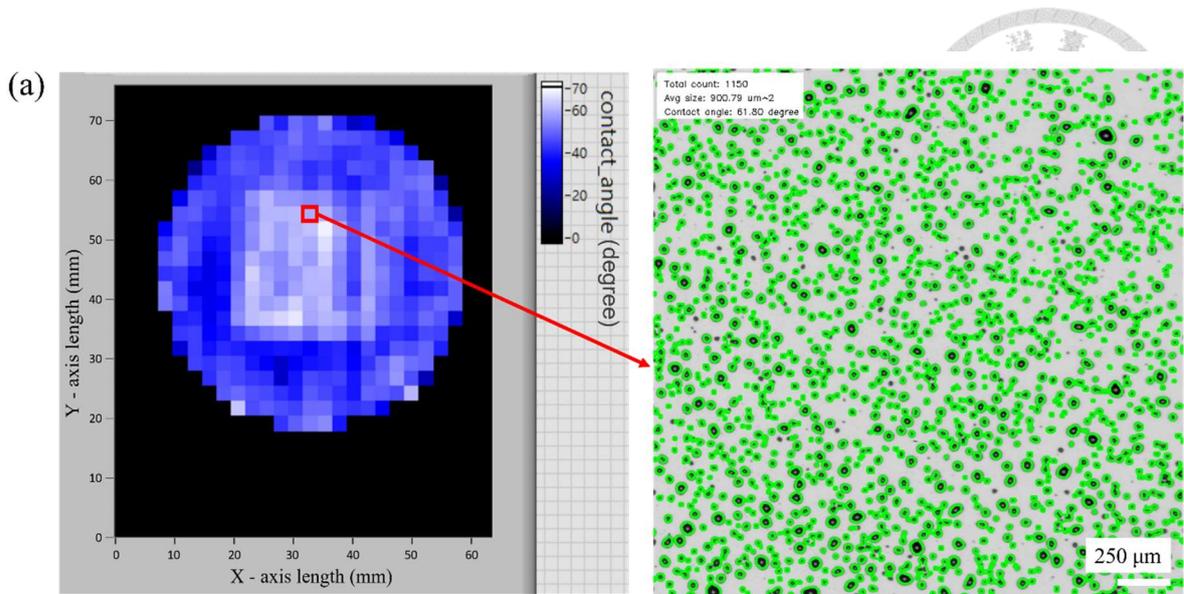


圖 4.23 矽晶圓樣本疏水部分之霧滴面積及接觸角的分布分析，(a)影像辨識結果圖與其像對應位置，(b)小圖之霧滴面積分布圖及平均霧滴面積與標準差，(c)小圖之霧滴接觸角分布圖及平均接觸角與標準差。

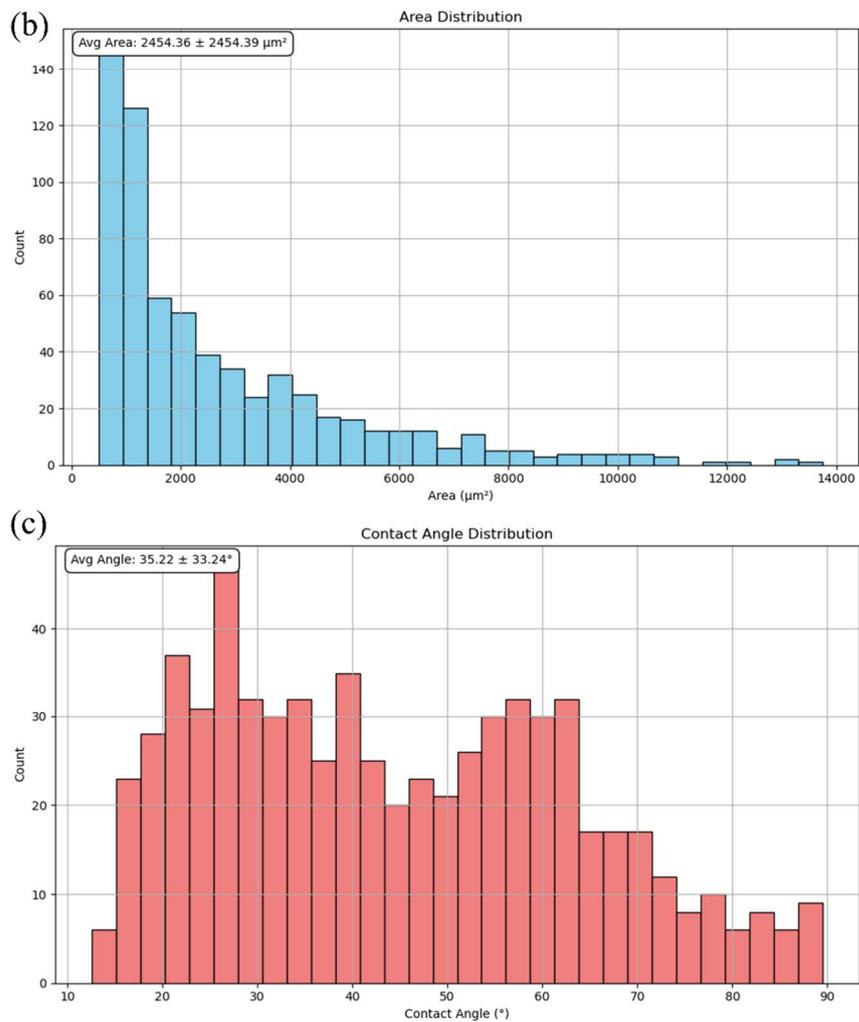
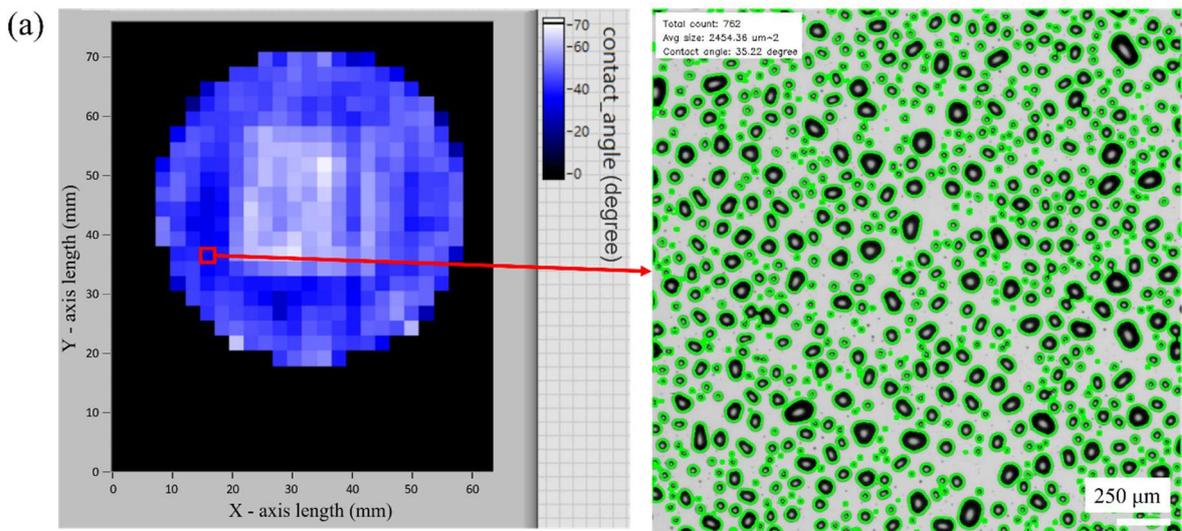


圖 4.24 矽晶圓樣本親水部分之霧滴面積及接觸角的分布分析，(a)影像辨識結果圖與其像對應位置，(b)小圖之霧滴面積分布圖及平均霧滴面積與標準差，(c)小圖之霧滴接觸角分布圖及平均接觸角與標準差。



#### 4.4.2 聚醯亞胺膠帶樣本之表面濕潤性量測

為驗證系統與檢量線對聚醯亞胺膠帶樣本不同表面濕潤性的辨識準確性與穩定性。本研究先在矽晶圓右半部貼上聚醯亞胺膠帶，如圖 4.25 所示，然後透過紫外線臭氧清潔機處理 2 min 產生表面能變化，形成具有親水特性的區域。接下來直接在左半部貼上未經處理的聚醯亞胺膠帶作為疏水區。

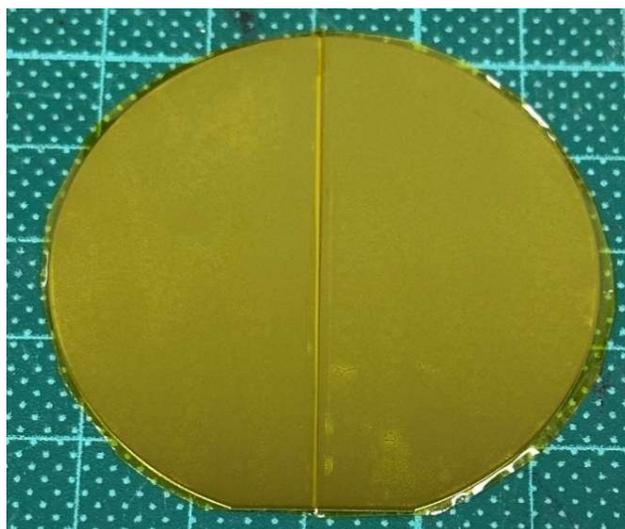


圖 4.25 部分經表面改質的聚醯亞胺膠帶樣本。

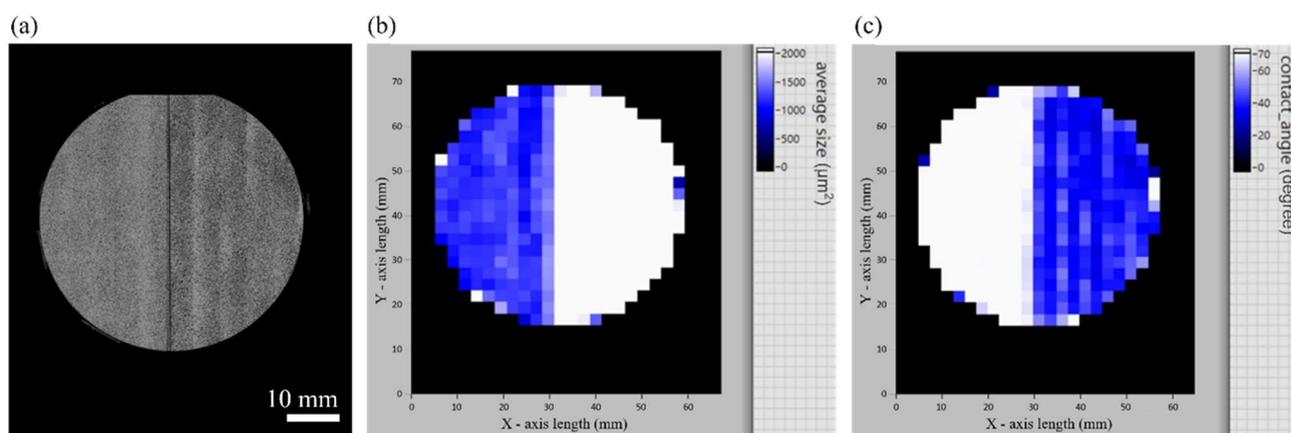


圖 4.26 聚醯亞胺膠帶樣本於系統之量測結果，(a)為合併之全圖，(b)為平均霧滴面積強度圖，(c)為平均接觸角強度圖。

完成樣本表面改質後，本研究以跟矽晶圓樣本相同的擷取設定來對聚醯亞胺膠帶樣本進行自動化掃描與影像擷取。接著將擷取得到的 13 影像都切割成 30(行)



× 2(列)之小圖，每一張小圖皆有 720 pixels × 720 pixels(即 2.52 × 2.52 mm<sup>2</sup>)，然後進行影像辨識獲得每一張小圖的平均霧滴面積並透過聚醯亞胺膠帶樣本之檢量線公式  $y = 3823.4 * x^{-0.551}$  換算成接觸角數據。最後將所有數據依照順序分別填入平均霧滴面積與接觸角的二維陣列中，並以強度圖呈現於 LabVIEW 中，如圖 4.26 所示。其中圖(a)是大小為 18720 pixels × 21600 pixels 的實際影像合併圖，圖(b)為霧滴平均面積所生成的強度圖，圖(c)則為根據接觸角換算結果所繪製之強度圖。在圖(c)的接觸角強度圖中可清楚觀察到左邊較白的區域對應於接觸角較大之區域，平均霧滴面積約為  $1359.98 \pm 1062.33 \mu\text{m}^2$ ，對應之平均接觸角大小約為  $75.39 \pm 8.05$  度，與原樣本中未經紫外線臭氧處理，即疏水區之位置一致，且與隨機量測三點之標準接觸角平均值(76.31 度) 相近，顯示本系統在聚醯亞胺膠帶樣本也具有良好的量測準確性與區域辨識能力。而右邊則是接觸角較小的親水區，平均霧滴面積約為  $4197.61 \pm 1402.14 \mu\text{m}^2$ ，平均接觸角約為  $40.47 \pm 8.35$  度，與原樣本中經紫外線臭氧處理 2 min 的聚醯亞胺膠帶之位置一致，接觸角結果亦與隨機量測所得之平均值(33.57 度)接近，兩者之差異仍在合理誤差範圍之內，驗證了本研究系統於不同表面之準確量測能力。

另外，由圖 4.27 與圖 4.28 可以更清楚的觀察到聚醯亞胺膠帶樣本親水及疏水表面的平均液滴面積與接觸角差異，圖 4.27 (a)為聚醯亞胺膠帶樣本的平均液滴面積強度圖，(b)為紅線處之截面圖，圖 4.28 (a)為聚醯亞胺膠帶樣本的接觸角強度圖，(b)為紅線處之截面圖，兩張截面圖顯示了左半邊 X 軸位置約 5 mm 至 30 mm 的疏水區域，平均液滴面積略低於右半邊的親水區域，而接觸角數值則略高於右半邊。由圖 4.26 至圖 4.28 可快速辨識親水與疏水區域的分布與邊界，驗證本系統於聚醯亞胺膠帶樣本表面性質判別上的有效性。

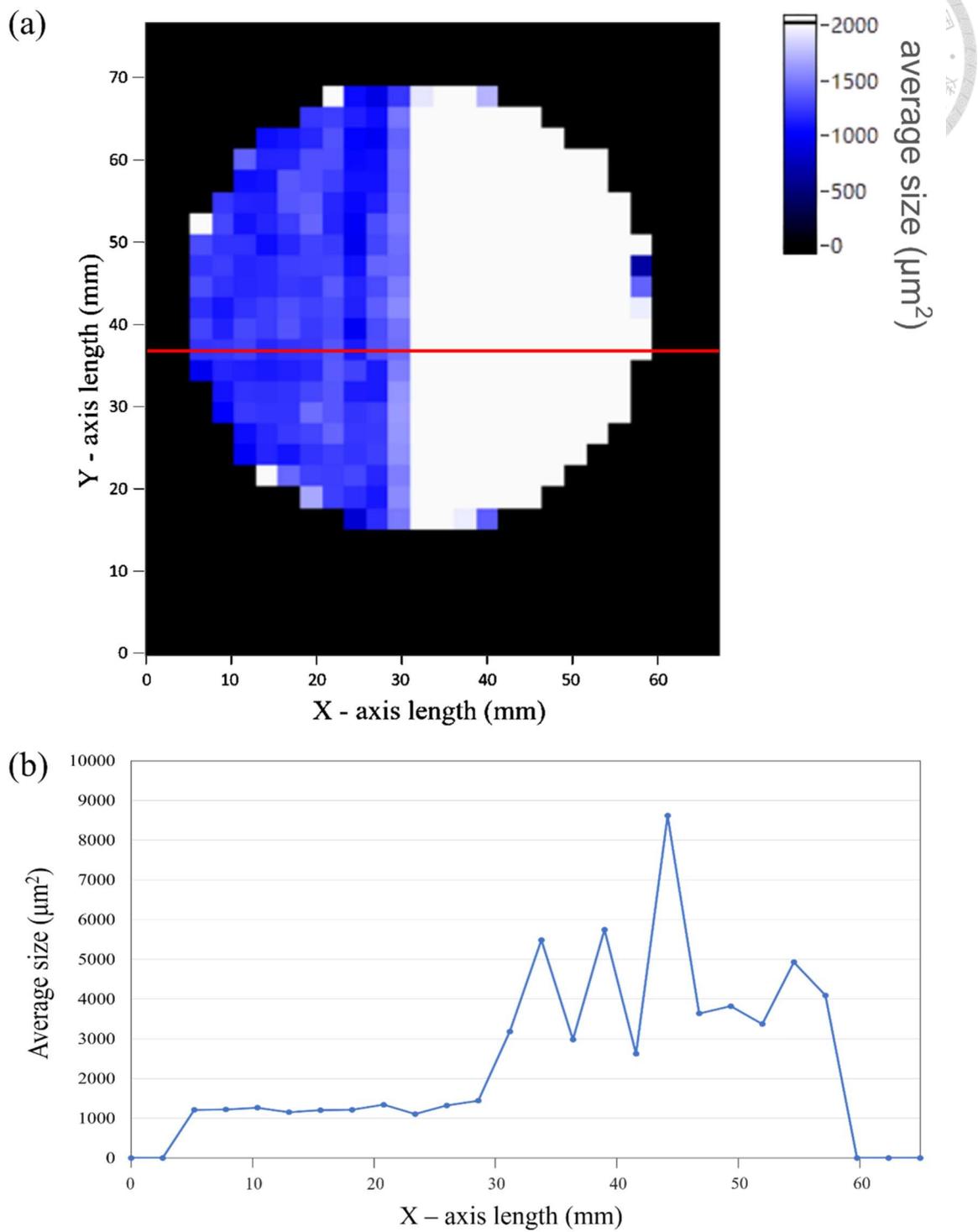


圖 4.27 聚醯亞胺膠帶樣本之(a)平均液滴面積強度圖及(b)截面圖。

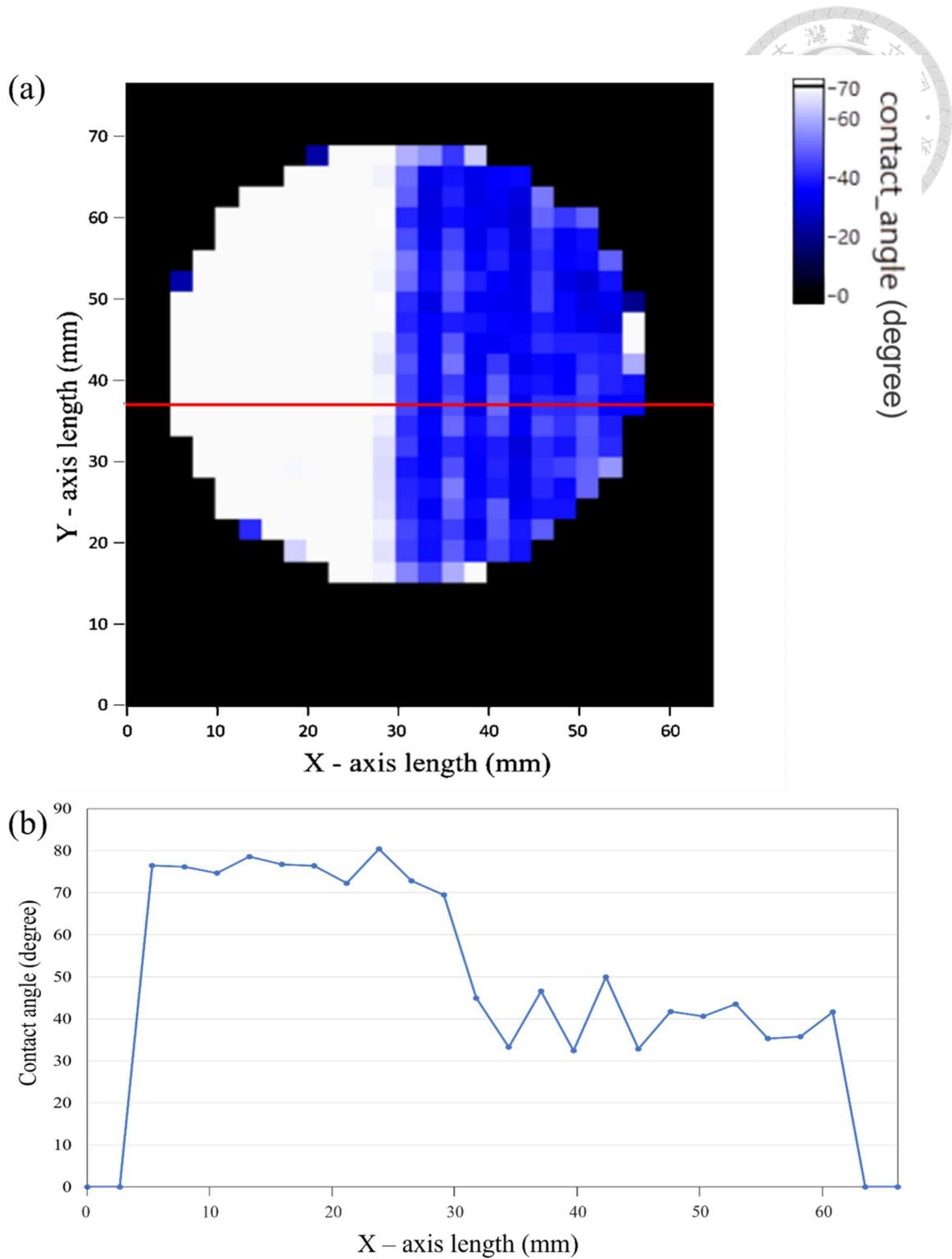


圖 4.28 聚醯亞胺膠帶樣本之(a)接觸角強度圖及(b)截面圖。

此外，本研究一樣針對聚醯亞胺膠帶樣本影像的單張小圖進行霧滴面積及對應接觸角的分布分析，並以標準差作為判斷量測穩定性與一致性的指標。如圖 4.29 所示，噴霧於聚醯亞胺膠帶樣本疏水表面所形成之霧滴總數為 898 個，平均接觸



為  $1152.19 \mu\text{m}^2$ ，對應之平均接觸角為  $78.62^\circ$ ，此結果顯示量測系統成功辨識出聚醯亞胺膠帶樣本未經親水處理的疏水表面。從面積分布直方圖可觀察到霧滴面積主要集中於  $500$  至  $1000 \mu\text{m}^2$  之間，標準差為  $930.46 \mu\text{m}^2$ ，接觸角主要分布於  $60^\circ$  至  $85^\circ$  區間，標準差為  $29.45^\circ$ 。分析結果說明該表面整體具疏水性，但因表面之微觀粗糙度及不均勻性以及霧滴互相結合而導致偏高的標準差數值。

圖 4.30 中顯示親水處理之聚醯亞胺膠帶樣本表面之霧滴總數為 449 個，數量大幅減少的同時霧滴的平均面積顯著上升至  $2973.3 \mu\text{m}^2$ ，對應之平均接觸角則明顯下降至  $46.63^\circ$ 。此結果顯示量測系統也能夠辨識出聚醯亞胺膠帶樣本的親水性表面。從面積分布直方圖可見，霧滴面積主要集中於  $500$  至  $2000 \mu\text{m}^2$  之間，但標準差高達  $4342.54 \mu\text{m}^2$ ，接觸角分布則以  $30^\circ$  至  $60^\circ$  為主，標準差也高達  $41.88^\circ$ 。

兩種表面在量測結果中皆呈現霧滴尺寸多數偏小，僅有少數霧滴面積明顯偏大，進而拉高整體平均值，同時造成標準差增加的情形。尤以親水表面而言，其傾向於生成面積較大的霧滴，且霧滴間更容易互相融合，導致其尺寸分布的變異性高於疏水表面。因此，在本研究所使用的量測系統下，親水表面之平均霧滴面積變動範圍較廣，此現象亦可對應至第 4.3.3 節所述之檢量線結果。

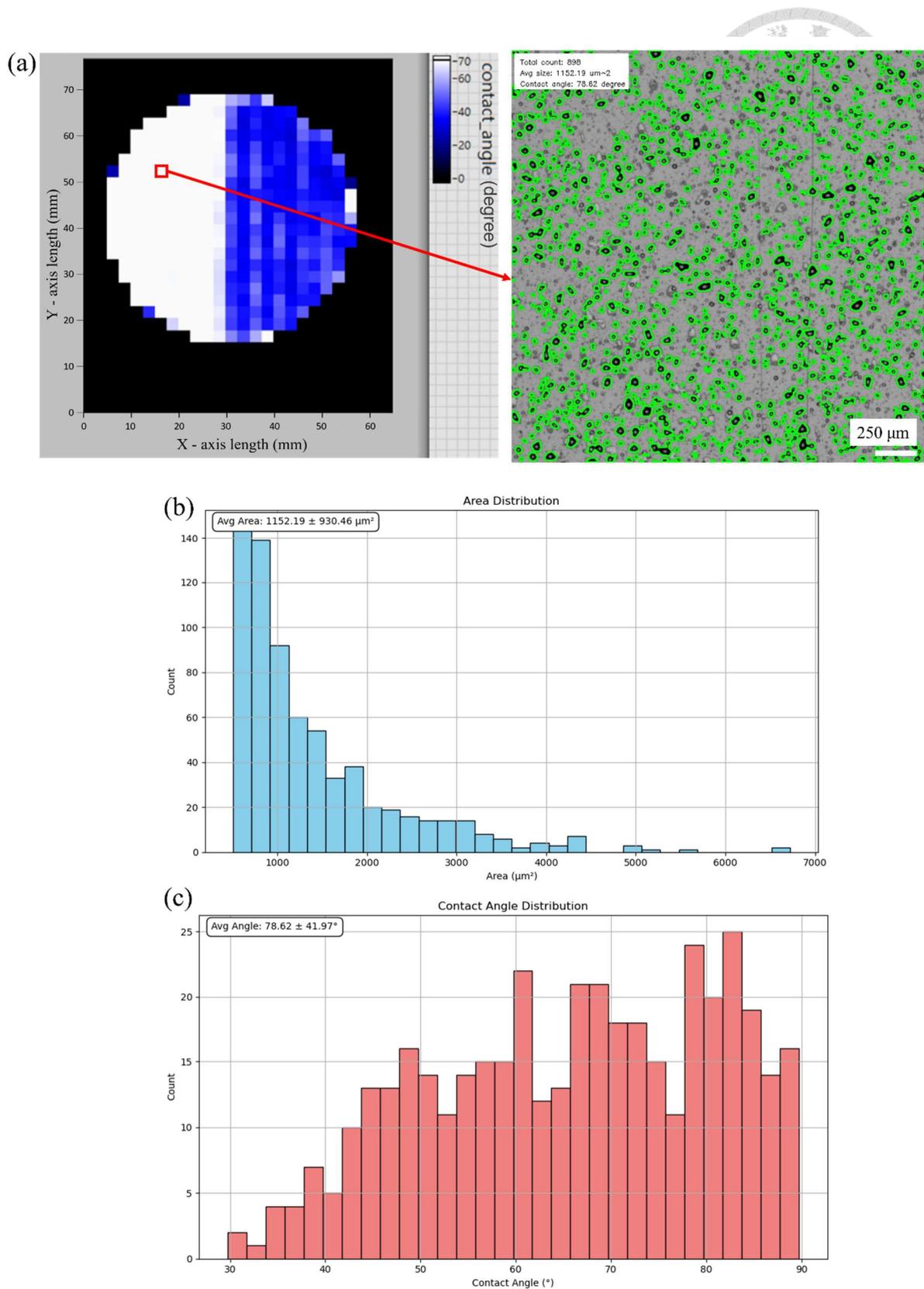


圖 4.29 聚醯亞胺膠帶樣本疏水部分之霧滴面積及接觸角的分布分析，(a)影像辨識結果圖與其像對應位置，(b)小圖之霧滴面積分布圖及平均霧滴面積與標準差，(c)小圖之霧滴接觸角分布圖及平均接觸角與標準差。

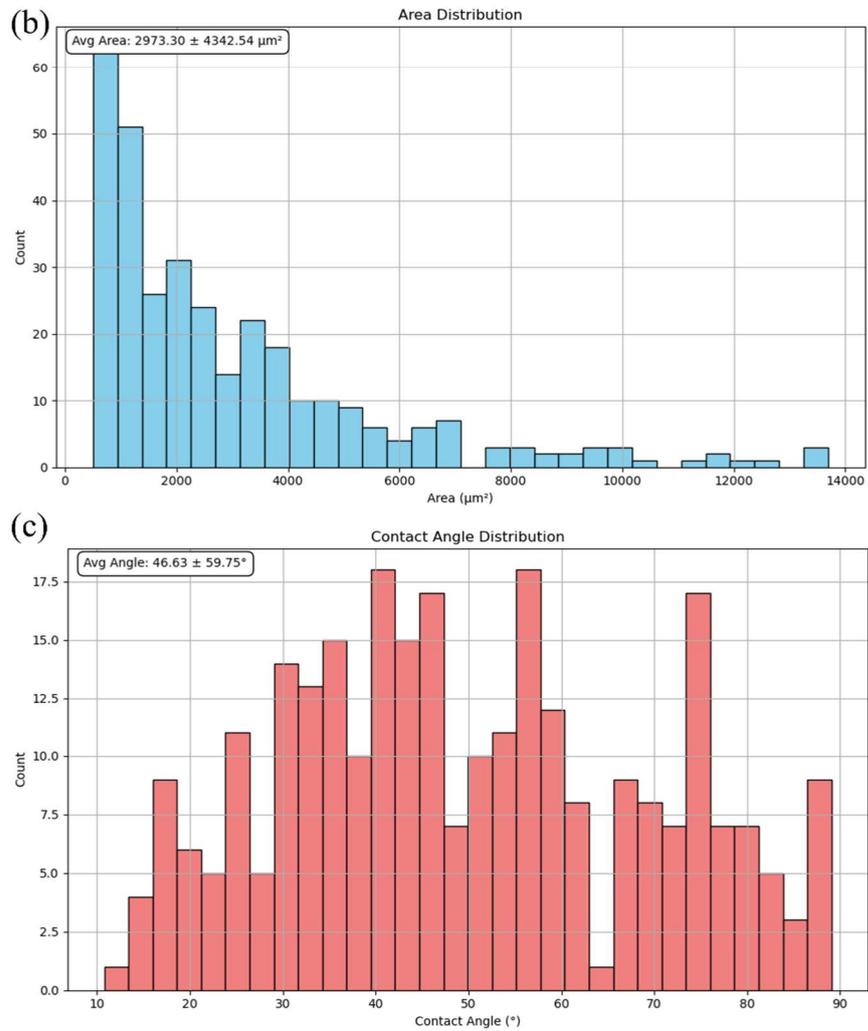
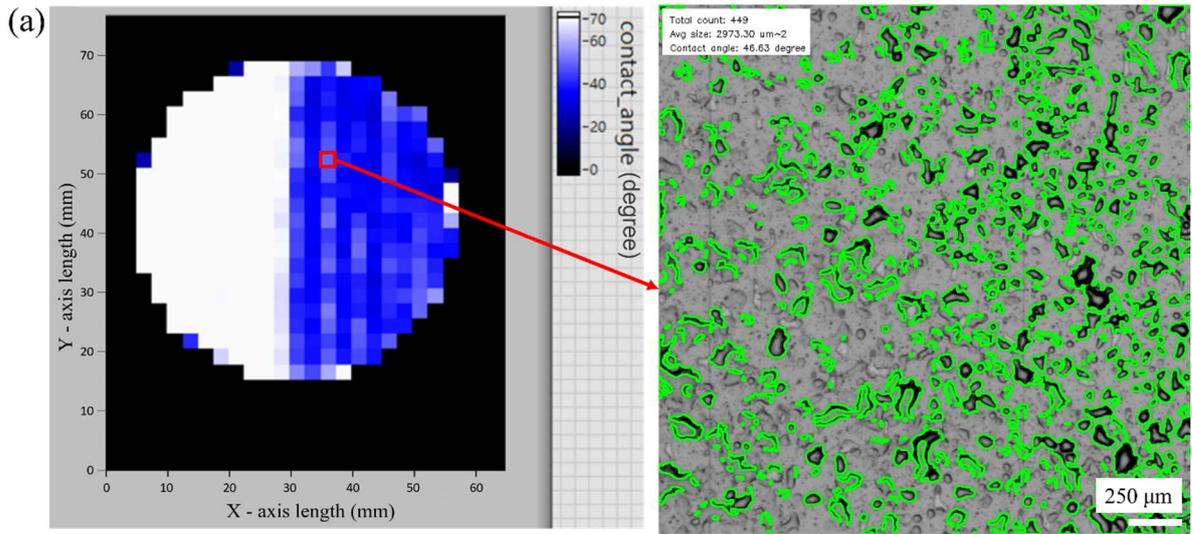


圖 4.30 聚醯亞胺膠帶樣本親水部分之霧滴面積及接觸角的分布分析，(a)影像辨識結果圖與其像對應位置，(b)小圖之霧滴面積分布圖及平均霧滴面積與標準差，(c)小圖之霧滴接觸角分布圖及平均接觸角與標準差。

## 第五章 結果討論及改進方向



本研究成功利用線相機結合超音波噴霧系統及影像辨識來完成大面積之表面親水性檢測系統。在此系統中，X 軸量測範圍則可達 300 mm，而 Y 軸量測範圍因噴霧與影像擷取的時間沒有差太多，因此不像先前趙彥璋等人的量測系統會有水蒸發時間限制了量測距離的問題，量測範圍得以提高到 300 mm。單張影像之量測寬度配合噴霧寬度設定為 5.04 mm、長度為 75.6 mm，可視需求調整單張影像行、列之切割張數，進一步提高量測結果的解析度，目前最多可將影像切割成  $2.52 \times 2.52$  mm 之正方形影像提供後續影像辨識。影像辨識最小可以辨識出  $61.25 \mu\text{m}^2$  的輪廓，但為避免過小或過大之單一霧滴影響系統判斷，因此將霧滴之計算範圍限制在 500 至  $150000 \mu\text{m}^2$  之間。

### ● 總結本研究的成果：

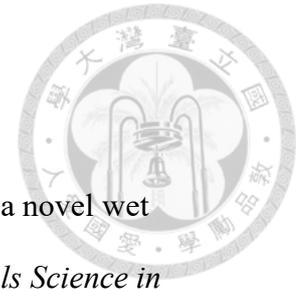
1. 透過新的量測方式來解決先前趙彥璋等人的量測系統無法量測高反射率樣品之問題，同時保有高解析以及可快速量測大面積之優點，且比起先前的系統只能量測到表面親水性，本研究系統可即時擷取樣本表面影像，讓使用者能快速了解表面狀態，利於後續分析與判斷。
2. 更改噴霧之安裝設計，使設備得以實現噴附霧滴後立即掃描之功能，不再受到水蒸發現象而限制量測範圍。
3. 提高噴霧寬度，減少來回掃描之次數，大幅提升量測效率，同時藉由影像切割功能來保有量測結果之高解析度。
4. 成功以矽晶圓及聚醯亞胺膠帶為樣本，進行大面積親疏水性的量測。

### ● 本研究的改進方向：

1. 目前的噴霧系統容易因霧滴在噴附的過程中或是在噴附到樣品表面後相互結合，導致霧滴大小不一，進而影響整體之平均結果，使得系統雖能大致分辨出親疏水區但整體的量測變異性依舊偏高。可以藉由將噴霧系統置換成其他較穩定、快速之給水裝置來提升系統量測的準確度。

- 
2. 影響本系統量測速度的因素包括：單次掃描所能涵蓋之最大寬度、光源所能提供的均勻照明範圍、線掃描相機之最高掃描速率、馬達之最大位移速度，以及噴霧能否順利且均勻地附著於樣本表面。其中，影響最為顯著者為單次掃描可量測的最大範圍，該範圍主要取決於噴霧之覆蓋寬度、光源之均勻照明區域，以及線掃描相機與鏡頭組合所對應之視野寬度。因此，若欲進一步提升整體量測效率，可考慮採用視野更寬之線掃描相機與鏡頭組合，並依據其所對應之成像範圍，調整搭配合適之光源規格與噴霧參數，以達成更高的量測效率。

## 參考資料



- [1] J. Song, K. Park, S. Jeon, J. Lee and T. Kim, “ Development of a novel wet cleaning solution for Post-CMP SiO<sub>2</sub> and Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> films ” *Materials Science in Semiconductor Processing*, vol. 140, pp. 106353, 2022.
- [2] W. H. Ro, W. I. Choi and J. M. Lim, “ Sustainable hydrophobic coating of paper utilizing silica nanoparticles ” *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 145, pp. 745-754, 2025.
- [3] K. Tan, Y. Hu and Y. He, “ Enhancement of flow boiling in the microchannel with a bionic gradient wetting surface ” *Applied Thermal Engineering*, vol. 230, pp. 120784, 2023.
- [4] M. Krasowska, J. Zawala and K. Malysa, “ Air at hydrophobic surfaces and kinetics of three phase contact formation ” *Advances in Colloid and Interface Science*, vol. 147-148, pp. 155-169, 2009.
- [5] W. C. Bigelow, D. L. Pickett and W. A. Zisman, “ Oleophobic Monolayers. I. Films Adsorbed From Solution In Non-Polar Liquids ” *Journal of Colloid Science*, vol. 1, pp. 513-538, 1946.
- [6] R.S. Hebbar, A.M. Isloor and A.F. Ismail, “ Chapter 12 - Contact Angle Measurements ” *Membrane Characterization*, pp. 219-255, 2017.
- [7] Molecularvista, “ An Introduction to AFM-IR ” *Featuring PiFM & PiF-IR chemical analysis*, 2022.
- [8] Y. C. Jung and B. Bhushan, “ Technique to measure contact angle of micro/nanodroplets using atomic force microscopy ” *Journal of Vacuum Science & Technology A*, vol. 26, pp. 777, 2008.
- [9] A. Meister, M. Liley, J. Brugger, R. Pugin and H. Heinzelmann, “ Nanodispenser for attoliter volume deposition using atomic force microscopy probes modified by

- focused-ion-beam milling” *Applied Physics Letters*, vol. 85, pp. 6260-6262, 2004.
- [10] 趙彥瑋, “適用於曲面之親水性成像系統之設計與開發” 國立台灣大學機械工程學研究所碩士論文, 2024.
- [11] Y. W. Chao, C. Y. Yeh, S. Y. Tsao, Y. C. Chen, F. S. Kao, J. Y. Chu and H. S. Liao, “Laser Scanning System for Hydrophilicity Mapping on Curved Surfaces” *IEEE*, vol. 74, 2025.
- [12] C. Janeczko, C. Martelli, J. Canning and G. Dutra, “Assessment of Orchid Surfaces Using Top-Down Contact Angle Mapping” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 31364-31375, 2019.
- [13] M. M. Rahman and M. M. H. Oliver, “Detection And Contouring Of Bau-Kul Using Image Processing Techniques” *Ann. Bangladesh Agric*, vol. 23, pp. 15–25, 2019.
- [14] A. Lafuma and D. Quéré, “Superhydrophobic states” *Nature Materials*, vol. 2, pp. 457–460, 2003.
- [15] Y. Yuan and T. R. Lee, “Contact Angle and Wetting Properties” *Surface Science Techniques*, vol. 51, pp. 3-34, 2013.
- [16] T. Young, “III. An essay on the cohesion of fluids” *Philosophical Transactions*, vol. 95, pp. 65-87, 1805.
- [17] G. Dutra, J. Canning, W. Padden, C. Martelli and S. Dligatch, “Large area optical mapping of surface contact angle” *Optics Express*, vol. 25, 2017.
- [18] S. Suzuki and K. Abe, “Topological Structural Analysis of Digitized Binary Images by Border Following” *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, vol. 30, pp. 32-46, 1985.
- [19] H. Freeman, “On the Encoding of Arbitrary Geometric” *IRE Transactions on Electronic Computers*, vol. 10, pp. 260-268, 1961.

# 附錄



## 附錄 A myRIO 規格

Figure 2. NI myRIO-1900 Hardware Block Diagram

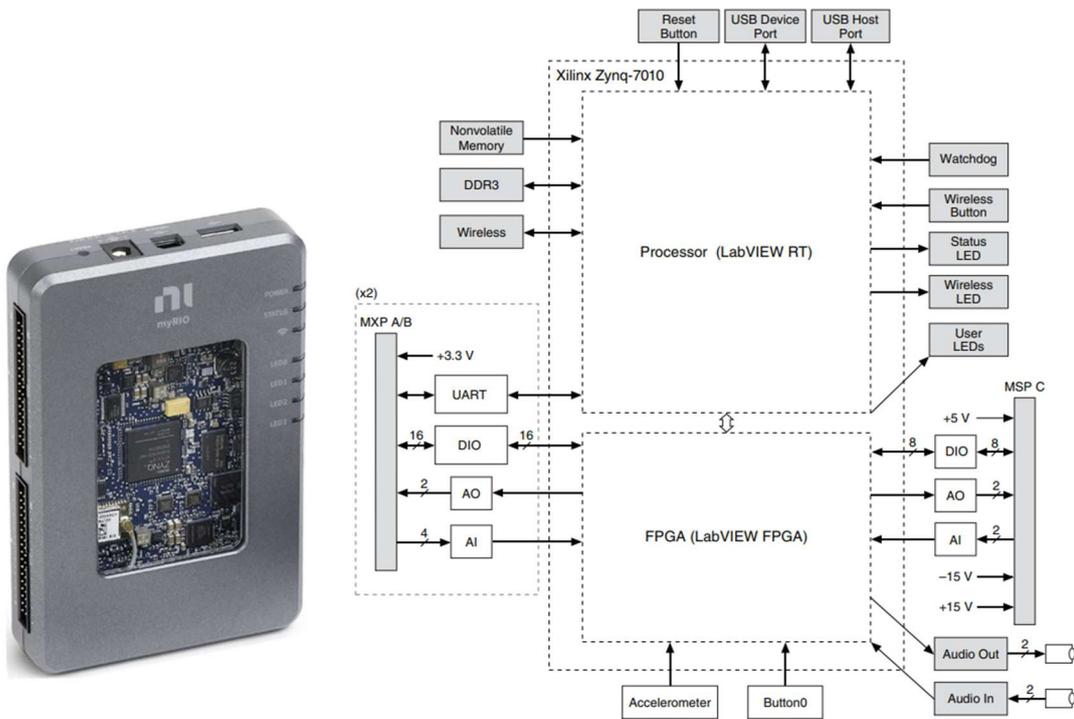


Figure 3. Primary/Secondary Signals on MXP Connectors A and B

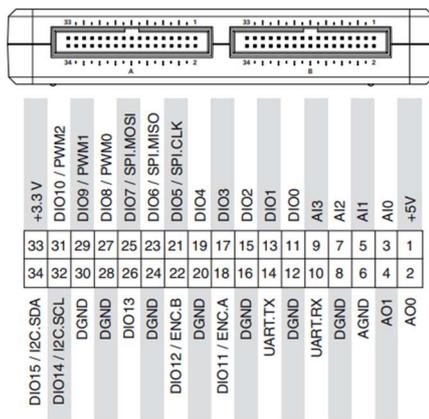


Figure 4. Primary/Secondary Signals on MSP Connector C

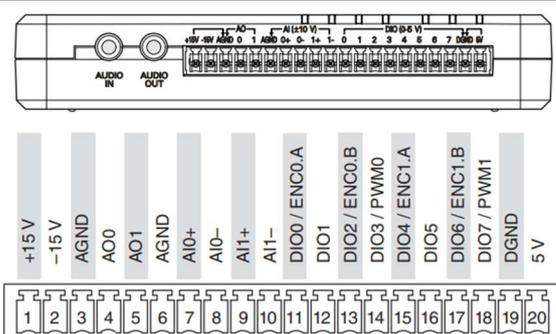
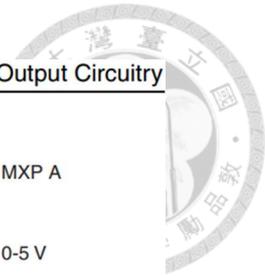


Table 1. Descriptions of Signals on MXP Connectors A and B

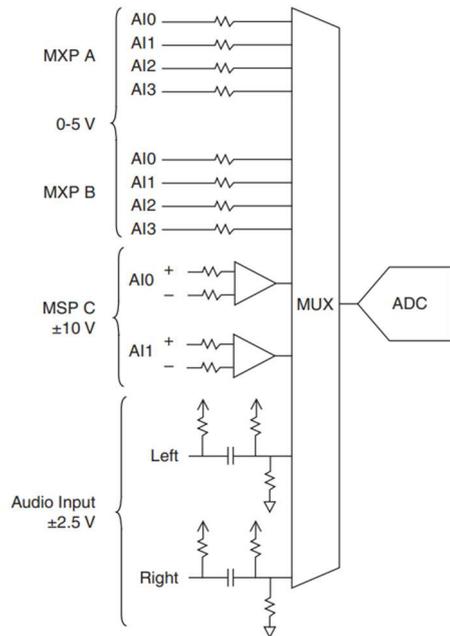
Signal Name	Reference	Direction	Description
+5V	DGND	Output	+5 V power output.
AI <0..3>	AGND	Input	0-5 V, referenced, single-ended analog input channels. Refer to the <a href="#">Analog Input Channels</a> section for more information.
AO <0..1>	AGND	Output	0-5 V referenced, single-ended analog output. Refer to the <a href="#">Analog Output Channels</a> section for more information.
AGND	N/A	N/A	Reference for analog input and output.
+3.3V	DGND	Output	+3.3 V power output.
DIO <0..15>	DGND	Input or Output	General-purpose digital lines with 3.3 V output, 3.3 V/5 V-compatible input. Refer to the <a href="#">DIO Lines</a> section for more information.
UART.RX	DGND	Input	UART receive input. UART lines are electrically identical to DIO lines.
UART.TX	DGND	Output	UART transmit output. UART lines are electrically identical to DIO lines.
DGND	N/A	N/A	Reference for digital signals, +5 V, and +3.3 V.

Table 2. Descriptions of Signals on MSP Connector C

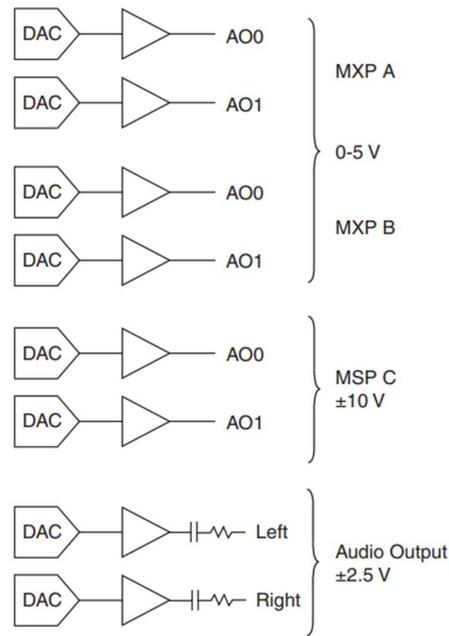
Signal Name	Reference	Direction	Description
+15V/-15V	AGND	Output	+15 V/-15 V power output.
AI0+/AI0-; AI1+/AI1-	AGND	Input	±10 V, differential analog input channels. Refer to the <a href="#">Analog Input Channels</a> section for more information.
AO <0..1>	AGND	Output	±10 V referenced, single-ended analog output channels. Refer to the <a href="#">Analog Output Channels</a> section for more information.
AGND	N/A	N/A	Reference for analog input and output and +15 V/-15 V power output.
+5V	DGND	Output	+5 V power output.
DIO <0..7>	DGND	Input or Output	General-purpose digital lines with 3.3 V output, 3.3 V/5 V-compatible input. Refer to the <a href="#">DIO Lines</a> section for more information.
DGND	N/A	N/A	Reference for digital lines and +5 V power output.



**Figure 5. NI myRIO-1900 Analog Input Circuitry**



**Figure 6. NI myRIO-1900 Analog Output Circuitry**



## Converting Raw Data Values to Voltage

You can use the following equations to convert raw data values to volts:

$$V = \text{Raw Data Value} * \text{LSB Weight}$$

$$\text{LSB Weight} = \text{Nominal Range} \div 2^{\text{ADC Resolution}}$$

where *Raw Data Value* is the value returned by the FPGA I/O Node, *LSB Weight* is the value in volts of the increment between data values, *Nominal Range* is the absolute value in volts of the full, peak-to-peak nominal range of the channel, and *ADC Resolution* is the resolution of the ADC in bits. (*ADC Resolution* = 12)

- For AI and AO channels on the MXP connectors,

$$\text{LSB Weight} = 5 \text{ V} \div 2^{12} = 1.221 \text{ mV}$$

$$\text{Maximum reading} = 4095 * 1.221 \text{ mV} = 4.999 \text{ V}$$

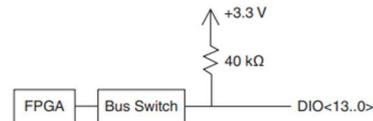
- For AI and AO channels on the MSP connectors,

$$\text{LSB Weight} = 20 \text{ V} \div 2^{12} = 4.883 \text{ mV}$$

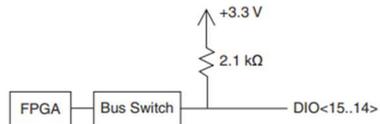
$$\text{Maximum Positive Reading} = +2047 * 4.883 \text{ mV} = 9.995 \text{ V}$$

$$\text{Maximum Negative Reading} = -2048 * 4.883 \text{ mV} = -10.000 \text{ V}$$

**Figure 7. DIO Lines <13..0> on MXP Connector A or B**



**Figure 8. DIO Lines <15..14> on MXP Connector A or B**



**Figure 9. DIO Lines <7..0> on MSP Connector C**

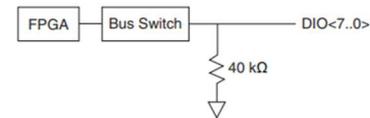




Figure 10. NI myRIO-1900 Dimensions, Front

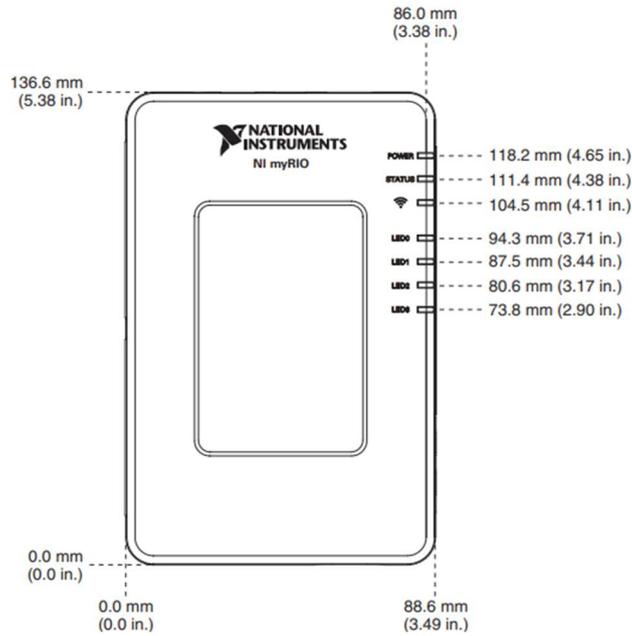


Figure 11. NI myRIO-1900 Dimensions, Back

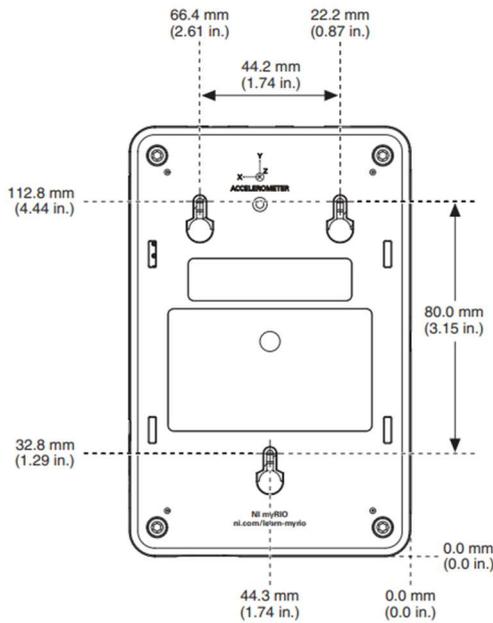


Figure 12. NI myRIO-1900 Dimensions, MSP Side

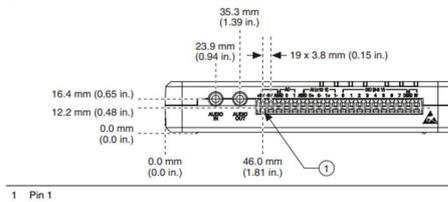


Figure 13. NI myRIO-1900 Dimensions, MXP Side

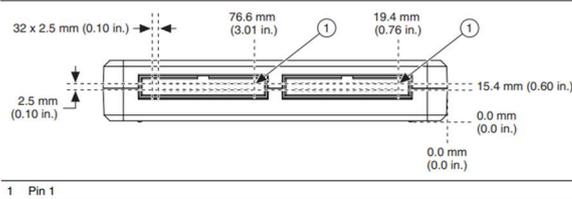


Figure 14. NI myRIO-1900 Dimensions, I/O End

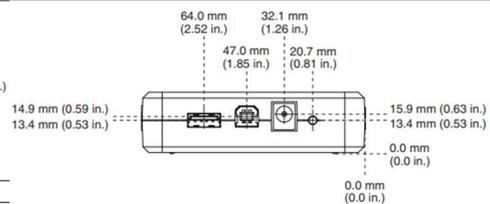
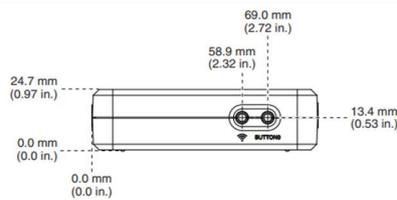




Figure 15. NI myRIO-1900 Dimensions, User End



## Specifications

The following specifications are typical for the 0 to 40 °C operating temperature range unless otherwise noted.

### Processor

Processor type ..... Xilinx Z-7010  
 Processor speed ..... 667 MHz  
 Processor cores ..... 2

### Memory

Nonvolatile memory ..... 512 MB  
 DDR3 memory ..... 256 MB  
     DDR3 clock frequency ..... 533 MHz  
     DDR3 data bus width ..... 16 bits

For information about the lifespan of the nonvolatile memory and about best practices for using nonvolatile memory, go to [ni.com/info](http://ni.com/info) and enter the Info Code SSDBP.

### FPGA

FPGA type ..... Xilinx Z-7010

## Analog Input

Aggregate sample rate ..... 500 kS/s  
 Resolution ..... 12 bits  
 Overvoltage protection ..... ±16 V

### MXP connectors

Configuration ..... Four single-ended channels per connector  
 Input impedance ..... >500 kΩ acquiring at 500 kS/s  
     1 MΩ powered on and idle  
     4.7 kΩ powered off  
 Recommended source impedance ..... 3 kΩ or less  
 Nominal range ..... 0 V to +5 V  
 Absolute accuracy ..... ±50 mV  
 Bandwidth ..... >300 kHz

### MSP connector

Configuration ..... Two differential channels  
 Input impedance ..... Up to 100 nA leakage powered on;  
     4.7 kΩ powered off  
 Nominal range ..... ±10 V  
 Working voltage  
 (signal + common mode) ..... ±10 V of AGND  
 Absolute accuracy ..... ±200 mV  
 Bandwidth ..... 20 kHz minimum, >50 kHz typical



## Analog Output

### Aggregate maximum update rates

All AO channels on MXP connectors..... 345 kS/s

All AO channels on MSP connector  
and audio output channels..... 345 kS/s

Resolution ..... 12 bits

Overload protection .....  $\pm 16$  V

Startup voltage ..... 0 V after FPGA initialization

### MXP connectors

Configuration ..... Two single-ended channels per connector

Range ..... 0 V to +5 V

Absolute accuracy..... 50 mV

Current drive ..... 3 mA

Slew rate ..... 0.3 V/ $\mu$ s

### MSP connector

Configuration ..... Two single-ended channels

Range .....  $\pm 10$  V

Absolute accuracy.....  $\pm 200$  mV

Current drive ..... 2 mA

Slew rate ..... 2 V/ $\mu$ s

## Digital I/O

### Number of lines

MXP connectors ..... 2 ports of 16 DIO lines (one port per connector);  
one UART.RX and one UART.TX line per  
connector

MSP connector..... 1 port of 8 DIO lines

Direction control ..... Each DIO line individually programmable as  
input or output

Logic level ..... 5 V compatible LVTTTL input; 3.3 V LVTTTL  
output



<b>Input logic levels</b>	
Input low voltage, $V_{IL}$ .....	0 V min; 0.8 V max
Input high voltage, $V_{IH}$ .....	2.0 V min; 5.25 V max
<b>Output logic levels</b>	
Output high voltage, $V_{OH}$ sourcing 4 mA .....	2.4 V min; 3.465 V max
Output low voltage, $V_{OL}$ sinking 4 mA .....	0 V min; 0.4 V max
Minimum pulse width.....	20 ns
<b>Maximum frequencies for secondary digital functions</b>	
SPI .....	4 MHz
PWM.....	100 kHz
Quadrature encoder input .....	100 kHz
I <sup>2</sup> C.....	400 kHz
<b>UART lines</b>	
Maximum baud rate.....	230,400 bps
Data bits .....	5, 6, 7, 8
Stop bits .....	1, 2
Parity.....	Odd, Even, Mark, Space
Flow control.....	XON/XOFF

## Power Output

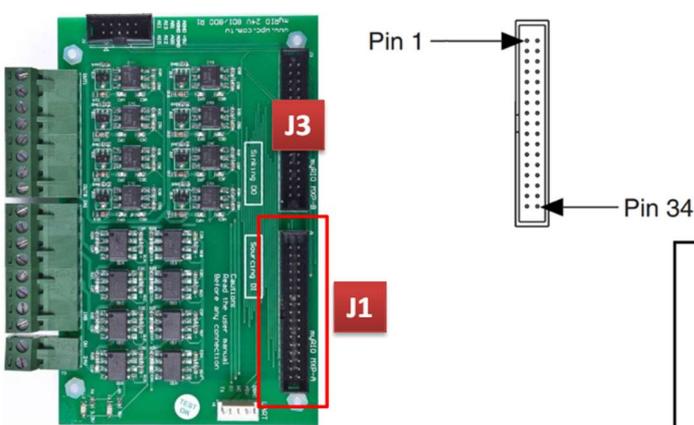
<b>+5 V power output</b>	
Output voltage .....	4.75 V to 5.25 V
Maximum current on each connector .....	100 mA
<b>+3.3 V power output</b>	
Output voltage .....	3.0 V to 3.6 V
Maximum current on each connector .....	150 mA
<b>+15 power output</b>	
Output voltage.....	+15 V to +16 V
Maximum current .....	32 mA (16 mA during startup)
<b>-15 V power output</b>	
Output voltage.....	-15 V to -16 V
Maximum current .....	32 mA (16 mA during startup)
Maximum combined power from +15 V and -15 V power output .....	500 mW

## Power Requirements

NI myRIO-1900 requires a power supply connected to the power connector.	
Power supply voltage range.....	6 to 16 VDC
Maximum power consumption .....	14 W
Typical idle power consumption.....	2.6 W



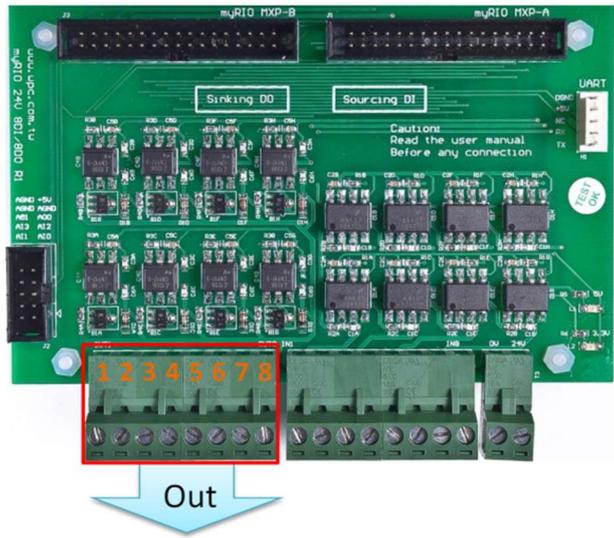
## 附錄 B myRIO-24VDIO 擴充板規格



J1與J3相通，請勿同時使用!

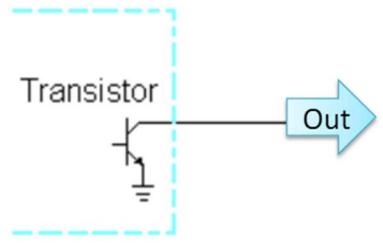
Connect to MAP-A

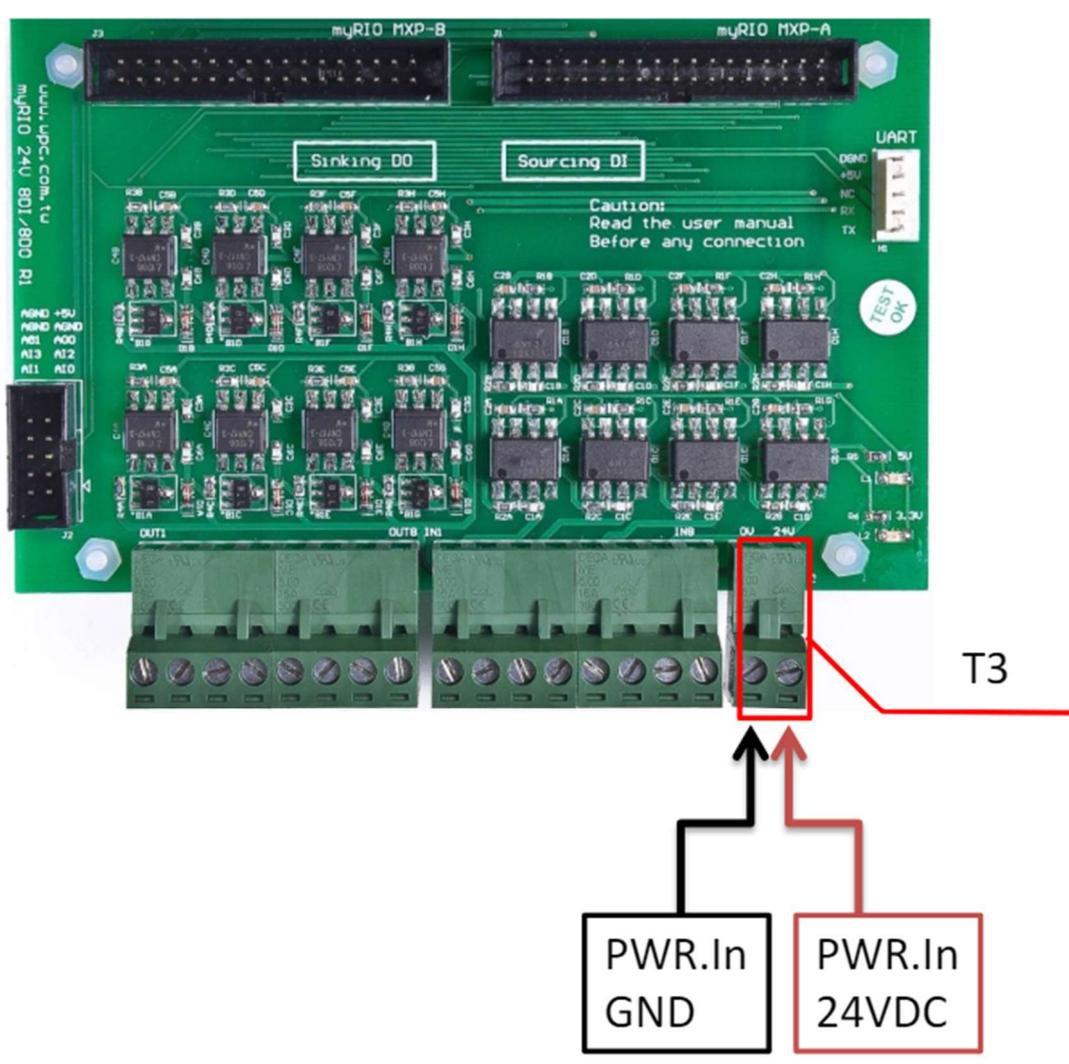
FUNC	PIN#	PIN#	FUNC	
5V	1	2	AO0	
AI0	3	4	AO1	
AI1	5	6	AGND	
AI2	7	8	DGND	
AI3	9	10	RX	
DIO0	11	12	DGND	
DIO1	13	14	TX	
DIO2	15	16	DGND	
DIO3	17	18	DIO11	DO
DIO4	19	20	DGND	
DIO5	21	22	DIO12	DO
DIO6	23	24	DGND	
DIO7	25	26	DIO13	DO
DIO8	27	28	DGND	
DIO9	29	30	DGND	
DIO10	31	32	DIO14	DO
3.3V	33	34	DIO15	DO



Channel	Out 1	Out 2	Out 3	Out 4	Out 5	Out 6	Out 7	Out 8
myRIO DIO	DIO 8	DIO 9	DIO 10	DIO 11	DIO 12	DIO 13	DIO 14	DIO 15
Direction	8ch 24VDO (Sinking)							

Sinking Digital Output

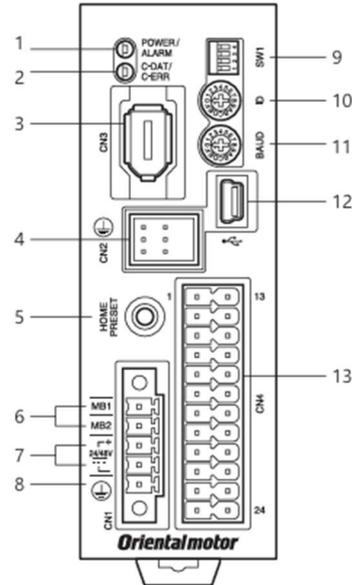




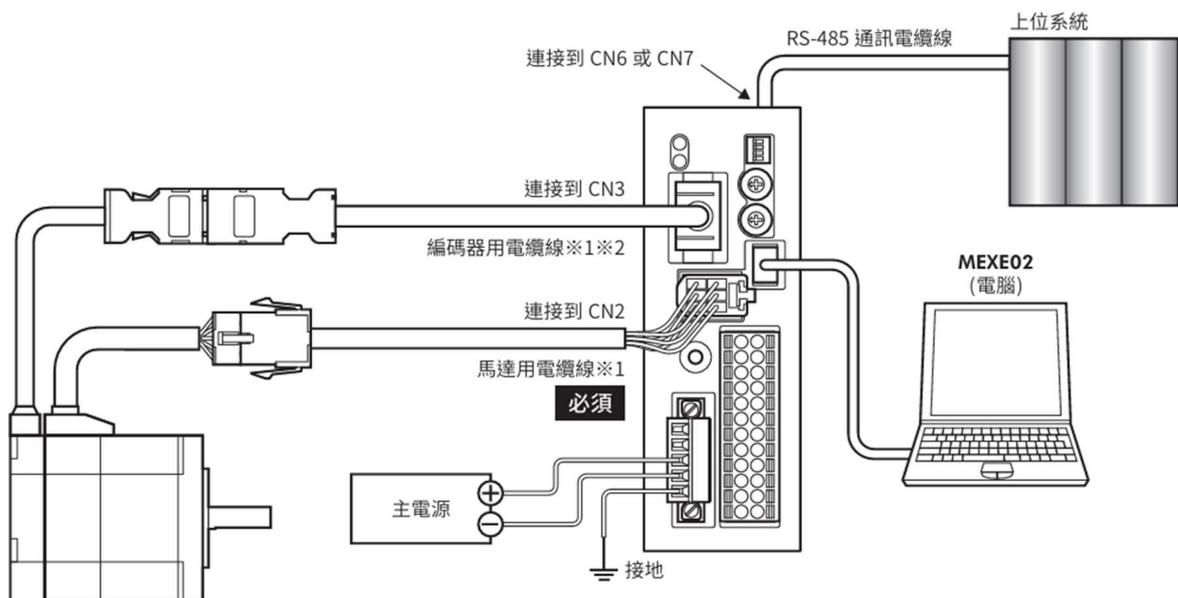
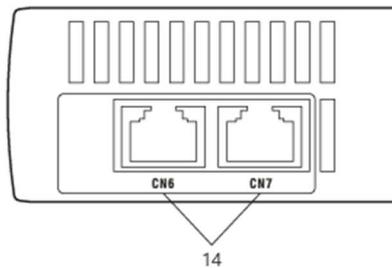
## 附錄 C 電動滑台馬達控制器規格



- 內藏定位功能型  
RS-485 附通訊脈波列輸入型



上面





名稱	表示	說明
3 編碼器連接器	CN3	連接編碼器。
4 馬達連接器	CN2、	連接馬達。(亦包含馬達的保護接地線。)
6 電磁剎車連接端子 (CN1)	MB1、MB2	連接電磁剎車電纜線的導線。 MB1: 電磁剎車 - (黑) MB2: 電磁剎車 + (白)
7 電源輸入端子 (CN1)	+、-	連接主電源。 +: +DC24 V/+DC48 V 電源輸入 -: 電源 GND
8 保護接地端子 (CN1)		請使用 AWG18 ~ 16 (0.75 ~ 1.25 mm <sup>2</sup> ) 接地線接地。
12 USB通訊連接器		連接已安裝資料設定軟體 <b>MEXE02</b> 的電腦。 (USB2.0 mini-B連接埠)
13 輸出入信號連接器	CN4	連接輸出入信號。
14 RS-485 通訊連接器	CN6、CN7	連接 RS-485 通訊電纜線。

名稱	表示	說明
1 POWER/ALARM LED (綠/紅)	POWER/ALARM	<ul style="list-style-type: none"> <li>在接通主電源期間，綠燈亮燈。</li> <li>發生 Alarm (保護功能) 時，紅燈閃爍。</li> <li>發生其他資訊時，紅燈和綠燈會同時閃爍。(有時紅色與綠色重疊，會使燈光看起來似橙色)</li> </ul>
2 C-DAT/C-ERR LED (綠/紅)	C-DAT/C-ERR	<ul style="list-style-type: none"> <li>通過 RS-485 通訊與主站之間正常通訊時，綠燈閃爍或亮燈。</li> <li>通過 RS-485 通訊與主站之間通訊異常時紅燈亮燈。</li> </ul>
5 HOME PRESET開關	HOME PRESET	進行定位運轉時，設定開始點的位置 (原點)。
9 功能設定開關	SW1	<p>請於以 RS-485 通訊控制時使用。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>No.1: 同時使用號機設定開關 (ID)，設定號機編號。 出貨時設定: OFF</li> <li>No.2: 設定 RS-485 通訊的協定。 出貨時設定 內藏定位功能型: OFF RS-485 附通訊脈波列輸入型: ON</li> <li>No.3、No.4: 設定 RS-485 通訊的終端電阻 (120 Ω)。 出貨時設定: No.3、No.4 皆為 OFF</li> </ul>
10 號機設定開關	ID	<p>請於以 RS-485 通訊控制時使用。</p> <p>與功能設定開關 (SW1) 的 No.1 併用，設定 RS-485 通訊的號機編號。 出貨時設定 內藏定位功能型: 0 RS-485 附通訊脈波列輸入型: 1</p>
11 通訊速度設定開關	BAUD	<p>請於以 RS-485 通訊控制時使用。</p> <p>設定 RS-485 通訊的通訊速度。 出貨時設定 內藏定位功能型: 7 RS-485 附通訊脈波列輸入型: 4</p>



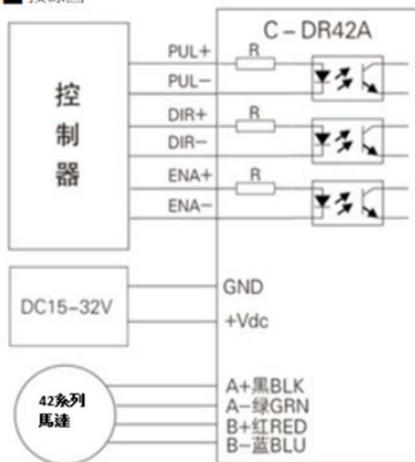
驅動器型	內藏定位功能型
馬達機種	電纜線型
安裝尺寸	20 mm
型	標準
軸型	單軸
電磁剎車	無
激磁最大靜止轉矩	0.02 N · m
轉子慣性慣量 J	$2.7 \times 10^{-7} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
減速比	-
解析度 1000P/R設定時	0.36°/脈波
停止時保持轉矩 通電時	0.01 N · m
電源輸入 電壓	DC24 V
電源輸入 電壓容許範圍	±5 %
電源輸入 電流	0.5 A
資料設定軟體	MEXE02
馬達部 重量	0.08 kg
回路部 重量	0.15 kg



## 附錄 D Z 軸自動滑台控制器規格

型號	輸出電流 (A)	電源電壓 (V)	細分數
<b>C-DR42A</b>	0.1-2.2	DC:15-32	200-20000

### ■ 接線圖



### ■ 連接口配置圖

#### 1) 控制信號接口

名稱	功能
PUL+	脈衝信號:脈衝上升沿有效:PUL高電平時4.5~28vdc,低電平時0~0.5V。為了可靠響應脈衝信號,脈衝寬度應大於1.5us。
PUL-	方向信號:高/低電平信號,為保證電機可換相,方向線信號應先於脈衝信號至少2us建立。馬達的初始運行方向和接線有關,互換任一相線組(如A+交換)可以改變馬達初始運行方向,DIR高電平時4.5~28vdc,低電平時
DIR+	智能信號:此輸入信號用於使能或禁止。ENA+接4.5~28vdc,ENA-接低電平時(或內部光纖導通),驅動器將切斷馬達各相電流使馬達處於未通電狀態此時步進脈衝不受影響,當不須此用此功能時,不使用接點即可。
DIR-	
ENA+	
ENA-	

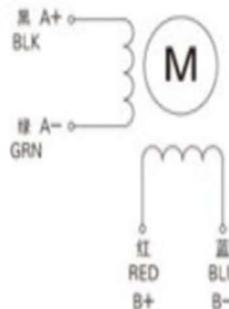
#### 2) 電源接口

名稱	功能
GND	接地
+Vdc	直流電源正極,供電電壓範圍:直流15~32Vdc建議24Vdc作業
A+ A-	馬達A相線圖接口
B+ B-	馬達B相線圖接口

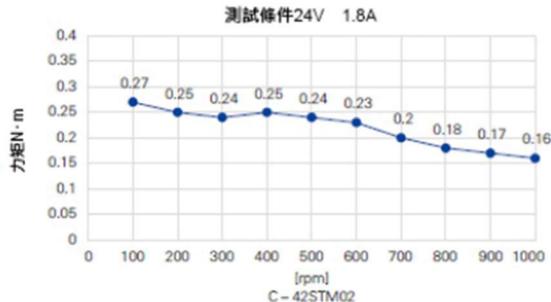
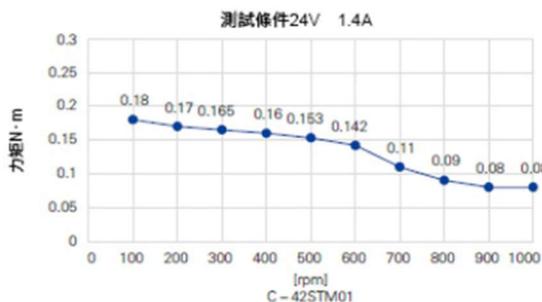
### ■ 規格

步距角	1.8°
輸出軸數	單軸/雙軸
步距角精度	±5%(整步,空載)
電阻精度	±10%(20°C)
電感精度	±20%(1kHz)
溫升	80°Cmax(額定電流,2相通電)
環境溫度	-20°C~+50°C
絕緣電阻	100MΩmin,500VDC
耐壓	500VAC1分鐘
徑向間隙mm	0.02max. (450g負載)
軸向間隙mm	0.08max. (450g負載)
徑向最大負載	28N(距法蘭面20mm)
軸向最大負載	10N

### ■ 接線圖



### ■ 轉矩曲線



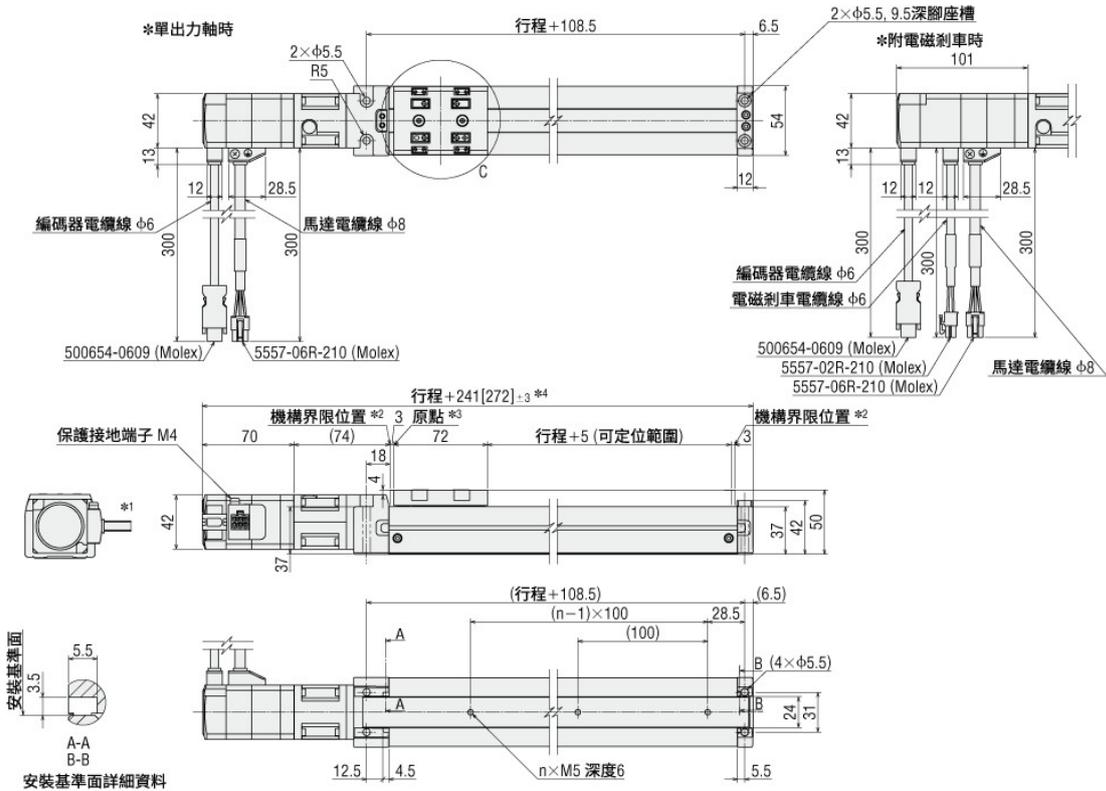
## 附錄 E 東方馬達電動滑台規格



電源輸入	DC電源輸入
搭載馬達	αSTEP AZ系列
搭載馬達部 品名	AZM46AK
滑台尺寸	寬度54 mm×高度50 mm
導程	12 mm
行程	300 mm
電磁剎車	無
馬達安裝方向	圓軸
驅動方式	滾珠螺桿
反覆定位精度	±0.02 mm
最小移動量 (出貨時)	0.01 mm
滑動平行度	0.03 mm
可搬重量 水平	~7.5 kg
可搬重量 垂直	-
推力	~43 N
推壓力	100 N
保持力	70 N
動容許慣量	Mp: 4.2 N·m、My: 4.2 N·m、Mr: 10.5 N·m
靜容許慣量	Mp: 26.4 N·m、My: 26.4 N·m、Mr: 52.0 N·m
最高速度	600 mm/s
模組產品部 重量	2.3 kg

## 外形圖 (單位 mm)

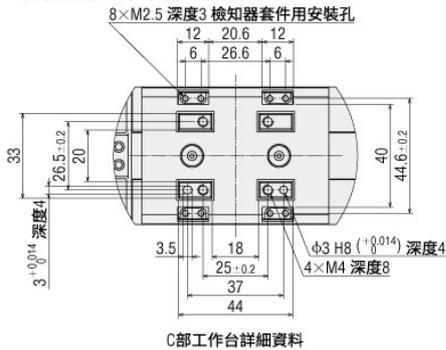
### EZSM3 標準型



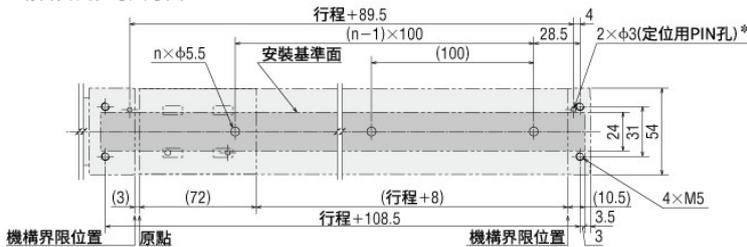
- \*1 馬達電纜線的出口方向有4種選擇，每90°可變更。
- \*2 推壓原點復歸時，工作台移動至機構界限位置。
- \*3 使用另售的檢知器套件時，原點位置不同。
- \*4 [ ]內為附電磁剎車產品的值。

行程 [mm]	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
孔係數 (n)	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8
單出力軸	1.6	1.7	1.9	2.0	2.2	2.3	2.5	2.6	2.8	2.9	3.1	3.2	3.4	3.5
附電磁剎車	1.7	1.9	2.0	2.2	2.3	2.5	2.6	2.8	2.9	3.1	3.2	3.4	3.5	3.7

### C部工作台詳細資料



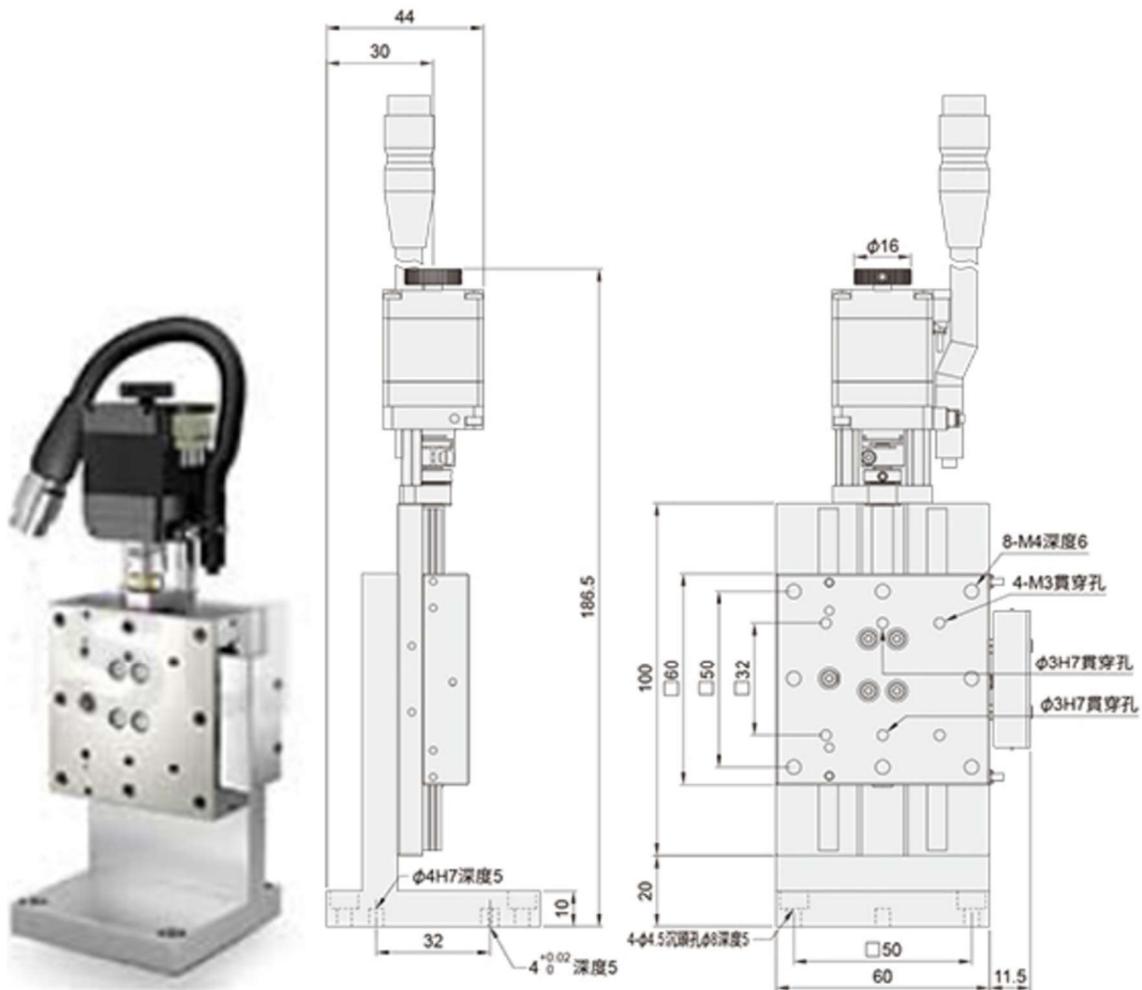
### 滑台安裝參考尺寸圖



\* 安裝基準面導軌兩側皆可使用。此圖為上側碰觸時。



## 附錄 F Z 軸自動滑台規格



馬達・馬達特性	2相步進馬達標準	解析度(μm)	5
滑軌	線性鋼珠式導引	滑座進給方式	滾珠螺桿
滑座長度(mm)	100	最高速度(mm/sec)	10
電纜長度(m)	2	護蓋位置	L
驅動器	A	平行度(μm)	30
運動平行度(μm)	20	運動直線度(μm)	10
導程(mm)	1	-	-

M 材質	S 表面處理	移動量 (mm)	耐荷重 (N)	單軸精度規格 (μm)	
				單向定位精度	反覆定位精密度
相當於 SUS440C	鍍鎳	18~43	49~58.8	20以內	±5.0以內

■規格表

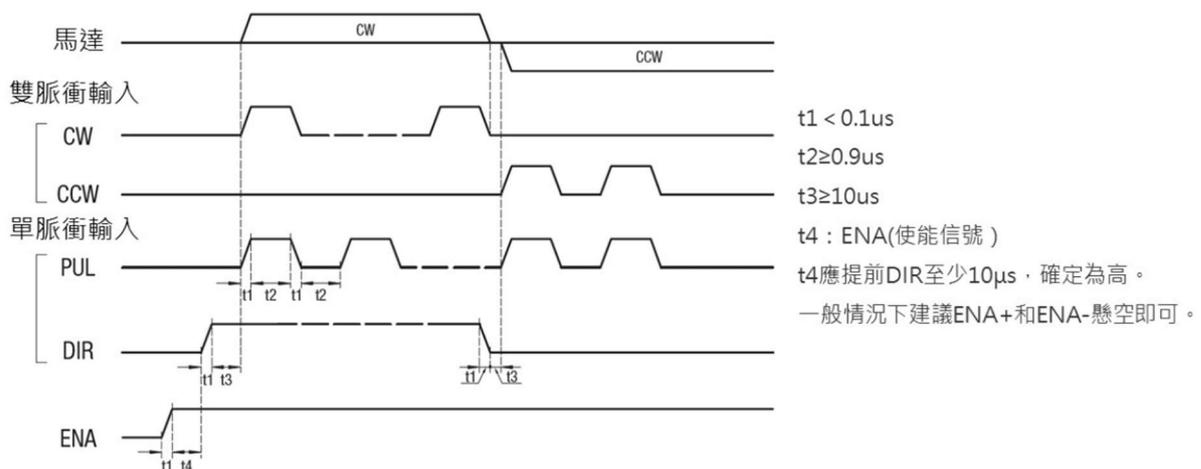
型號		護蓋位置	驅動器	纜線長度 (m)	機械規格				精度規格 *1							
Type	類型				滑台長度 (mm)	移動量 (mm)	耐荷重 (N)	本體重量 (kg)	解析度 (脈衝)	最大速度	單向定位精度	反覆定位精密度	空轉	平行度	運動真直度	運動平行度
C-ZMBS	420	L	A	2	40×40	18	49	0.45	5μm	10 mm/sec	20μm 以內	±5.0μm 以內	10μm	30μm	10μm	20μm
	630				60×60	28		0.65								
	650	R		60×100	43	0.85										
	820			80×80	20	58.8	0.9									

\*1 精度規格為單軸水準設置時的保證值。

■通用規格

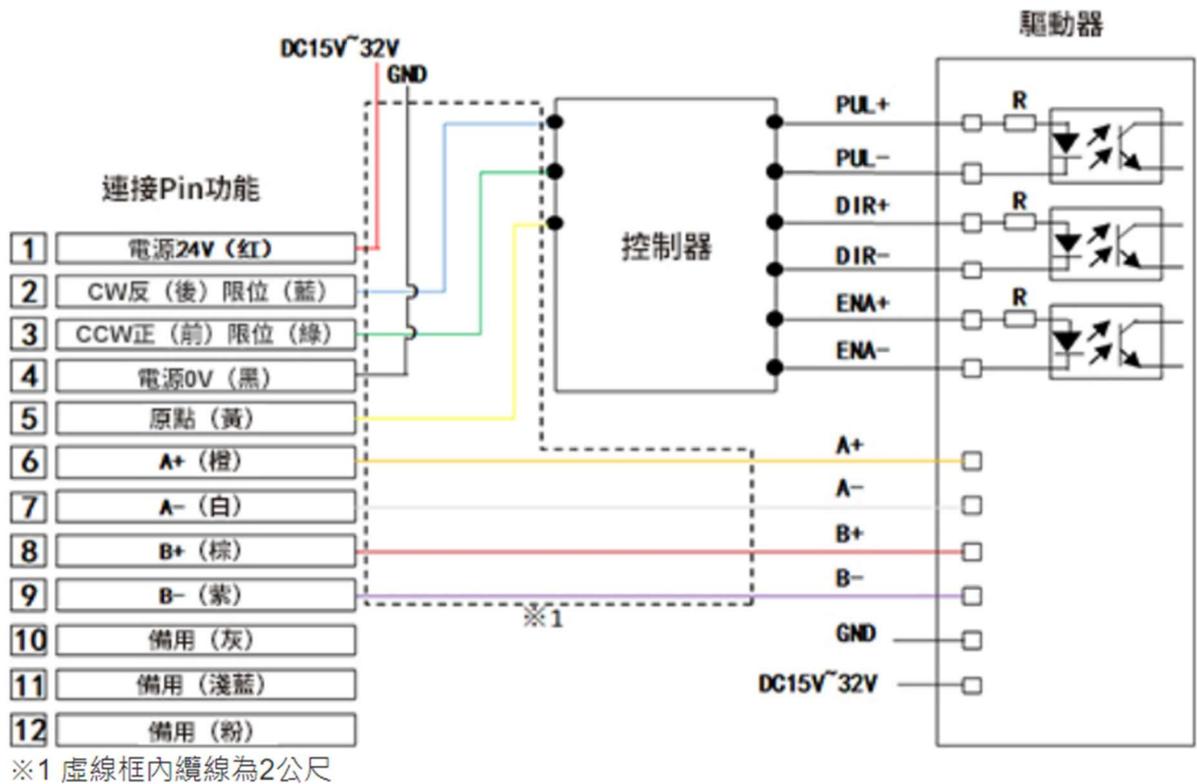
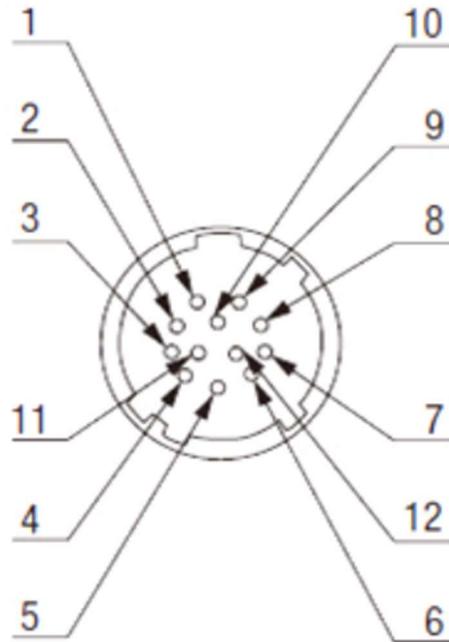
進給螺桿		滾珠螺桿Φ6、導程1mm
馬達	類型	2相步進馬達
	步進角度	1.8°
驅動器	電源電壓	DC12~50V
	輸出電流	0.1~2.2A
	脈衝信號電壓	5~24V
	細分數	200~51200
連接頭	型式	HR10A-10J-12P (廣瀨)
	受側適用連接頭	HR10A-10P-12S (廣瀨)

■ 時序圖



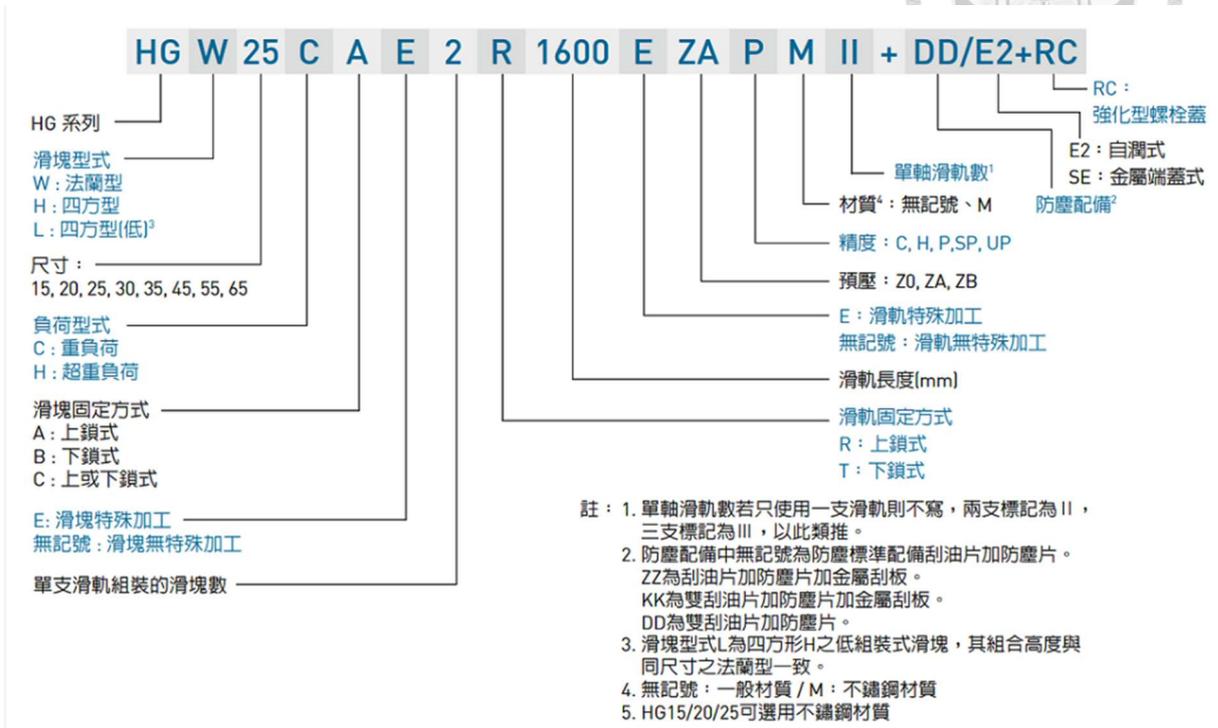


■連接Pin的排列





## 附錄 G 雙滑塊線性導軌規格

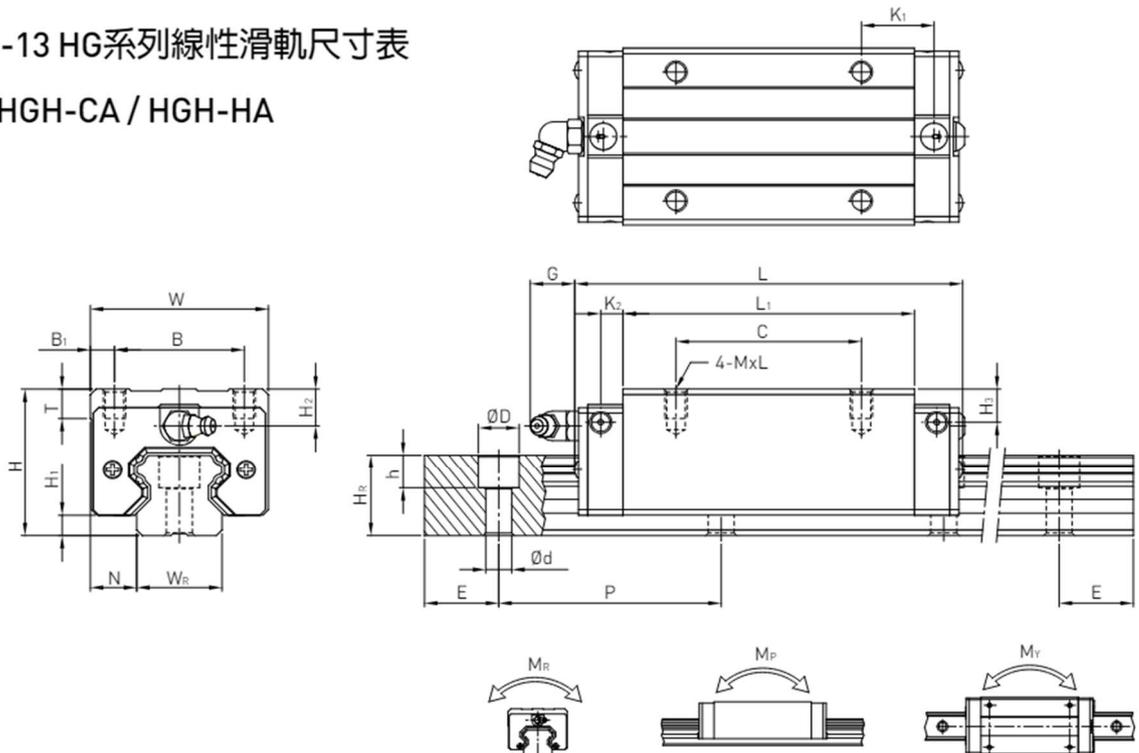


## HG系列

重負荷型滾珠線性滑軌

### 2-1-13 HG系列線性滑軌尺寸表

#### (1) HGH-CA / HGH-HA





型號	組件尺寸 (mm)			滑塊尺寸 (mm)											滑軌尺寸 (mm)											滑軌的 固定螺 栓尺寸 (mm)	基本 動額 定負荷 C(kN)	基本 靜額 定負荷 C <sub>0</sub> (kN)	容許靜力矩			重量	
	H	H <sub>1</sub>	N	W	B	B <sub>1</sub>	C	L <sub>1</sub>	L	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	G	MxL	T	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	W <sub>R</sub>	H <sub>R</sub>	D	h	d	P	E	C(kN)	C <sub>0</sub> (kN)				M <sub>R</sub>	M <sub>P</sub>	M <sub>V</sub>	滑塊	滑軌
																													kN-m	kN-m	kN-m	kg	kg/m
HGH 15CA	28	4.3	9.5	34	26	4	26	39.4	61.4	10	4.85	5.3	M4x5	6	7.95	7.7	15	15	7.5	5.3	4.5	60	20	M4x16	14.7	23.47	0.12	0.10	0.10	0.18	1.45		
HGH 20CA	30	4.6	12	44	32	6	36	50.5	77.5	12.25	6	12	M5x6	8	6	6	20	17.5	9.5	8.5	6	60	20	M5x16	27.1	36.68	0.27	0.20	0.20	0.30	2.21		
HGH 20HA							50	65.2	92.2	12.6															32.7	47.96	0.35	0.35	0.35	0.39			
HGH 25CA	40	5.5	12.5	48	35	6.5	35	58	84	15.7	6	12	M6x8	8	10	9	23	22	11	9	7	60	20	M6x20	34.9	52.82	0.42	0.33	0.33	0.51	3.21		
HGH 25HA							50	78.6	104.6	18.5															42.2	69.07	0.56	0.57	0.57	0.69			
HGH 30CA	45	6	16	60	40	10	40	70	97.4	20.25	6	12	M8x10	8.5	9.5	13.8	28	26	14	12	9	80	20	M8x25	48.5	71.87	0.66	0.53	0.53	0.88	4.47		
HGH 30HA							60	93	120.4	21.75															58.6	93.99	0.88	0.92	0.92	1.16			
HGH 35CA	55	7.5	18	70	50	10	50	80	112.4	20.6	7	12	M8x12	10.2	16	19.6	34	29	14	12	9	80	20	M8x25	64.6	93.88	1.16	0.81	0.81	1.45	6.30		
HGH 35HA							72	105.8	138.2	22.5															77.9	122.77	1.54	1.40	1.40	1.92			
HGH 45CA	70	9.5	20.5	86	60	13	60	97	139.4	23	10	12.9	M10x17	16	18.5	30.5	45	38	20	17	14	105	22.5	M12x35	103.8	146.71	1.98	1.55	1.55	2.73	10.41		
HGH 45HA							80	128.8	171.2	28.9															125.3	191.85	2.63	2.68	2.68	3.61			
HGH 55CA	80	13	23.5	100	75	12.5	75	117.7	166.7	27.35	11	12.9	M12x18	17.5	22	29	53	44	23	20	16	120	30	M14x45	153.2	211.23	3.69	2.64	2.64	4.17	15.08		
HGH 55HA							95	155.8	204.8	36.4															184.9	276.23	4.88	4.57	4.57	5.49			
HGH 65CA	90	15	31.5	126	76	25	70	144.2	200.2	43.1	14	12.9	M16x20	25	15	15	63	53	26	22	18	150	35	M16x50	213.2	287.48	6.65	4.27	4.27	7.00	21.18		
HGH 65HA							120	203.6	259.6	47.8															277.8	420.17	9.38	7.38	7.38	9.82			

註：1 kgf = 9.81 N

## 附錄 H 針筒幫浦規格

### YSP-101 (Standard type)



Infuse only and no capability to withdraw.



#### Specifications

Model number	YSP-101	YSP-201	YSP-301	YSP-202
<b>Syringe type</b>	Standard type	High performance type	High performance & high pressure type	Double syringe type
<b>Infusion</b>	YES	YES	YES	YES
<b>Withdrawal</b>	No	YES	YES	YES
<b>Programmable pump</b>	No	YES	YES	YES
<b>PC Control</b>	No	YES	YES	YES
<b>Minimum flow rate</b> <sup>*1</sup>	0.012 $\mu\text{L}/\text{min}$		0.023 $\mu\text{L}/\text{min}$	
<b>Maximum flow rate</b> <sup>*2</sup>	31.5 mL/min	42.57 mL/min	153.3 mL/min	76.32 mL/min <sup>*3</sup>

The pumps may not be used at max. or min. flow rate under certain conditions.

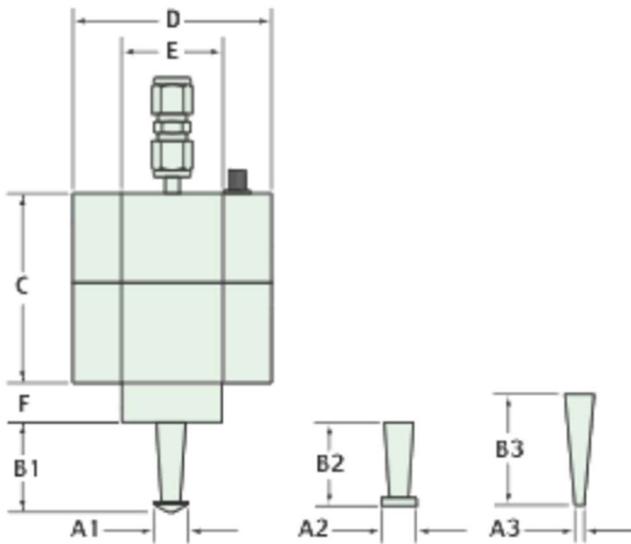
\*1 Obtained using a 1mL gastight syringe.

\*2 Obtained using a 50mL gastight syringe.

\*3 Obtained using a 25mL gastight syringe.



附錄 I 微量超音波霧化噴嘴規格



外形尺寸 (單位：英吋)

噴嘴型式	A1	B1	A2	B2	A3	B3	C	D	E	F
8700-120	0.23	0.44	0.23	0.40	0.09	0.56	1.0	1.44	0.50	0.34

規格明細

噴嘴型式	操作頻率 (kHz)	最大噴量 (GPH or ml/s)	平均噴霧粒徑 (Microns)	重量 (g)
8700-120	120	0.4	18	196

## 附錄 J 寬頻超音波發射器規格



Freestanding Unit

The Broadband Ultrasonic Generator delivers the high frequency electrical energy required to operate all Sono-Tek ultrasonic atomizing nozzles.

This versatile, rugged state-of-the-art power generator, designed and manufactured by Sono-Tek, incorporates features that simplify process control and enhance the operation of our nozzle systems.

- Operates over a frequency range of 20 - 120 kHz (frequency is user selectable for any nozzle within this range)
- Uses advanced phase-locked-loop control technology to automatically lock onto a nozzle's specific operating frequency
- Provides both audible and visual alarms in the event of system malfunction
- Contains an output for connection to a remote alarm
- Can be triggered on/off by an external control signal
- Contains an LCD power meter and power level control for setup and monitoring of nozzle operation
- Contains an input for remote power level control
- Is available in two versions: a 100-240 VAC free-standing unit, and a 24 VDC modular system intended for use in multiple nozzle configurations

### Models Available

Free-standing: 100 - 240 VAC  
P/N 06-05108  
Modular: 24 VDC  
P/N 06-05112

### Input Power Requirements

Free-standing:  
90 - 260 VAC, 50/60 Hz, 75 VA max  
Modular:  
23 - 25 VDC±5% regulation, 60 VA max

### Output Power

15 W max. continuous  
20 W max. intermittent

### Frequency Range

20 - 120 kHz

### External Trigger Input

5 - 240 V(AC or DC) or switch closure  
P/N 06-01078

### External Power Control Input

0 - 10 VDC, 20 kW impedance  
P/N 06-01083

### Alarm Output

24 VDC or 120 VAC max. relay contacts  
P/N 06-01084

### Operating Temperature Range

0 - 40° C (32 - 105° F)

### Dimensions

Free-standing:  
8 1/2" W x 9" D x 2 1/4" H  
(216 x 229 x 57 mm)

Modular: 5 1/4" W x 7 1/2" D x 2" H  
(133 x 190 x 51 mm)

### Weight

Free-standing: 4.3 lbs. (2.0 kg.)

Modular: 1.2 lbs. (0.6 kg.)

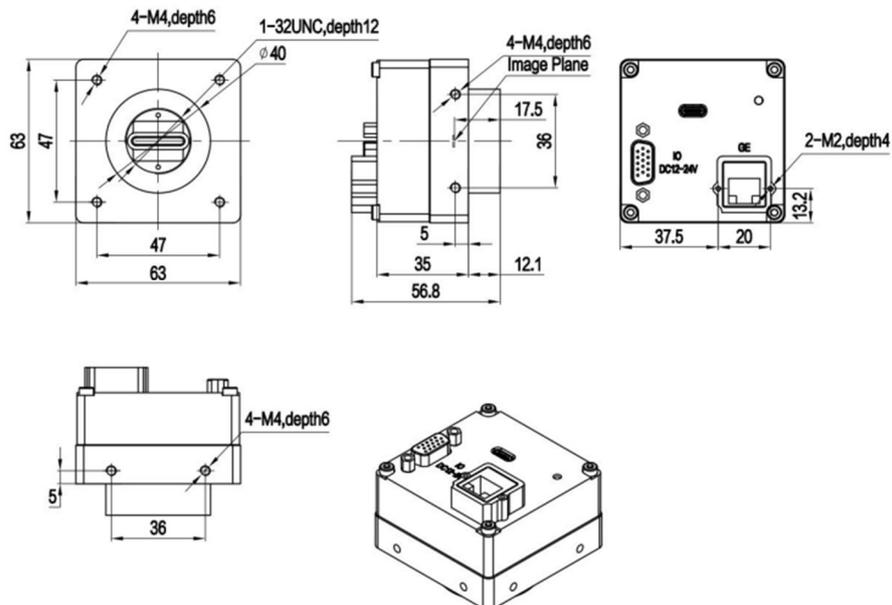
## 附錄 K 線相機規格

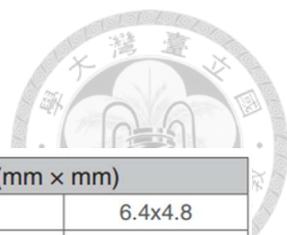


### 产品规格

型号	PA4KGV-80KM
名称	4K 网口黑白线扫描相机
传感器类型	Global Shutter CMOS
图像模式	黑白
光学尺寸	14.33 mm
分辨率	4096 * 1
像素大小	3.5 μm * 3.5 μm
最大线速度	30kHz (80kHz with SAccel™)
像素位宽	8 bit
动态范围	≥54 dB
数据率	123 MB/s
触发模式	自由运行 / 行触发控制 / 帧触发控制
曝光控制	时间设置 / 外部脉宽控制
曝光时间	2.5 μs - 1s (步长: 0.1 μs)
增益范围	1/2/4/8x (模拟增益) 0.001-8.000x (数字增益)
数据接口	GigE Vision
镜头接口	C Mount
电源接口	HD15 (Female)
电源规格	DC12-24V (±10%) 0.5A
功耗	3.4 W
外壳尺寸	63.0mm (W) x 63.0mm (H) x 56.8mm (D)
运行温度	0-65°C
储存温度	-20-75°C

### 机械尺寸

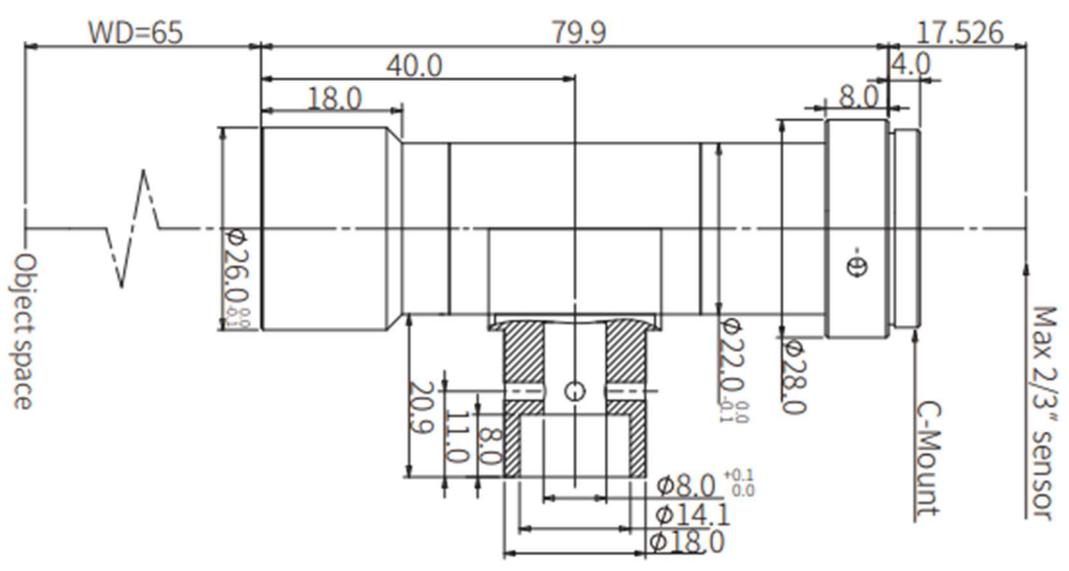




### 附錄 I 遠心鏡頭規格

Optical Specifications	
Magnification (x)	1.0
Working Distance (mm)	65±1
Max Sensor Size (Φmm)	11.0(2/3")
Aperture (F/#)	11.1
Telecentricity typical (max) (deg)	<0.1
Distortion typical (max) (%)	<0.1
MTF30(lp/mm)	70
NA	0.045
Resolution (um)	7.5
Depth of Field (mm)	0.9

Field of View (mm × mm)	
1/2"(6.4x4.8)	6.4x4.8
1/1.8"(7.13x5.37)	7.13x5.37
2/3"(8.8x6.6)	8.8x6.6
Mechanical Specifications	
Mount	C
Length (mm)	79.9
Coaxial Light	Yes
Iris	No





# 附錄 M 點光源規格

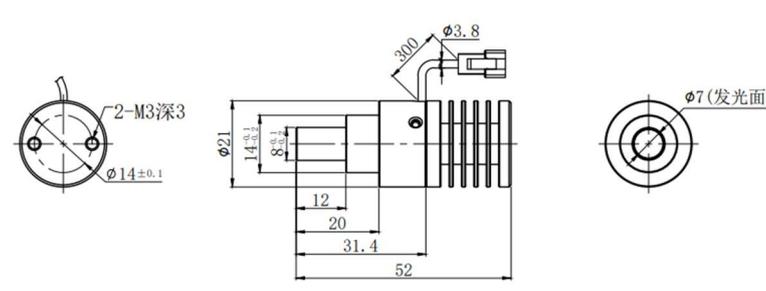


HuiRong  
輝榮創研有限公司

JST-SMR-03V-B

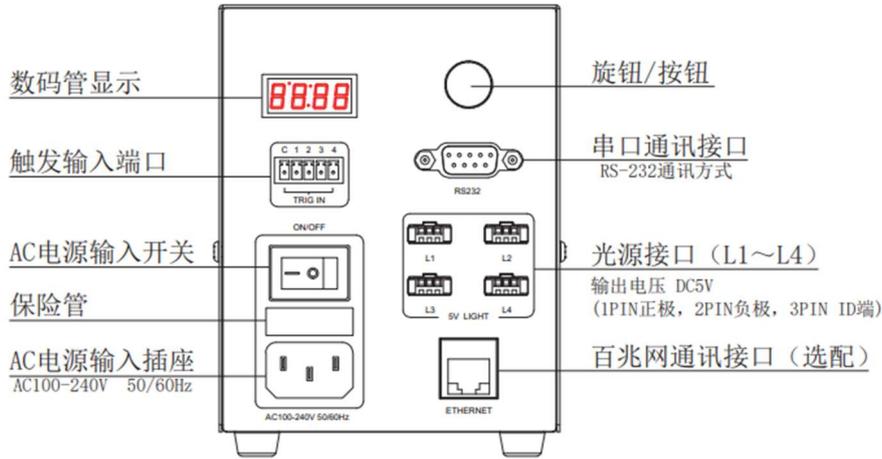


Pin1 -- 棕色/+  
Pin2 -- 紅色/-  
Pin3 -- 藍色/ID



产品安装尺寸图					备注	设计	000273	2023.11.01			
输入电压	理论电耗功率				1. 建议匹配延长线: FCBD-P-3  2. 建议匹配控制器: PSC4-2005-4	审核					
	红色 (R)	白/蓝/绿色 (G/B)	红外 (IR)	紫外 (UV)		公差标准	IT14				
5V	3W	3W			估重	视角方向	比例	单位	名称	点光源	
					32g		1:1	mm	型号	HRPL2-2108-3	

# 附錄 N 光源控制器規格



<p>旋钮/按钮 </p> <p>功能1: 旋转旋钮, 调节数值。顺时针增加数值, 逆时针减少数值。                  功能2: 短按旋钮, 切换通道 L1~L4的亮度等级。                  功能3: 长按旋钮3秒, 进入菜单模式; 再通过短按切换操作界面 (EOL\d00\nLOC\AUo), 旋转旋钮可对当前操作界面进行数值/状态改变。                  功能4: 操作界面显示为【AUo/nAUo】时, 长按旋钮3秒, 进入手动调节输出模式。                  功能5: 长按旋钮6秒, 可恢复出厂模式。</p>	
<p>数字显示 </p>	
<p><b>I: 主界面</b></p> <p>1. 显示版本号: A19</p> <p>2. 通道号显示CH (数码管第1位): 1~4</p> <p>3. 亮度等级显示 [1'100] *亮度等级 (0~255)</p> <p>4. 手动调节输出电流模式显示 [1'1.00] (圆点常亮)</p> <p>5. 通道处于识别ID模式显示 [1'100] (圆点常亮)</p> <p>* 通道处于无ID模式显示 [1'1'00] (圆点常亮)</p> <p>* 通道处于手动输出模式显示 [1'1.00] (圆点常亮)</p>	
<p><b>II: 长按旋钮3秒进入菜单模式</b></p> <p>1. 触发模式显示</p> <p>* EOL 外部跟随低电平触发 EIH 外部跟随高电平触发</p> <p>2. ID显示 (d00~d99)</p> <p>3. 界面控制锁定 (nLOC/LOC)</p> <p>* nLOC为解锁状态, 圆点常亮;</p> <p>LOC为锁定状态, 圆点闪烁</p>	<p>4. 输出模式 (AUo/nAUo)</p> <p>* AUo为识别ID模式, 识别光源ID自动输出电流;</p> <p>nAUo为固定最大输出电流模式, 可设置亮度等级为255时的最大输出电流。</p>
<p><b>III: 在输出模式界面长按旋钮3秒进入最大输出电流设置</b></p> <p>* 各通道的固定最大输出电流均可独立设置 (1'0:00/2'0:00/3'0:00/4'0:00)</p> <p>* 最大输出电流设置为0时, 与AUo (识别ID模式) 一致, 根据光源ID自动输出, 设置为5~200时, 固定最大输出电流为50mA~2A</p> <p>* 调整好各通道的最大输出电流后只有当输出模式为nAUo (固定最大输出电流模式) 时才起效果</p>	



名称	点光控制器
发光方式	常亮发光/触发发光
驱动方式	恒流
调光方式	调节电流
通道数	4通道
输出总功率	20W
输出电流	单通道 2A MAX
输入电压	AC100V~240V 50/60Hz

触发方式	外部触发
触发输入电压	DC5~24V
触发响应时间	50us MAX
亮度等级调节	0~255可调节
重量 (kg)	0.8
外形尺寸 (mm)	100.6×107×130.3
使用环境	温度-10~50℃ 湿度20~85%RH (无结霜状态)
存储环境	温度-20~60℃ 湿度20~85%RH (无结霜状态)
冷却方式	自然冷却
材质·表面处理	SPCC表面喷漆处理
通讯方式选择	RS-232/百兆网(选配) 两种方式



## [附錄 O] Python code - 圖像切割功能

```
import re
from PIL import Image
import os

def split_image_equally(image_path, output_folder, rows, cols):
    """將單張圖片均勻切割成 rows x cols 個小圖並儲存"""
    os.makedirs(output_folder, exist_ok=True)

    img = Image.open(image_path)
    img_width, img_height = img.size

    tile_width = img_width // cols
    tile_height = img_height // rows

    for row in range(rows):
        for col in range(cols):
            left = col * tile_width
            top = row * tile_height
            right = left + tile_width
            bottom = top + tile_height

            tile = img.crop((left, top, right, bottom))

            base_name = os.path.splitext(os.path.basename(image_path))[0]
            tile_path = os.path.join(output_folder,
f"{base_name}_{row}_{col}.jpeg")
            tile.save(tile_path)

    print(f"{image_path} 切割完成，儲存於 {output_folder}")

def batch_process_images(input_folder, output_folder, rows, cols):
    """批量處理資料夾內 符合數字+.jpeg 命名規則的圖片"""
    os.makedirs(output_folder, exist_ok=True)

    pattern = re.compile(r"^\d+\.(jpeg|jpg)$")

    for filename in os.listdir(input_folder):
```

```
if pattern.match(filename):
    image_path = os.path.join(input_folder, filename)
    image_output_folder = os.path.join(output_folder,
os.path.splitext(filename)[0]) # 建立子資料夾
    os.makedirs(image_output_folder, exist_ok=True)
    split_image_equally(image_path, image_output_folder, rows, cols)

input_folder = r"C:\Users\USER\Desktop\sammy\measure data\data"
output_folder = os.path.join(input_folder, "cut")
rows = 15
cols = 1

batch_process_images(input_folder, output_folder, rows, cols)
```



## [附錄 P] Python code - 圖像合併功能



```
import os

import cv2

import numpy as np

import re

def merge_by_row_col(source_folder, output_folder, output_suffix="merged.jpeg"):

    if not os.path.exists(output_folder):

        os.makedirs(output_folder)

    pattern = re.compile(r"(\d+)_(\d+)_(\d+)\.jpeg")

    images_dict = {}

    for file in os.listdir(source_folder):

        match = pattern.match(file)

        if match:

            img_id, row, col = map(int, match.groups())

            if img_id not in images_dict:

                images_dict[img_id] = []

            images_dict[img_id].append((row, col, file))

    for img_id, pieces in images_dict.items():

        max_row = max(row for row, col, _ in pieces)

        max_col = max(col for row, col, _ in pieces)

        image_grid = [[None for _ in range(max_col + 1)] for _ in range(max_row +

1)]

        for row, col, filename in pieces:

            path = os.path.join(source_folder, filename)

            img = cv2.imread(path)
```



```
if img is not None:
    image_grid[row][col] = img
else:
    print(f"Warning: Unable to read {filename}")
if any(img is None for row_imgs in image_grid for img in row_imgs):
    print(f"Skipping image {img_id}: missing blocks.")
    continue
row_images = []
for row_imgs in image_grid:
    min_height = min(img.shape[0] for img in row_imgs)
    resized = [cv2.resize(img, (int(img.shape[1] * min_height /
img.shape[0]), min_height)) for img in row_imgs]
    row_images.append(np.hstack(resized))
min_width = min(img.shape[1] for img in row_images)
resized_rows = [cv2.resize(img, (min_width, int(img.shape[0] * min_width /
img.shape[1]))) for img in row_images]
merged_image = np.vstack(resized_rows)
output_filename = f'{img_id}_{output_suffix}'
output_path = os.path.join(output_folder, output_filename)
cv2.imwrite(output_path, merged_image)
print(f"Merged image saved: {output_path}")
if __name__ == "__main__":
    source_folder = r"C:\Users\USER\Desktop\sammy\measure data\data\cut"
    output_folder = os.path.join(source_folder, "merge")
    merge_by_row_col(source_folder, output_folder)
```

## [附錄 Q] Python code – 霧滴平均面積之計算與 TCP 通訊功能



```
import cv2

import os

import numpy as np

import socket

import json

cut_folder = r"C:\Users\USER\Desktop\sammy\measure data\data\cut"

result_folder = r"C:\Users\USER\Desktop\sammy\measure data\data\result"

if not os.path.exists(result_folder):

    os.makedirs(result_folder)

data_dict = {}

for subdir in os.listdir(cut_folder):

    subdir_path = os.path.join(cut_folder, subdir)

    if os.path.isdir(subdir_path):

        result_subdir = os.path.join(result_folder, subdir)

        if not os.path.exists(result_subdir):

            os.makedirs(result_subdir)

        for filename in os.listdir(subdir_path):

            if filename.endswith(".jpeg"):

                file_path = os.path.join(subdir_path, filename)

                img = cv2.imread(file_path)

                original = img.copy()

                gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2GRAY)

                _, thresh_droplets = cv2.threshold(gray, 60, 170,

cv2.THRESH_BINARY_INV)
```



```

contours_droplets, _ = cv2.findContours(thresh_droplets,
cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

droplet_count = 0
droplet_sizes = []
droplet_mask = np.zeros_like(gray)
border_margin = 5
height, width = img.shape[:2]
for contour in contours_droplets:
    area = cv2.contourArea(contour)
    if 50 < area < 5000:
        is_at_border = any(px <= border_margin or px >= width -
border_margin or py <= border_margin or py >= height - border_margin
                                for px, py in contour[:, 0])
        if not is_at_border:
            perimeter = cv2.arcLength(contour, True)
            if perimeter == 0:
                continue
            circularity = 4 * np.pi * area / (perimeter ** 2)
            if circularity > 0.7:
                cv2.drawContours(original, [contour], -1, (0,
255, 0), 2)

                cv2.drawContours(droplet_mask, [contour], -1,
255, thickness=cv2.FILLED)

                droplet_count += 1
                droplet_sizes.append(area)

```



```
kernel_dilate = np.ones((3, 3), np.uint8)
dilated_droplet_mask = cv2.dilate(droplet_mask, kernel_dilate,
iterations=2)

filtered = cv2.fastNlMeansDenoising(gray, h=5,
templateWindowSize=7, searchWindowSize=31) #(5,7,31)

DARK_FILM_THRESHOLD = (0, 90)
LIGHT_FILM_THRESHOLD = (90, 185)
VERY_LIGHT_FILM_THRESHOLD = (185, 195)

dark_film_mask = cv2.inRange(filtered,
DARK_FILM_THRESHOLD[0], DARK_FILM_THRESHOLD[1])

dark_film_mask = cv2.bitwise_and(dark_film_mask,
cv2.bitwise_not(dilated_droplet_mask))

kernel_close = np.ones((3, 3), np.uint8)
kernel_open = np.ones((3, 3), np.uint8)

morph_closed = cv2.morphologyEx(dark_film_mask,
cv2.MORPH_CLOSE, kernel_close, iterations=1)

dark_film_mask = cv2.morphologyEx(morph_closed,
cv2.MORPH_OPEN, kernel_open, iterations=1)

contours_dark_film, _ = cv2.findContours(dark_film_mask,
cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

dark_film_count = 0
dark_film_areas = []
dark_film_mask_final = np.zeros_like(gray)
for contour in contours_dark_film:
    area = cv2.contourArea(contour)
    if 10 < area < 5000:
```



```
temp_mask = np.zeros_like(gray)
cv2.drawContours(temp_mask, [contour], -1, 255,
thickness=cv2.FILLED)

droplet_overlap = cv2.bitwise_and(temp_mask,
droplet_mask)

if np.sum(droplet_overlap) == 0:
    dark_film_count += 1
    dark_film_areas.append(area)
    cv2.drawContours(dark_film_mask_final, [contour],
-1, 255, thickness=cv2.FILLED)

    light_film_mask = cv2.inRange(filtered,
LIGHT_FILM_THRESHOLD[0], LIGHT_FILM_THRESHOLD[1])
    light_film_mask = cv2.bitwise_and(light_film_mask,
cv2.bitwise_not(dilated_droplet_mask))

    kernel_close_light = np.ones((3, 3), np.uint8)
    kernel_open_light = np.ones((3, 3), np.uint8)
    light_morph_closed = cv2.morphologyEx(light_film_mask,
cv2.MORPH_CLOSE, kernel_close_light, iterations=1)
    light_film_mask = cv2.morphologyEx(light_morph_closed,
cv2.MORPH_OPEN, kernel_open_light, iterations=1)
    contours_light_film, _ = cv2.findContours(light_film_mask,
cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

    light_film_count = 0
    light_film_areas = []
    light_film_mask_final = np.zeros_like(gray)
```



```
for contour in contours_light_film:
    area = cv2.contourArea(contour)
    if 10 < area < 5000:
        temp_mask = np.zeros_like(gray)
        cv2.drawContours(temp_mask, [contour], -1, 255,
thicknes=cv2.FILLED)

        droplet_overlap = cv2.bitwise_and(temp_mask,
droplet_mask)

        dark_film_overlap = cv2.bitwise_and(temp_mask,
dark_film_mask_final)

        if np.sum(droplet_overlap) == 0 :
            light_film_count += 1
            light_film_areas.append(area)
            cv2.drawContours(light_film_mask_final, [contour],
-1, 255, thicknes=cv2.FILLED)

            very_light_film_mask = cv2.inRange(filtered,
VERY_LIGHT_FILM_THRESHOLD[0], VERY_LIGHT_FILM_THRESHOLD[1])
            very_light_film_mask = cv2.bitwise_and(very_light_film_mask,
cv2.bitwise_not(dilated_droplet_mask))

            kernel_close_very_light = np.ones((3, 3), np.uint8)
            kernel_open_very_light = np.ones((3, 3), np.uint8)
            very_light_morph_closed =
cv2.morphologyEx(very_light_film_mask, cv2.MORPH_CLOSE,
kernel_close_very_light, iterations=1)
            very_light_film_mask =
cv2.morphologyEx(very_light_morph_closed, cv2.MORPH_OPEN,
```

```

kernel_open_very_light, iterations=1)
        contours_very_light_film, _ =
cv2.findContours(very_light_film_mask, cv2.RETR_EXTERNAL,
cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

        very_light_film_count = 0
        very_light_film_areas = []
        very_light_film_mask_final = np.zeros_like(gray)

        for contour in contours_very_light_film:
            area = cv2.contourArea(contour)
            if 10 < area < 5000:
                temp_mask = np.zeros_like(gray)
                cv2.drawContours(temp_mask, [contour], -1, 255,
thickness=cv2.FILLED)
                droplet_overlap = cv2.bitwise_and(temp_mask,
droplet_mask)
                dark_film_overlap = cv2.bitwise_and(temp_mask,
dark_film_mask_final)
                light_film_overlap = cv2.bitwise_and(temp_mask,
light_film_mask_final)
                if np.sum(droplet_overlap) == 0 :
                    very_light_film_count += 1
                    very_light_film_areas.append(area)
                    cv2.drawContours(very_light_film_mask_final,
[contour], -1, 255, thickness=cv2.FILLED)

```





```
combined_film_mask = cv2.bitwise_or(dark_film_mask_final,
light_film_mask_final)
combined_film_mask = cv2.bitwise_or(combined_film_mask,
very_light_film_mask_final)
contours_combined_film, _ =
cv2.findContours(combined_film_mask, cv2.RETR_EXTERNAL,
cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
merged_film_count = len(contours_combined_film)
merged_film_areas = [cv2.contourArea(contour) for contour in
contours_combined_film]
total_film_area = sum(merged_film_areas)
for contour in contours_combined_film:
    cv2.drawContours(original, [contour], -1, (0, 255, 0), 2)
total_count = droplet_count + merged_film_count
total_area = sum(droplet_sizes) + total_film_area
average_size = total_area / total_count if total_count > 0 else 0
average_size_um2 = average_size * 12.25
text = f"Total count: {total_count}\nAvg size:
{average_size_um2:.2f} um^2"
font = cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX
font_scale = 0.8
font_thickness = 2
(tw1, th1), _ = cv2.getTextSize(f"Total count: {total_count}", font,
font_scale, font_thickness)
(tw2, th2), _ = cv2.getTextSize(f"Avg size: {average_size_um2:.2f}
```



```
um^2", font, font_scale, font_thickness)

padding = 10

rect_x2 = max(tw1, tw2) + padding * 2

rect_y2 = th1 + th2 + padding * 3

cv2.rectangle(original, (5, 5), (rect_x2, rect_y2), (255, 255, 255), -

1)

cv2.putText(original, f"Total count: {total_count}", (15, 15 + th1),

font, font_scale, (0, 0, 0), font_thickness)

cv2.putText(original, f"Avg size: {average_size_um2:.2f} um^2",

(15, 15 + th1 + th2 + padding), font, font_scale, (0, 0, 0), font_thickness)

name_parts = filename.split("_")

if len(name_parts) >= 3:

    row = int(name_parts[0])

    col = int(name_parts[1])

    data_dict[(row, col)] = average_size_um2

result_path = os.path.join(result_subdir, filename)

cv2.imwrite(result_path, original)

max_row = max(k[0] for k in data_dict.keys())

max_col = max(k[1] for k in data_dict.keys())

heatmap = np.zeros((max_row + 1, max_col + 1))

for (row, col), size in data_dict.items():

    heatmap[row, col] = size

HOST = '127.0.0.1'

PORT = 5005

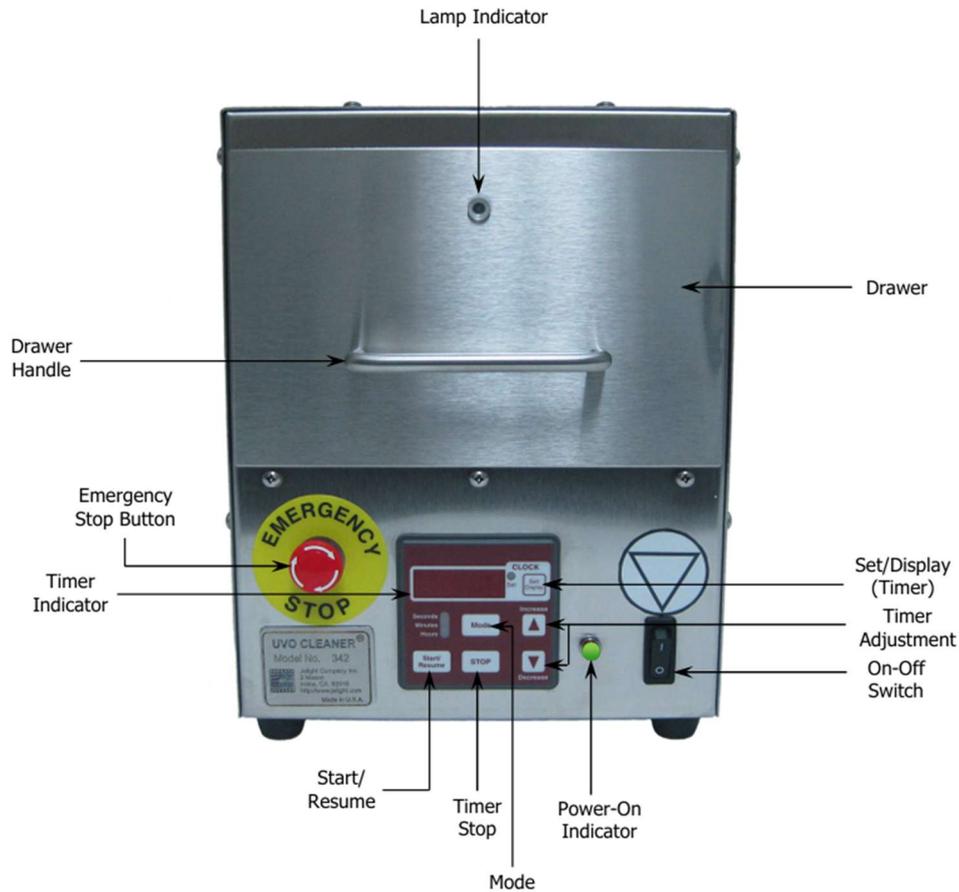
with socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM) as s:

    s.connect((HOST, PORT))
```

```
data_to_send = json.dumps(heatmap.tolist(), ensure_ascii=False)
s.sendall(data_to_send.encode('utf-8'))
s.shutdown(socket.SHUT_WR)
```



## 附錄 R 紫外線臭氧清潔機規格



### Specifications

#### Outer Dimensions

Length	Width	Height	Exhaust Port	Media Inlet Port (2x)
13.70" [350 mm]	8.60" [220 mm]	10.80" [275 mm]	Ø 2.0" [50.8 mm]	Ø 0.375" [9.5 mm]

#### Tray Dimensions

Width	Length	Height (Adjustment Range)
6.50" [165 mm]	6.50" [165 mm]	0.25" ~ 3.50" [6 mm ~ 89 mm]

#### Grid Lamp

Type	Average Intensity	Distance Measured Away From Lamp
Low Pressure Mercury (Hg) Vapor	28 ~ 32 mW/cm <sup>2</sup> @ 253.7 nm	.12" ~ .20" [3 ~ 5 mm]

#### Electrical Characteristics

##### Output Power

Voltage	Current
6000 V <sub>peak-peak</sub>	30 mA

#### Available Input Power Requirements

Model	Voltage	Frequency	Current
342	120 V <sub>AC</sub>	60 Hz	2.0 A
342-220	220 V <sub>AC</sub>	50 Hz	3.0 A
342-220-60	220 V <sub>AC</sub>	60 Hz	2.0 A
342-100	100 V <sub>AC</sub>	50/60 Hz	2.0 A
342 W/ELAPSE TIMER	120 V <sub>AC</sub> , 220 V <sub>AC</sub>	60 Hz, 50Hz	3.0 A



## DMK 21AU04 Specification

GENERAL BEHAVIOR	
Sensitivity	0.03 lx
Dynamic range	8 bit
Video formats @ frame rate (maximum)	640x480 (0.3 MP) Y800 @ 60 fps
INTERFACE (OPTICAL)	
IR cut filter	✘
Sensor type	CCD
Sensor specification	Sony <a href="#">ICX098BL</a>
Shutter	global
Format	1/4 inch
Pixel size	H: 5.6 μm, V: 5.6 μm
Lens mount	C/CS
INTERFACE (ELECTRICAL)	
Interface	USB 2.0 (forwards compatible)
Supply voltage	4.5 VDC to 5.5 VDC
Current consumption	approx 500 mA @ 5 VDC
Auto iris control	✘
Trigger	✘
I/Os	✘
INTERFACE (MECHANICAL)	
Dimensions	H: 50.6 mm, W: 50.6 mm, L: 56 mm
Mass	265 g
ADJUSTMENTS	
Shutter	1/10,000 s to 30 s
Gain	0 dB to 36 dB
ENVIRONMENTAL	
Temperature (operating)	-5 °C to 45 °C
Temperature (storage)	-20 °C to 60 °C
Humidity (operating)	20 % to 80 % (non-condensing)
Humidity (storage)	20 % to 95 % (non-condensing)
Subject to change	

## 附錄 T 座滴法遠心鏡頭規格



**computar**

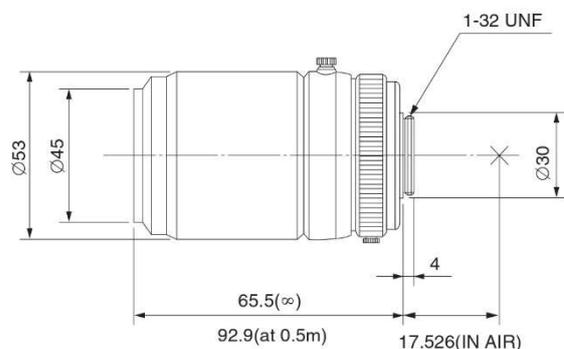
# TEC-M55

**55mm F2.8**  
**for 2/3 type Cameras, Telecentric**  
**C-Mount**

Model No.	TEC-M55			Effective	Front	Ø33.0mm	
Focal Length	55mm			Lens Aperture	Rear	Ø13.3mm	
Max. Aperture Ratio	1:2.8			Back Focal Length	29.8mm		
Max. Image Format	8.8mm x 6.6mm(Ø11mm)			Flange Back Length	17.526mm		
Operation Range	Iris	F2.8 - F32C		Mount	C-Mount		
	Focus	0.14m - Inf.		Filter Size	M43 P=0.75mm		
Control	Iris	Manual		Dimensions	Ø53mm x 92.9mm		
	Focus	Manual		Weight	320g		
Object Dimension at M.O.D.	17mm x 13mm						
Angle of View	D	2/3 type	11.5°	1/2 type	8.3°	1/3 type	6.2°
	H		9.2°		6.7°		5.0°
	V		6.9°		5.0°		3.7°
Operating Temperature	-20°C - +50°C						

M.O.D. : Minimum Object Distance

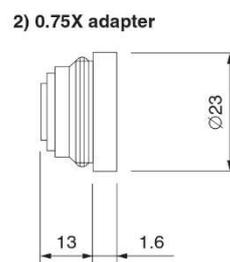
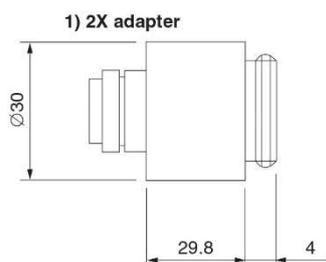
### Dimensions



f=55mm

Working	Angle of View (H)	
	2/3 type camera	1/2 type camera
5,000mm	700mm	550mm
3,000	400	320
1,000	150	120
500	70	53
300	40	32
200	27	20
140	17	12

### Optional Accessory



# 附錄 U 微量注射器規格



28W092 Commercial Avenue • Barrington, IL U.S.A. 60010-2392  
800-962-7142 • Fax 847-381-7053 • www.barnant.com • e-mail: barnant@barnant.com

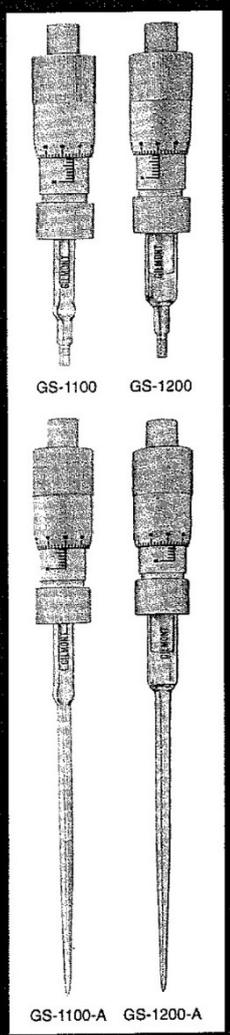
### MICROMETER SYRINGES & BURETS

- 0.5% Accuracy
- Combines High Precision with Economy of Cost
- All Corrosion Resistant Plastic Parts
- Precision Bore Glass PTFE Plunger and VITON® fluoroelastomer O-ring

These syringes and burets represent the ultimate in simplicity of design and ease of operation. Just consider the following features:

- Liquid comes in contact with only glass, VITON and PTFE.
- VITON O-ring gives a vacuum tight seal.
- All other plastic parts of polypropylene—instrument may be autoclaved.
- Available in two sizes, 0.2 mL\* in .0002 mL div. and 2.0 mL in .002 mL div.
- Fills and delivers liquid with micrometer control.
- Simple to clean and assemble.

\*A silt (plastic) ring is furnished with this size.



### DIRECTIONS

**ASSEMBLY**—This instrument is assembled as shown in the diagram for the 0.2 mL capacity syringe. The assembly is the same for the buret, except that the glass part has the buret tip in place of the Luer joint. The assembly for the corresponding 2.0 mL capacity instruments is the same except that a different size glass part, O-ring, PTFE washer, and PTFE plunger are used. The Luer joint of the glass part is for quick and simple attachment of the hypodermic needle.

**FILLING**—The instrument is filled like a conventional syringe except that the plunger is operated by the micrometer screw rather than the push-pull motion of the ordinary syringe. With the plunger all the way into the glass part, the tip of the needle of the syringe or tip of the buret is immersed below the liquid surface. The micrometer screw is retracted to suck liquid into the glass part. Trapped air is eliminated by placing the instrument in a vertical position with the tip up, tapping gently and screwing the plunger back in until all air is expelled. The tip is returned to the liquid and the screw is retracted all the way back until past the zero.

**DISPENSING**—The screw is turned until the reading is exactly zero and excess liquid is carefully wiped from the tip. The micrometer is now advanced until the desired amount of liquid is dispensed. For the 0.2 mL capacity, each division on the sleeve corresponds to 0.0002 mL and each division on the barrel to 0.01 mL or one complete rotation of the sleeve. For the 2.0 mL capacity, each sleeve division is 0.002 mL and each barrel division is ±1 mL. Accuracy is ±0.5% of the reading of ±1 division, whichever is the greater.

**CLEANING**—The simple construction makes it easy to disassemble for cleaning. All parts may be cleaned in the usual manner with a mild detergent and sterilized (do not exceed 250° F) if necessary since they are all heat resistant. After cleaning and drying, the parts are assembled as shown and the instrument is ready for use again.

Syringes			
Capacity in mL	Smallest Division mL	Complete Cat. No.	Glass Only Cat. No.
0.2	.0002	GS-1100	GS-1101
2.0	.002	GS-1200	GS-1201

Burets			
Capacity in mL	Smallest Division mL	Complete Cat. No.	Glass Only Cat. No.
0.2	.0002	GS-1100-A	GS-1101-A
2.0	.002	GS-1200-A	GS-1201-A

### SPARE PARTS LIST

Description	Size	Cat. No.
Plunger Screw Assembly	0.2	GS-1102
PTFE Washer	0.2	GS-1104
O-ring, VITON	0.2	GS-1105
O-ring, VITON	pkg/6	GS-1105/6
O-ring, E.P.R.	0.2	GS-1105-E
O-ring, PTFE	0.2	GS-1105-T
O-ring, PTFE	pkg/6	GS-1105-T/6
Silt Ring	0.2	GG-1115
Micrometer Assembly Compl.	0.2	GS-1110
Micrometer Assembly Compl.	2.0	GS-1210
Micrometer Nut	0.2 or 2.0	GS-1121
Micrometer Barrel	0.2 or 2.0	GS-1122
Micrometer Sleeve	0.2 or 2.0	GS-1123
Micrometer Lock Nut	0.2 or 2.0	GS-1124
Plunger Screw Assembly	2.0	GS-1202
PTFE Washer	2.0	GS-1204
O-ring, VITON	2.0	GS-1205
O-ring, VITON	pkg/6	GS-1205/6
O-ring, E.P.R.	2.0	GS-1205-E
O-ring, PTFE	2.0	GS-1205-T
O-ring, PTFE	pkg/6	GS-1205-T/6

### SCHEMATIC OF 0.2 mL SYRINGE

**DIMENSIONS**  
 SYRINGE: 5 1/2 in x 1 in D  
 BURET: 10 in x 1 in D

**CAUTION:** Do not clean graduations with organic solvents. Use detergent.

VITON - Reg TM DuPont Dow Elastomers L.L.C.  
 Trademarks bearing the ® symbol in this publication are registered in the U.S. and in other countries.  
 This product is covered by one or more of the following U.S. and corresponding foreign patents: 3,232,177