

## 第五章 結 論

近年來，一種創新且整合跨領域的研究合作在學術界甚至產業界都已然成為非常重要且符合潮流的趨勢。從生物科技的觀點來看：傳統上，利用大量的數據做統計的分析似乎已經不能滿足生物人的胃口。所以，雷射鑷夾非接觸、非破壞的單一操控，很自然的成為一種結合了光學、物理與生物科技的跨領域整合。自從1986年，Arthur Ashkin等人首次利用單一光束高度聚焦產生將微粒子侷限於空間中後，雷射鑷夾發展至今也已經有將近二十年的歷史。雖然，二十年在整個自然科學發展的過程中只是一小部分，但是這二十年對於生物醫學的發展可算是一大突破。

在本篇論文中，我們從雷射鑷夾以及光子力顯微鏡的基礎理論開始介紹，並且利用光學模擬軟體概略的推論出探測光束式光子力顯微鏡的架設方式。接著，我們實際的組裝出一套離焦探測光束式光子力顯微鏡，並且完整的介紹探測光束的實際架設技巧。接著，對於光子力顯微鏡在微粒子位置的解析度的校正方法也訂定出一套辦法。最後，對我們架設的系統做解析度以及光彈簧係數的校正，並且嘗試在生物間黏附力的問題上做實際應用。在實驗的過程中，我們得到以下的結論與心得：

1. 離焦探測光束式光子力顯微鏡的架設：我們除了以模擬的方式得到探測光束的架設方式外，還利用了CCD攝影機以及四象限光偵測器兩種方法來判定探測光束聚焦的最佳位置。藉此也提供了架設離焦探測光束式光子力顯微鏡時，在光路校準上的一種依據。
2. 與光子力顯微鏡之比較：在找尋探測光束最佳聚焦位置時，我們同時也比較了傳統只使用一道雷射光束的情形。雖然離焦探測光束式光子力顯微鏡的確可以使四象限光偵測器得到較佳的散射光響應，但我們也發現，當所使用的微粒子小於雷射鑷夾幾何模型的範疇時，雷射鑷夾本身的雷射光束也還可以讓到四象限光偵測器得到不錯的散射光響應。並具備光強度較強所以能夠降低雜訊比例的優點。因此，若沒有架設離焦探測光束式光子力顯微鏡，則可以選擇使用微粒子小於雷射鑷夾幾何模型的範疇的大小，來進行光子力顯微鏡的應用實驗。
3. 光子力顯微鏡力量測機制之特性：傳統上，最常被使用來測量雷射鑷夾捕捉力的水流黏滯力法，因為必須透過水流的沖刷以及影像的辨識，才能間接得出雷射鑷夾捕捉力，導致其結果較不客觀。由於光子力顯微鏡具有單一微粒子追蹤的特性，使得在雷射鑷夾捕捉力的校正上擁有較為便利且正確的方法。

4. 光子力顯微鏡單一微粒子追蹤之特性：因為光學上的繞射極限，使得我們對於微粒子在空間上位移的解析度有限。而光子力顯微鏡提供了對於被雷射鐳夾捕捉的微粒子奈米等級的空間解析度，使得我們可以利用對微粒子高度的空間解析做出更多相關的應用。
5. 光彈簧係數法之應用：在這篇論文中，我們成功的利用光彈簧係數法來校正不同雷射功率下雷射鐳夾的光彈簧係數。此外，我們也比較了一顆單純被捕捉住的微粒子所受到的光彈簧係數與藉由膠原蛋白黏附到另一顆微粒子所受到的力彈簧係數。藉此我們證明光彈簧係數量測法的可行性。

而在這套離焦探測光束式光子力顯微鏡架設的後期，本實驗室也開始應用本篇論文提到的方法與技巧，陸續的在其他的光子力顯微鏡系統上也開始加裝探測光束。所以，在未來的實驗中，如此的一套系統想必會被更廣泛的運用在其他各式各樣的領域上。我們希望這篇論文所提供的，不只是對於系統的架設有直接的幫助，更希望在未來的實驗上，可以間接的刺激出更有價值的貢獻。

