

利用電腦全像片建構多光點動態鉗住系統

魏名佐，楊坤達，張耀仁，林政宏*，何恭璿**，陳慧琪，邱爾德
生醫光電工程研究所，國立陽明大學

*光電工程研究所，國立台灣大學

**光學系統組，光電工業研究所，工業技術研究院
臺北市北投區立農街二段 155 號

Phone:(02)2826-7000#5120, Fax:(02)2820-1093, E-mail : aechiou@ym.edu.tw
(NSC-92-2218-E-010-23)

Abstract---我們利用 *Liquid Crystal On Silicon (LCOS)* 在 *Nd:YAG* 雷射 (倍頻 532nm) 照射下，於不同灰階度時所造成的相位差 (從 0 到 255 灰階約有 3π 的相差)。進而利用 LCOS 的相位差顯示已計算好的電腦全像片，使雷射光經 LCOS 反射打入 100X 的油鏡後，形成多光點動態的光學鉗住系統。經過我們所設計的多光點鉗住系統，可以在雷射光進顯微物鏡總強度約為 45mW 時，同時鉗住五顆 2.58 μm 的塑膠球，並以 5 $\mu\text{m}/\text{s}$ 的速度做動態的鉗住旋轉。

Keywords: 光鉗, 液晶, 電腦全像片, *Holographic Optical Tweezers*, *Micromanipulation*.

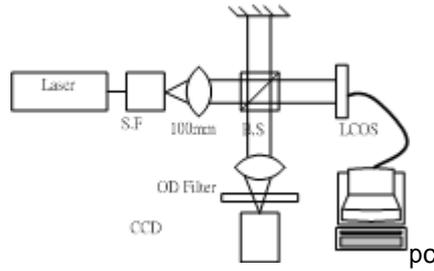
(一) 實驗簡介

1969 年 A. Ashkin 發現利用光壓的原理可以將一道聚焦的雷射光推動漂浮在水中直徑為 0.6 到 2.5 μm 的微粒，也就是 *Optical Levitation*。並在 1970 年利用兩道對打的雷射光 (*Counter Propagating Laser Beams*) 鉗住直徑為 0.59 到 2.68 μm 的塑膠球[1]。1986 年，A. Ashkin、J. Dziedzic... 等人共同發現了利用一道高度聚焦 ($\text{NA} > 0.6$) 的雷射光束，對於漂浮在水中的微粒會產生光動量的變化，並在焦點處會產一個與光前進方向相反的軸向吸力，再加上其橫向吸力，會將微粒往光強度高的地方吸引，藉此可將球固定在焦點處，並可任意在三維空間中操控直徑大小為幾十 μm 至幾百 nm 的單顆微粒，這就是所謂的 *Single-Beam Gradient-Force Optical Trap* 或是 *Optical Tweezers*[2]。

有別於利用單道雷射光 (*Optical Tweezers*) 做微粒或是生物樣本的鉗住，在實驗應用量測上，多光點鉗住具有相當高的應用潛在力，例如利用兩道單光束的光鉗做 DNA 或是蛋白質之間作用力的量測研究[3]。但如果欲利用單光束的架設達到多光點鉗住的功用，必須增加進入顯微物鏡的雷射光束，同時也增加了其複雜度。因此，1998 年 E. R. Dufresne 和 D. G. Grier 利用雷射光經過繞射元件所產生的圖形，再經過一聚焦顯微物鏡形成多光點於焦點上，進而抓取微粒[4]。此種方法對於實際在做生物樣本量測系統的時候，只需利用單一道雷射光束經過設計過後的繞射元件，便可產生多光點的動態鉗住了。

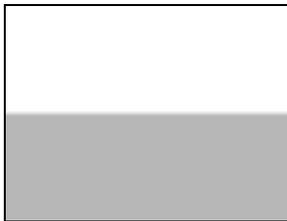
(二) 實驗架設

我們所使用的繞射元件是 *HoloEye* 所生產的 LCOS (*Liquid Crystal On Silicon*)，像素為 1388 x 780 pixels。為了解所輸入於液晶上的灰階度與液晶分子旋轉後的相位差是否相應，我們架設了一麥克森干涉儀 (如圖一)。一道雷射光經過空間濾波器 (S.F.) 及一焦距為 100mm 的透鏡做濾波及擴束，再經由分光鏡分別將雷射光打在 LCOS 以及反射鏡上。並將兩道反射回來的光束經過一透鏡成像在 CCD 上，觀察其干涉所造成的相位差。

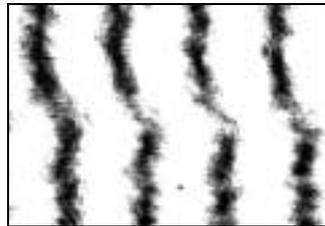


圖一：LCOS 相位檢測系統

我們將不同灰階程度的圖形（如圖二），顯示在 LCOS 上，圖二上半部保持為白，下半部則用不同的灰階輸入，經由 CCD 觀察其干涉條紋的變化（如圖三），我們得知當 LCOS 顯示 256 種不同灰階程度時，會造成不同程度的相位差。本系統中所用的 LCOS 其灰階改變與液晶所造成的相位差如圖四所示（Holoeve 提供：www.holoeye.de）。

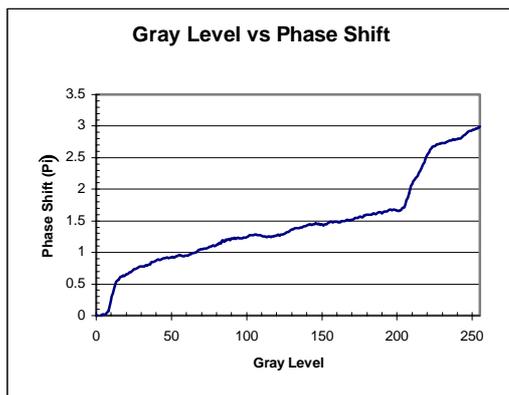


圖二：顯示於 LCOS 的灰階圖形

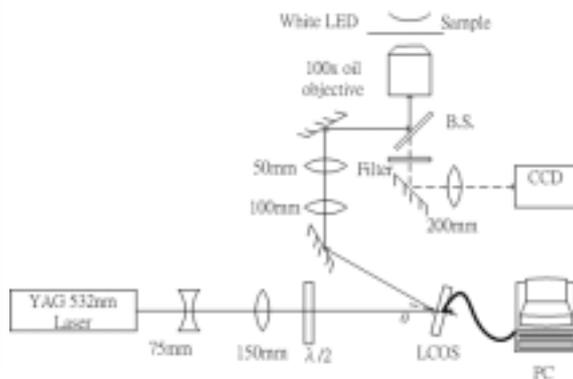


圖三：LCOS 與鏡反射的光束干涉並成像於 CCD 的圖像

得知相位差與灰階的關係後，我們架設一光鉗系統，如圖五所示。將 Nd:YAG 雷射（532nm）經過 75mm 以及 150mm 的透鏡做擴束，再經過半波片調整雷射光打入 LCOS 時的偏振角度，以達到 LCOS 最佳的繞射效率。雷射光打在 LCOS 上後以約 5 度的角度反射雷射光，再以 100mm 與 50mm 的透鏡把光束縮到符合顯微物鏡的孔鏡大小，將雷射光打入 100x 的油鏡顯微物鏡中。並將樣本台架設於顯微鏡上方。經由 LED 光源照射樣本後，使用濾光片將雷射光濾掉，再經由 CCD 監控樣本台上微粒的操控情況。



圖四：灰階與相位差的關係

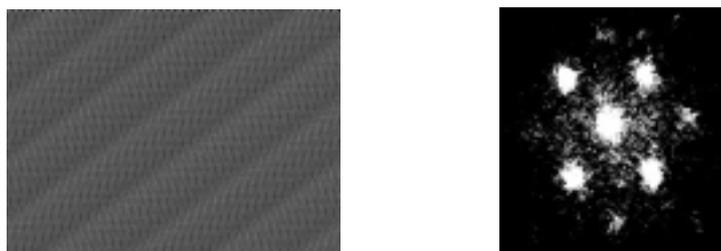


圖五：多光點動態光鉗系統架設圖

（三）實驗結果

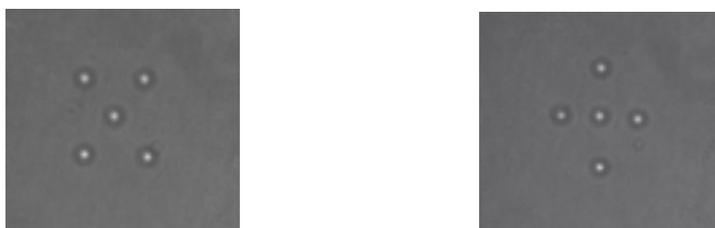
我們將圖四所得到的結果，把 256 個灰階分成 8 階，並設計一 2×2 （四點為 160×160 pixel 之矩陣）的亮點利用電腦全像術計算 LCOS 上要顯示的電腦全像片，如圖六所示。經過上述的多光點動態光鉗系統，經由顯微物鏡將電腦全像片轉換為原設計的 2×2 的亮點，並包含中心的 DC 亮點，一共五個雷射亮點，如圖七所示。將我們欲操控的塑膠微粒 $2.58\mu\text{m}$ 的小球滴入樣本台，

可見到五個亮點分別鉗住了五顆 $2.58\mu\text{m}$ 的微粒，如圖八所示。



圖六：四個光點所計算出的電腦全像片 圖七：經物鏡所看到的雷射亮點

為做其動態的多點光鉗操控，我們設計了一系列的圖形，讓光點每一次改變為 1° 的變化，使四顆微粒圍繞著中心旋轉。圖九便為抓住五顆微粒後，經過一系列的圖形變換，慢慢的將微粒從原本鉗住的位置置換到九十度的鉗住位置。並使其抓住的四顆外圍微粒旋轉速度加快，發現當所設計的旋轉速度約增加到 $5\mu\text{m}/\text{s}$ 時（五個亮點進入顯微物鏡的雷射光總強度約為 45mW ）， $2.58\mu\text{m}$ 的微粒無法跟上光點旋轉的速度，而脫離鉗住位置。



圖八：利用繞射鉗住五顆 $2.58\mu\text{m}$ 微粒

圖九：鉗住五顆微粒後做動態控制

(四) 未來工作

我們希望能應用此多光點動態鉗住系統，探討利用特定蛋白質導引人類神經細胞的成長，並比較在單一以及多蛋白質引導下神經細胞之變化，以及蛋白質與神經細胞彼此之間作用力的改變，藉此對神經細胞重建做更深入的了解。

(五) 特別致謝

本實驗經費來源主要來自工研院光電所光學系統組以及國科會。

(六) 參考資料

- [1] A. Ashkin, "Acceleration and trapping of particles by radiation pressure," *Phys. Rev. Lett*, **Vol. 24**, pp. 156-159 (1970).
- [2] A. Ashkin, J. Dziedzic, J. Bjorkholm, and S. Chu, "Observation of a single-beam gradient force optical trap for dielectric particles," *Opt. Lett.*, **Vol. 11**, pp. 288-290 (1986).
- [3] A. D. Mehta, M. Rief, J. A. Spudich, D. A. Smith, and R. M. Simmons, "Single-molecule biomechanics with optical methods," *SCIENCE*, **Vol. 283**, pp. 1689-1695 (1999).
- [4] E. R. Dufresne and D. G. Grier, "Optical tweezer arrays and optical substrates created with diffractive optics," *REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS*, **Vol. 69**, pp. 1974-1977 (1998).