

Measurement of the Gaussian intensity profiles of a laser beam

Fang-Wen Sheu^{a,b} (許芳文) and Ching-Huang Chang^b (張境晃)

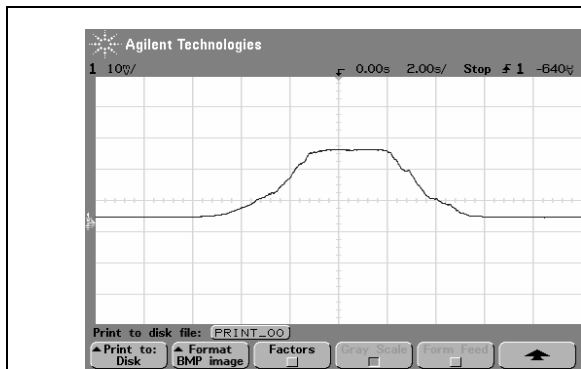
^a Department of Applied Physics, National Chia-Yi University, Chia-Yi, Taiwan.
(國立嘉義大學 應用物理學系)

^b Institute of Optoelectronics and Solid State Electronics, National Chia-Yi University, Chia-Yi, Taiwan.
(國立嘉義大學 光電暨固態電子研究所)

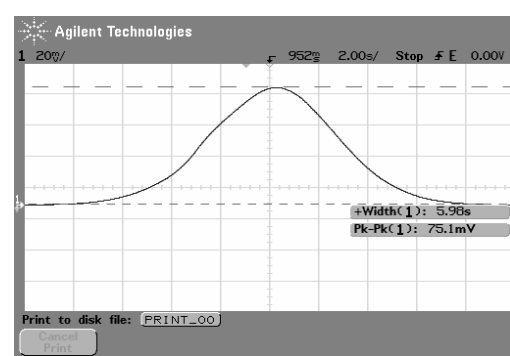
Abstract: We design a pinhole-scan system to measure the Gaussian distributions of a He-Ne laser beam that passed a group of lenses. Our detecting device adopts a single-mode fiber as the so-called pinhole. One side of the fiber is fixed on the top of a motorized translation stage to capture the laser light, and the other side is connected to an optical power meter. A digital storage oscilloscope is used to observe the detected light intensity. When the translation stage as well as the fiber tip is moved across the laser beam, the oscilloscope will display the scanned trace of the laser beam intensity. The evolution of the intensity distributions of a focused or diffracted laser beam was measured and fitted with the Gaussian optics. The variation of the beam waists between different lenses was also measured and compared with the results of q-parameter analysis. Using this system we can observe the Gaussian intensity profiles of a laser beam on the (1+1)-dimensional plane in the vicinity of the focal point.

一、前言

過去量測雷射光的高斯分佈的常用方法有針孔掃描法、狹縫掃描法及刀口掃描法等[1]。一般使用針孔掃描法時容易發生針孔的直徑過大於光束直徑的問題，導致無法準確描繪雷射光束的高斯分佈（如圖一）。這次我們採用 SMF-28 單模光纖[2]來作為我們的實驗的針孔，單模光纖的核心直徑約為 $8\mu\text{m}$ ，比一般實驗用的針孔元件直徑還小，所以能有效改善針孔直徑過大於光束直徑的問題（如圖二）。我們利用新的系統來測量 He-Ne 雷射光束經過透鏡聚焦之前與之後的橫向光強度高斯分佈情形，且探討雷射光束聚焦前後的平行光束半徑大小、光腰（beam waist）半徑大小與透鏡焦距大小及聚焦位置之關係，最後再用 ABCD 矩陣與高斯光束 q 參數[3,4,5]來分析驗證我們實驗所得到資料。



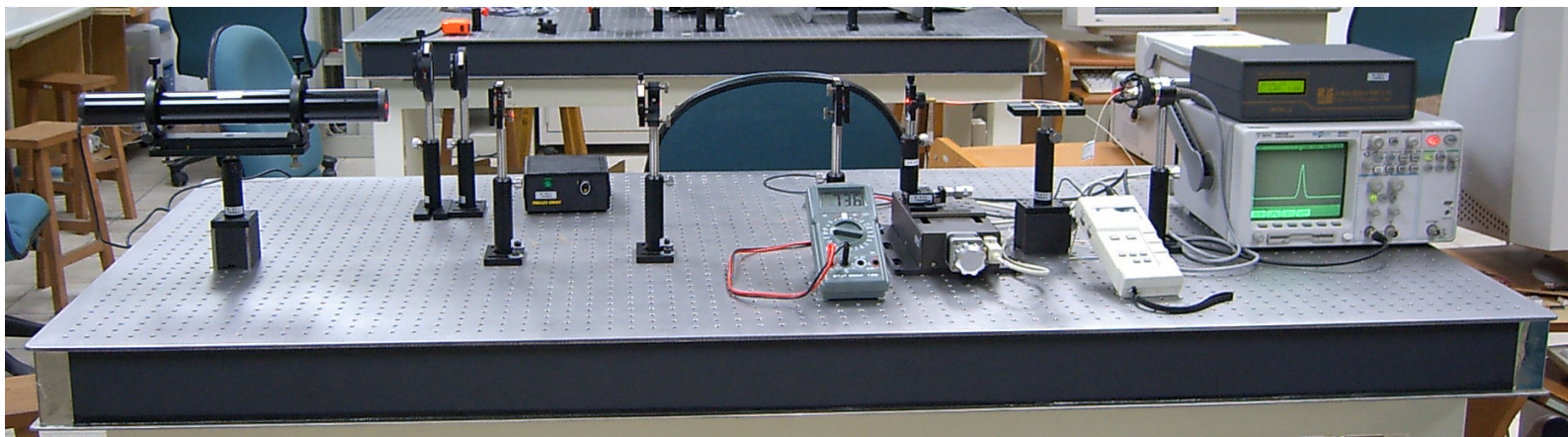
圖一 這是採用空間濾波器的 Pinhole 來當作掃描的針孔，經由示波器所測量到的圖形。圖形中的峰值被截掉是因為針孔的直徑過大於雷射光束焦點的直徑，所以在測量時產生飽和現象，因此無法量到峰值。



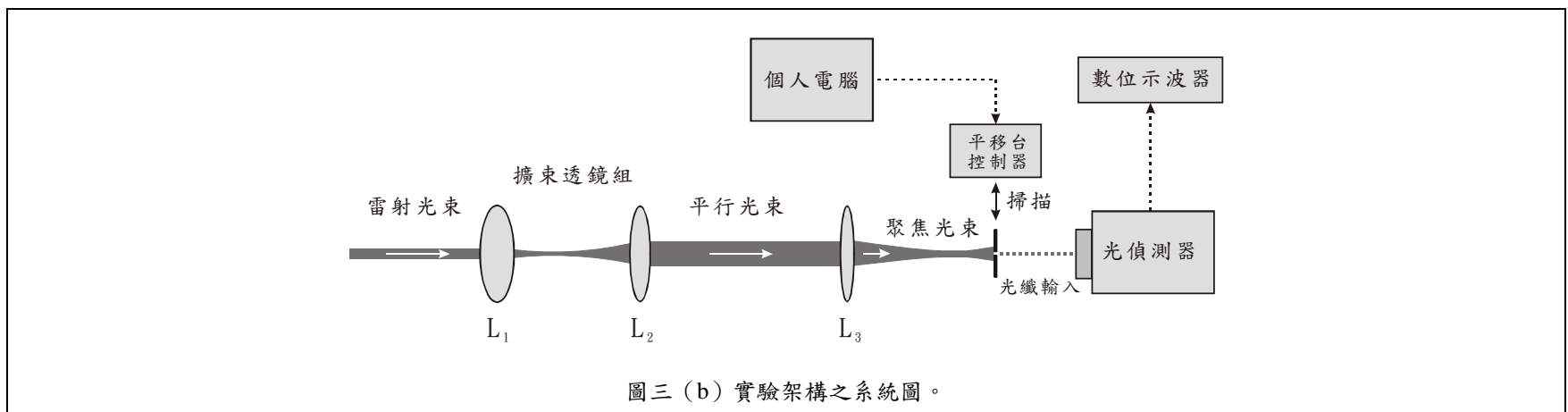
圖二 這是採用單模光纖來當作掃描的針孔，經由示波器所測量到的圖形。由圖形所示，我們得到一個漂亮的雷射光束強度高斯分佈圖。

二、實驗架構

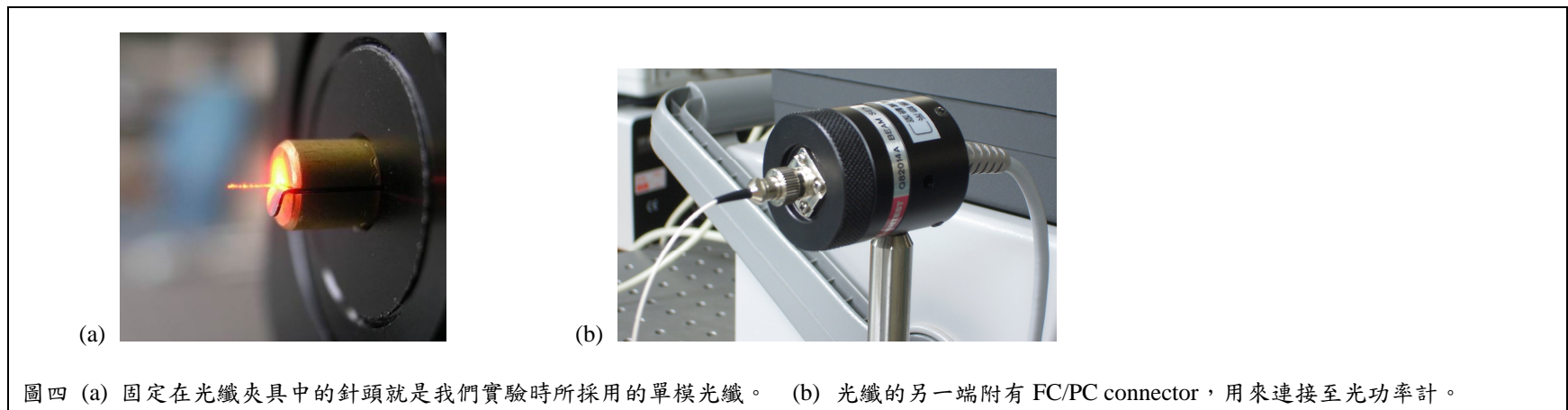
- 整個實驗的架構如圖三所示。先利用光圈將雷射光調整成與桌面平行，再用兩個凸透鏡 L_1 、 L_2 ，將雷射光束擴束為較粗的平行光束，最後雷射光束經過第三個透鏡 L_3 聚焦。



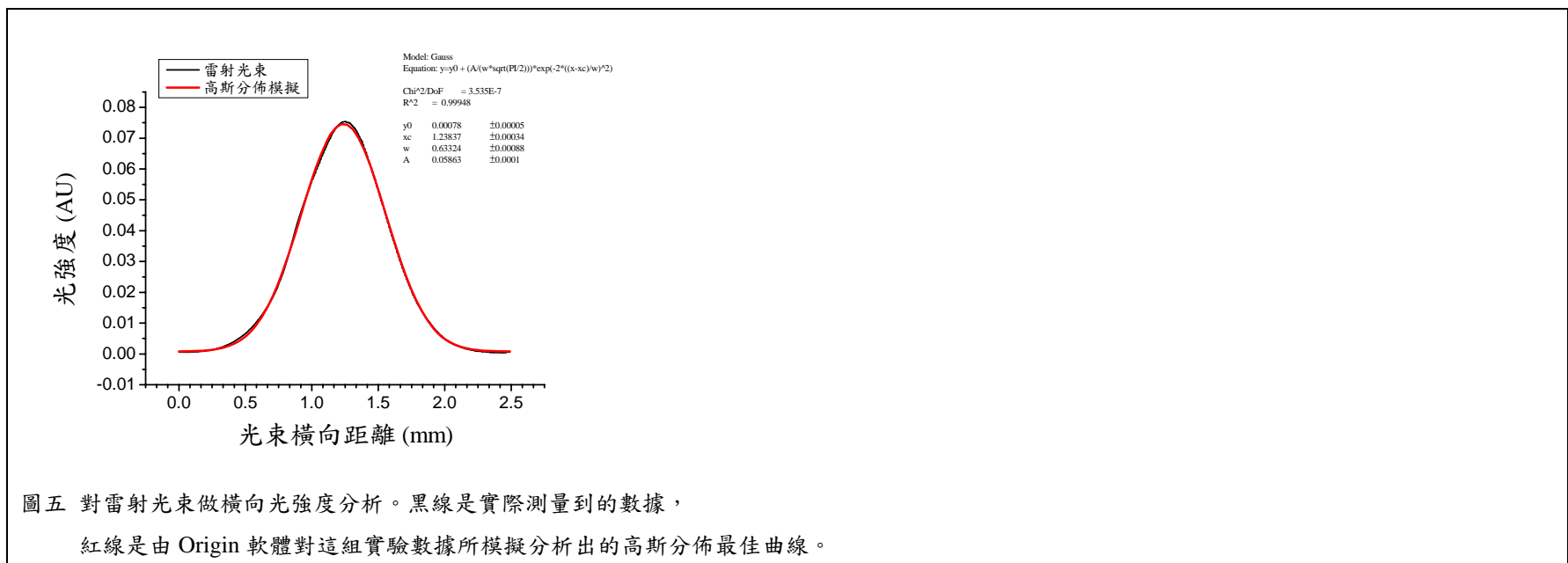
圖三 (a) 實際架構之照片。



- 我們利用 pig-tailed 單模光纖來當作我們這個實驗的針孔（如圖四(a)）。光纖的另外一端附有 FC/PC connector，再利用轉接頭接上光功率計（如圖四(b)）。

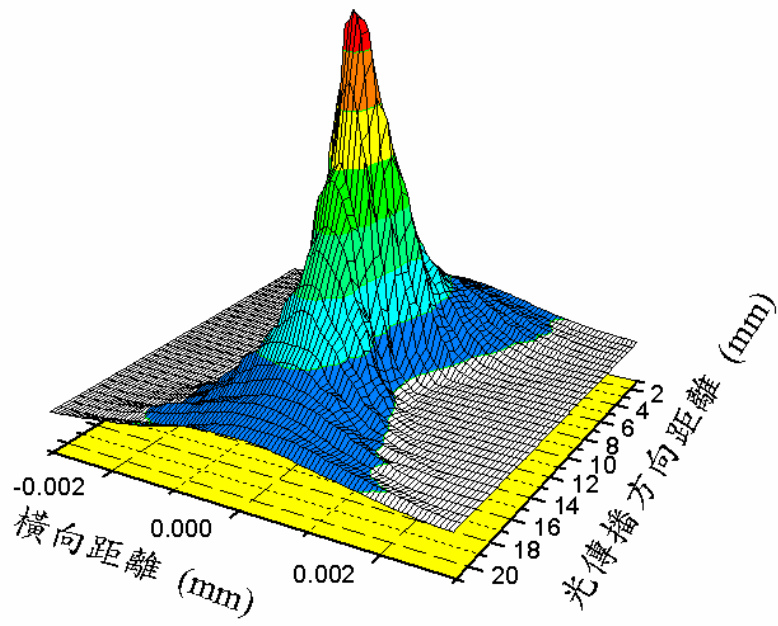


- 使用手控移動平台，沿著雷射光束方向前後調整光偵測器的光纖輸入端（針孔）之位置，找出光強度最大的地方，以決定出雷射光束的聚焦點位置。
- 在雷射光束的聚焦點位置前後各選取約 10 個位置（間隔約 1 mm），利用手控移動平台，將光偵測器的光纖輸入端依序移至該定點，在每個定點位置利用自動控制移動平台作一次橫向掃描，以測量出雷射光束在該定點位置的橫向光強度分佈。光偵測器所偵測到的訊號經由光功率計傳送至數位示波器擷取後，利用電腦連線取得數據。最後將取得到的數據經 Origin 電腦軟體分析處理後，我們便可以得到雷射光在透鏡 L₃ 聚焦點前後的光強度分佈圖（如圖五）。

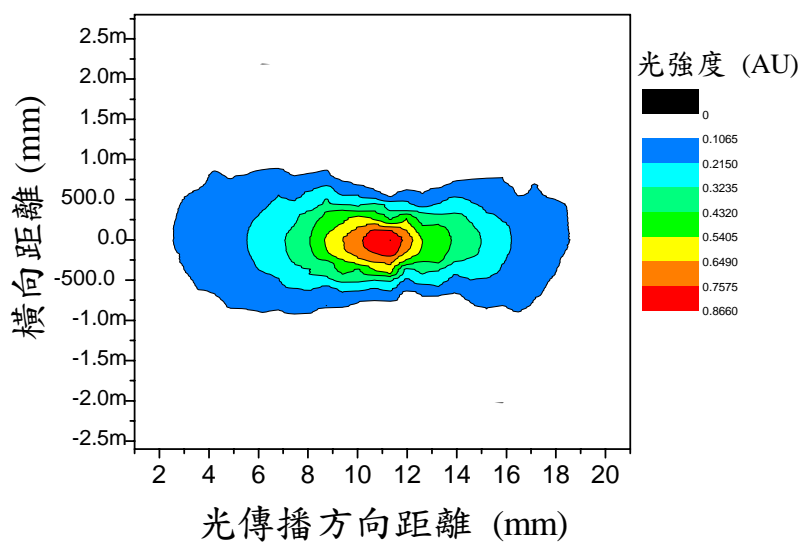


三、實驗結果與討論

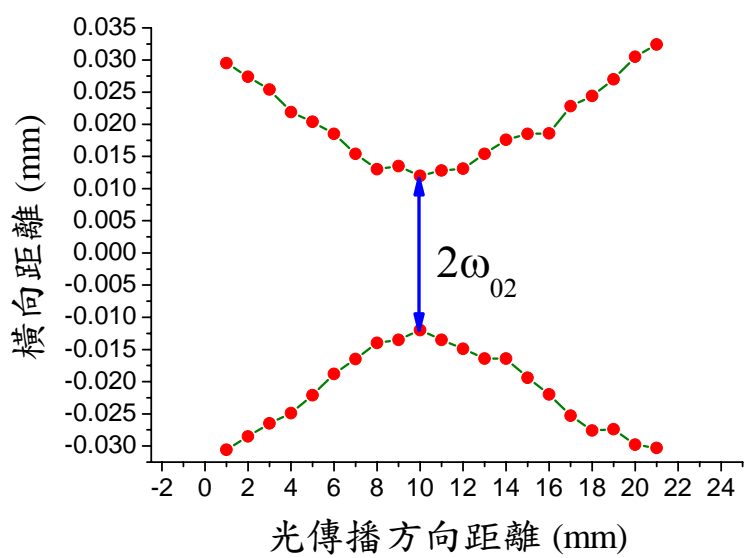
- 雷射光出射後經過兩個凸透鏡 L₁、L₂（焦距分別為 $f_1 = 50 \text{ mm}$ 及 $f_2 = 150 \text{ mm}$ ）擴束後所量測到平行雷射光束的半徑大小 $\omega_{01} = 1.27 \text{ mm}$ 。
- 雷射光束擴束後經凸透鏡 L₃ 聚焦（焦距 $f_3 = 75 \text{ mm}$ ），我們把在焦點前後各 10 mm 的距離的橫向光強度高斯分佈分別繪製成立體圖（圖六）、等高線圖（圖七）以及光腰分佈圖（圖八）。



圖六 橫向光強度高斯分佈立體圖



圖七 等高線圖



圖八 光腰分佈圖。藍色的線段代表在聚焦點的光束之直徑大小，其中 ω_{02} 約等於 0.0125 mm 。

- 我們利用 ABCD 矩陣與高斯光束 q 參數，推導計算出雷射光束聚焦之前與之後的平行光束半徑大小、光腰半徑大小與透鏡焦距大小及聚焦位置之關係，來驗證我們新型的光纖式針孔掃描系統。

$$\text{由 } q_2 = \frac{A_T q_1 + B_T}{C_T q_1 + D_T} \quad \begin{bmatrix} A_T & B_T \\ C_T & D_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f_3} & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - \frac{d}{f_3} & d \\ -\frac{1}{f_3} & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} \text{平行光束的曲率半徑 } R_1=0 \\ \text{光束焦點的曲率半徑 } R_2=0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} q_1=i\frac{n\pi w_{01}^2}{\lambda} \\ q_2=i\frac{n\pi w_{02}^2}{\lambda} \end{cases} \Rightarrow w_{02}^2 = \frac{f_3^2 w_{01}^2}{f_3^2 + \left(\frac{n\pi w_{01}^2}{\lambda}\right)^2}$$

將 w_{01} 以及 f_3 代入上式中計算後我們得到 $w_{02} = 0.0119 \text{ mm}$ ，與我們所測量到的實驗值相當接近，誤差約 5%。

四、結論

我們採取單模光纖來當作針孔，利用針孔掃描法對雷射光束作(1+1)維掃描，並利用光功率計來量測擷取到的雷射光的強度，這樣我們就能把雷射光束在空間中強度的高斯分佈情形給描繪出來。我們曾採用別種材質來當作針孔元件，如空間濾波器的 pinhole 以及紮過針孔的鋁箔等等，不過都發現針孔的孔徑過大，導致無法正確描繪雷射光束的高斯分佈，後來我們採用單模光纖來當做我們實驗的針孔，因為光纖核心的直徑很小，因此可以有效改善使用其他材質的針孔其直徑過大的問題，而且單模光纖可以將接受到的雷射光直接傳送至光偵測器進行量測，簡化了實驗的困難度。

本論文之研究經費是由國科會計畫 NSC-93-2112-M-415-004 及教育部贊助，特此致謝。

五、參考資料

1. 施宙聰教授，國立清華大學光電實驗講義，“高斯光束 (Gaussian Beam) 的測量”。
2. 由 Corning 公司出產的 Single-Mode Fiber, "<http://www.corning.com>".
3. Amnon Yariv, *Optical Electronics in Modern Communications*, Oxford, New York, 1996.
4. B.E.A. Saleh and M.C. Teich, *Fundamentals of Photonics*, John Wiley, New York, 1991.
5. Eugene Hecht, *Optics*, Addison Wesley, New York, 2002.