

Beam shaping and femtosecond laser processing

光束整形之飛秒雷射加工

專題領域：光電領域 組別：B374 指導教授：楊尚達 組員：王譽程、林睿竑

報告摘要

從理論和相關的研究文獻可以知道，Bessel Beam 具有較長的焦深，所以比起 Gaussian Beam 更適合作為雷射焊接的光源，而我們對於此兩者的差別是否如此明顯感到懷疑，為了檢驗實際的應用情形而進行了此研究，因此本研究主要著重於比較 Gaussian Beam 和 Bessel Beam 的各自的特性，以及驗證 Bessel Beam 使用於玻璃焊接上的優勢。

在研究中我們首先進行以 Gaussian Beam 為光源時對輕微晃動的感知能力的實驗，目的在於理解 Gaussian Beam 作為焊接雷射源時的主要缺點。而從結果可以明白 Gaussian Beam 在接受到輕微地晃動後便會使焦點產生明顯的偏移，此現象對於需要極高精度的玻璃焊接而言是相當嚴重的問題，而這也是為何要改用 Bessel Beam 作為雷射源的主因之一。

明白了 Gaussian Beam 的缺點及使用 Bessel Beam 的理由後，我們接著要驗證 Bessel Beam 是否真的具備能使焊接成品更加穩定的特性，於是我們利用實驗室有的素材（軸稜鏡、綠光雷射等）建構出了能產生 Bessel Beam 的系統，也在成像中看到了 Bessel Beam 所具備的性質，並產生了無繞射的長焦深光束，符合了我們的預期。

由於我們的最終目的是實際透過焊接來比較 Gaussian Beam 與 Bessel Beam 在不同條件變數對焊接結果的影響，所以我們會在之後的時間利用商用的飛秒雷射來產生 Gaussian Beam 與 Bessel Beam 進行實際的玻璃焊接，並對成品進行非破壞性的量測與破壞性的應力檢測，也會在經過相關的數據分析後與理論資料做比較，來佐證我們的研究成果。

研究背景與動機

自從飛秒雷射技術(femtosecond laser technique)進入到大眾的視野後，便被廣泛地應用到不同的領域之中，在雷射加工方面也不例外。飛秒雷射指的是雷射的脈衝寬度在飛秒(10^{-15} sec)等級的雷射，其本身具有相當強的功率密度，而在應用於材料加工時更可將雷射光束透過聚焦的方式，使其在焦點產生極高能量，進行焊接等加工，此外，飛秒雷射也具有較小的熱影響區以及能在透明材料(如玻璃)內部加工的優勢，這也讓飛秒雷射技術成為焊接工藝的重要技術之一。

但由於這項技術是將需要焊接的接面部分置於雷射的焦點，若是接面部分不平整或是焊接時出現垂直方向上的晃動，使雷射焦點偏離交界面，都可能會影響成品的強度及穩定性，因此對於精度的要求很高，在此前提下，如何控制焦點的位置便成為最需要被解決的問題。而我們知道Bessel Beam比起一般的Gaussian Beam有著更長的焦深及幾乎無繞射的特性，因此利用Bessel Beam作為焊接的雷射源可以有效地解決上述的問題。

在此研究中我們將先觀察Gaussian Beam經過麥克森干涉儀所產生的干涉圖形，來檢測作為焊接平台的機器是否水平，藉此驗證垂直方向的晃動會造成的影響；接著我們利用軸稜鏡和CW(continuous wave)綠光雷射來生成Bessel Beam，並觀察、量測其性質。而未來我們也會將這些結果實際應用在玻璃焊接上，以佐證使用Bessel Beam作為焊接雷射源的優勢。

研究方法

1. 麥克森干涉儀實驗

麥克森干涉儀是一套利用一個分光鏡及兩個反光鏡組合而成的架構，先利用分光鏡將入射光分離，形成兩條互相垂直的光路，再透過調整兩臂之間的光程差來觀察所形成的干涉條紋的變化。

基於上述功用，我們在垂直的方向上建構了一個麥克森干涉儀(如圖1所示)，並在水平方向放置一個CCD camera來接收形成的干涉圖形。在我們的架構中，我們將垂直光路上的反光鏡放置在之後會作為焊接平台的可動機台上，接著操作機台使其在水平面上(X-Y面)移動，並觀察CCD camera接收到的圖形是否有產生改變，作為判斷機台是否水平的依據。

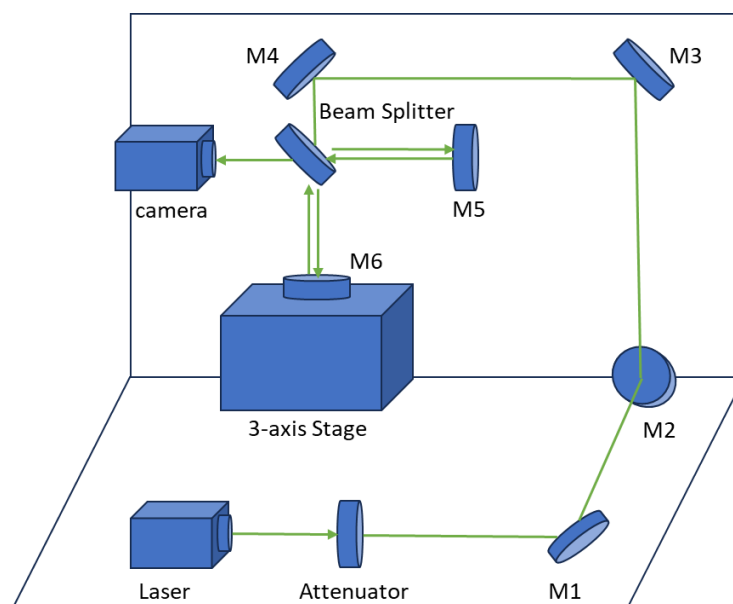


圖1. 麥克森干涉儀實驗架構

2. Bessel Beam的生成與量測

在這個部份我們利用軸稜鏡和CW(continuous wave)雷射來生成Bessel Beam並觀察Bessel Beam的性質。在此架構使用的雷射為綠光雷射，中心波長 $\lambda = 532nm$ 、高斯光束半徑 $\omega_0 = 1.25mm$ ；而軸稜鏡底角的角度 $\alpha = 10^\circ$ 、折射率 $n = 1.458$ 。藉由軸稜鏡的公式可以計算出準直的CW雷射在經過軸稜鏡後所產生的Bessel Beam無繞射傳輸距離 z_{max} 的理論值，公式如下：

$$z_{max} = \frac{\omega_0}{(n - 1)\alpha}$$

經過計算可以得出 $z_{max} = 1.563cm$ ，這表示在這段距離內Bessel Beam並不會產生擴束的情形，而我們便將接收用的camera置於這段距離內，並觀察所生成的圖形。

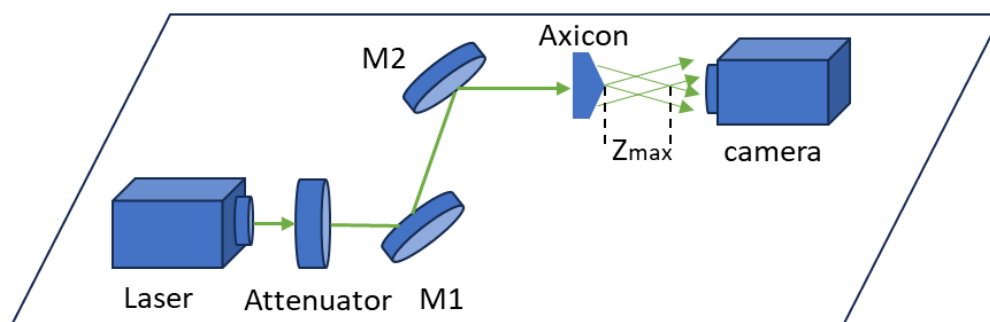


圖2. Bessel Beam生成實驗架構

研究結果

在完成圖一的實驗架構後，我們便利用可動機台的程式去控制平台，讓平台在水平方向上沿著矩形的路徑移動。就理想情況而言，水平方向上的位置改變，並不會影響垂直方向的距離，也就不會讓圖中的兩條光路產生距離差，所以干涉圖形應當不會

產生擾動的情形，但在實際觀察干涉圖形後可以發現，當兩光點重合時平台移動的過程中會持續出現不規則的擾動，並且在我們將兩道光路稍微錯開時形成明顯的等厚條紋往不特定方向移動(如圖3.所示)，這表示實際上當平台在水平方向上移動時，垂直方向上會出現輕微的晃動，造成圖形的擾動現象。

從我們初步的實驗觀察可以知道，當同一區域的亮紋晃動並出現鄰近亮紋時，平台在垂直方向上的位移為半波長的整數倍。由於在雷射焊接的應用上，準確度通常需要達到微米等級，因此像此平台移動時所產生的晃動非常有可能會造成雷射焦點偏離焊接面的情況發生，如此一來也將大大降低焊接成品的品質。而透過這個實驗，也讓我們對於為何要使用Bessel Beam作為焊接的雷射得到了充分的理由。

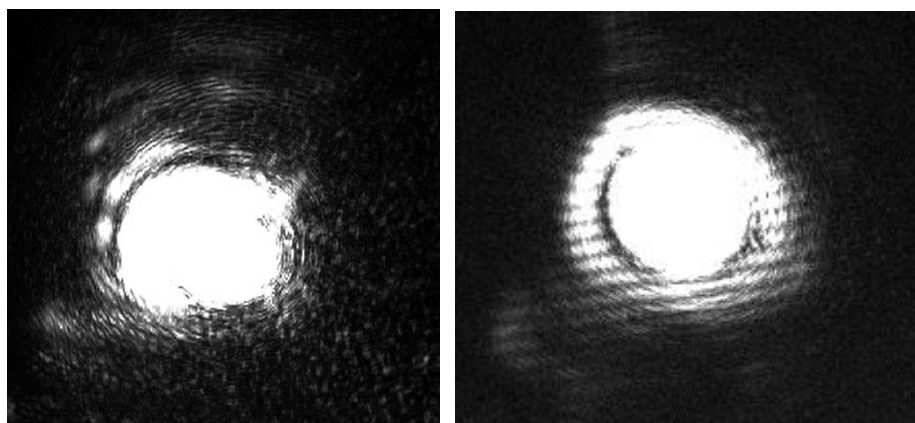


圖3. 擾動的干涉條紋(左圖為兩光路重合，右圖為將兩者略為錯開)

在下個部分中我們藉由軸稜鏡及CW雷射的組合嘗試去生成Bessel Beam，並利用camera接收生成的圖形後可以得到圖4.的圖形，可以看出所產生的圖形都有明顯的同心圓般的圖形出現，且在中心的部分具有最高的強度，這與我們已知的Bessel Beam的圖形特徵相同，雖然也出現了些微的十字狀的變形，仍可認為我們成功產生出了Bessel Beam，而我們也將在之後進行更進一步量測以獲取更為直觀的證據來佐證我們的實驗結果。

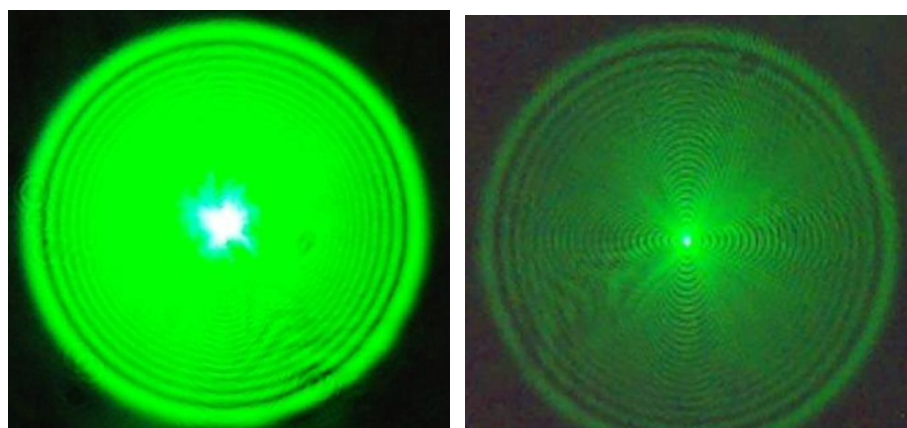


圖4. Bessel Beam圖形 (左圖為濾光前，右圖為濾光後)

總結

從目前已知的成果來看，我們成功的生成了Bessel Beam並觀測到一些基本的性質，也對為何要使用Bessel Beam作為焊接的雷射源有了清楚的理解，驗證了Bessel Beam比起Gaussian Beam具有更長的焦深的特性，而此特點可以改善利用Gaussian Beam對材料進行焊接時在精確性方面的問題。

而有了這些知識後，我們也將在這學期剩下的時間中將到目前為止的所學所感應用到實際的玻璃焊接上，並實際比較利用Bessel Beam和Gaussian Beam作為雷射源時所焊接出來的成品之間的差異是否如我們所預期，最後我們也會對成品進行非破壞性量測與破壞應力的測試，來檢驗焊接的結果，並和教授及實驗室的學長們討論成果與可能的問題。

心得感想

王譽程：

在當初選擇專題時就對該題目有興趣，加上自己在接觸過不同領域的選修課後對光電領域有較高的接受度，於是我們便與楊教授面談，並且被教授對於專題與教學方式的規劃所吸引。在這個專題中依照教授規劃的報告主題，我們便自行查詢相關資料並整理成簡報後報告，教授會根據我們的簡報內容提出疑點並用引導式問答讓我們在過程中推敲出可能的答案，讓我們知道查詢到的資料不一定完全正確，在接收資訊的同時也要思考內容是否合理或能夠解釋通順。

除此之外，也因為有國際生加入其他的專題主題，所以我們在這將近一年的時間裡也順便訓練到了英文的口說跟聽讀能力，我想這些經驗對我們未來在研究或是求職亦有非常大的幫助。

透過暑假的實作訓練，我們學習到如何使用LabVIEW控制儀器、用Matlab或是Origin對擷取到的資料進行分析。當遇到困難時，實驗室的學長姊和博後總是不厭其煩地教導我們光學器材和相應軟體的使用，並給予建議，協助我們順利進展專題。最後，也非常感謝我的組員一起完成這個實驗專題。

林睿竑：

在一開始選擇這個專題時，主要是對題目及學長在專題說明會上的介紹感興趣，可以在專題中了解到雷射的應用及實際操作對玻璃的焊接都是吸引我的幾個特點，加上自己在之前並沒有接觸過光電領域的課程，便希望透過修習這個專題對此領域有更多的了解，因此選擇了此題目作為我的實作專題。為了能更了解這個專題，在教授的建議下我們在第一個學期修了許多光電領域的課程，讓我對雷射的特性及相關應用有了更多的認識；而在第二個學期進入到實作的部分後，因為自己本身並沒有太多相關的量測經驗，所以在光路的調整及影像的分析上都讓我覺得十分棘手，所幸實驗室的學長姐們都非常願意幫忙，也讓我們可以順利完成相關的實驗。

這次的實作專題雖然在過程中遭遇許多挫折，但也讓我培養出了不懼失敗的態度及實作的能力，令我收穫良多，此外，也很感謝指導老師楊尚達教授及實驗室的學長

姊們願意在我們遇到困難時伸出援手，讓我們能完成這個專題，最後也很感謝我的組員的付出，若是只有我肯定沒辦法有現在的成果，感謝他願意和我一起堅持到最後。