

Femtosecond Laser in Glass Welding

飛秒雷射於精密加工之應用-玻璃焊接

指導教授：楊尚達教授

組員姓名：江梓誠、高福

摘要

背景與動機

飛秒雷射為近年來非常重要的技術突破，飛秒雷射是指雷射脈衝寬度在飛秒 (femtosecond, 10^{-15}) 數量級，雷射光束透過聚焦可產生極高功率密度，飛秒雷射在對進行材料加工時，具有熱影響區極小和能夠加工透明材料內部的優勢，而焊接為雷射應用中最流行的技術之一，而當用以飛秒雷射去實施焊接會有非常多的優勢，舉例如無須先行遇熱加工、有較精密的空間解析度、沒有非常顯著的熱變形現象發生、只在焦點附近處融化並重新結晶等。

玻璃一直是工業中不可或缺的材料，其潛在的應用領域包括光學組件、微電子、微流體和顯示技術等。近年來，許多產品都微型化到微米和奈米級別，這意味著對玻璃加工的精度要求將比過去更加嚴格。在我們所研究的專題項目中，藉由改變掃描平移速度、重複頻率和脈衝能量，去討論焊接後所產生的水滴狀結構大小與焊接強度的關係，我們發現 70fs 雷射焊接後的玻璃比 300fs 雷射焊接後受熱效應的影響更小，玻璃的附著力可達 43 公斤，約為 300fs 雷射焊接強度的五倍。此外，飛秒雷射玻璃焊接與傳統焊接不同，採用 70-fs 脈衝焊接玻璃可以有效實現焊接點的完全透明，這對於玻璃焊接來說絕對是一個巨大的飛躍。

原理與實驗架構

當超短脈衝雷射在高功率密度的照射下，材料內部會產生非線性吸收，所謂的非線性吸收即是材料對能量的吸收和雷射功率密度的 n 次方呈非線性關係， n 為被吸收的光子數，飛秒雷射讓電子有足夠能量產生光離子化和雪崩效應(圖 1)，電子吸收 n 個光子產生躍遷，進而形成導帶中的自由電子，導道中的自由電子再吸收多個光子能量之後提升到更高的能階，撞擊周遭原子產生其他的電子，多次撞擊與吸收之後，產生出電漿雲從表面噴出，所以將雷射聚焦於下層玻璃時，在

玻璃與玻璃之間會產生如圖 2 的水滴狀結構[4, 5]，由圖 2 可以看出電漿從底下噴發之後，先融化掉一部分的上層玻璃，再經過冷卻後彼此重新結晶化以黏合玻璃，若有足夠多且一定大小穩固水滴狀結構產生，水滴結構彼此之間距離足夠近，最後會達到玻璃焊接的效果。

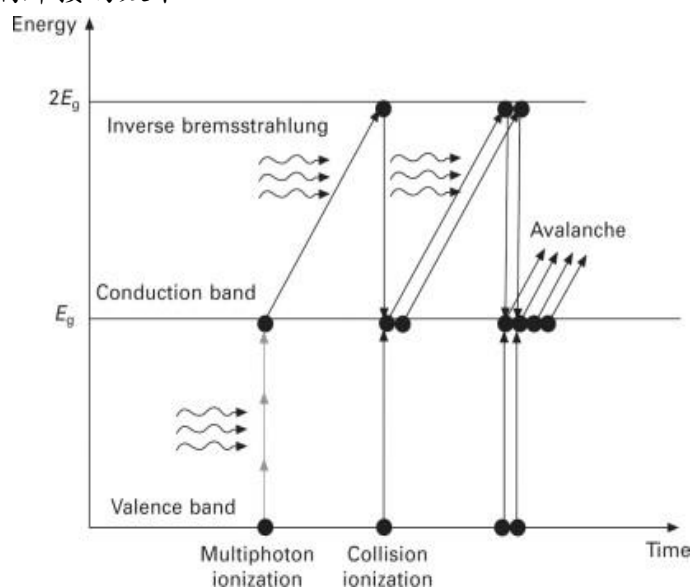


圖 2-1. 光離子化和雪崩效應

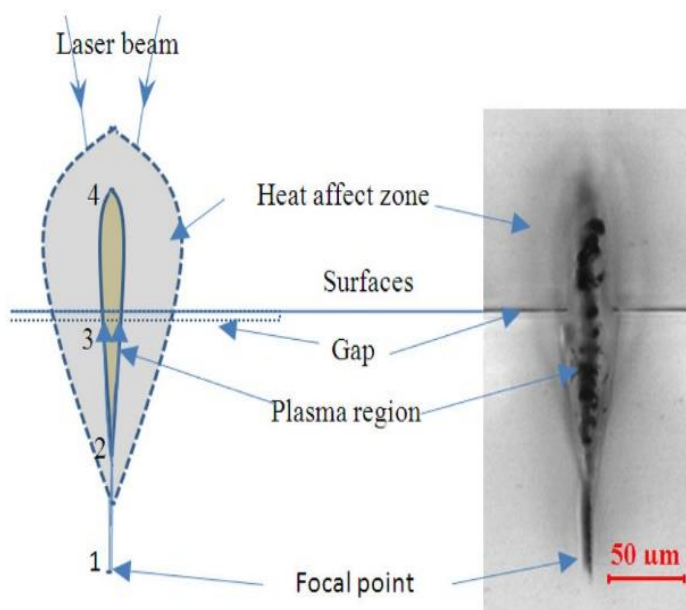


圖 2-2. 玻璃焊接內部結構圖

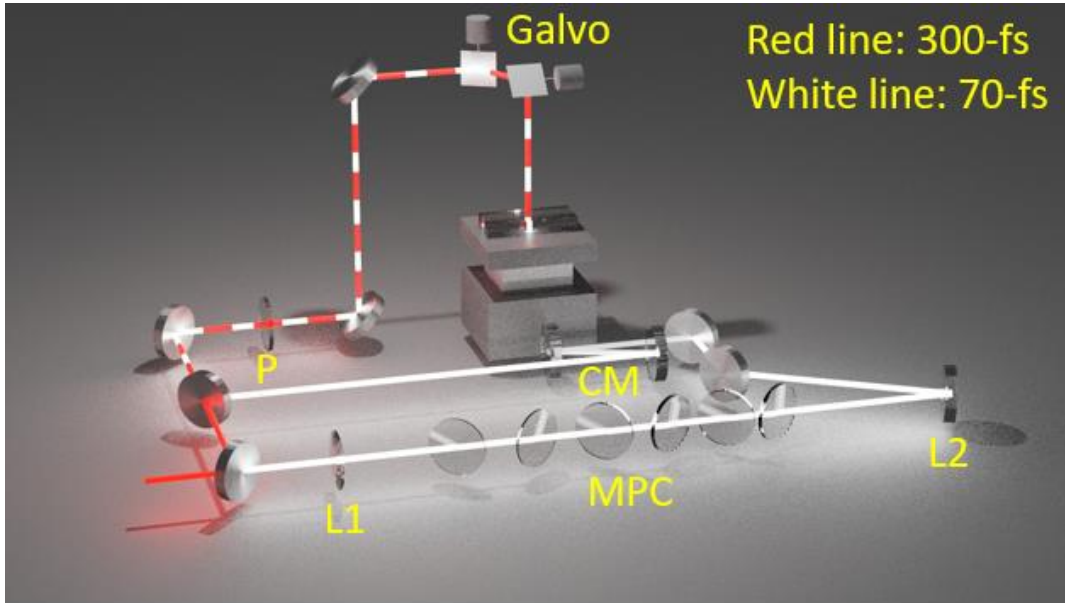


圖 2-3. 實驗架構圖

(P: polarizer. CM: chirped mirror. L1: convex lens. L2: concave mirror.
MPC: Multiple-plate Continuum)

實驗結果

首先，我們的實驗猜想是當水滴狀結構越大且玻璃之間水滴狀結構的寬度大小越大，玻璃的黏著力越強，焊接強度也會越強，為了驗證這個結果。我們將焊接完成後的玻璃切開，使用顯微鏡擷取出水滴狀的結構並量測結構連接處的寬度大小(圖 3-1)。

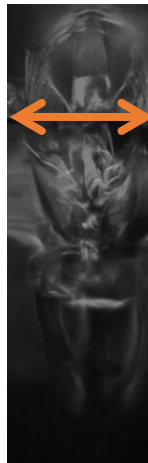


圖 3-1. 顯微鏡下的水滴狀結構，雙箭頭為水滴狀結構寬度

實驗結果最後表明實驗結果顯示出，當結構沒有因多餘的熱效應毀壞的前提下，焊接強度與掃描平移速度成反比，與重複頻率、脈衝能量、和結構寬度成正相關。由此可以看出，若以雷射焊接後玻璃的強度而言，70fs 的超短脈衝雷

射比起 300fs 雷射，在焊接部分是有一定程度的優勢，同條件下(重複頻率 400Hz、脈衝能量為 24.84 μ J、平移速度 50mm/s)的強度差最多可達到 5 倍。

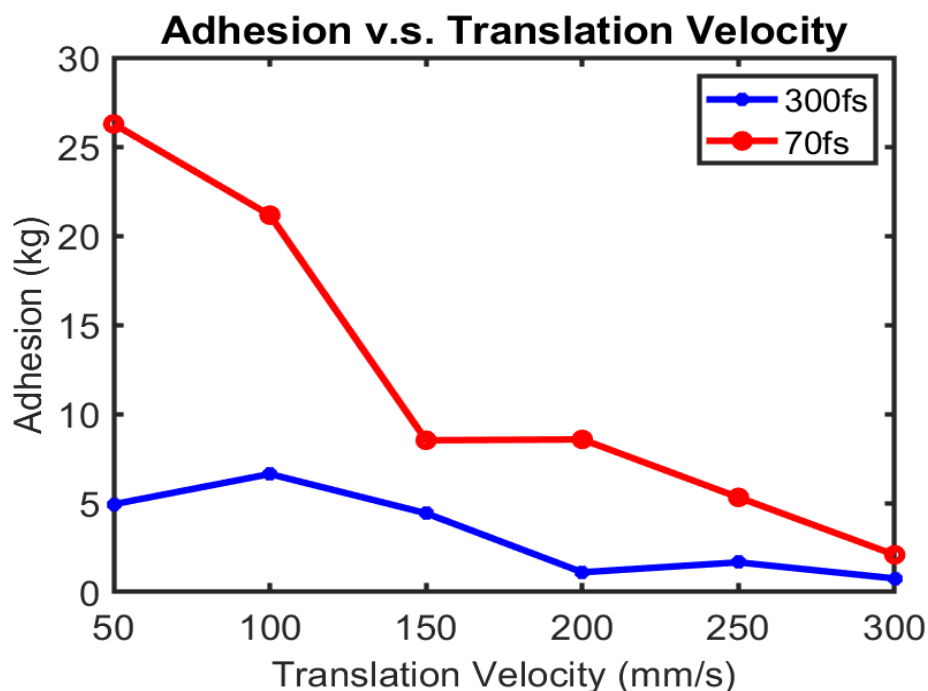


圖 3-2. 70fs 與 300fs 的平移速度與焊接強度關係圖

總結

玻璃材料因有著電磁信號屏蔽低、硬度高、成本低、質量輕等優勢，所以近幾年來逐漸成為 3C 面板，攝像頭模組的材料，使用飛秒雷射來玻璃焊接的價值也相對應提高，加工效率更高，經濟成本降低，因而有著廣闊的前景。

心得

江梓誠：

一開始會選擇做這個專題是因為被標題所吸引，再加上自己之前並沒有接觸過相關領域的課程，對未來要走的科系也還沒有頭緒，所以希望藉由實作專題的機會了解一下相關的資訊，讓自己在規劃未來科系時也能有更多的選擇。在剛開始進行專題研究時我對於實驗室的工作流程非常不熟悉，再加上對於光電領域不熟悉的緣故，每次跟教授報告前都需要研究很長一段時間，雖然最後還是被教授點出許多問題，不過這反而讓我更想要把這門學問學習透徹。經過了一個學期的準備後我們開始了專題的實作，在實作的過程中我得到了滿滿的成就感，因為我們的專題研究是可以看到實物的，所以當我們得到我們期望的成品後所有的挫折感都會煙消雲散，而且在實作的過程中我們還能參觀實驗室裡其他學長姐正在進

行的研究，有不懂的東西大家也都很樂意為我們解惑，整體的氛圍讓我非常喜歡。這次的實作專題讓我找到了我想要鑽研的目標，能夠順利完成這個專題我很感謝指導教授楊尚達老師以及實驗室的博士以及學長姐們在我們有需要時對我們伸出援手，最後也要感謝我的組員願意跟我一起堅持到最後。

高福：

起初只是好奇這個專題題目到底在做甚麼，但越學越覺得著個技術層面可以應用的範圍很廣，並且也接觸了一些學長姐的研究題目，覺得非常新奇、有趣，經過這次專題之後，我學到了很多光電領域的知識，也是做了這個專題後，有了想要繼續往這個領域方面去做研究的念頭，也非常感謝我的指導教授跟實驗室的學長學姊，在我們遇到瓶頸時，不厭其煩的教導我們一些光學器材和實驗軟體如何使用，並且給予我們一些研究方向，協助我們完成專題，也感謝我的組員陪我一起完成這個實驗專題。