

# 雷射切割功率調整模組濾片設計與分析

魏敬易<sup>1</sup>、黃國隆<sup>1</sup>、郭倩丞<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 統新光訊股份有限公司, 台南, 台灣

<sup>2</sup> 國立中央大學能源工程研究所, 中壢, 台灣

電子郵件:cckuo@ncu.edu.tw

**摘要：**適當的雷射功率為達成良好雷射加工品質中不可或缺的關鍵條件之一，因此為滿足雷射加工系統於進行雷射加工製程時，可便於調控雷射功率之目的，因此設計光學式功率調整模組，藉由兩分光鏡同動相同角度但旋轉方向相反之作用機制，搭配光學鍍膜於不同光入射角度時之光穿透率變化，可達成光學式雷射功率調控之目的。本設計完成後，將可達到雷射功率調控範圍：2 ~ 90%，且功率損壞閾值>20 J/cm<sup>2</sup>之分光濾片。

**關鍵字：**雷射切割，光學式功率調整模組，光學薄膜

## I. 前言

雷射切割參數中之切割能量為製程重要指標之一，儘管將雷射切割光點尺寸控制為相同，但若雷射能量不等，則進行雷射切割時之加工特徵尺寸也不會相同，現今的雷射加工系統往往需與多軸向之移動滑台配合，當加入移動滑台之移動速度條件時，加工速度與雷射能量間之多種組合，將能創造出各式各樣之加工結果，因此調控出適當之雷射能量往往才能加工出最理想之特徵尺寸，因此雷射光路系統需配合製程需要，設置一功率調整模組以作為調控雷射能量使用。一般市售之雷射源雖都附有調控雷射能量之電路設計，然而若常以調控雷射源內部之控制電路來改變雷射能量，則易因驅動電路之頻繁變動而減少高單價雷射源之壽命，因此採外加光學式雷射功率調整模組作為雷射切割系統中之功率調控機制，則為理想選擇。

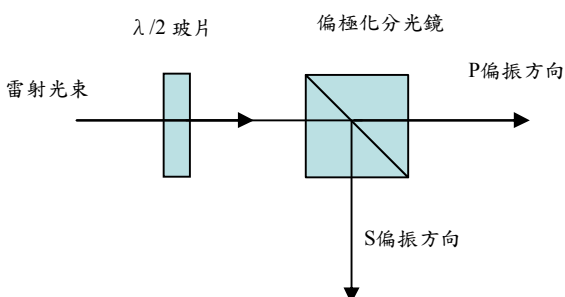
## II. 模組型式比較

### 1. 偏振控制模組(圖一所示)

一般常見之光學式的功率調整模組分為兩種型式，一種為偏極化分光鏡搭配λ/2波片所構成，如圖 2-1 所示，此種功率調整模組的作用原理為，利用λ/2波片之旋轉使雷射之偏振方向改變，而雷射之偏振方向由 S 偏振以及 P 偏振方向所構成，如圖 2-2 所示；因此λ/2波片之旋轉可視為調控雷射光束中之 S 偏振以及 P 偏振之分量，而λ/2波片後端之偏極化 分光鏡可控制僅使 P 偏振方向之光通過，而使 S 偏振方向之光被反射，因此利用此兩元件之組合，即可控制光之功率。

### 2. 分光控制模組(圖二所示)

雷射功率調整模組光學設計之概念與想法由分光鏡



圖一 偏極化分光鏡搭配λ/2波片之功率調整模組

之分光作用機制而來，為單一分光鏡之分光機制，當分光鏡之擺放角度有變化時，光之反射率與穿透率將產生改變。又分光鏡為一具有厚度之光學元件，依據光的折射原理，入射光將在分光鏡內部折射後而穿透分光鏡，入射光被折射一個角度後，造成雷射穿透分光鏡後之光路徑形成一個ΔS的偏移，此偏移雖幅度不大，但仍將影響雷射之加工位置，因此需設法修正，加雷射散設機構，減少雷射任意反射之結果將可能干擾加工用雷射光束之品質，同時也可能造成加工系統之損壞以及操作人員之安全顧慮。

## III. 光學薄膜設計與鍍膜：

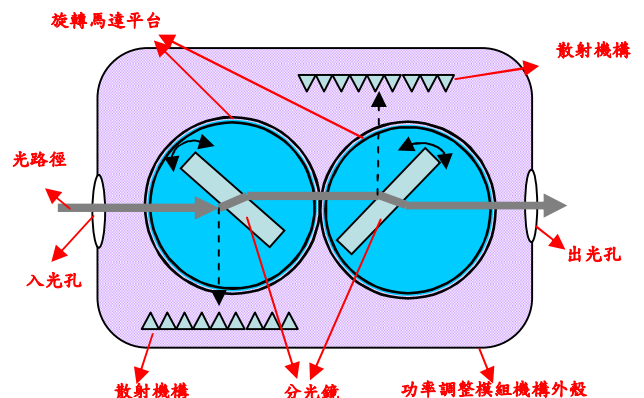
利用 Essential Macleod 軟體進行設計模擬，其模擬結果如圖三所示，再利用 Dual E-gun with ion assistant deposited coater 鍍膜機生產雷射功率分光鏡，結果如圖四所示。利用軟體進行誤差分析，因為相同的設備，相同的鍍膜條件，所生產的光學薄膜其光學特性是固定的，故實際鍍膜結果與設計有誤差時，應是薄膜的厚度誤差所致，分析結果發現該光學薄膜設計，加入千分之五的厚度誤差下，其鍍膜結果會如圖四所示。將該光學濾光片進行物理結構分析(AFM與SEM)，發現其表面粗糙度約為0.89nm，套入散射損耗公式

$$S = R \left( \frac{4\pi}{\lambda} \sigma \right)^2$$

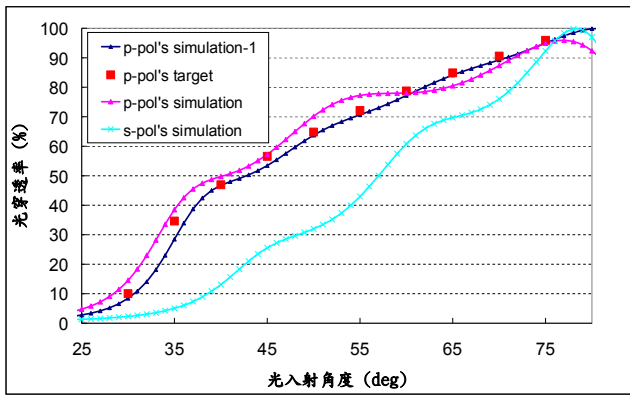
可以得到其損耗約為0.009%，再利用T+R+S+A=1的理論反推，該濾片的吸收損耗A大約為0.008%，利用

$$A = \frac{2\pi n_o (k_H + k_L)}{n_H^2 - n_L^2}$$

可以得知，其兩者鍍膜材料，在這樣的蒸鍍系統中，其消光系數(K<sub>H</sub>+K<sub>L</sub>)的總和大約為3\*10<sup>-5</sup>，且該分光的 Damage Threshold 大約為20 J/cm<sup>2</sup> @1064 4ns pulsed。

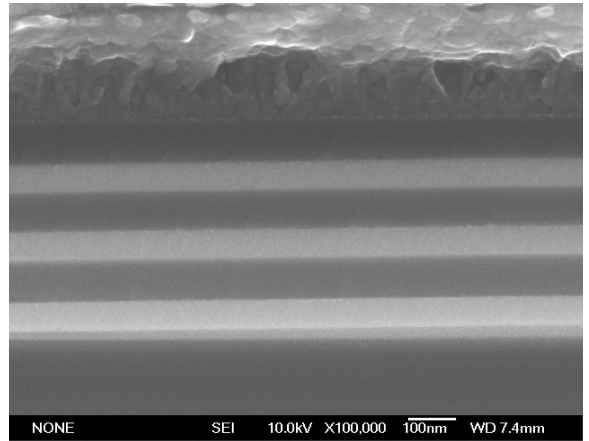


圖二 整體雷射功率調整模組之光學設計架構示意圖



圖三 S 與 P 偏振雷射之單片分光鏡之光穿透率模擬結果

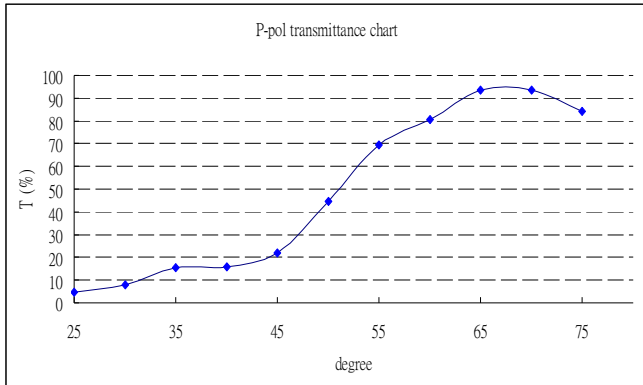
圖五為分光鏡之 AFM 圖形，其表面粗糙度小於 1nm，由圖六 SEM 圖可見多層膜無柱狀結構，由此兩張圖可知分光鏡的鍍膜品質良好。



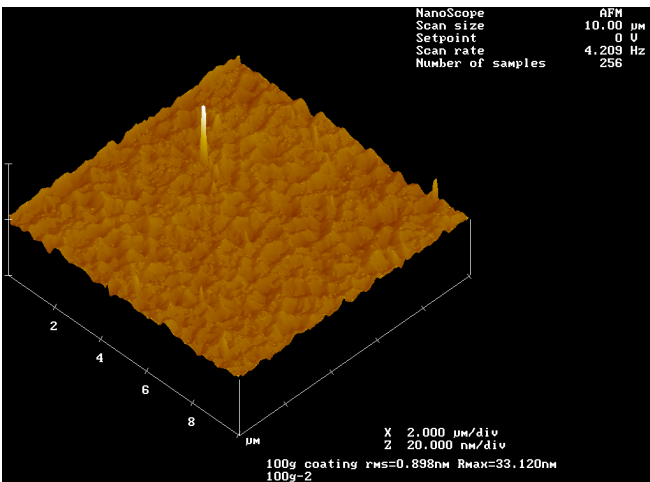
圖六 分光鏡之 SEM 圖

#### IV. 結論

雷射功率調整部份，利用光學控制優於電路控制光學，而分光控制模組又優於偏振控制模組，而分光控制模組架構採兩分光鏡型式設計，可以避免因角度入射導致光位移的現象。從設計與實際鍍膜結果來看，功率調整模組之分光鏡旋角角度介於 25 ~ 67° 之間時，P 偏振方向之光，可達到 0.5 ~ 92% 的光穿透率，又此鍍膜結構經實驗驗證，其於 1064nm 波長的 10ns 脈衝雷射下，具有 20J/cm<sup>2</sup> 左右之功率損壞閾值，故可架構成一功率可調整，且可靠性佳的雷射切割模組。



圖四 分光鏡鍍膜結果(P 偏振)



圖五 分光鏡之 AFM 圖