

雷射加工能力本位訓練教材 認識雷射基礎光學及 光學元件

編號：PMT-LSP0101

編著者：郭時誠

審稿者：黃錦賢、郭慶堂

主辦單位：行政院勞工委員會職業訓練局

研製單位：中華民國職業訓練研究發展中心

印製日期：九十年十二月

單元 PMT-LSP0101 學習指引

100 瓦燈泡的光照亮一個房間，而 100 瓦的雷射光可以切斷厚 10 公分的木板或亞克力、切割金屬板材、銲接金屬、雕刻各種材料。普通光源與雷射光有何不同之處？在進一步學習“雷射加工”前你應該要先了解“雷射原理”系列中的學習單元。假如你認為自己對於“雷射基礎光學及光學元件”單元已經熟悉的話，請從“雷射產生原理”開始學習。

假如你認為自己還不熟悉，請翻到下一頁開始學習。或請教你的老師。

引言

1960 年第一台雷射成功的運轉，開啓了雷射科學應用的新世紀。此後，雷射的應用逐步融入人類的文化及生活當中。近年來不但在新興電子業、傳統工業、商業、醫學、科學、軍事上大量被採用，我們同時也預測了在新的世紀也將有另一番新的發展。

在一系列雷射加工教材中，各位學員將學習各式雷射設備及雷射加工應用。雷射原理認識是了解雷射原理的基礎教材。不熟悉雷射原理的學員可從認識雷射原理開始學習，而且藉本學習單元來預習雷射光學基礎及認識雷射光學元件。這些元件及作用原理將會持續出現在雷射加工學習分類各單元中。

本學習單元首先介紹雷射的結構、各部元件及其作用，第二學習目標是要讓學員了解雷射模式及其可聚焦能力。雷射光之所以能加工即是雷射光具有特殊空間模式(Spatial Mode)，使光束比普通光源更具有聚焦性。數十瓦的普通光源能局部照亮有限的空間，而經聚焦後的雷射光可輕易加工各種金屬及非金屬，這正是雷射特殊之處。第三學習目標是學習計算雷射焦點的大小，並且認識雷射焦點大小對加工的影響。第四單元介紹常用於光功率的術語。

定義

同調性 (Coherence)：雷射光束在不同時間差或不同空間差所能達到的干涉的程度，叫做同調性。

時間同調：指的是光源上同一點在不同的時刻， t_1 和 t_2 所發出的光波的相關聯程度。

空間同調：指的是同一個時刻光源上不同空間上各點所發出的光波的相關聯程度。

縱模 (Longitudinal mode)：光沿著光軸方向，也就是跟光的傳輸方向一致所形成的駐波形式，稱之為縱模。

橫模 (Transversal mode)：雷射光束在與光軸垂直方向，即橫截面上所形成的駐波形式，稱之為橫模。

光束直徑 (Beam Diameter)：光束橫截面積上能量分佈的大小。

光束發散角 (Beam Divergence)：指雷射光束傳輸每一個單位長度距離其光束直徑變化的大小。

聚焦深度：當焦點直徑變化百分之 5 的兩處間距離，稱為聚焦深度。

M^2 光束傳播參數 (Beam propagation Factor)：用數量來表示一個實際的光束接近於理想高斯分佈光束的程度，也是我們常用來評定一部雷射光束的品質。

K 值：一個評定雷射光束品質的參數，是 M^2 值的倒數。

學習目標

- 一、能夠清楚描述雷射的結構、各部元件名稱及其作用。
- 二、能夠清楚說明雷射空間模式(Spatial Mode)與可聚焦性。
- 三、能夠清楚說明雷射光聚焦效應及焦點大小影響因素，並計算焦點的大小。
- 四、能夠清楚描述功率密度、能量密度、脈衝能量、尖峰功率及脈衝寬度。

假如你認為能夠勝任以上學習目標的能力，請翻至第 49 頁做學後評量。假如你需要更多學習的話請翻到下一頁。

學習活動

本單元之學習活動包括雷射基礎知識及雷射功率數據演算。你對雷射的認識與學習可以由下列之二條途徑選擇一途徑去學習。

一、閱讀本教材之第 頁至第 頁

二、閱讀下列參考書籍：

(一) 光電及雷射概論，廖偉民編校，亞東書局出版。

(二) 雷射概論，國興出版社。

(三) 雷射原理與實用技術，蘇品書編著，復漢出版社。

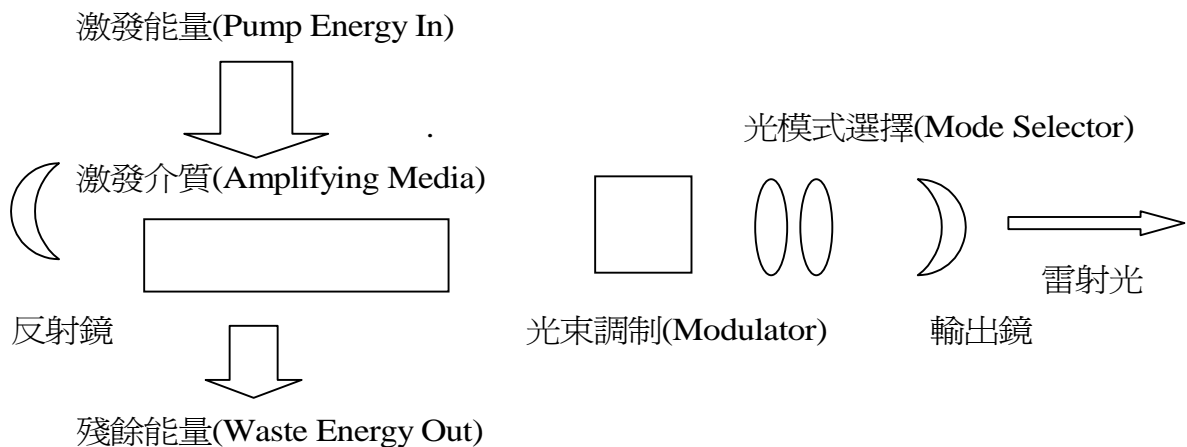
本教材的第一個學習目標是

在不參考書籍的情況下，能夠清楚描述雷射的結構、各部元件名稱及其作用。

雷射結構如下列示意圖（圖一）。雷射的種類很多，新的雷射仍不斷的被開發出來，但均具有相似的結構。有的簡單，有些較為複雜。圖一列出了各部機構的種類，藉此我們可以明白分類出各式雷射，並認識在各式雷射中的各部件。本單元僅列出常見工業用雷射，若要更進一步了解雷射的產生原理，請參考”認識雷射產生原理” PMT-LSP0102 及其後之章節。

雷射 (LASER)，是產生雷射光的特殊機構。自然界的能量以各種不同的形態存在，雷射可以將常見的能源，如電能、光能、化學能等，快速轉換成平行性很高的光，我們稱為雷射光。所以雷射可以稱為能源轉換器。在能源轉換的過程中，外界能量源源不斷匯入轉換器中。雷射轉換器粹取一部份能源，並將它共振及轉換成行為一致的雷射光。在轉換過程中損失的能量大都以熱能形態流失，轉換完成的雷射光經過共振腔的放大共振，射出雷射，即形成，功率大、聚焦性佳的雷射光。若要更進一步了解雷射光的特性請參考”認識雷射特性” PMT-LSP0103 及其後之章節。

所有雷射均有一定的結構。請參考圖一。各主要組成依序說明如下：



圖一

一、激發能量 (Pump Energy In)：激發能量提供足以產生雷射光的動能，並持續維持光能量在一定程度。有以下各種類型：

輝光放電---用於氣體雷射，如 CO₂ 雷射。

光能量---使用閃光燈的 Nd:YAG 雷射，或直接用二極體雷射當激發光能量。

電流---如在半導體雷射中使用帶電荷的電流激發雷射光。

化學能源---如化學反應產生的高能量，也可以激發雷射光。

二、激發介質 (Amplifying Media)：激發介質是粹取同調光束 (Coherence) 的主要結構，是產生雷射的心臟。依狀態有以下各種類型：

固態激發介質---例如植入了高遷躍原子的晶棒、多晶固體。

此類雷射稱固態雷射。

氣態激發介質---為特殊分子、原子的組合。常見的二氧化碳雷射、氦氖雷射是氣態雷射。

液態激發介質---為可發螢光的液體，如染料流體等。稱液態雷射。

三、殘餘能量 (Waste Energy Out)：雷射在轉換過程中損失的能量大都以熱能形態流失，流失的熱能被快速傳導到冷媒，並迅速帶走，或被擴散到較低溫處。殘餘能量必須儘速帶走，才能流暢能量傳導通路。愈快帶走殘餘能量，愈能再投入更多的激發能量，而產生更強的雷射光。

四、光腔結構 (Optical Configuration)：光腔結構的種類有很多，常見的有穩定共振腔、不穩定共振腔、及具有另一具放大器的共振腔。光共振腔通常由兩個平行光學鏡片組成。其中一片鏡片將雷射光反射回激發介質，另一片鏡片也將一部份雷射光再反射到第一個鏡片，來回的反射即形成共振效應。而激發能量不斷匯入激發介質，有一部份的雷射光由前端部分反射鏡射出，形成高強度雷射光。第三種具放大器的共振腔是一種取出高能量密度的雷射結構，常見於需要高功率密度的特殊加工應用。

五、雷射出光方式:為應付不同應用，有時候必須調整雷射出光方式。

連續出光(CW) 雷射光以連續的方式射出。

脈衝出光(Pulsed) 雷射光以高脈衝的方式，以特定頻率射出。

六、光束調制及光模式選擇：利用各種光學晶體調制光束出光方式，及脈波特性。不同的雷射採用不同的元件，如 CW Nd:YAG 雷射可採用 Q 開關(Q Switch)，此透明晶體可將連續光調制成高峰值的脈衝光束。例如 cw/q switch Nd:YAG 雷射，採用 13MHz 的頻率調制 Q 開關晶體，使比雷射可以 0 到 65kHz 的脈衝加工。被調制的雷射光可用於不同的加工。

光模選擇元件可過濾高模態(Higher Mode)光束而保留適用的光束模式用於加工，以期達到特定效果。

七、反射鏡及輸出鏡：反射鏡是鍍有高反射性材料的光學元件。不同的雷射用不同的反射鏡，如高功率 CO₂ 雷射常用鍍膜銅鏡，Nd:YAG 雷射使用高反射鍍膜的石英玻璃。

輸出鏡有穿透式及反射式兩種，如用於 CO₂ 雷射的有鋅化碲(ZnSe)鏡片、鍺(Ge)鏡片，或用於 Nd:YAG 雷射的 Fused Silica 鍍膜鏡片。

反射鏡與輸出鏡組合成光學共振腔，將介質激發出來的光捕捉於共振腔中。源源不斷的輸入激發能量可由光學共振腔中大量地粹取出具平行度、同調性的光束，此光束離開具半透射、半反射功能的輸出鏡，即形成雷射光束。

所有雷射設備均具有上述各部機構，當學員面對雷射設備時，請詳加對照圖一及以上的說明，即可清楚雷射元件的種類及作用。

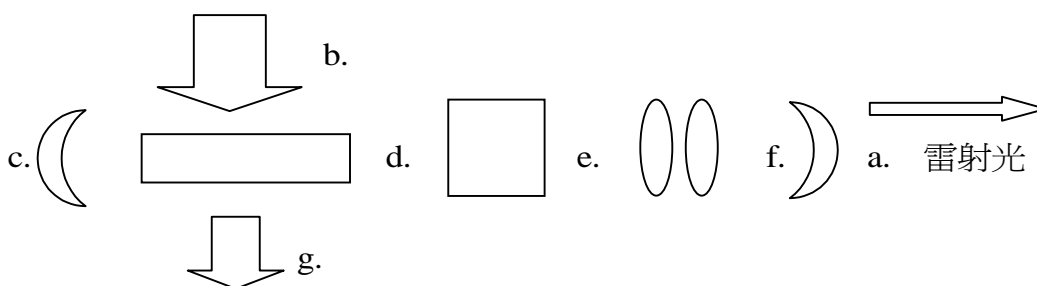
學習評量一

請不要參閱書籍或資料，在下列各題前之空格寫出正確的答案。

(一) 是非題：

- () 1.雷射是一種光能量的轉換裝置，將能源轉換成雷射光。
- () 2.二氧化碳雷射是一種氣體雷射，它使用輝光放電方式產生雷射光。
- () 3.激發介質是產生雷射光的心臟。採用 Nd:YAG 晶棒者，此類雷射可稱為固態雷射。
- () 4.雷射在轉換過程中損失的能量大都以熱能形態流失，流失的熱能必須儘速帶走，才能流暢能量傳導通路。
- () 5. 用於 Nd:YAG 雷射的有鋅化碲(ZnSe)鏡片、鍺(Ge)鏡片，或用於 CO₂ 雷射的是 Fused Silica 鍍膜鏡片。

(二) 填空題：依據下圖雷射結構，請寫出對應的字母於括號內。



- 1.輸出鏡片 → ()
- 2.激發介質 → ()
- 3.光束調制器 → ()
- 4.反射鏡片 → ()
- 5.激發能量 → ()
- 6.殘餘能量 → ()
- 7.模式選擇器 → ()

筆記欄

學習評量一答案

(一) 是非題：

(○) 1.

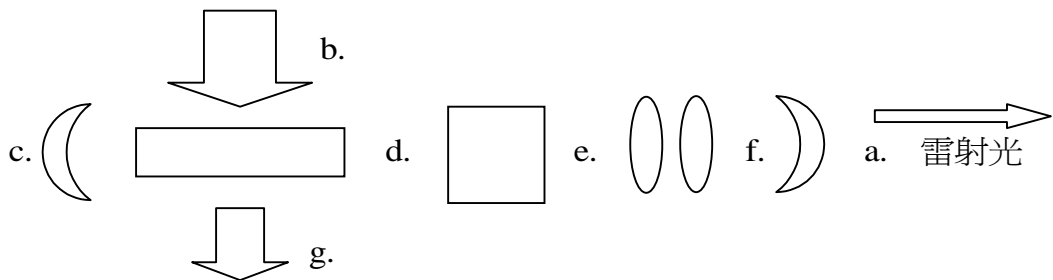
(○) 2.

(○) 3.

(○) 4.

(×) 5.用於 CO₂ 雷射的有鋅化碲(ZnSe)鏡片、鍺(Ge)鏡片，或用於 Nd:YAG 雷射的是 Fused Silica 鍍膜鏡片。

(二) 填空題：依據下圖雷射結構，請寫出對應的字母於括號內。



- | | | |
|---------|---|-------|
| 1.輸出鏡片 | → | (a) |
| 2.激發介質 | → | (d) |
| 3.光束調制器 | → | (e) |
| 4.反射鏡片 | → | (c) |
| 5.激發能量 | → | (b) |
| 6.殘餘能量 | → | (g) |
| 7.模式選擇器 | → | (f) |

假如你的答案與上述重點相似，請翻到第 13 頁做學習評量，如果你的答案不與上述重點相似請翻至第 6 頁重新閱讀以便發現錯誤之處，並將第 10 頁的錯誤改正，然後翻第 12 頁。想要多學點的話，請翻到 4 頁閱讀參考書籍。

本教材的第二個學習目標是

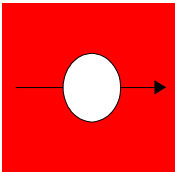
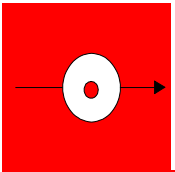
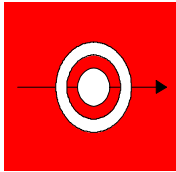
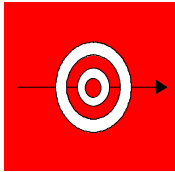
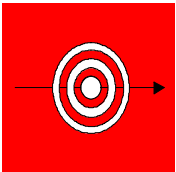
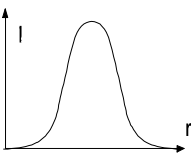
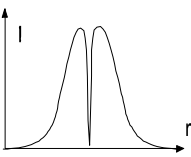
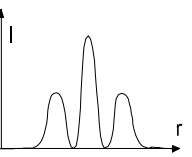
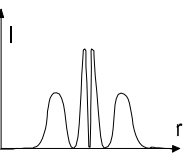
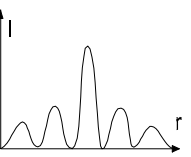
能夠清楚說明雷射空間模式（Spatial Mode）與可聚焦性。

光束在離開共振腔結構中的輸出鏡時即形成雷射光。雷射光具有高度的同調性（Coherence）或稱方向性。所以可以發射到很長的距離，仍維持一定的光束寬度。愈平行的雷射光擴散愈小光束品質愈佳。工業用雷射均須要好品質才能具有強大的能量密度用於加工。用來描述雷射光束品質的術語，就是雷射模式(Laser Mode)。

一、雷射模式（Laser Mode）：

雷射光是沿著電場與磁場交互作用的垂直面方向傳播。雷射光須要聚焦才能具有強大的能量密度，此聚焦性與電磁場模式分佈（Transverse Electromagnetic Mode, TEM）有著重要的關聯性，此橫向的能量分佈，我們統稱為雷射模式。請參考圖二，光束縱向及橫向投射圖。

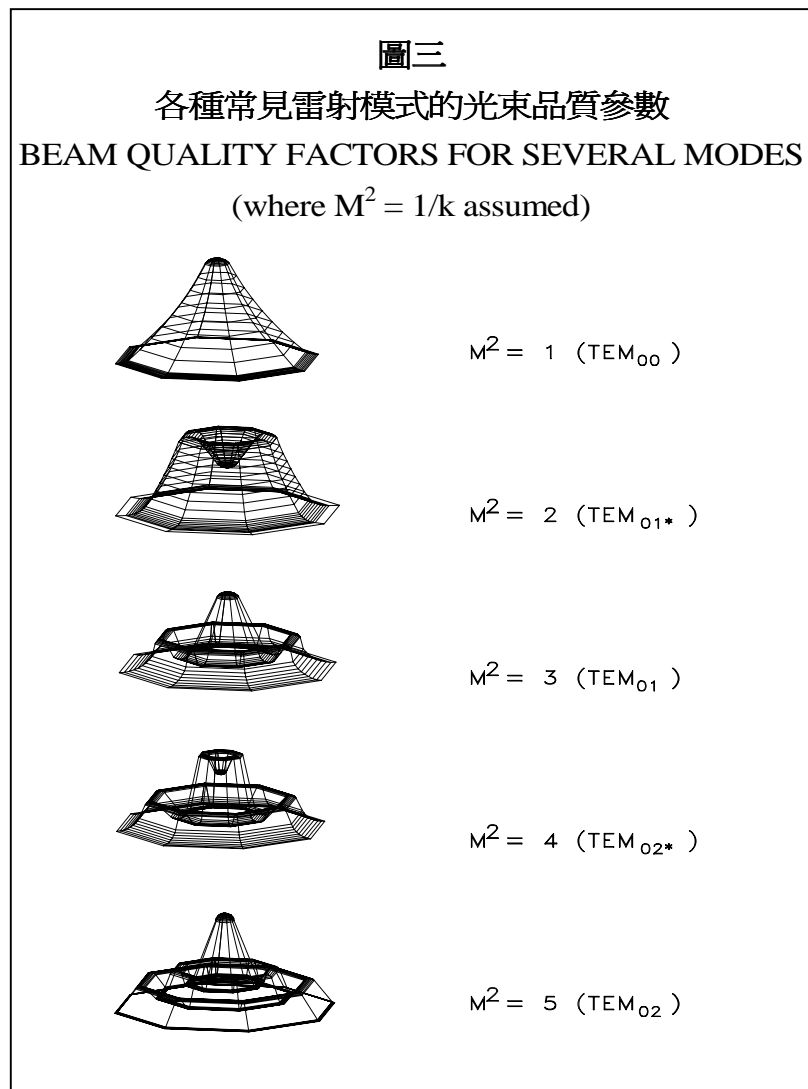
圖二 光束縱向及橫向投射圖

				
				
TEM ₀₀	TEM _{10*}	TEM ₁₀	TEM _{20*}	TEM ₂₀
K=1	K=0,5	K=0,33	K=0,25	K=0,2

一個鐘(Bell)形，或稱高斯(Gaussian)模式(TEM₀₀)，具有最好的聚焦能力。具有此模式的雷射光可被聚焦到接近理論聚焦點的大小，因而有最高的功率密度(Power Density)，使雷射加工(切割、焊接、雕刻)有最佳速度及品質。

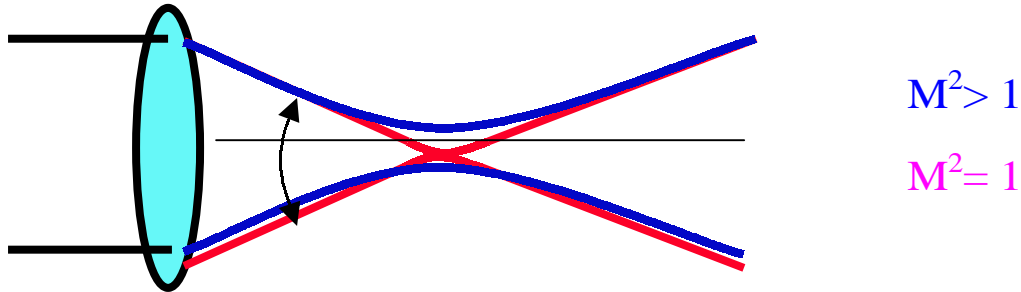
二、 M^2 繞射極限值 及 K-Factor 光品質參數

雷射的模式可由一個數值 M^2 來代表。 M^2 是光繞射的極限數值(Diffraction Limited Factor),以高斯模式(TEM₀₀)分佈的雷射光，其 $M^2=1$ ，多重模式的雷射光(TEM₀₁,TEM₀₂)，其 M^2 有較大的值。請參考圖三，雷射能量分佈及代表的 M^2 值。 K -Factor 也是常用的光品質參數。 $K=1/M^2$



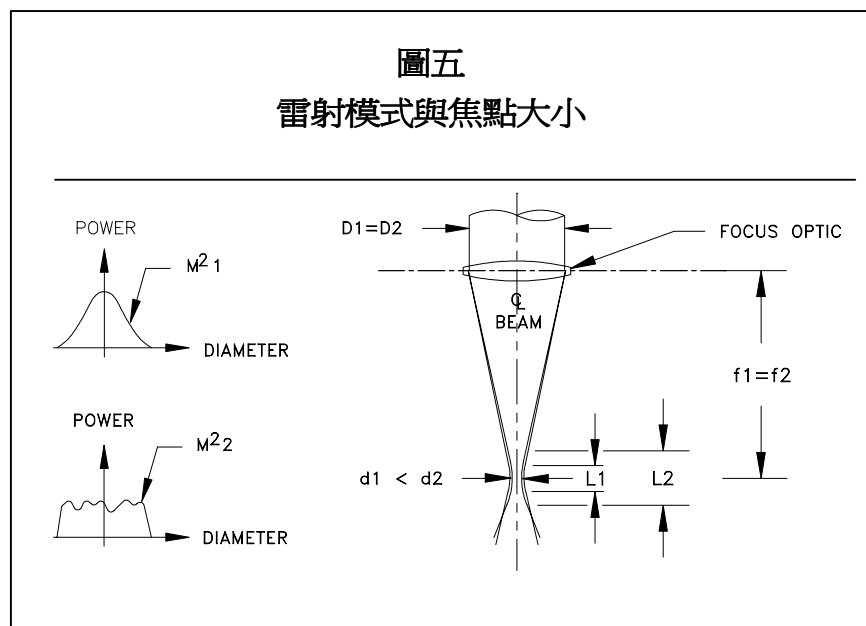
雷射光束的擴散角 θ 正比於 M^2 值及雷射波長 λ ，反比於光束寬。如圖四，
 $\theta = M^2 (4 \lambda / \pi D_0)$

圖四



也就是說具較高的 M^2 值、多重模式(Multi-mode)的雷射光，在傳播時傾向於擴散開來，因此聚焦點較大，產生較低的功率密度；反之， M^2 值較小的低階模式具有較佳聚焦性。

此外多重模式(Multi-mode) 或高階模式 (Higher order)的雷射光空間分佈大都呈不對稱狀態 (asymmetric power distribution)。此種光束聚焦點較大，焦點功率密度也較小。如圖五所示。



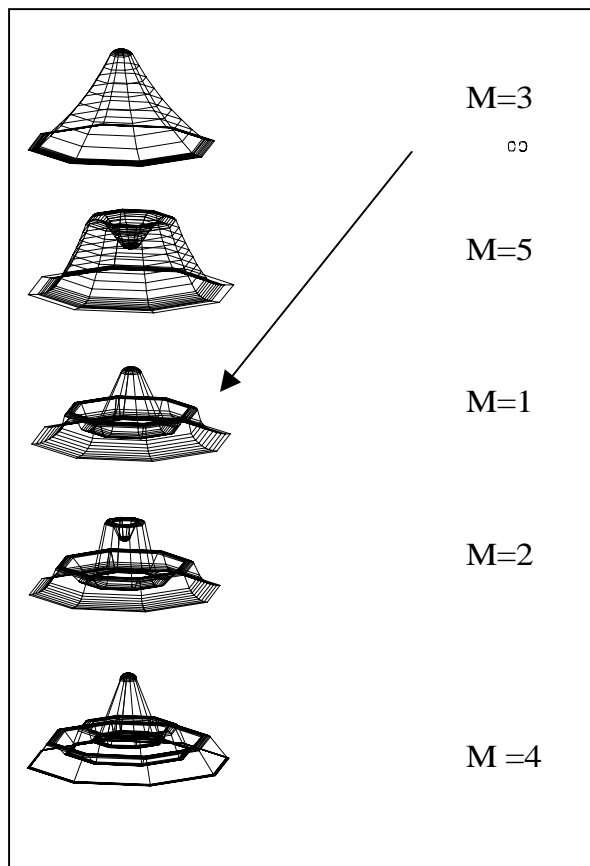
學習評量二

請不要參閱書籍或資料，在下列各題前之空格寫出正確的答案。

(一) 是非題：

- () 1. 雷射光是沿著電場與磁場交互作用的垂直面方向傳播。電磁場模式分佈(Transverse Electromagnetic Mode, TEM)，我們統稱為雷射模式。
- () 2. 高斯模式(TEM00)，具有最好的聚焦能力。雷射光可被聚焦到接近理論聚焦點的大小，因而有最高的功率密。
- () 3. 雷射光束的擴散角 θ 正比於 M^2 值及雷射波長 λ ，反比於光束寬。
- () 4. 多重模式(Multi-mode)的雷射光，在傳播時傾向於擴散開來。
- () 5. M^2 及 K 值越大小代表雷射光束的品質越好。

(二) 連連看：依據下圖雷射模式結構，請劃出對應的 M^2 值。

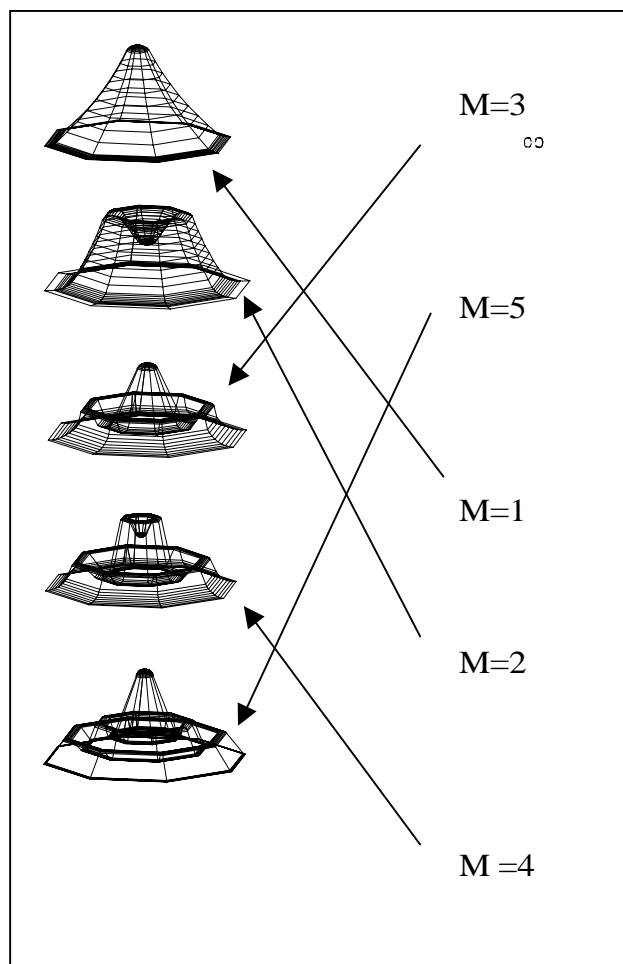


學習評量一答案

(一) 是非題：

- (○) 1.
- (○) 2.
- (○) 3.
- (○) 4.
- (○) 5.

(二) 連連看：依據下圖雷射模式結構，請劃出對應的 M2 值。

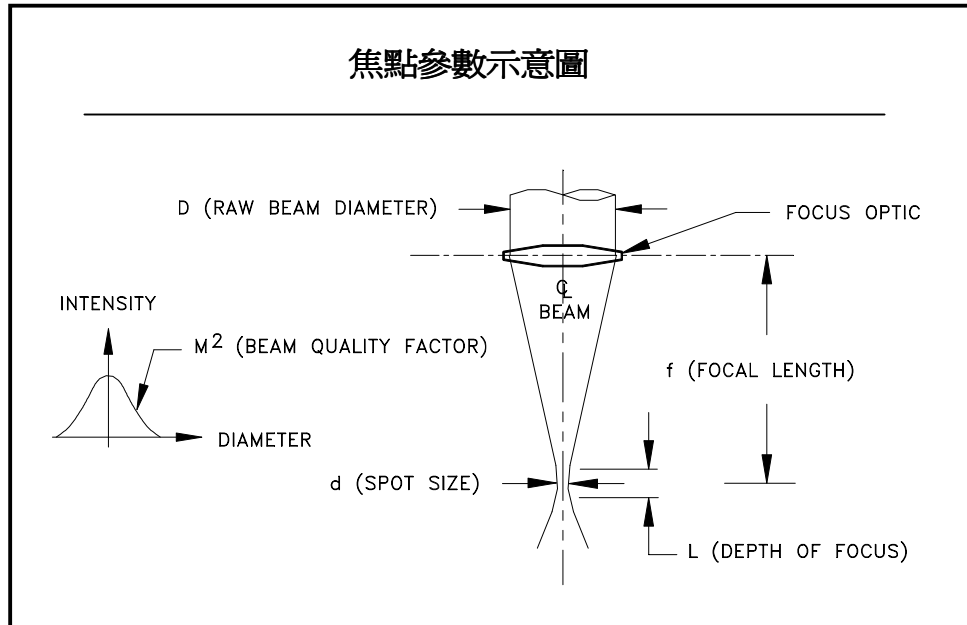


假如你的答案與上述重點相似，請翻到第 20 頁做學習評量，如果你的答案不與上述重點相似請翻至第 14 頁重新閱讀以便發現錯誤之處，並將第 17 頁的錯誤改正，然後翻第 19 頁。想要多學點的話，請翻到 4 頁閱讀參考書籍。

本教材的第三個學習目標是

能夠清楚說明雷射光聚焦效應及焦點大小影響因素，並計算焦點的大小。

焦點是雷射光束經聚焦後的大小。焦點愈小，雷射功率密度愈高。焦點的大小控制著加工速度及品質。



焦點的大小可由以下公式計算如下：

$$d = M^2 (4 \lambda f / \pi D)$$

d : 計算出的焦點大小

λ : 雷射光波長，CO₂ 雷射是 10.6 μm ，Nd:YAG 雷射是 1.06 μm

D : 入射光束的直徑

f : 鏡片聚焦長度

例子：計算 CO₂ 雷射的聚焦點大小。其雷射系統 $M^2=7.5$ ，經 200mm 的聚焦鏡，入射光有 40mm 寬度。

$$d = [(7.5) (4) (0.0106) (200)] / [(3.14) (40)] \text{ mm} = 0.51\text{mm}$$

另一個常用數值是聚焦深度(Depth of Focus): 如同照相機鏡頭具有一定景深，在景深範圍內，影像可被清楚投影在底片上。聚焦深度就是一個長度，在此長度內，焦點的大小約只變化 5%。聚焦深度公式可簡化為

$$L_{5\%} = d^2 / 2 \lambda M^2$$

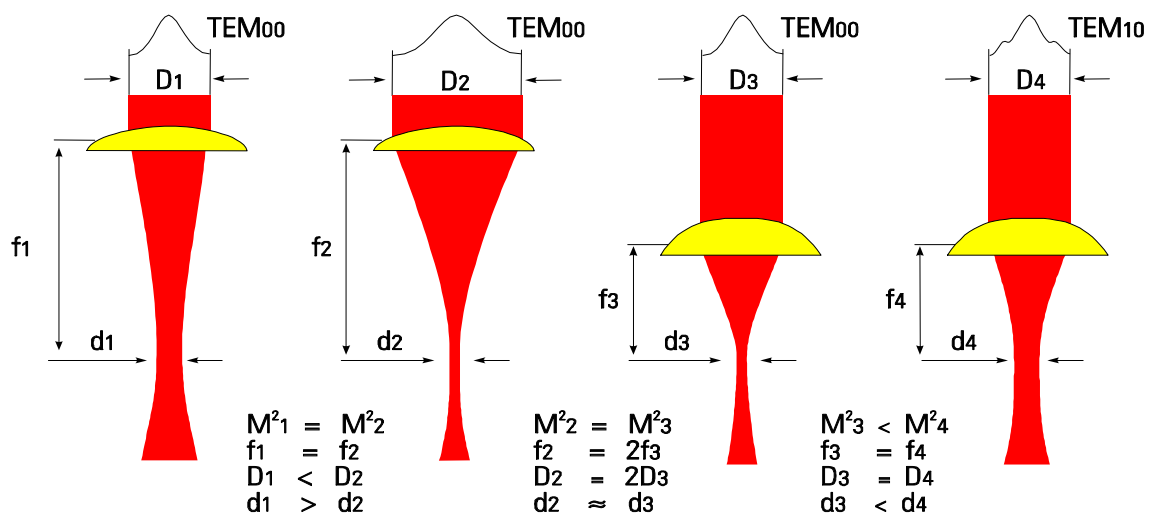
聚焦深度與焦點大小成平方正比，與 M^2 成反比。波長愈長，焦深愈短。現在接著前一個例子，計算此 CO2 雷射焦深:

$$L_{5\%} = (0.51)^2 / (2) (0.0106) (7.5) = 1.64\text{mm}$$

我們可以進一步比較長聚焦鏡與短聚焦鏡在焦點、焦深上與加工特性之間的關係：

加工參數	短聚焦鏡	長聚焦鏡
焦點	較小 加工速度較快 加工寬度較細 入熱量較低 熱影響區較小	較大 加工速度較低 加工寬度較寬 入熱量較高 熱影響區較大
焦深	較短 工件精度容忍度較高 較不易找到焦點	較長 工件精度容忍度較小 較容易找到焦點
聚焦鏡片的維護	較易受傷	壽命較長

下圖說明相同 M^2 ，長短聚焦鏡及光束寬度如何影響焦點大小。



由此圖可知要取得小焦點高功率密度，光束入射寬度及鏡片的選用均須詳加考慮。

學習評量三

請不要參閱書籍或資料，在下列各題前之空格寫出正確的答案。

(一) 是非題：

- () 1. 焦點的大小控制著加工速度及品質。
- () 2. 假設兩雷射光束 M^2 值一樣，光束寬度較寬者，聚焦較小。
- () 3. 假設兩雷射光束 M^2 值一樣，前者光束寬度較後者寬 2 倍，如前者使用 2 倍焦長的聚焦鏡，可得到約相同的焦點大小。卻可具有 2 倍焦深。
- () 4. 焦點較小，入熱量較低，熱影響區較小。
- () 5. 焦深較長，較容易找到焦點。

(二) 計算題：

1. 計算 YAG 雷射的聚焦點大小。其雷射系統 $M^2=2$ ，經 100mm 的聚焦鏡，入射光有 12mm 寬度。

2. 計算第一題 YAG 雷射的焦深。

學習評量二答案

(一) 是非題：

1. (○)
2. (○)
3. (○)
4. (○)
5. (○)

(二) 計算題：

1. 計算 YAG 雷射的聚焦點大小。其雷射系統 $M^2=2$ ，經 100mm 的聚焦鏡，入射光有 12mm 寬度。

$$d = M^2 (4 \lambda f / \pi D)$$

d: 計算出的焦點大小

λ : 雷射光波長，CO₂ 雷射是 10.6 μm , Nd:YAG 雷射是 1.06 μm

D: 入射光束的直徑

f: 鏡片聚焦長度

YAG 雷射 $M^2=2.0$ ，經 100mm 的聚焦鏡，入射光有 12mm 寬度。

$$d = [(2.0) (4) (0.00106) (100)] / [(3.14) (12)] \text{ mm} = 0.0225\text{mm}$$

2. 計算第一題 YAG 雷射的焦深。

$$L_{5\%} = d^2 / 2 \lambda M^2$$

聚焦深度與焦點大小成平方正比，與 M^2 成反比。波長愈長，焦深愈短。

$$L_{5\%} = (0.0225)^2 / (2) (0.00106) (2.0) = 0.119\text{mm}$$

本教材的第四個學習目標是

能夠清楚描述功率密度、能量密度、脈衝能量、尖峰功率及脈衝寬度。

一、功率密度 (Power Density) :

雷射光束經聚焦後有很高的功率密度(Power Density),功率密度也是雷射對材料可加工性的指標值。功率密度是雷射功率除以焦點面積,

$$P_d = 4P / \pi d^2$$

高功率雷射不見得具有高功率密度。焦點面積正比於焦點寬度的平方。小功率的雷射若具有極佳的聚焦能力,可得到極大的功率密度,因此其加工能力會優於功率較高但功率密度低的雷射。

例如:1000Watts 的雷射,光束寬度 2.5cm,可得到 204w/cm²的功率密度,而經聚焦後,以第三學習目標單元中之一例的聚焦點 0.51mm 計算,其功率密度高達 489,518w/ cm²,約為未聚焦者的 2400 倍。

有的雷射光經聚焦後功率密度可超過 1.5x10⁶w/ cm²。各種雷射加工須要採用不同的功率密度。我們可藉著以上的計算取得最佳雷射加工參數及條件。

二、能量密度(Energy Density)

能量密度相關於雷射功率入射於材料的速度。

$$E_d = w P_d / V$$

V 是加工速度， P_d 是功率密度， w 是加工長度。但是，須要另加說明的是：真正要表達雷射對於材料的可加工性，除了須要知道能量密度之外，還要考慮材料的耦合效率、或者是吸收率。不同材料對特定雷射波長有不同的吸引率。例如 Nd:YAG 雷射具 $1.06 \mu\text{m}$ 的波長，玻璃材料幾乎不吸收該波長的光線，大部份 Nd:YAG 雷射光可穿透玻璃；反之，CO₂ 雷射波長 $10.6 \mu\text{m}$ ，玻璃材料對它吸收率高，要切割玻璃當然要使用 CO₂ 雷射。

在脈衝式 CO₂ 雷射或 Nd:YAG 雷射加工應用上，每個雷射脈衝的能量、每個雷射脈衝的尖峰功率及脈衝寬度，都是雷射加工的重要參考參數。分別說明如下：

脈衝能量(Pulse Energy, E_p)

脈衝雷射是以一個頻率(f)發射雷射脈衝。雷射的平均功率可用雷射功率量測計量測取得。脈衝能量是平均功率除以發射頻率，單位是焦耳(joules)。

$$E_p = P_{ave} / f$$

二、尖峰功率 (Peak Power, Pp) :

尖峰功率 Pp 是每秒內的脈衝能量。

$$Pp = Ep / t$$

t:雷射脈衝寬度，單位為秒。

對於一個脈衝，較短的脈衝寬度可產生較大的尖峰功率，也就是具有高功率密度。此種光束可做切割或鑽孔加工。

三、脈衝寬度：

同樣的脈衝能量，較長的脈衝寬度僅能有較小的尖峰功率；較短的脈衝寬度通常可產生較尖銳的光束。

以上各參數，學員應熟悉其中的相關性，會對於雷射加工後面各單元有很大幫助。

學習評量四

請不要參閱書籍或資料，在下列各題前之空格寫出正確的答案。

(一) 是非題

- () 1. 功率密度是雷射功率除以焦點面積，高功率雷射不見得具有高功率密度。
- () 2. 能量密度相對於雷射功率入射於材料的速度。也就是單位時間雷射能量射入材料表面的大小。
- () 3. 兩組雷射，前者功率高兩倍，後者焦點小兩倍。兩組雷射具有相同功率密度。
- () 4. 脈衝能量是平均功率除以發射頻率，單位是焦耳(joules)。
- () 5. 同樣的脈衝能量，較短的脈衝寬度通常可產生較尖銳的光束。
- () 6. 切割玻璃可使用波長較長的 CO₂ 雷射。
- () 7. 要雕刻玻璃表面的黑色塗漆可使用 YAG 雷射，其波長不易破壞玻璃。

(二) 選擇題

- () 1. 脈衝雷射光平均功率 100 瓦，以 500Hz 發射，則此光束脈衝能量為何？
(1) 1 joule (2) 5 joule (3) 0.2joule (4) 5W 。
- () 2. 上題中雷射有 10ns 的脈衝寬度，其尖峰功率為何
(1) $2.0 \times 10^7 \text{W}$ (2) $5.0 \times 10^7 \text{W}$ (3) $1.0 \times 10^8 \text{W}$ (4) $1.33 \times 10^7 \text{W}$ 。
- () 3. 材料的可加工性，除了須要知道能量密度之外，還要考慮材料的
(1) 硬度 (2) 大小 (3) 光束直徑 (4) 吸收率。

學習評量四答案

(一) 是非題

1. (○)
2. (○)
3. (×) 兩組雷射，前者功率高兩倍，後者焦點小兩倍。後者功率密度高兩倍。
4. (○)
5. (○)
6. (○)
7. (○)

(二) 選擇題

1. (3) $100(\text{W}) / 500(\text{Hz}) = 0.2 (\text{joule})$
2. (1) $0.2 (\text{joule}) / 10 \times 10^9 \text{ s} = 2 \times 10^7 \text{ W}$
3. (4) 材料的可加工性，除了須要知道能量密度之外，還要考慮材料的吸收率。

假如你的答案與上述重點相似，請翻到第 31 頁做學習評量，如果你的答案不與上述重點相似請翻至第 25 頁重新閱讀以便發現錯誤之處，並將第 29 頁的錯誤改正，然後翻第 31 頁。想要多學點的話，請翻到 4 頁閱讀參考書籍。

學後評量

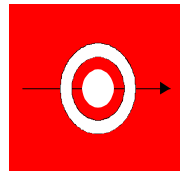
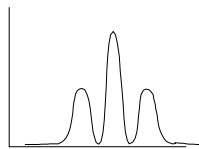
一、筆試：請不要參閱資料或書籍，請寫出正確的答案。

(一) 是非題：(50%)

- () 1.雷射可以將常見的能源，如電能、光能、化學能等，快速轉換成平行性很高的光，我們稱為雷射光。所以雷射可以稱為能源轉換器。
- () 2.雷射轉換過程中損失的能量大都以熱能形態流失，因此冷卻循環系統很重要。
- () 3.同調性極佳的雷射光平行性很高。容易在遠處擴散。
- () 4.雷射光也可以成為激發能源，去產生另一種雷射。
- () 5.CO₂ 雷射激發介質為 CO₂ 氣體，是氣態雷射。YAG 雷射激發介質為晶棒，是固態雷射。
- () 6.光共振腔通常由兩個平行光學鏡片組成。其中一片鏡片將雷射光反射回激發介質，另一片鏡片也將一部份雷射光再反射到第一個鏡片，來回的反射即形成共振效應。
- () 7.雷射光是沿著電場與磁場交互作用的垂直面方向傳播。
- () 8.雷射品質參數 M²(或K)值越大(小)表示光束品質越好。
- () 9.TEM₀₀ 的雷射光束，其 M² 值為 0。
- () 10. $M_2^x > M_2^y$, $F_x = F_y$, $D_x = D_y$, 則 $dx < dy$ 。其中 M² 是光模式參數，F 是鏡片聚焦長度，D 是光束寬度，d 則為焦點大小。

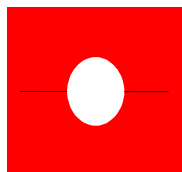
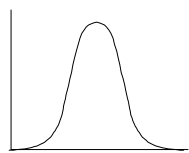
(二) 選擇題：(50%)

- () 1.聚焦深度與 (1)焦點大小成平方正比 (2)與 M² 成正比 (3)與鏡片大小無關 (4)以上皆是。
- () 2.焦點的大小 (1)與 M² 成正比 (2)與波長成正比 (3)與鏡片焦長成正比 (4)以上皆是。
- () 3.下圖的橫模模式 M² 值為



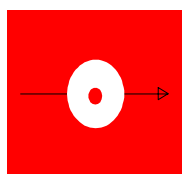
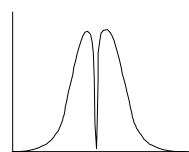
- (1) 1 (2) 2 (3) 3 (4) 4。

() 4. 下圖的橫模模式為



(1)TEM₁₀ (2)TEM₀₀ (3)TEM₀₁ (4)TEM₁₁。

() 5. 下圖的模式 K 值為



(1) 3 (2) 2 (3) 0.5 (4) 0.2。

() 6. $M^2=2$ 代表在聚焦位置上的實際光束直徑為理想高斯分佈光束直徑的

(1) (2) $\frac{1}{2}$ 倍 (2) 2 倍 (3) 22 倍 (4) 以上皆非。

() 7. 有一 CO₂ 雷射光束寬 15 mm，經過焦距 200 mm 的透鏡聚焦，且已知其光束傳播參數 $M^2=2$ ，則焦點位置的聚焦點大小為 (1)0.36mm (2)0.30mm (3)0.03mm (4) 0.18mm。

() 8. 承上題雷射光束的聚焦深度為 (1) 0.36mm (2) 0.30mm (3)3.05mm (4) 1.8mm。

() 9. 使用短聚焦鏡 (1)焦點較大 (2)熱影響區較大 (3)焦深較長 (4)聚焦鏡片的壽命較短。

() 10. 下列公式何者不對 (1)脈衝能量 $E_p = P_{ave} / f$ (2)能量密度 $E_d = w P_d / V$ (3)功率密度 $P_d = 4P / \pi d^2$ (4)以上皆非。

學生自我評量

一、我對我學後評量之評分

(一) 筆試：是非與選擇每題 5% 共 100% 總得分__分

教師評量

一、學後評量評分：

(一) 筆試得分_____

總得分	/ 40
-----	------

A=90 分以上 B=80 分以上 C=70 分以上

D=60 分以上 E=60 分以上

學後評量評分=_____分，屬於_____等

二、工作計劃評分

工 作 計 劃 評 量 表

工作計劃評量項目	分 數					
	優	良	中	可	差	劣
	10	8	6	4	2	0
1.消耗品紀錄清楚	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.使用機器及工具之準備	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.工作次序之前後安排	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.工作時間長短適宜	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.未遺漏工作細節	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.機器使用注意事項	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.工具使用注意事項	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.工作安全事項	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9.工作前後檢討改進	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10.書寫清晰整齊	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
實 得 總 分						

A=90 分以上 B=80 分以上 C=70 分以上

D=60 分以上 E=60 分以上

工作計劃得分_____分，屬於_____等

三、安全習慣評分

安全習慣評量表

安全習慣評量項目	是	否
1.使用合於規定的工具，不任意替代	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.工具及材料置於正確位置並擺放整齊	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.依規定佩帶個人安全防護器具	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.啓動機器前確實檢查動作，異常應即反應	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.獨立操作機器，集中精神，不玩笑嬉鬧	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.機器運轉時不擅離工作崗位	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.運轉中的機器不隨意搬移	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.工作環境周圍保持整齊、清潔、光線足夠	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9.不以任何物品碰撞運轉中的機器	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10.依規定按時清潔及保養儀器	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
實 得 總 分		

*每一項爲“是”者得10分，“否”者得0分

A=90分以上 B=80分以上 C=70分以上

D=60分以上 E=60分以上

我的安全習慣得分_____分，屬於_____等

四、學習態度評分

學習態度評量表

學習態度評量項目	分 數					
	優	良	中	可	差	劣
	10	8	6	4	2	0
1.言行舉止合宜，服裝儀容整齊	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.準時上、下課，不遲到早退	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.守秩序，不喧嘩吵鬧	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.服從教師指導，進行學習	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.上課專心認真	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.愛惜教材教具及設備	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.有疑問時主動要求協助	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.閱讀教材外的講義及參考資料	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9.參與班級教學的討論活動	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10.將學習內容與實驗室環境配合	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
實 得 總 分						

A=90 分以上 B=80 分以上 C=70 分以上

D=60 分以上 E=60 分以上

我的學習態度得分_____分，屬於_____等

五、總評量表

評分項目	單項得分	單項等第	比率(%)	單項分數	總分	等第
1.作業部分			40%			<input type="checkbox"/> A
2.工作計劃			20%			<input type="checkbox"/> B
3.安全習慣			20%			<input type="checkbox"/> C
4.學習態度			20%			<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> E
總 評	<input type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格					
備 註						

參考書目

- 一、光電及雷射概論，廖偉民編校，亞東書局出版
- 二、雷射概論，國興出版社
- 三、雷射工程導論，丁勝懋編著，中央圖書出版社
- 四、雷射原理與實用技術，蘇品書編著，復漢出版社