

雷射加工能力本位訓練教材 認識雷射特性

編號：PMT-LSP0103

編著者：黃錦賢

審稿者：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-LSP0103 學習指引

在你學習本單元前，你應該要先對於基礎光學及光學元件以及雷射產生原理有基本認識。假如你認為自己對於前面兩項單元已經熟悉的話，請翻到下一頁開始學習。假如你認為自己還不熟悉，請將本教材放回原位，並取出編號 PMT-LSP0101、PMT-LSP0102 教材重新開始學習，或請教你的老師。

引言

自從 1960 年第一個雷射被製造出來以後，雷射在各個領域的應用日趨廣泛，不論在加工、醫療、國防、量測、通信、印刷、研究、娛樂、…等各方面都有很廣泛的用途。至於雷射在材料加工的應用上，除了一般的切割、雕刻、穿孔、銲接、微量修整之外，在一些較特別的精密、微細、材料變質等加工領域也愈趨重要。雷射為什麼可以在那麼多的領域同時扮演著一樣重要的角色，這就牽涉到雷射光獨具的一些特性，包括雷射光的方向性、高亮度、波長的單色性以及同調性(相干性)。

除了需要了解上述一些雷射的基本特性之外，還有一些會影響雷射加工品質良窳的延伸參數特性，如：雷射模式、雷射光束直徑、光束發散角以及聚焦點大小等，都是作為一位雷射加工技術人員所必須初步明瞭的。

本單元即是針對上述與雷射加工有關的雷射特性進行初步介紹，而對於雷射特性的量測，因為需要較多的檢測儀器及進一步的相關知識，將留到最後的單元再作介紹，如果你對如何進行量測這方面有興趣的話，可參考或閱讀 PMT-LSP0901 對光以及 PMT-LSP0903 校正系統參數之單元。

定義

方向性：是指光束的平行度。

亮度(Brightness)：是指光源在單位面積及單位角度內的光強度。

單色性(Monochromatity)：單色性就是指波長單一的程度。

同調性或相干性(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台雷射輸出品質的參數之一。

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、在不參考書籍的情況下，請正確的說出雷射光具有那些基本特性。並逐一說明這些雷射特性和一般光源有什麼不同的地方，以及簡單描述這些特性在雷射各個領域的應用上有何助益。
- 二、在不參考書籍的情況下，請正確的說明雷射模式、雷射光束直徑、光束發散角、聚焦點大小以及 M^2 的意義，並得以進一步簡單計算雷射的光束直徑、光束發散角、聚焦點大小以及 M^2 值。

學習活動

本單元之學習活動包括相關知識及簡單推算，你對雷射特性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 5 頁至第 頁

二、閱讀下列參考書籍：

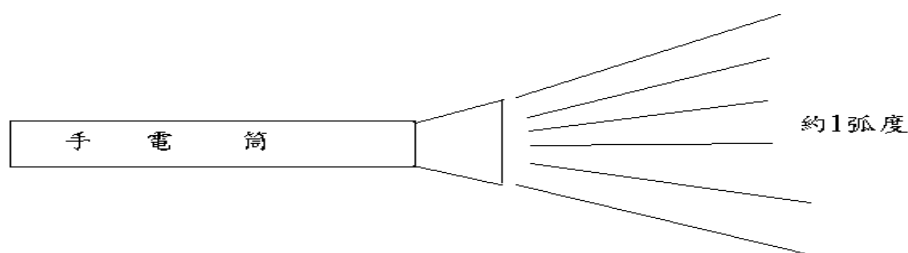
- (一) 光電及雷射概論，廖偉民編校，亞東書局出版
- (二) 雷射概論，國興出版社
- (三) 揭開雷射之謎（一），無線電界雜誌社出版
- (四) 雷射工程導論，丁勝懋編著，中央圖書出版社
- (五) 雷射原理與實用技術，蘇品書編著，復漢出版社

本教材的第一個學習目標是

在不參考書籍的情況下，請正確的說出雷射光具有那些基本特性。並逐一說明這些雷射特性和一般光源有什麼不同的地方，以及簡單描述這些特性在雷射各個領域的應用上有何助益。

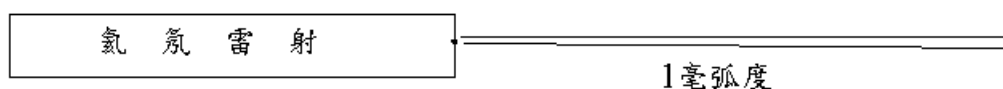
一、雷射光的方向性：

光的方向性就是指光束的平行度，也就是一般常說的光束的擴散程度，習慣上用發散角或擴散角來表達。普通的光源，光束是往四面八方擴散發射出去，其立體發散角為 4π 弧度(rad 簡寫為 r)，平面一圈 360 度的發散角則為 6.28 弧度(即 6.28r)，像(圖一)手電筒的光束，雖由拋物面鏡作某一方向之投射，其擴散角仍然不小，大約達 1 弧度。



(圖一) 手電筒的光束

然而一般的雷射光束，因為它的產生過程中，受到受激發射的機理和光學共振腔對光束方向的限制，所以可以達到很小的發散角度，例如(圖二)的氦氖雷射或一般氣體雷射皆可達到 1 毫弧度 (10^{-3} rad，簡寫為 1 mrad 或 1mr) 左右，固體雷射的方向性較差，也在 5 到 10mrad，至於半導體雷射的發散角最大，大約在 50 到 100mrad。



(圖二) 雷射的光束

方向性好才能經由一段長短不等的距離傳輸，得以將所有的雷射光束能量送達加工處，再經過透鏡的聚焦處理以完成加工動作。另外雷射在通信、量測、軍事國防等等上的應用，也得以靠充分發揮雷射的方向性功能，才能畢竟其功。

二、雷射光的高亮度：

光源亮度是指單位面積及單位角度內的光強度，以公式表示如下： $B = P / \Delta S \cdot \Delta \Omega$ P：指光束的功率強度； ΔS ：指光束的截面積 $\Delta \Omega$ ：指光束的立體發散角度。

普通的光源，由於光束的發散角很大，光束的截面積也因傳輸距離而快速擴大，所以亮度就很低，例如太陽光的亮度值約為 $B \approx 2 \times 10^3$ 瓦特／（平方公分·弧度）。

對雷射來說，由於共振腔對光束的方向產生侷限作用，輸出的雷射光束發散角極小，若經過聚焦處理，所有光線更能集中在極小的面積上，因此對應的亮度就很高。一般常見各種雷射其輸出的亮度範圍可以從 10^4 一直到 10^{10} 瓦特／（平方公分·弧度）大小，為太陽光亮度的幾百萬倍。

若靠調Q或鎖模技術產生的極短脈衝雷射，則其亮度更可高達 10^{17} 瓦特／（平方公分·弧度）以上，其亮度高得確實驚人。

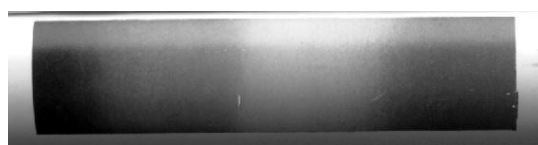
一般應用雷射光在做材料的切割、穿孔、銲接或著在國防軍事上的應用，如果僅是因為雷射光束的區區數百或數千瓦特，那是不可能發揮出威力的。只有當數百或數千瓦特的雷射光束，經過一個透鏡的匯聚處理後，達到很小的工作區上，此時依靠其高亮度的特性，才可以在瞬間對加工材料完成你要的加工目的。

三、雷射光的單色性：

普通光源發出來的光束，它的光譜成份是由很多連續或著幾乎是連續的譜線所組成，你如果拿一個簡單的光譜儀如（圖三），對著一般的日光燈或燈泡觀看，就會發現它們發出來的光束其實是由很多且連續分布的不同顏色所組成如（圖四），如果對著氦氖雷射的光源看，則只會看到如（圖五）般一條細細譜線。



（圖三） 簡單的光譜儀



（圖四） 連續譜線



（圖五） 單一譜線

一般我們描述某一種顏色的光線，其實都有一個比較寬的波長範圍，所以還不能稱為單色光。即使同一種原子從某一個固定的高能階跌遷到另一個低能階，所發出來的某一頻率 ν 的光譜線，也還是有一定的頻率寬度 $\Delta\nu$ 的。雷射光的波長也不是絕對單色的，通常單色性的好壞用一個比值來表示： $\Delta\nu / \nu = \Delta\lambda / \lambda$ ， λ 是中心波長的值， $\Delta\lambda$ 則為波長分布範圍的一半寬度，也就是俗稱的譜線寬度，譜線寬度 $\Delta\nu$ 或 $\Delta\lambda$ 愈小，比值就愈小，代表單色性越好。

雷射之外比較具有單色性的傳統光源，如霓虹燈、鈉燈、氫燈等的單色性比值為 $\Delta\lambda/\lambda=10^{-4}$ 左右，在普通光源中，單色性最好的應屬同位素 Kr^{86} 燈所產生的 $\lambda=0.6047$ 微米波長之譜線，其單色性比值為 $\Delta\lambda/\lambda=10^{-6}$ 左右。與此相比，一台單模的穩頻氦氖雷射所發出波長為 $\lambda=0.6328$ 微米之譜線，其寬度可窄到 $\Delta\lambda=10^{-13}$ 微米，單色性比值（ $\Delta\lambda/\lambda$ ）小到 10^{-13} 左右。可見採用單模穩頻技術後的雷射光其單色性非常的好，實在不是一般傳統光源可以達到的。

單色性好的光束，代表它發出的光波長長度很穩定，不會隨時間產生太大變化，因此在精密量測和科學實驗上扮演很重要的角色，例如大家耳熟能詳的兩位諾貝爾獎大師李遠哲和朱隸文博士，都是充分掌握並利用雷射光束的這個特性於它們的專業領域實驗，而贏得諾貝爾獎的。

四、雷射光的同調性：

同調性又有稱之為相干性，這是所有波動所具有的一般特徵，也就是波動與波動會形成互相干涉的現象。光也是一種電磁波，所以光跟光之間也會形成干涉現象，產生干涉條紋，只是一般傳統光源產生的光束，不管頻率（波長）、相位、方向都是雜亂無章的，所以即使會產生干涉條紋，也太雜亂並且變化太快，不是我們肉眼所能看到，因此我們稱這種雜亂無章的光源為“不相干光源”或“非同調光源”。反之，若來自不同光源的兩道光束交叉通過，在交叉面上可以觀察到明顯的干涉條紋者，我們就稱這兩道光源為“相干光源”或“同調光源”。

物理學上的同調有兩個不同的定義，一個是時間同調，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；另一種說法是，光源上同一點不同時間所發出的兩道光束，交叉通過時能夠產生干涉現象者稱之。它一般的表現在單色性的好壞，亦即單色性越好的時間同調性越佳，單色性越差的時間同調性越壞。

另外一個是空間同調，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；另一種說法是，不同的光源點上在同一時間所發出的兩道光束，交叉通過時能夠產生干涉現象者稱之。它一般的表現在方向性的好壞，亦即方向性越好的空間同調性越佳，方向性越差的空間同調性越壞。

雷射光是單色性很好同時又是方向性極佳的光源，所以不論是時間同調性或是空間同調性方面，雷射都是一個極佳的同調光源。而雷射的應用上，不只加工應用需要作透鏡聚焦，其餘像光資訊存取、印刷、醫療、國防等多方面應用時，也都需經過聚焦處理。只有很好的空間同調光束經過聚焦後，才能很集中的匯聚從焦點附近通過，否則光束會擴散在焦面上無法聚成很小點；也只有很好的時間同調光束經過聚焦後，才能完全集中的匯聚到一個固定的焦點上，否則不同的波長會匯聚到不同的焦點上形成色散現象。所以雷射光的同調性，正是雷射能夠被廣泛應用到各個領域的最重要因素。

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. 一般氣體雷射光束的發散角大約是 1 弧度左右。
- () 2. 亮度是指單位面積及單位角度內的光強度。
- () 3. 通常單色性的好壞用一個比值來表示： $\lambda / \Delta \lambda$ 。
- () 4. 傳統光源裡，單色性最好的應屬同位素 Kr^{86} 燈所產生的 $\lambda = 0.6047$ 微米波長之譜線。
- () 5. 光是一種電磁波，所以光跟光之間也會形成干涉現象，產生干涉條紋。

(二) 選擇題

- () 1. 通常單色性的好壞用怎樣的比值來表示？
 (1) $\nu / \Delta \lambda$ (2) $\Delta \lambda / \lambda$ (3) $\nu / \Delta \nu$ (4) $\nu / \Delta \nu$ 。
- () 2. 觀察單色性的好壞用什麼儀器？
 (1) 望遠鏡 (2) 光度計 (3) 光譜儀 (4) 功率計 。
- () 3. 一般氦氖雷射的光束發散角為：
 (1) 10 mrad (2) 0.001 rad (3) 0.1 mrad (4) 1 rad 。
- () 4. 時間同調性極佳指的是：(1) 方向性很好 (2) 光波長很短 (3) 光的頻率很高 (4) 光的顏色很單純 。
- () 5. 光源亮度的單位是：(1) 瓦特 / (平方公分 · 弧度) (2) (瓦特 · 弧度) / 平方公分 (3) 瓦特 · 平方公分 · 弧度 (4) 瓦特 / 弧度 。

學習評量一答案

(一) 是非題

1. (X) 1 毫弧度左右。
2. (O)
3. (X) 應為 $\Delta \lambda / \lambda$ 。
4. (O)
5. (O)

(二) 選擇題

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

本教材的第二個學習目標是

在不參考書籍的情況下，請正確的說明雷射模式、雷射的光束直徑、光束發散角、聚焦點大小以及 M^2 的意義，並得以進一步簡單計算雷射的光束直徑、光束發散角、聚焦點大小以及 M^2 值。

一、雷射的模式：

光（電磁波）在光學共振腔的兩端鏡片內，不斷的來回反射，有的光可以一直往返振盪而達到穩定，有的光則因偏折損耗等因素而逐漸消失，留在腔內反覆往返的光波，也會產生繞射並互相進行干涉。光波在這樣不斷的干涉、繞射過程後，就會在共振腔內形成一定模式的駐波，這種駐波形式即所謂的模式（Mode）。一般採用 TEM_{mnq} 或 TEM_{plq} 表示，其中 TEM 是英文 "Transverse Electromagnetic Wave" 的簡寫，m、n 和 p、l 代表橫模標誌，即節點數目，一為方形反射鏡腔的橫模之直角座標角碼，一為圓形反射鏡之柱座標角碼；q 則代表縱模標誌，即縱模數目。

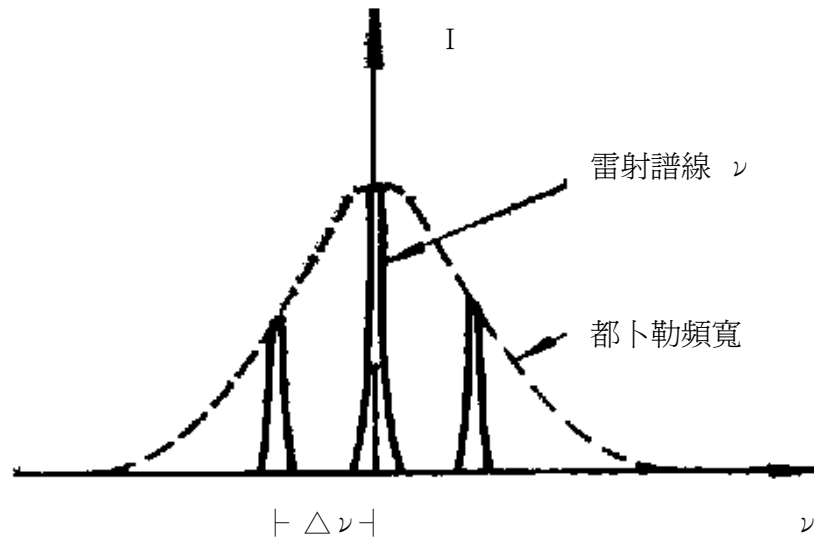
（一）縱向模式：

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，我們稱之為縱模(Longitudinal mode)。縱模表現在雷射的頻率分布上，前面我們稱雷射是一個很好的單色光源，即單一頻率之光源，這是以雷射和一般光源作比較時，雷射的頻率很單純。事實上，微觀來看一個雷射的輸出譜線，由於駐波的形成，它往往會出現數個或多個分立的頻率，但是每個頻率的譜線寬度仍然很窄，這些頻率的間隔相等，如（圖六），其頻差值就是所謂的縱模間隔（Longitudinal mode spacing） $\Delta\nu$ 。

$$\Delta\nu = C / 2nl \quad \text{【n:折射率 \quad l:腔長 \quad C:光速 \quad】}$$

理論上腔長越短，縱模間隔越大，縱模的數目會越少，也就是頻率越單純，但相對的雷射輸出功率也會變得太小。所以爲了要保持一定的雷射輸出功率，又能得到所謂的單縱模輸出，通常是在雷射的共振腔中插入 Fabry-Perot 之光學標準具。

縱模的好壞對雷射應用在干涉度量或光譜學中比較敏感，至於在雷射加工上的應用影響就不大，所以高功率雷射的使用時，人們很少去關心它的縱模數。



圖六 縱模形式

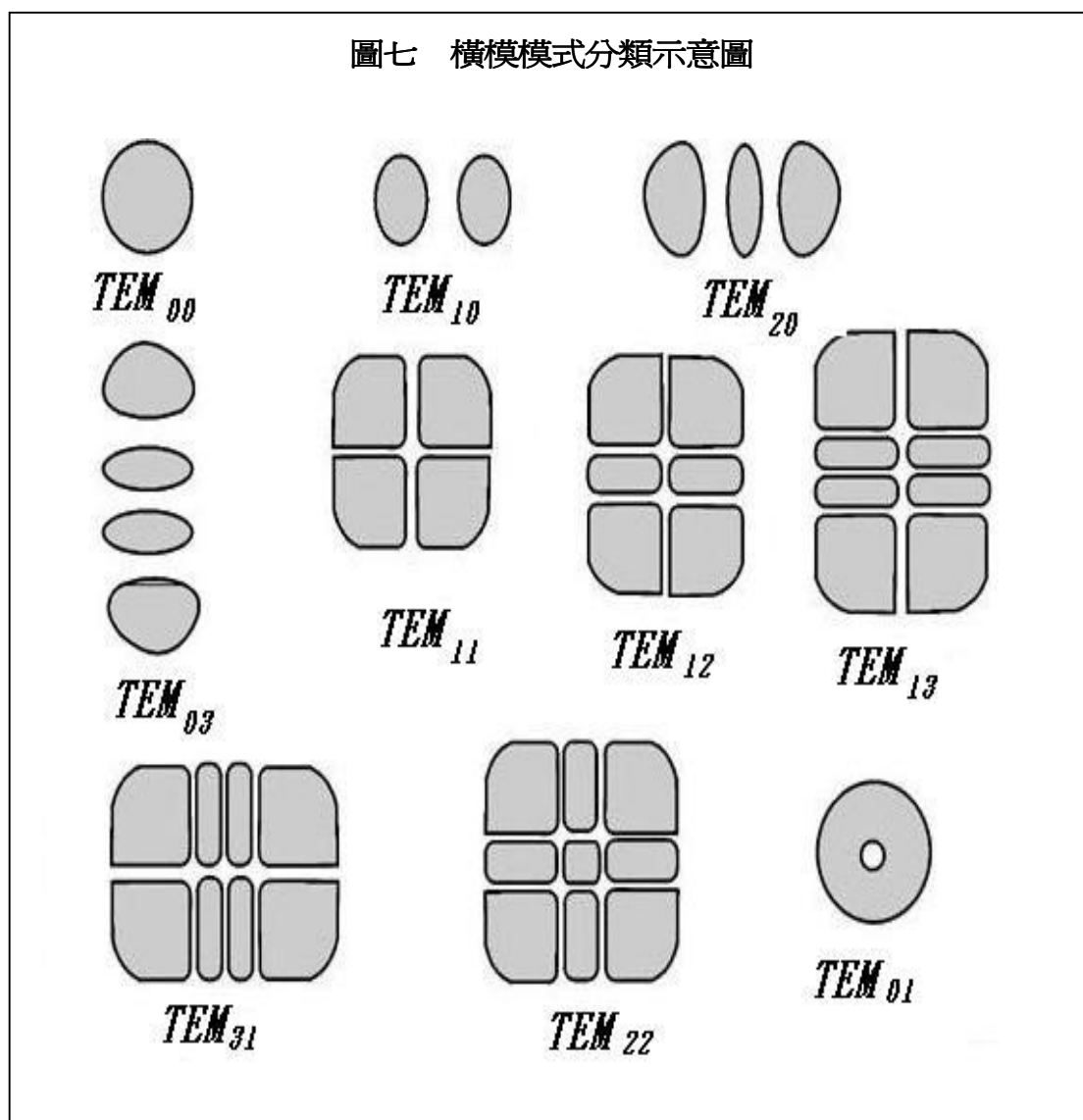
（二）橫向模式：

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，我們稱之為橫模。橫模表現在雷射輸出的光強度分布上，光強度在橫向上不同的穩定分布顯示出各種不同的橫模模式，在橫模的表示上我們通常以 TEM_{mn} 表示模態的形式。在軸對稱中 m 、 n 是 x 和 y 方向的節線（光強度為零）數，稱為橫模序數。 TEM_{00} 模稱為基模或單（橫）模，其他模式稱為多模(MultiMode) 或高階（橫）模稱之，如（圖七）。

若為圓柱座標方式的分布，則 m 、 n 表示在 r 、 θ 方向上的節線數，徑向(輻射狀)的節線（光強度為零）數量為 m ，同心圓上的的節線數量為 n 。

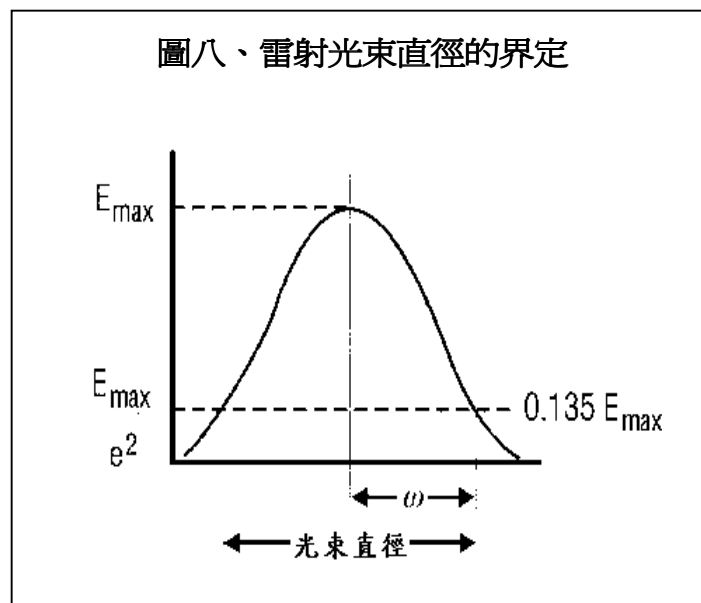
因為橫模代表雷射輸出光束的光強度分布狀態，經聚焦後就表現在焦點上的光強度分布情形，所以對雷射加工品質的良窳影響極為敏感，這也就是一般雷射加工應用上比較重視橫模的原因。

圖七 橫模模式分類示意圖



二、雷射的光束直徑：

由雷射共振腔輸出的低階橫模雷射光束，光強度通常成高斯(Gauss)分佈，中央的光強度最大，沿著半徑方向往外，光強度溫和遞減。它的光束範圍不像圓柱形般那麼可以明確認定，爲了讓大家明確化它的數值，所以雷射的光束直徑是由定義出來的。所謂光束直徑(Beam Diameter)是以光束截面積上能量分佈爲基準，在近似高斯分佈的光束中，從光束中心點(即能量最大值 E_{\max})到 e 平方分之一的最大能量值 ($E_{\max}/e^2 \sim 0.135 E_{\max}$) 的兩倍距離，如圖八所示。如果雷射光束是高斯分佈以外的多模形狀，那就無法明確定義光束的直徑大小。



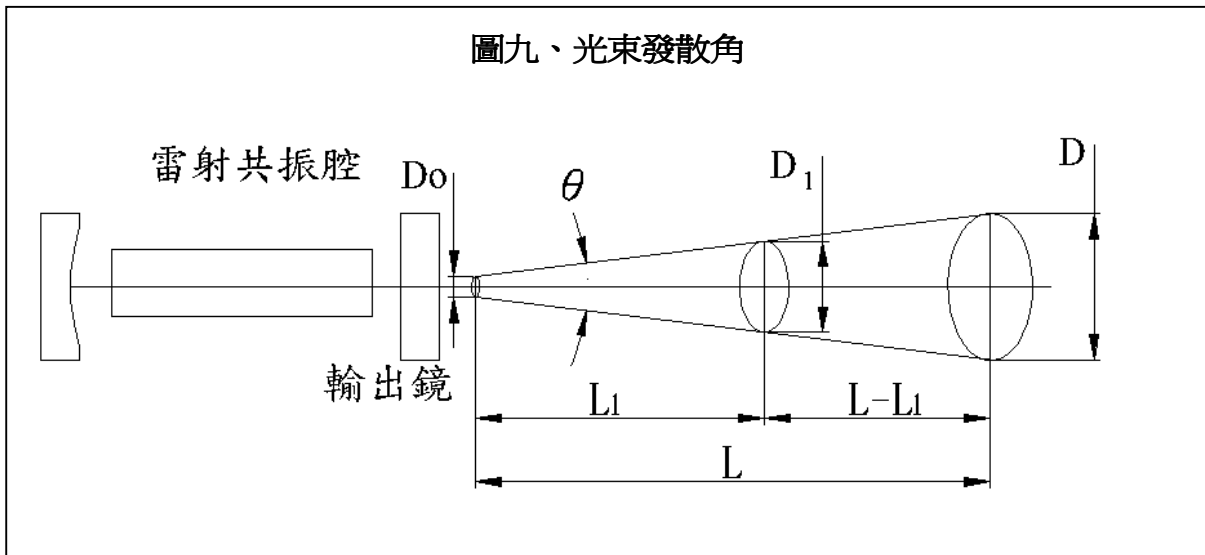
這意味著雷射廠商給你的雷射光束直徑參數，並不代表這個雷射光束只可以燒灼的點大小，通常在光束直徑外的雷射能量，還高達百分之十幾，所以在導光設計或光學鏡片的選擇時，必須加入這一部份的考量。

三、雷射的光束發散角：

雷射的輸出光束雖然比起普通的光線有很好的方向性，但是實際上當光束向外傳播時還是會隨著傳輸距離的增加，而存有慢慢擴散現象。所謂光束發散角（Beam Divergence）就是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，假設在雷射輸出鏡的光束直徑為 D_0 ，在離輸出鏡距離 L ，所量測到的光束直徑為 D ，則存有 $D = D_0 + L \cdot \theta$ 的關係， θ 即是所謂的光束發散角，如圖所示。在實際操作上由於在輸出鏡前不易量測，我們可以選擇距離輸出鏡前 L_1 及 L 的地方，量測出光束直徑 D_1 及 D ，則發散角

$$\theta = (D - D_1) / (L - L_1)$$

如此計算得到的雷射光束發散角，稱之為全發散角（Full Angle），目前國際上普遍通用，也仍有少數廠商係以全發散角的一半值定義之，則稱之為半發散角（Half Angle），未特別註明者，習慣上為全發散角。



上述的發散角計算公式適用在近場（Near Field）與遠場（Far Field）之間的發散角計算，（所謂近場是指 $L \leq D_0^2 / \lambda$ ，遠場是指 $L \geq 100 D_0^2 / \lambda$ 約 10 米距離以外）。而遠場的發散角： $\theta = 1.27 \lambda / D_0$ ，則是繞射極限情況下的發散角公式。

發散角的單位為徑度量弧度（Rad 簡寫為：r），一般雷射的發散角都約千分之一弧度附近，所以通常以 mr（即千分之一弧度）為單位，光束經 1 米的傳輸，如果光束擴大 1 毫米（mm），那麼此光束的發散角即為 $0.001 \text{ rad} = 1 \text{ mr}$ 。

四、雷射光的聚焦特性：

當理想高斯分佈的雷射光束以凸透鏡聚焦的話，在幾何光學上並不是完全集中於一點，而是慢慢匯聚到焦點附近縮成一細腰部，稱為光束腰（Beam waist），如圖十。光束的聚光曲線為雙曲線，此雙曲線的漸近線交叉點，即相當於幾何光學上的焦點。

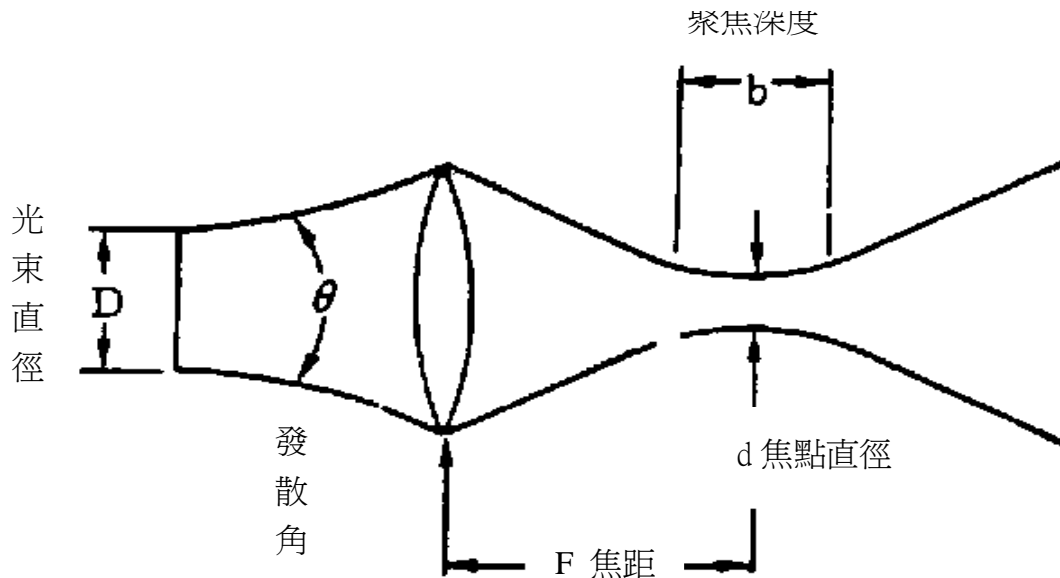
當波長為 λ ，入射光束直徑為 D ，光束發散角為 θ ，經過焦距 F 的透鏡聚焦時，在焦點位置的聚焦點 d 大小為：

$$d = 4 \lambda F / \pi D = \theta F \quad (\because \theta \doteq 2 \lambda / [\pi \cdot (D/2)])$$

當焦點直徑變化百分之 5 的兩處間距離，稱聚焦深度 b 為：

$$b = (2 \lambda / \pi) \cdot [F / (D / 2)]^2$$

圖十 雷射聚焦點特性



由焦點的大小公式可知，當雷射的光束品質和透鏡焦距固定時，波長越短的雷射可以聚成越小點，這也是為什麼高精密之加工，須選擇越短波長雷射的緣故；但是如果雷射的波長固定時，那麼決定雷射聚焦點大小的因素，只看發散角 θ 及透鏡焦距 F 之大小，所以在雷射加工系統裡會有光束擴大器來縮小光束發散角，另外選擇短焦距透鏡，都可以讓聚焦點的直徑變得更小。

但是當選擇的透鏡太短時，由聚焦深度公式可知， b 會變得很小，也就是可加工的深度變得很淺，這也會影響到某些加工品質，所以雷射加工系統常需要依據加工環境的不同來挑選最適當的透鏡焦距。

五、雷射光束的品質 M^2 及 K 值：

當雷射光束的橫模越接近單模 TEM_{00} 時，雷射的能量分佈就類似高斯分佈，而越接近高斯分佈的雷射光束就越接近繞射極限下的光束傳播，此時聚焦點大小就越接近前面一節的雷射焦點大小公式 $d = \theta F$ 值，聚焦點也就越小，這對於精密加工特別重要，所以在此我們將認識一個叫光束傳播參數（Beam propagation Factor） M^2 的符號，它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台雷射輸出品質的參數之一。其值如下：

$$M^2 = \pi \theta D / 4 \lambda \quad \geq 1 \quad \text{愈小愈好}$$

其值大或等於 1，1 時是最理想的單模理論值，一般都會大於 1，其值愈小代表此雷射輸出的光束品質愈佳，愈大則品質愈差。在實際計算雷射聚焦點大小時，須將理想高斯分佈的雷射光束所算出的 $d = \theta F$ 值，再乘上 M^2 值，才是實際的聚焦點大小。

例如：有一光束發散角 2mrad，經過焦距 40 mm 的透鏡聚焦，且已知其光束傳播參數 $M^2=1.5$ ，則焦點位置的聚焦點大小為， $M^2 \times f \times \theta = 40 \times 0.002 \times 1.5 = 120 \mu\text{m} = 0.12 \text{ mm}$

另外也常見的一個雷射光束品質參數，是 M^2 值的倒數，以 K 值表示即： $K = 1 / M^2 = 4 \lambda / \pi \theta D \leq 1$ 愈大愈好。其值小或等於 1，1 時是最理想的單模理論值，一般都會小於 1，其值愈小代表此雷射輸出的光束品質愈差，愈大則品質愈佳。

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.所謂光束直徑是從光束中心點(即能量最大值 E_{\max})到 e 平方分之一的最大能量值 ($E_{\max}/e^2 \sim 0.135 E_{\max}$) 的兩倍距離。
- () 2.一般雷射光束發散角的單位是採徑度量：弧度 (Rad)，簡寫為 r ，並以千分之一弧度 mr 為常用單位。
- () 3.對雷射加工品質影響比較大的是縱模，橫模則對雷射干涉應用的影響比較敏感。
- () 4.發散角 θ 的理想雷射光束經過焦距 f 的透鏡聚焦時，在焦點位置的聚焦點大小為 $f\theta$ 。
- () 5. M^2 值越大代表雷射光束的品質越好。

(二) 選擇題

- () 1.沿光軸量測光束兩點的直徑分別為 1mm 與 2mm，兩點間距 1 公尺，則此光束發散角大小為何？(1) 1 rad (2) 2mrad (3) 0.5rad (4) 1mrad。
- () 2.有一氦氖雷射光束，輸出時光束直徑 5 mm，其發散角為 2mrad，傳輸至 10 公尺遠時，其光束直徑大小為(1) 25mm (2) 7mm (3) 15mm (4) 30mm。
- () 3.光束的發散角越小代表其(1)光束直徑越小 (2) 聚焦點越小 (3) 光束直徑越大 (4) 聚焦點越大。
- () 4.要使雷射聚焦點變小須讓 (1) 光束直徑變小 (2) 光束發散角變大 (3) 透鏡焦距變短 (4) 透鏡焦距變長。
- () 5.有一光束發散角 1.5mrad，經過焦距 50 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) 0.075mm (2) 0.30mm (3)0.06mm (4) 0.15mm。

學習評量二答案

(一) 是非題

1. (○)
2. (○)
3. (×) 對雷射加工品質影響比較大的是橫模，縱模則對雷射干涉應用的影響比較敏感。
4. (○)
5. (×) M^2 值越大代表雷射光束的品質越差。

(二) 選擇題

1. (4) $(D - D_1) = 1\text{mm}$, $(L - L_1) = 1\text{m}$,
 $\therefore \theta = (D - D_1) / (L - L_1) = 1\text{mrad}$
2. (1) $D = D_0 + L \cdot \theta$, $D = 5\text{mm} + 0.002 \times 10\text{m}$
3. (2) 光束的發散角越小，聚焦點越小；發散角是指單位長度光束直徑變化程度，與光束本身的大小無關。
4. (3)
5. (4) 理想高斯分佈光束聚焦點大小
 $d_0 = f \theta = 50 \times 1.5 = 75 \text{ um} = 0.075 \text{ mm}$
 須再乘 $M^2 = 2$

學後評量

筆試：請不要參閱資料或書籍，寫出正確的答案。

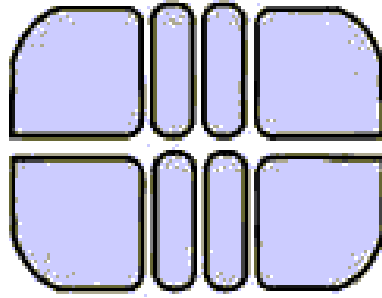
(一) 是非題：(50%)

- () 1.雷射的共振腔長越短，縱模間隔越大，縱模的數目會越少，頻率就越單純，但相對的雷射輸出功率也會變小。
- () 2.光源上同一點相同時間所發出的兩道光束，交叉通過時能夠產生干涉現象者稱之為時間同調性。
- () 3.時間同調性極佳指的是光的顏色很單純。
- () 4.光源的輸出能量高時，亮度就會很亮。
- () 5.雷射橫模的模式亦即是雷射光束截面積內各點能量的分佈圖。
- () 6.所謂光束直徑是從光束中心點(即能量最大值 E_{max})量到最高大能量 $1/e^2$ ($E_{max} * 1/e^2 \sim 0.135$) 的兩倍距離。
- () 7.雷射加工當採用長透鏡聚焦時，聚焦深度變得短，加工的深度變淺，無法作厚板加工。
- () 8.雷射品質參數K值越小表示光束品質越好。
- () 9.有一理想 TEM₀₀ 的雷射光束，其發散角為 1.2 mrad 經過焦距 50 mm 的透鏡聚焦後，在焦點位置的聚焦點大小為 0.06mm。
- () 10.所謂光束發散角是指光束距離每一單位長度其直徑變化的大小。

(二) 選擇題：(50%)

- () 1.雷射加工時，應用到雷射的下列那些特性: (1)雷射高亮度的特性 (2)雷射光的方向性 (3) 雷射波長的單色性 (4)以上皆是。
- () 2.要使雷射聚焦點變小須讓 (1) 光束直徑變小 (2) 光束發散角變小 (3) 光束直徑變大 (4) 透鏡焦距變長。
- () 3.沿光軸量測光束兩點的直徑分別為 2mm 與 4mm，兩點間距 2 公尺，則此光束發散角大小為何？(1)0.01rad (2) 2mrad (3) 1rad (4) 1mrad。
- () 4.影響加工用雷射比較敏感的模式為(1)縱模 (2) 縱模及橫模 (3) 橫模 (4) 以上皆非。
- () 5.空間同調性極佳指的是：(1)方向性很好 (2)光波長很短 (3) 光的頻率很高 (4) 光的顏色很單純。
- () 6.光源亮度的單位是：(1) 瓦特/弧度 (2)(瓦特·弧度)/平方公分 (3) 瓦特·平方公分·弧度 (4) 瓦特/(平方公分·弧度)。

() 7. 下圖的橫模模式為



(1) TEM_{13} (2) TEM_{31} (3) TEM_{24} (4) TEM_{42} 。

() 8. 通常單色性的好壞用怎樣的比值來表示？

(1) $\nu / \Delta \lambda$ (2) $\Delta \lambda / \nu$ (3) $\nu / \Delta \nu$ (4) $\Delta \lambda / \lambda$ 。

() 9. $M^2 = 1.5$ 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) $(1.5)^{1/2}$ 倍 (2) 1.5 倍 (3) 2 倍 (4) 以上皆非。

() 10. 有一光束發散角 1.5 mrad ，經過焦距 200 mm 的透鏡聚焦，且已知其光束傳播參數 $M^2 = 1.2$ ，則焦點位置的聚焦點大小為

(1) 0.36 mm (2) 0.30 mm (3) 0.03 mm (4) 0.18 mm 。

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 劣 0
	優	良	中	可	差	
	10	8	6	4	2	
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		

*每一項為”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	
	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
總 評	<input type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格					<input type="checkbox"/> E
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、揭開雷射之謎(一),無線電界雜誌社出版
- 四、雷射工程導論,丁勝懋 編著,中央圖書出版社
- 五、雷射原理與實用技術,蘇品書編著,復漢出版社
- 六、參考 <http://www.cord.org/lev3.cfm/48>