

雷射加工能力本位訓練教材 認識雷射種類

編號：PMT-LSP0104

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-LSP0104 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、雷射產生原理以及認識雷射特性有基本認識。假如你認為自己對於前面三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、PMT-LSP0103 教材重新開始學習，或請教你的老師。

引言

自從1960年，美國的科學家梅曼（T. Maiman）博士，在量子電子學發展的成果基礎之上，製造出第一台紅寶石雷射以後，緊接著於1961年，第一台氣體雷射—氦氖雷射，也馬上被製造產生，在1962年又出現了半導體雷射，1964年C. Patel 發明了第一台二氧化碳（CO₂）雷射，1965年貝爾實驗室又發明了第一台YAG雷射。1968年開始發展高功率的CO₂雷射，1971年出現了第一台商用的1000瓦CO₂雷射。因應市場的需求，以後雷射的發展就非常快速，各種實用化的CO₂雷射和YAG雷射以及其它種種的雷射，就不斷的出現。

不同的雷射，特性上有很大的差別；即使同樣一種雷射，像雷射加工應用最為普及的CO₂雷射，也會因為應用在不同的加工領域，而有很大的差別。了解個別雷射的差異性，並選擇最適合的加工用雷射，都應該是作為一位雷射加工技術人員所必須掌握的。

從1960年到今天，40年來，雷射的發展快速，種類繁多，本單元僅能針對常看到或常用到（尤其是雷射加工應用上）的各種雷射，依其活性介質、激勵方式、輸出形式以及輸出波長為分類標準，逐一作初步介紹。如果你想對不同加工用的雷射作進一步了解的話，可以參考或閱讀PMT-LSP0302切割雷射以及PMT-LSP0402、PMT-LSP0502、PMT-LSP0503、PMT-LSP0601等單元，會有針對不同加工應用之專門雷射工作系統作較詳細介紹。

定義

慢速軸流 (Slow axial flow) CO₂ 雷射：氣體是沿著光軸方向慢速流動，軸向上作輝光放電，兩端加共振腔鏡片導引輸出的 CO₂ 雷射。

快速軸流 (Fast axial flow) CO₂ 雷射：氣體是沿著光軸方向快速流動，軸向上作輝光放電，兩端加共振腔鏡片導引輸出的 CO₂ 雷射。

橫流式 (Transverse flow) CO₂ 雷射：工作氣體流動方向和電極板及共振腔鏡片成三軸直交，而氣體從側邊，抽換並作冷卻循環的 CO₂ 雷射。

橫向激勵大氣壓 (簡稱 TEA) CO₂ 雷射：橫流式 CO₂ 雷射，光軸、電極和氣流三軸直交，但工作氣壓維持在一大氣壓。

波導式 (Waveguide) CO₂ 雷射：以細窄的放電管，讓共振腔間的光束靠管壁作全反射傳輸的 CO₂ 雷射。

擴散冷卻式 (Diffusion cooled) CO₂ 雷射：採橫向高頻放電、由電極板快速擴散冷卻的 CO₂ 雷射。

準分子雷射 (Excimer Laser)：由在激發態才存在的雙原子分子所產生的雷射。

金屬蒸汽雷射：先將金屬加熱變成蒸汽後，再經氣體放電作用激發產生的雷射。

摻釹鈮鋁石榴石 (Nd:YAG) 雷射：以人工長晶製成的摻釹鈮鋁石榴石結晶棒為活性介質產生的雷射。

亞歷山大 (Alexandrite) 雷射：是由 Allied 公司開發出來的 Cr : BeAl₂O₄ 之紫翠玉雷射。

半導體雷射 (Laser Diode 簡稱：LD)：以半導體當活性介質，經由加以順向偏壓激勵而產生的雷射。

半導體激發固體雷射 (簡稱：DPSSL)：固體雷射改採用半導體雷射激發產生，稱之為半導體激發固體雷射。

X射線雷射：以受激發射方式產生的 X 光放大器，稱之為 X 射線雷射。

學習目標

- 一、在不參考書籍的情況下，請正確的說出至少十種不同活性介質的雷射，並逐一說明個別雷射的特徵和主要的應用領域。並可針對 CO₂ 雷射和 YAG 雷射的進一步分類作說明。
- 二、在不參考書籍的情況下，請正確的說明雷射激勵方式的種類和特徵，詳細描述在不同加工應用上如何選擇雷射的輸出形式，另外請針對不同輸出波長的雷射稍作分類說明。

學習活動

本單元之學習活動為相關知識之認識，你對雷射種類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 16 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，請正確的說出至少十種不同活性介質的雷射，並逐一說明個別雷射的特徵和主要的應用領域。並可針對 CO₂ 雷射和 YAG 雷射的進一步分類作說明。

人們對不同雷射的稱呼，大都以活性介質為劃分標準，比如我們常聽到的CO₂雷射、YAG雷射、氦氖雷射、紅寶石雷射、半導體雷射等等皆是。到目前為止，人類在探索和發展新的雷射活性介質方面，發展迅速，可以作為產生雷射的活性介質種類極多，若按照物態特性之不同，可以把所有的雷射分為氣體雷射、固體雷射、半導體雷射和液體雷射四大類。

一、氣體雷射

氣體雷射是以氣體當活性介質，它是使用的活性介質種類最多、激勵方式最多樣化、雷射波長分布區域最廣的一種雷射。

氣體雷射所採用的工作物質，可以是原子氣體、分子氣體、電離化的離子氣體以及金屬蒸汽等，因此可相應的稱為原子氣體雷射（如：氦氖雷射）、分子氣體雷射（如：二氧化碳雷射）、離子氣體雷射（如：氫氣雷射）、金屬蒸汽雷射（如：銅蒸汽雷射）。

一般說來，氣體雷射由於其物態固有的特性，所以有些因此而產生的特徵；優點方面是：氣體分子分布均勻、能階較單純，所以氣體雷射的光品質在均勻性和同調性方面都較佳，干涉或精密量測用要求高品質的雷射，通常採用之；另外氣體分子對流、循環較快速，容易作冷卻處理，所以在需要高功率且連續運轉的應用，如雷射切割、銲接等，也大都採用氣體雷射。

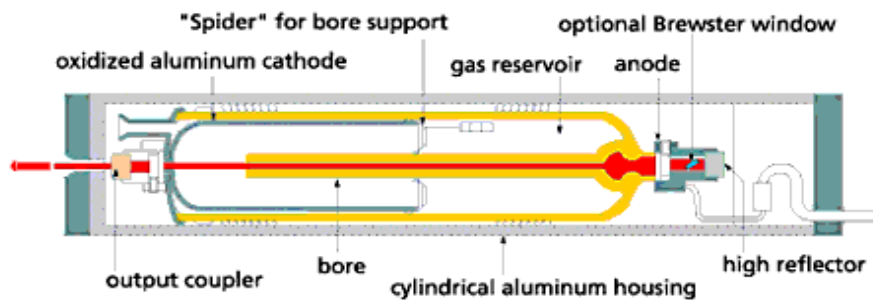
缺點上則有：因為氣體密度最低，要得到瞬間的脈衝高峰值功率比較難，所以用在金屬上的雕刻比較少。

底下挑選幾個比較重要或應用比較廣泛的氣體雷射作簡單介紹：

(一)氦氖雷射 (He-Ne Laser)：是最早產生的連續輸出雷射，雖然它的運轉效率很低，輸出功率不高，一般只有幾毫瓦或數十毫瓦，但是它的光束品質極佳，又為可見光波段的紅光（波長以 0.6328 微米為主），製造和結構上也算是簡單，如圖一，所以用途普及，被廣泛應用在：標定、準直、教學實驗、展示、精密量測、干涉術、全像術、檢測、熱感應輸出、醫療、…等等。

圖 1 氦氖雷射構造圖

(取材自 Melles Griot 公司產品目錄)

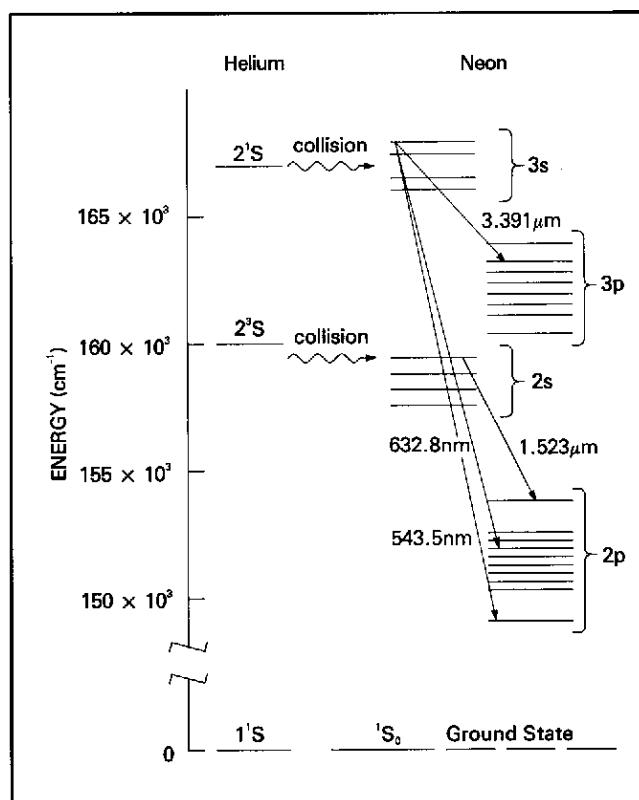


bore : 雷射管 anode : 陽極 output coupler : 輸出耦合鏡
 high reflector : 全反射鏡 oxidized aluminum cathode : 氧化鋁陰極
 gas reservoir : 氣體儲存器 "Spider" for bore support : 雷射管支撐架
 optional Brewster window : 布魯斯特窗 (可加裝)
 cylindrical aluminum housing : 圓柱形鋁套管

氦氖雷射的工作介質是由氦氣和氖氣混合而成，一般採用直流高壓低電流的輝光放電方式激發，其產生雷射的居量反轉能階，主要是氖的能階如圖2，氦只當觸媒的角色。因為它居量反轉的能階對有三組，所以可有三個波段的輸出，最常見的是紅光波段的0.6328微米，另外兩個比較少用的輸出波段是近紅外線的1.15微米和3.39微米；最近則另外發展出與0.6328微米同一組居量反轉能階，但不同的分支能級之躍遷的0.5435微米綠光氦氖雷射，不過要靠對0.5435微米超高反射率及對0.6328極低反射的共振腔鏡片，來壓抑0.6328微米波段的產生。

圖 2 氦氖雷射能階圖

(取材自 Melles Griot 公司產品目錄)



Helium：氦氣

Energy：能量（位能）

Ground State：基態

Neon：氖氣

collision：碰撞

(二)氬氣雷射 (Ar Laser)：是一種離子化的氣體雷射，以低電壓高電流的弧光放電方式將氬氣電離，再提升至高能階，產生居量反轉，得到綠藍色波段附近數百條譜線的雷射輸出，比較強的有 8 條，但最常被使用的是 0.5145 微米（綠色）和 0.488 微米（藍色）。

氬氣雷射的運轉效率也不高，所以工作電流和耗電量都很大，使用時亟需注意電力之負荷和冷卻水的流通。

氬氣雷射的光束品質亦不錯，一般裝有三菱鏡，可選擇所要藍或綠色波長，已被廣泛應用在：娛樂界的雷射表演（雷射秀）、醫學上眼科及牙科治療、印刷業的雷射掃描輸出、實驗或展示的光源、流體量測、CD 刻版等等。

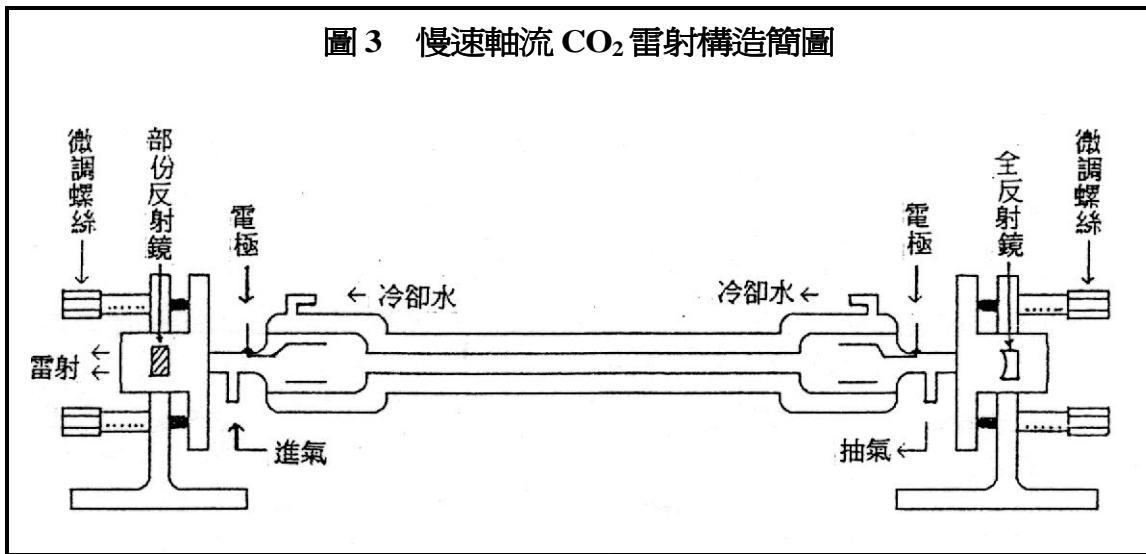
若再加裝光學標準具（Etalon），可以得到更高品質的單縱模輸出（單色光），則在全像術拍攝、光譜分析、非線性光學、資訊儲存、科學研究上皆扮演很重要的角色。

(三)二氧化碳雷射（CO₂ 雷射）：二氧化碳雷射是一種分子氣體雷射，係以二氧化碳氣體分子為工作介質，利用 CO₂ 氣體分子的兩個振動能階（對稱振動和屈折振動）態形成的居量反轉而引出雷射光來。因為氣體分子的振動能階態能量很低，容易激發，再加上雷射產生的量子效率高達百分之五十左右，所以 CO₂ 雷射的運轉效率很高，作為高功率輸出的雷射最為恰當。

它的輸出波長在 10.6 微米的中紅外線波段，是水分子極容易吸收的波段，所以對人體表層組織燒切或磨皮方面效果很好，但是這個波段光束需要使用比較特別材料的光學元件。

因為它輸出功率高，熱效應明顯，用途極廣，所以一直是國際雷射市場產值最高的雷射種類，也因此 CO₂ 雷射的發展很快，因應不同的用途、不同的功率，市面上 CO₂ 雷射種類很多，簡單介紹如下：

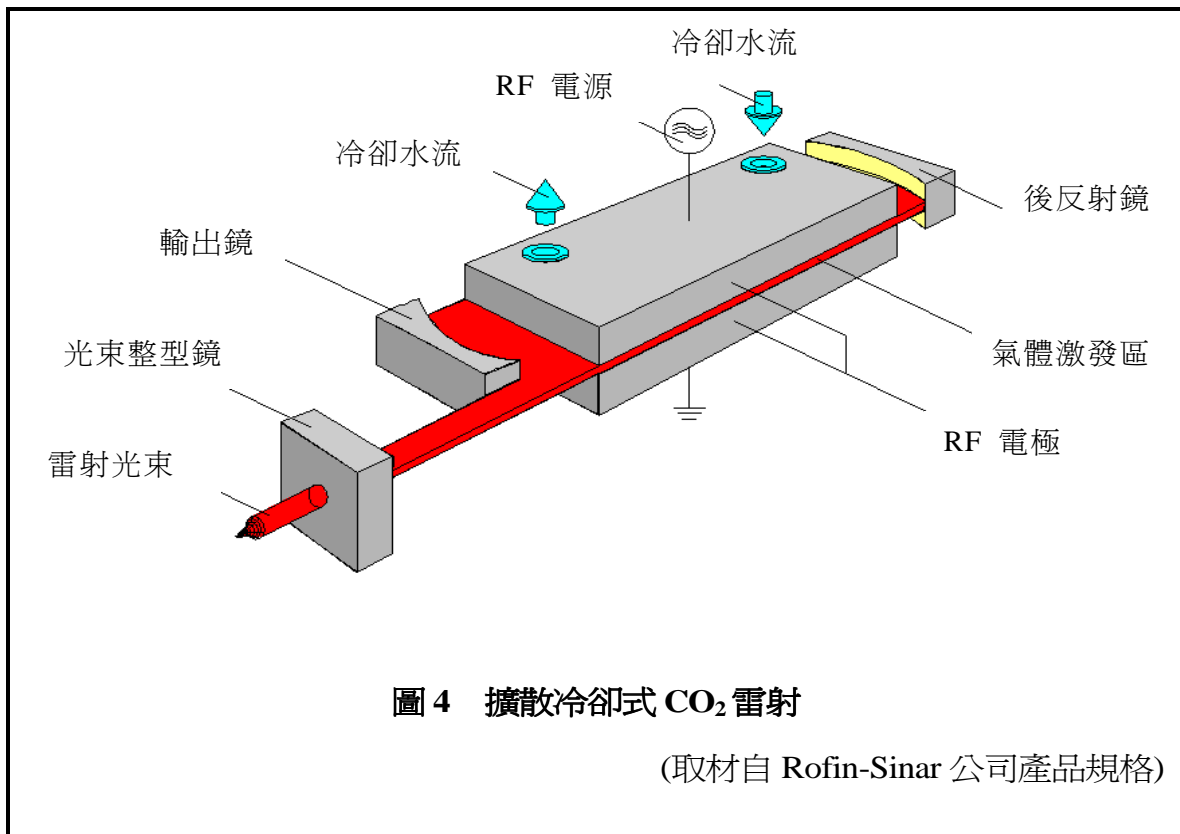
1.慢速軸流（Slow axial flow）CO₂ 雷射：最早的 CO₂ 雷射，沿著玻璃管同軸方向以迴轉式真空幫浦抽換氣體，軸向上同時以正負極行輝光放電，兩端加共振腔鏡片導引雷射輸出，外層玻璃管通以冷卻水，簡單構造如圖 3。

圖 3 慢速軸流 CO₂ 雷射構造簡圖

此種雷射一米長放電區間最多 80 瓦，高功率時不方便，但是輸出橫模非常好，目前仍有中低功率範圍用於少數較特殊的地方。

2. 快速軸流 (Fast axial flow) CO₂ 雷射：和慢速軸流 CO₂ 雷射一樣，沿著玻璃管同軸方向抽換氣體，但是以抽氣速度極快的魯式幫浦 (Roots Pump) 或渦輪幫浦 (Turbo Pump)，將作用完氣體快速抽到共振腔外作冷卻再送回循環使用，可在一米的放電區間達到 600 瓦的雷射輸出功率，輸出的光束橫模，非常接近單模，所以在高功率的切割用雷射中，被普遍採用，目前國內鈹金加工用的 CO₂ 雷射機器，也以這種機型最多。
3. 橫流式 CO₂ (Transverse flow) 雷射：此型雷射的工作氣體流動方向和兩片電極板及共振腔鏡片成三軸直交，也就是作用完的氣體以鼓風機或風扇從兩片電極板中間側邊，抽換並作冷卻循環。由於氣體放電區體積較大，可用長形轉折鏡讓光束在激發的活性介質間作多次折射，可得到極高輸出功率，但輸出光束橫模較差，目前國內此型雷射主要於高功率之雷射銲接使用。
4. 橫向激勵大氣壓 (Transverse excited atmospheric 簡稱 TEA) CO₂ 雷射：結構上類似橫流式 CO₂ 雷射，光軸、電極和氣流三軸直交，但採半封閉式，工作一段時間再抽換氣體，工作氣壓維持在一大氣壓，以提高氣體密度，用脈衝放電方式激發，可以得到短脈衝的瞬間高功率輸出，早期大多用於 IC 刻印上，目前有些使用在印刷電路板 (PCB) 的穿孔上。

- 5.波導式 (Waveguide) CO_2 雷射：以比較細窄的放電管，讓共振腔間的光束靠管壁作全反射傳輸，以加長雷射光在活性介質間的放大路徑，如此可以用比較小的腔體，得到較大的雷射輸出。不過，因為是波導傳輸，橫模稍差，整個腔體無法太大，目前商品化的主要在 2、3 百瓦以下的密封式 CO_2 雷射，其在國內低功率的雷射切割及雕刻應用方面，佔有很重要的角色。
- 6.擴散冷卻式 (Diffusion cooled) CO_2 雷射：這是綜合上述數種 CO_2 雷射的優點所設計而成的，採半封閉式、橫向高頻放電、快速擴散冷卻，結構 (如圖 4) 簡單、操作容易、保養方面也比較單純，目前慢慢在中高功率的 CO_2 雷射市場上嶄露頭角。



(四)氦鐳雷射 (He-Cd Laser)：屬於金屬蒸汽雷射的一種，先將鐳金屬加熱變成蒸汽後，與氦氣混合，再經氣體放電作用而獲得雷射之輸出，主要波長為 0.441 微米和 0.325 微米之紫光及紫外線波段，結構和氦氖雷射類似，功率也不高，但還蠻單純，主要應用在需要紫光波段的研究上，工業上有用在 CD 刻版和無模成型相關業上。

商品上還有兩種不是那麼長看到的金屬蒸汽雷射，一是銅蒸汽雷射，輸出波長為 0.510 微米（綠色）和 0.578 微米（黃色）；另外一種為金蒸汽雷射，輸出波長為 0.628 微米（紅色）。此兩種金屬蒸汽雷射大多在醫學診療和其他特殊研究上使用。

(五)準分子雷射 (Excimer Laser)：常用的有 ArF (0.193 微米)、KrF (0.248 微米)、XeCl (0.308 微米)、XeF (0.351 微米) 等雷射，Ar、Kr、Xe 這些惰性氣體通常很穩定，不太會跟其它原子結合成分子，但若使它們成為激發態時，則會和 F⁻、Cl⁻ 的離子瞬間結合成分子狀態，但在極短時間內即跌遷至低能階態，分子並瞬即解離消失，這種只在激發態才存在的雙原子分子 (Excited Dimer，簡寫作 Excimer)，我們稱其為準分子，由其躍遷過程形成的居量反轉能階引出的雷射，普通稱為準分子雷射（有人翻譯成：雙激分子雷射或激元雷射）。

這種雷射多為短脈衝的紫外線，波長短、能量高、化學效應強，作用在材料或組織細胞上，是以其化學能直接擊斷分子鍵，造成剝蝕作用，深度好控制、斷面乾淨俐落，在醫療和非金屬及超精密加工上別具特色。

二、固體雷射

固體雷射是以固體當活性介質，大部分是將具有產生受激發射作用的離子摻入玻璃或晶體中，以人工方法製造而成。

一般說來，固體雷射由於其物態固有的特性，所以有些因此而產生的特徵；優點方面是：固體密度較高，容易得到瞬間的脈衝高功率，所以常用在金屬的雕刻上面；固體雷射輸出波長大多在可見光和近紅外波段，可用光纖傳輸，比較方便應用；結構緊湊、牢固耐用，使用維護上比較方便；可配合Q開關、倍頻、鎖模等技術，改變其輸出參數，拓展多種用途。

缺點上則有：因為固體的關係，大功率的散熱冷卻不容易，或會影響到其輸出品質，所以比較少用在連續高功率的切割應用。

底下挑選幾個比較重要或應用比較廣泛的固體雷射作簡單介紹：

(一)紅寶石雷射：1960年問世的第一台雷射即是固體紅寶石雷射，紅寶石的化學式為 $\text{Cr}^{+3}:\text{Al}_2\text{O}_3$ ，雷射引出的受激發射能階為 Cr^{+3} 的能階躍遷，輸出光波長 0.694 微米的紅光。紅寶石的機械強度大，能承受高功率密度，能生長成大尺寸，可作非常高功率的脈衝輸出。但只能單脈衝，無法連續或重複脈衝使用，目前主要用於醫療美容或研究上。

(二)摻釹鈮鋁石榴石 (Nd:YAG) 雷射：以人工長晶製成的摻釹鈮鋁石榴石結晶棒為活性介質，用強光照射激發得出 1.06 微米的近紅外線雷射，此晶體的機械性能良好，硬度高、導熱性好，可高功率連續或重複脈衝輸出，是固體雷射裡最重要也是用途最廣的雷射。

Nd:YAG 雷射加裝 Q 開關，可得到高速重複脈衝，在工業上普遍用於穿孔、雕刻、修整、銲接。若結合倍頻、三倍頻技術，可以得到綠光甚至紫外線波段的輸出，在電子工業上用途就更加廣泛。

(三)Er:YAG 及 Ho:YAG 雷射：Er:YAG 是摻鉕鈮鋁石榴石雷射，輸出波段為 2.936 微米的紅外線。Ho:YAG 為摻釹鈮鋁石榴石雷射，輸出波段為 2.10 微米的紅外線，兩者大多為醫療上之應用。

(四)亞歷山大 (Alexandrite) 雷射：是由 Allied 公司開發出來的 $\text{Cr}:\text{BeAl}_2\text{O}_4$ 之紫翠玉雷射，它的輸出波長在 0.72 微米到 0.80 微米間為連續可調，一般亦為醫療所用。

(五)半導體激發固體雷射 (Diode pump solid state laser 簡稱：DPSSL)：傳統以燈管激發的固體雷射，因為弧光或閃光燈管發光的頻譜範圍從紅外線一直到紫外線皆存在，而固體雷射晶棒卻只能吸收某一波段（一般屬於近紅外線）光譜，對其餘波段光譜不但無法吸收，使冷卻系統複雜化，像紫外線可能還會造成加速晶棒的老化，徒增困擾。如果只用固體晶棒吸收波段的光譜來照射激發，那麼處理廢熱的冷卻系統就會單純，雷射整體結構就會比較簡單，雷射運轉效率也提高不少。

而 0.8 微米附近輸出的半導體雷射，正是一般固體雷射晶棒的一條重要吸收譜線，所以近幾年，越來越多的固體雷射改採用半導體雷射激發產生，我們稱之為半導體激發固體雷射（簡稱：DPSSL）。

DPSSL 採用的晶棒有 Nd:YAG、Nd:YVO₄、Nd:YLF 等，激發的方式有連續或脈衝，以及分側面激發、單端面激發、雙端面激發等等，輸出之雷射光波長以近紅外線和倍頻的綠光為主，紫外線的目前較少。

DPSSL 雷射雖然還有一些缺點（如第一脈衝強度不夠、高功率半導體雷射的穩定性等），但應該還是固體雷射發展的走向，目前在較低功率應用的雷射加工市場上，已經漸漸被接受採用。

三、半導體雷射 (Laser Diode 簡稱：LD)

半導體雷射係以半導體當活性介質，通以順向偏壓激發，半導體能階躍遷過程產生居量反轉分布，經由裁切半導體磊晶所形成的兩面光滑切面，來當共振腔鏡面，使雷射光共振放大輸出。

它體積小、重量輕、結構簡單、價錢便宜，能量轉換效率高，又可直接由輸入之激勵電源調制雷射光之輸出頻率。所以用途極廣，在一些光電機器系統裡，都是主要的光源，如：CD光碟機、DVD光碟機、雷射印表機、光纖通信系統…。

它的缺點是：體積小、散熱不容易，受溫度的影響很敏感，光束的發散角很大，光束的同調品質較差，單個的輸出功率較低。不過已經以各種技巧慢慢改善其缺點，未來一定會越來越重要，現針對幾個半導體雷射的類別作簡單介紹：

- (一)AlGaAs 雷射：波長範圍在 0.65 微米到 0.905 微米間的紅光到近紅外線波段，是最早發展的半導體雷射，目前正往高功率方向提升，作為固體雷射的激發光源或直接用於小型的雷射加工機，並被醫療的針灸、止痛或診療所用。
- (二)InGaAsP 雷射：發光之波段在 1.0 微米到 1.7 微米間，目前往高品質且長波長發展，主要應用在光纖通訊上，因為較長波長（1.7 微米附近）在光纖中傳輸的損失愈小。
- (三)短波長半導體雷射：波長越短，能量越高，聚焦的焦點越小，如果用在光資訊的讀寫頭上，資料儲存的密度就可更高。所以半導體雷射一直被要求往比較短波長的紅光、藍光發展，甚至目前發展中的綠光、紫外線。
- (四)面發光型半導體雷射：可以在一個面上同時發射多個半導體雷射，如此才方便被應用在整排高頻訊號的短距離傳輸，即所謂的電子構裝技術。

四、液體雷射

以液體當活性介質，具有不破裂性，冷卻循環容易，介質的組成成份、濃度可任意變化，兼具氣體、固體雷射的某些長處，可得到極窄的脈波輸出。

液體雷射大都以染料（Dye）當介質，一般採強光或氣體雷射激勵，可以改變染料的濃度和溫度來得到不同波段的雷射光，再在共振腔中加裝光柵用以挑選輸出波長的話，則可以在某一波段之間任意改變輸出雷射的波長。主要應用在化學的光譜學研究或整型外科使用較多。

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

- () 1.一般氣體雷射的輸出光束品質比固體雷射差。
- () 2.半導體雷射的共振腔很狹窄，光束在其間來回反射時，繞射效應特別明顯，所以輸出的光束發散角特別大。
- () 3.因為氣體密度最低，要得到瞬間的脈衝高功率比較難，所以氣體雷射被用在金屬上的雕刻比較少。
- () 4.氦氖雷射的工作介質是由氦氣和氖氣混合而成，可以得到非常好的單色光，其所產生雷射波長主要為 0.6328 微米波長之紅光。
- () 5.Nd:YAG 雷射是以人工長晶製成的摻釹鋁石榴石結晶棒為活性介質，用強光照射激發得出波長為 10.6 微米的中紅外線雷射。

(二)選擇題

- () 1.下列何者為固體雷射？ (1) 染料雷射 (2) 氦鎘雷射 (3) 銅金屬雷射 (4) 亞歷山大雷射。
- () 2.下列何者不是 CO₂ 雷射的特徵？ (1)可以產生瞬間極高功率輸出 (2)輸出光為 10.6 微米的中紅外線 (3)是運轉效率比較高、應用普及的一種雷射 (4) 是一種分子氣體雷射。
- () 3.用在光纖通訊上的半導體雷射波段是： (1) 0.65 微米到 0.905 微米間 (2) 1.0 微米到 1.7 微米間 (3) 綠光波段 (4) 紫光波段。
- () 4.下列何者不是液體雷射的特徵？ (1) 具有不破裂性 (2) 可得到極窄的脈波輸出 (3) 可以得到很高的輸出功率 (4) 冷卻循環容易。
- () 5.半導體雷射的特色是： (1) 能量轉換效率高 (2) 體積小、重量輕、價錢便宜 (3) 可以直接由電源調制輸出形式 (4) 以上皆是。

學習評量一答案

(一)是非題

1. (×) 一般氣體雷射的輸出光束光品質比固體雷射較佳。
2. (○)
3. (○)
4. (○)
5. (×) Nd:YAG 雷射的輸出波長為 1.06 微米的近紅外線。

(二)選擇題

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

本教材的第二個學習目標是

在不參考書籍的情況下，請正確的說明雷射激勵方式的種類和特徵，並詳細描述在不同加工應用上如何選擇雷射的輸出形式，另外請針對不同輸出波長的雷射稍作分類說明。

一、按激勵方式分類

雷射組成的三要件：活性介質、激勵系統、共振腔，激勵系統是供給活性介質能量，將其提升至某一定的高能階態，然後在由高能階態向下跌遷的過程，累積居量反轉以致得引出受激發射的雷射光。所以激勵系統也很重要，是產生雷射的必要條件之一，底下依不同的激勵系統分別簡單介紹，但是產業界用到的雷射多為第一和第二種的光或電激勵，其餘的只在國防武器或研究領域採用。

(一)光激勵雷射：係利用外界的光源發出的光來照射活性介質以達到居量反轉。幾乎所有的固體雷射和液體雷射，以及少部份的半導體雷射和氣體雷射，採用此種激勵方式。

一般固體雷射和液體雷射均在光譜的特定區域（如可見光波段、近紅外線波段或近紫外線波段），有比較強的吸收譜線或吸收譜帶，因此在外界足夠強的光源照射下，就可以使活性介質在特定的能階間達到居量反轉的目的。

在實際的雷射系統裡，光激勵系統通常由光源、聚光腔、電源供應器以及冷卻系統組成。光源一般採用發光能力較強的氣體放電光源（高壓氬燈或氦燈），可用連續光源或脈衝閃光激勵，以得到不同的輸出形式雷射。

由於雷射的種類越來越多，只要挑選最適合活性介質吸收譜線波段的雷射去照射它，更能達到有效吸收，充分發揮激勵系統的功能，因此早期就有利用氮分子雷射或氫離子雷射去激發染料雷射。近年來由於半導體雷射發展快速，更多的以半導體雷射去激發固體晶棒來產生雷射，如第一單元所描述的 DPSSL(半導體激發固體雷射)。

(二)電激勵雷射：這是大部分氣體雷射及半導體雷射所採用的激勵方式。

氣體雷射主要利用高壓電場讓氣體分子電離並獲得較大的能量，以達到能階的躍遷，得到居量反轉分布。

電激勵系統常因不同的活性氣體和雷射的應用要求之不同，而分別採用直流連續放電、直流脈衝激發、交流放電或高頻（或稱射頻 Radio frequency 簡稱 RF）放電。實際的電激勵系統，通常由適當形式構造和特殊材料的電極以及放電電源供應設備所組成。

半導體雷射的激勵方式亦多採用電激勵，只需加以極低的順向偏壓，通過大於其閾值之電流，即能夠激發產生雷射。

(三)化學能激勵雷射：這是利用某些工作物質（主要是氣體活性介質）內部發生化學反應過程中，所釋放出來的化學反應能，來激發反應的生成物，使其達到激發態，並產生居量反轉能階分布，來引出雷射光。

化學能激勵的特點是：對於活性介質的激勵能，來自活性物質本身化學反應所放出來的能量，因此原則上不需要外加的其他能源供應，如此可以省略電力供應系統的考量。對在太空中架設一個高能量的雷射系統，這是最有可能的選擇，所以一般只在國防武器或某些研究單位採用。

(四)熱激勵雷射：按照波茲曼熱分布規律，物質在高溫狀態下，處於較高能階上的粒子數就會增多，但是不論溫度多高，只要物質處於熱平衡狀態，則較高能階上的粒子數目始終少於較低能階上的粒子數，因此，僅僅靠普通的加熱方法，是得不到居量反轉分布的。

如果以高溫加熱方式先使活性介質在高能階的粒子數目增多，然後用絕熱膨脹的方式，突然降低系統的平均溫度，使其處於非熱平衡狀態下，這時，工作粒子在高低不同能階上的停留壽命會產生不同，因此，原則上有可能在某些特定的能階之間形成居量反轉分布。

氣體動力式 CO_2 雷射是典型的熱激勵雷射，可藉由電弧放電、燃燒、壓縮或爆炸等方式加熱，再經由高速氣動噴管進行絕熱膨脹。目前仍然是國防或研究領域上採用之。

二、按輸出形式分類

由於雷射所採用的活性介質以及使用的目的之不同，就會選用不同的輸出形式，底下係以輸出形式劃分雷射，作簡單介紹：

(一)連續波（Continue Wave 簡稱：CW）輸出雷射：活性介質的激勵和相對應的雷射輸出，在一段較長的時間過程中，均維持連續的方式運行，這樣可以得到穩定且較高的平均輸出功率。以連續電激勵（如：直流電激勵或連續高頻）方式工作的氣體雷射，和某些半導體和固體雷射採用。

連續波輸出雷射的主要用途在切割、銲接、精密量測、醫療、研究…。

(二)單脈衝輸出雷射：希望在較短的時間內獲得較強的雷射輸出功率，可採一個單次脈衝。由於，激勵和雷射的共振產生均在一個不太長的脈衝過程內完成，因此活性介質和激勵系統可承受較大的負載，而不致產生過熱或超負載破壞。一些固體雷射、液體雷射、半導體和某些氣體雷射採用。

單脈衝輸出雷射主要應用在鑽孔、點銲、醫療、測距、研究等。

(三)重複脈衝輸出雷射：若以重複脈衝的方式對活性介質進行激勵，或者以連續方式進行激勵，但以一定方式的雷射調制技術，使獲得重複脈衝雷射輸出，亦為可行。一些固體雷射、氣體雷射和半導體雷射採用。

以重複脈衝輸出的雷射，可提供中等水平的脈衝雷射功率，和脈衝雷射能量。主要應用在切割、雕刻、穿孔、銲接、通信、光雷達、醫療、研究等。

(四)可控制輸出雷射：其他採用各種雷射技術，如 Q 開關、鎖模、倍頻、穩頻、選模等等的技術，以得到特殊輸出條件（超短脈衝、極高峰值功率、極短波長、極端單模…）的雷射，在某些比較特別的應用場合，可是非常的重要。

三、按輸出波長分類：

由於雷射的活性介質和激勵方式的種類很多，也因此決定了雷射的各種輸出譜線，目前已達數千種以上，除了有少數可以在某一小波段範圍內連續變頻外，大部分的雷射譜線是比較稀疏地分布在電磁波頻譜的整個光譜波段。我們可根據其波長的範圍，大致劃分為如下幾個波段的雷射：

(一)紅外線雷射：可分為近紅外線（0.75~2.5 微米）、中紅外線（2.5~25 微米）、遠紅外線（25~1000 微米），輸出波長在紅外線波段的雷射最多，一般常見到的，近紅外線雷射有 Nd:YAG 雷射、Nd:Glass 雷射、半導體雷射等；輸出為中紅外和遠紅外波段的雷射，主要為分子雷射，中紅外線雷射有 CO₂ 雷射（10.6 微米）、CO 雷射（5~6 微米）、Er:YAG 雷射（2.936 微米）、HF 雷射（2.6~3.5 微米）；而遠紅外線雷射則有 H₂O（水蒸汽）雷射、HCN 雷射，波長可達到幾百微米以上。

- (二)可見光 (0.4~0.75 微米) 雷射：可見光雷射比較常見的有，紅寶石雷射 (0.6943 微米)、氦氖雷射 (0.6328 微米)、紅光波段的氦離子雷射、氫離子雷射 (藍、綠色波段)、紫光波段的氬鐳雷射、倍頻的固體雷射，以及一些在黃橙色波段的染料雷射。
- (三)紫外線雷射：可分為近紫外線 (0.2~0.4 微米)、真空紫外線 (0.005~0.2 微米)，近紫外線雷射有 0.325 微米的氬鐳雷射、0.337 微米的氮氣雷射、三倍頻的固體雷射、以及準分子雷射 (XeF、XeCl、KrF)；真空紫外線雷射多為分子氣體雷射，有 H₂ 雷射 (0.1098~0.1644 微米)、Xe₂ 雷射 (0.173 微米) 以及 0.193 微米的 ArF 準分子雷射。
- (四)X射線雷射：即 X 射線波段的雷射，就是以受激發射方式產生的 X 光放大器，簡稱 Xaser，這是目前最新的發展，它的能量更高、威力更強，肯定是未來的雷射武器之一。

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.半導體雷射的激勵方式亦多採用電激勵，只需加以極低的順向偏壓，通過大於其閾值之電流，即能夠激發產生雷射。
- () 2.X 射線波段的雷射，就是以受激發射方式產生的 X 光放大器，可簡稱 Xaser。
- () 3.大部分氣體雷射採用的激勵方式是用光激發，少部份的採用電激勵。
- () 4.光激勵雷射係利用外界的光源發出的光來照射活性介質以得到雷射，所以不須耗電。
- () 5.化學能激勵雷射是利用化學反應過程中，所釋放出來的化學能，來激發產生雷射光，所以不大需要外加很多電力。

(二)選擇題

- () 1.產業界常用到的雷射多為下列何種激勵方式？(1) 熱激勵雷射 (2) 電激勵雷射 (3) 核能激勵雷射 (4) 化學激勵雷射。
- () 2.準分子雷射為下列何種激勵方式的雷射？(1) 熱激勵雷射 (2) 光激勵雷射(3) 電激勵雷射 (4) 化學激勵雷射。
- () 3.為什麼要以半導體雷射去激發固體晶棒來產生雷射，最主要的因素是：(1) 半導體雷射能量比較高 (2) 半導體雷射功率比較高 (3) 半導體雷射的光譜線正好是固體晶棒所要吸收的 (4) 半導體雷射比較便宜。
- () 4.下列何種雷射不是可見光雷射 (1) 氦氖雷射 (2) 準分子雷射 (3) 倍頻固體雷射 (4) 紅寶石雷射。
- () 5.下列何者不是連續波 (Continue Wave 簡稱：CW) 輸出雷射的特徵 (1) 可以得到極高的峰值功率 (2) 可以得到較大的平均功率 (3) 可以用在切割、銲接上 (4) 可以得到比較穩定的雷射輸出。

學習評量二答案

(一)是非題

1. (○)
2. (○)
3. (×) 大部分氣體雷射採用的激勵方式是用電激發，少部份的才採用光激勵。
4. (×) 光激勵雷射係利用外界的光源發出的光來照射活性介質以得到雷射，但光源仍須耗用很多的電力。
5. (○)

(二)選擇題

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

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.氣體雷射的活性介質，均勻性好、能階單純，所以輸出光束的光品質一般說來比固體雷射好。
- () 2.固體雷射大部分採用大功率電源供給產生的強光去激發，所以是電激勵雷射之一。
- () 3.固體的密度最高，要得到瞬間的脈衝高峰值功率比較容易，所以固體雷射常被用在金屬上的雕刻。
- () 4.準分子雷射的工作介質是由激發態才結合的雙原子分子組成，可以得到非常短波長的脈衝紫外線，在產業上，主要應用於超精密加工。
- () 5.產業界常用到的雷射多為熱激勵方式產生。
- () 6.半導體雷射的發展越來越快，目前一直往更短波長的藍光、紫光開發，波長短、鑑別率高，可作為下一代光資訊系統的讀取頭光源。
- () 7.單脈衝輸出雷射係在較短的時間內採一個單次脈衝輸出雷射，由於激勵和雷射的共振產生均在一個不太長的脈衝過程內完成，因此活性介質和激勵系統可承受較大的負載。
- () 8.染料雷射可以在某一波段之間任意改變輸出雷射的波長，主要應用在化學的光譜學研究或整型外科使用較多。
- () 9.固體雷射輸出波長大多在可見光和近紅外波段，可用光纖傳輸，結構緊湊、牢固耐用，比較方便應用，所以也是應用很廣的一種雷射。
- () 10.染料雷射係以攪拌染料造成化學反應，所釋放出化學能來激發產生雷射，所以又叫做化學雷射。

(二)選擇題：(50%)

- () 1.下列何者為氣體雷射？(1) Nd:YAG 雷射 (2) 氦鐳雷射 (3) 染料雷射 (4) 亞歷山大雷射。
- () 2.下列何者不是 CO₂ 雷射的特徵？(1)可以產生瞬間極高峰值功率輸出 (2)輸出光為 10.6 微米的中紅外線 (3)是運轉效率比較高、應用普及的一種雷射 (4) 是一種分子氣體雷射。
- () 3.用在光纖通訊上的半導體雷射波段是：(1) 0.65 微米到 0.905 微米間 (2) 1.0 微米到 1.7 微米間 (3) 綠光波段 (4) 紫光波段。

- () 4.下列何者不是半導體雷射的特徵？(1) 能量轉換效率高 (2) 輸出光束發散角比較大 (3)輸出的光束品質良好、單色性佳 (4)體積小、重量輕、價錢較便宜。
- () 5.下列何種雷射不是準分子雷射：(1) ArF 雷射 (2) KrF 雷射 (3)HCN 雷射 (4) XeCl 雷射 。
- () 6.Nd:YAG 雷射是以人工長晶製成的摻釹釷鋁石榴石結晶棒為活性介質，用強光照射激發得出的，其波長為 (1)0.6328 微米的紅光 (2) 0.808 微米的近紅外線 (3) 1.06 微米的近紅外線 (4) 10.6 微米的中紅外線 。
- () 7.下列那一個波長是紫外線？(1) 0.46 微米 (2) 0.0005 微米 (3) 0.56 微米 (4) 0.3 微米。
- () 8.快速軸流(Fast axial flow)CO₂ 雷射是以何種幫浦抽換氣體？(1) 渦輪式幫浦 (2) 迴轉式真空幫浦 (3) 大型鼓風機 (4) 大風扇。
- () 9.下列何種雷射是可見光雷射 (1) Nd:Glass 雷射 (2) 準分子雷射 (3) 倍頻固體雷射 (4) InGaAsP 雷射。
- () 10.下列何者不是連續波(Continue Wave 簡稱：CW) 輸出雷射的特徵 (1) 可以得到極高的峰值功率 (2) 可以得到較大的平均功率 (3) 可以用在切割、銲接上 (4) 可以得到比較穩定的雷射輸出。

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

工作計畫評量表

工作計畫評量項目	分數					
	優 10	良 8	中 6	可 4	差 2	劣 0
1.消耗品記錄清楚	<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分以下

工作計畫得分_____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.依規定佩戴個人安全防護器具	<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分以下

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 10	良 8	中 6	可 4	差 2	劣 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 分以下

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.工作計畫			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			
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>