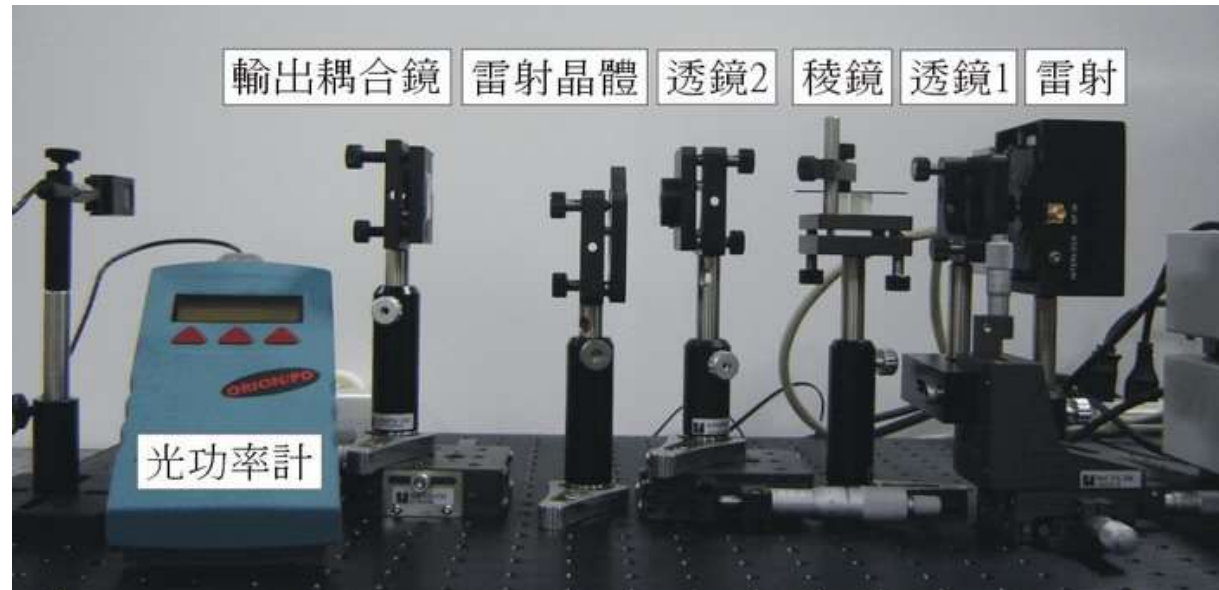


# 實驗6： 固態雷射與倍頻實驗



## 關於雷射 (LASER)

L A S E R

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

由激發輻射所加強的光

【雷射】、【激光】

### 雷射的種類

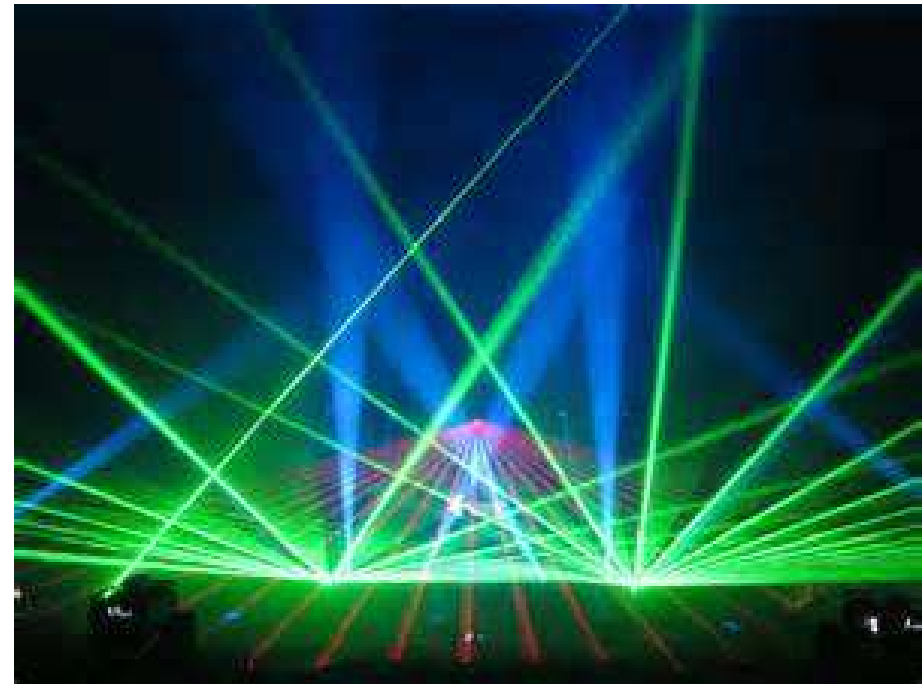
氣體雷射  
液體雷射  
固體雷射  
半導體雷射

### 雷射的特性

- 1、光束平行性
- 2、同調性
- 3、單色性
- 4、高強度

### 雷射的三要件

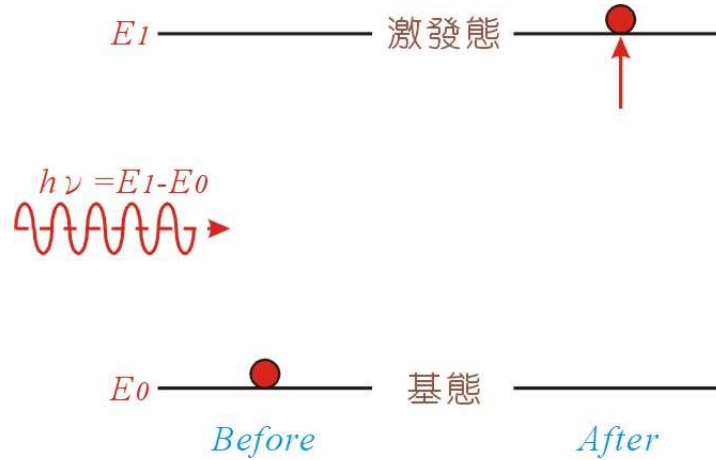
- 1、活性介質 (Active Medium)
- 2、幫浦作用 (pump)
- 3、共振 (resonator)



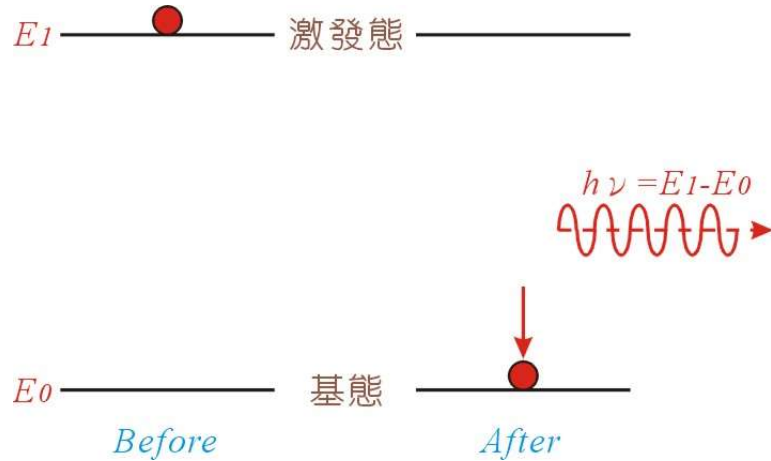


# 光與介質的三種交互作用

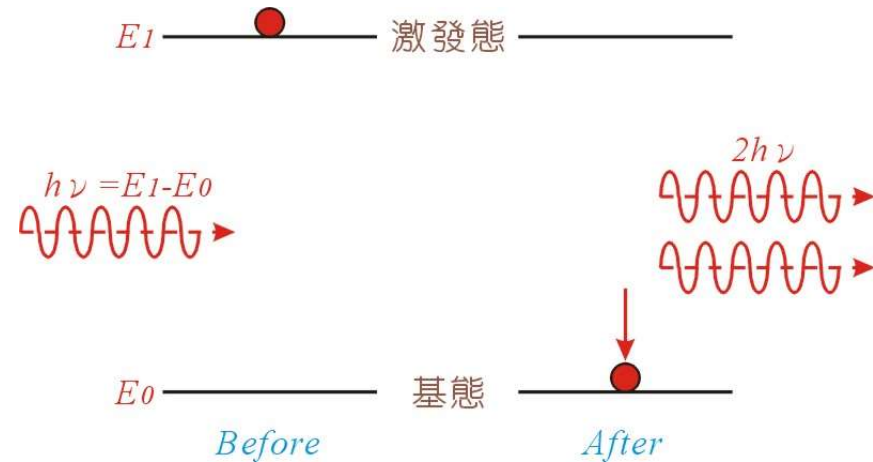
## 1、吸收 (Absorption)

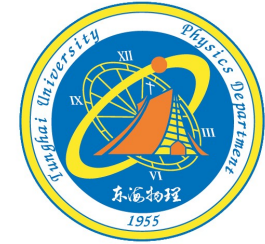


## 2、自發輻射 (Spontaneous emission)



## 3、受激輻射 (Stimulated emission)





## 光與介質的三種交互作用

### 1、吸收 (Absorption)

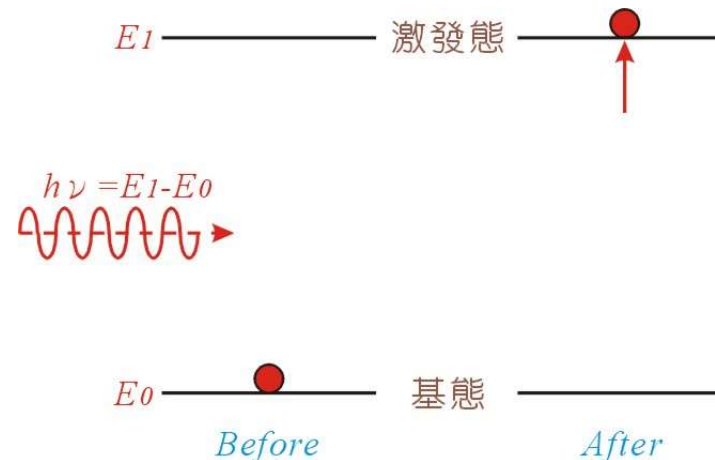
一介質受到一光子的照射，此光子的能量恰好對應到此介質的一組能階能量差，這組能階能量差可讓光子有機會被電子吸收，使得電子由低能階的價電帶被激發到高能階的導電帶，而使得介質處於受激態或激發態 (excited state)。

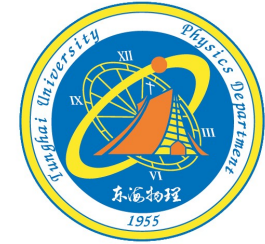
### 2、自發輻射 (Spontaneous emission)

處在激發態的電子掉回到低能階的價電帶時，會放出光子，此種光子通常稱為螢光 (fluorescence)。通常螢光不會有特定方向。

### 3、受激輻射 (Stimulated emission)

愛因斯坦提出，當一激發態介質被相同能量的光子照射時，處在高能階的電子會掉到低能階，同時放出光子，此光子與之前照射的光子具有相同的狀態。也就是說，兩者具有相同波函數，有相同的波長、頻率與相位和相同的行進方向。





## 光與介質的三種交互作用

### 1、吸收 (Absorption)

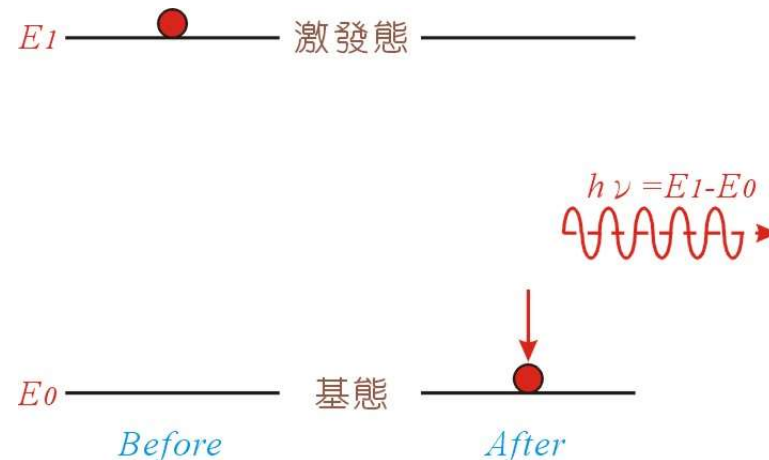
一介質受到一光子的照射，此光子的能量恰好對應到此介質的一組能階能量差，這組能階能量差可讓光子有機會被電子吸收，使得電子由低能階的價電帶被激發到高能階的導電帶，而使得介質處於受激態或激發態 (excited state)。

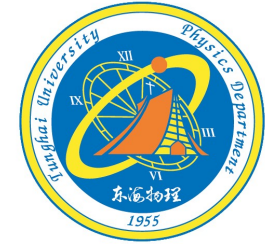
### 2、自發輻射 (Spontaneous emission)

處在激發態的電子掉回到低能階的價電帶時，會放出光子，此種光子通常稱為螢光 (fluorescence)。通常螢光不會有特定方向。

### 3、受激輻射 (Stimulated emission)

愛因斯坦提出，當一激發態介質被相同能量的光子照射時，處在高能階的電子會掉到低能階，同時放出光子，此光子與之前照射的光子具有相同的狀態。也就是說，兩者具有相同波函數，有相同的波長、頻率與相位和相同的行進方向。





## 光與介質的三種交互作用

### 1、吸收 (Absorption)

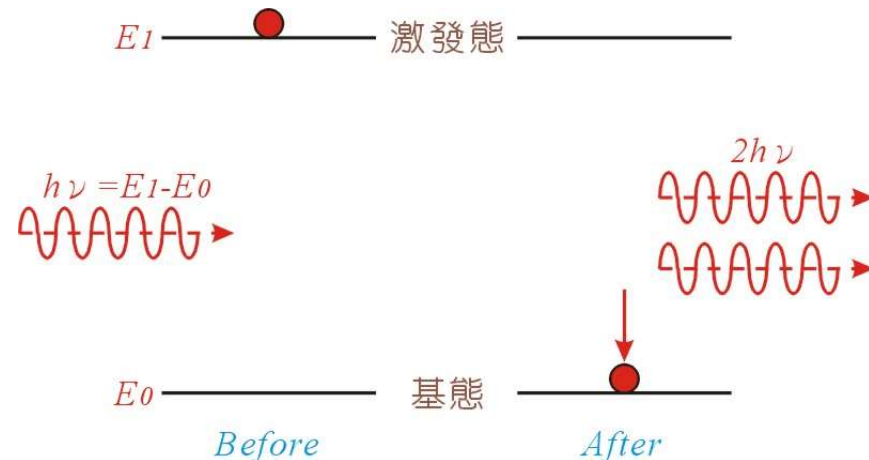
一介質受到一光子的照射，此光子的能量恰好對應到此介質的一組能階能量差，這組能階能量差可讓光子有機會被電子吸收，使得電子由低能階的價電帶被激發到高能階的導電帶，而使得介質處於受激態或激發態 (excited state)。

### 2、自發輻射 (Spontaneous emission)

處在激發態的電子掉回到低能階的價電帶時，會放出光子，此種光子通常稱為螢光 (fluorescence)。通常螢光不會有特定方向。

### 3、受激輻射 (Stimulated emission)

愛因斯坦提出，當一激發態介質被相同能量的光子照射時，處在高能階的電子會掉到低能階，同時放出光子，此光子與之前照射的光子具有相同的狀態。也就是說，兩者具有相同波函數，有相同的波長、頻率與相位和相同的行進方向。

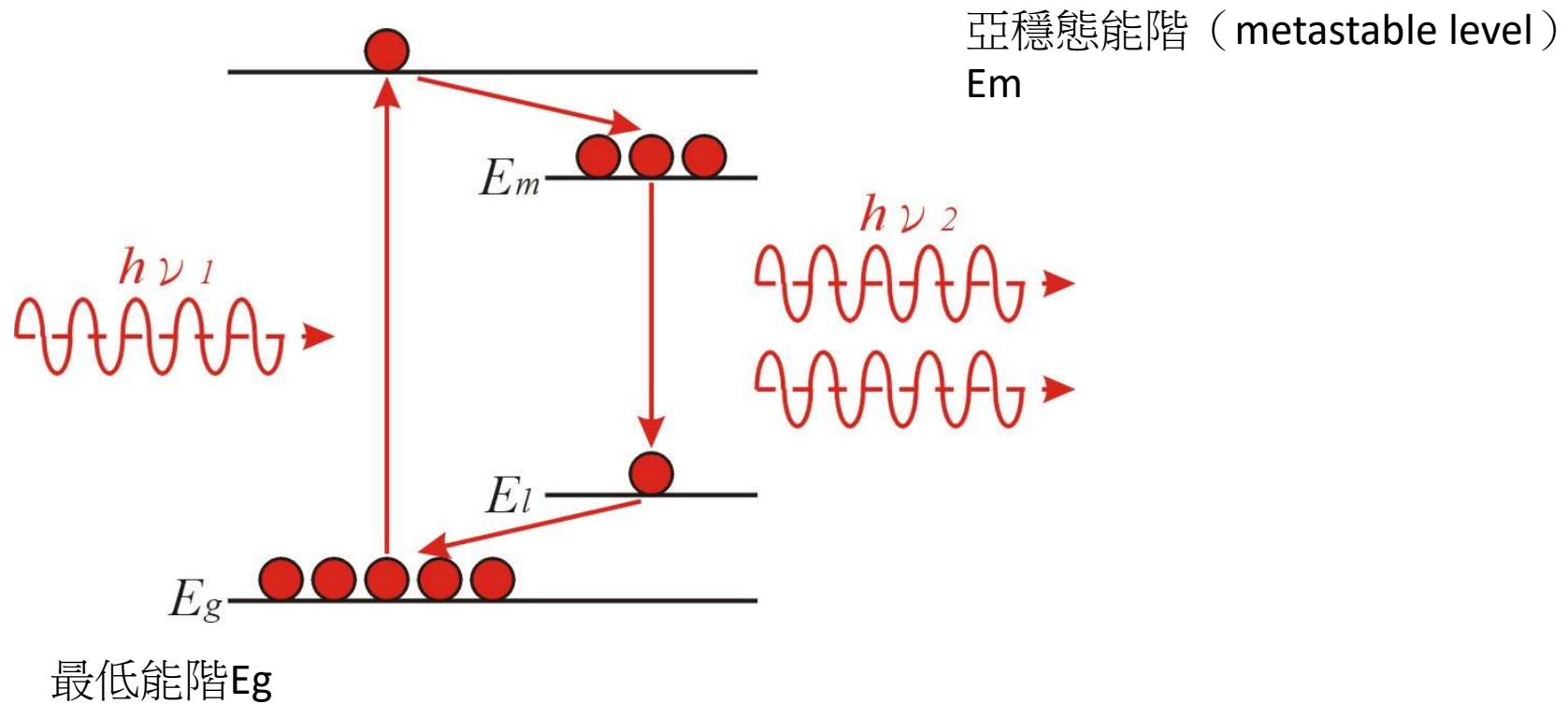




## 四能階系統

### 經由激發輻射產生雷射

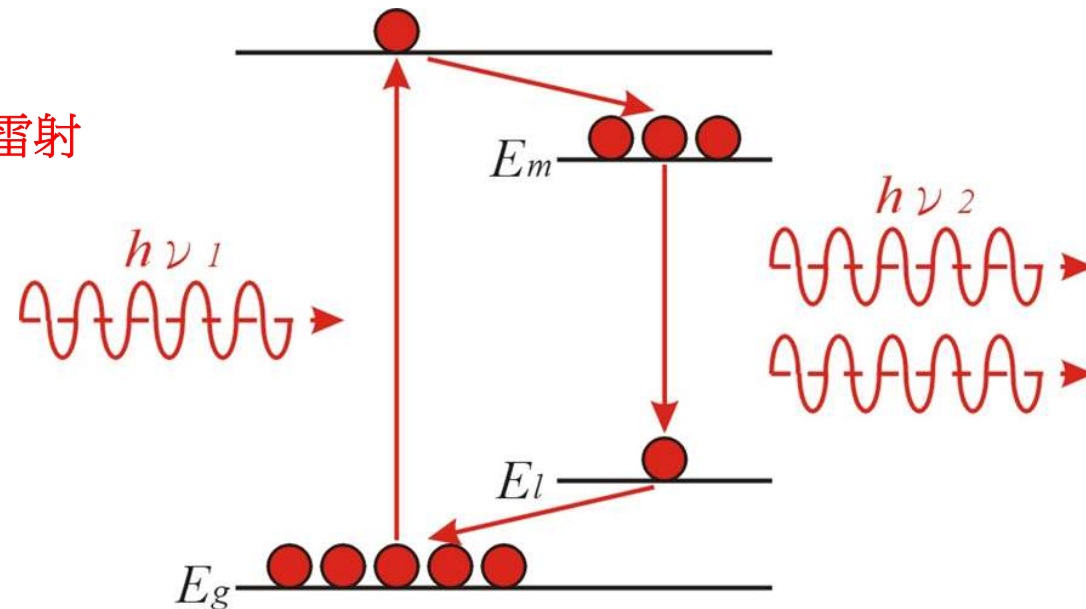
用來描述雷射晶體電子躍遷的過程。



居量反轉 (population inversion)

## 四能階系統

### 經由激發輻射產生雷射



一開始，大部分的電子處在最低能階  $E_g$  (ground state)。為了達到居量反轉的效果，我們利用幫浦機制，將電子打到高能階狀態（外界提供  $h\nu_1$  能量），一般來說，電子會在極短時間內釋放出部分能量，而來到亞穩態能階 (metastable level)  $E_m$ 。電子在  $E_m$  能階會停留比較久的時間，如此， $E_m$  能階才能累積較多電子。一段時間後， $E_m$  能階的電子會自然躍遷到較低能階  $E_l$  而釋放出光子。當然，電子在  $E_l$  能階的存活時間要短，也就是說，在  $E_l$  能階的電子很快的會回到最穩定的  $E_g$  能階狀態，如此一來，才可以造成  $E_m$  能階與  $E_l$  能階間電子的居量反轉 (population inversion)。

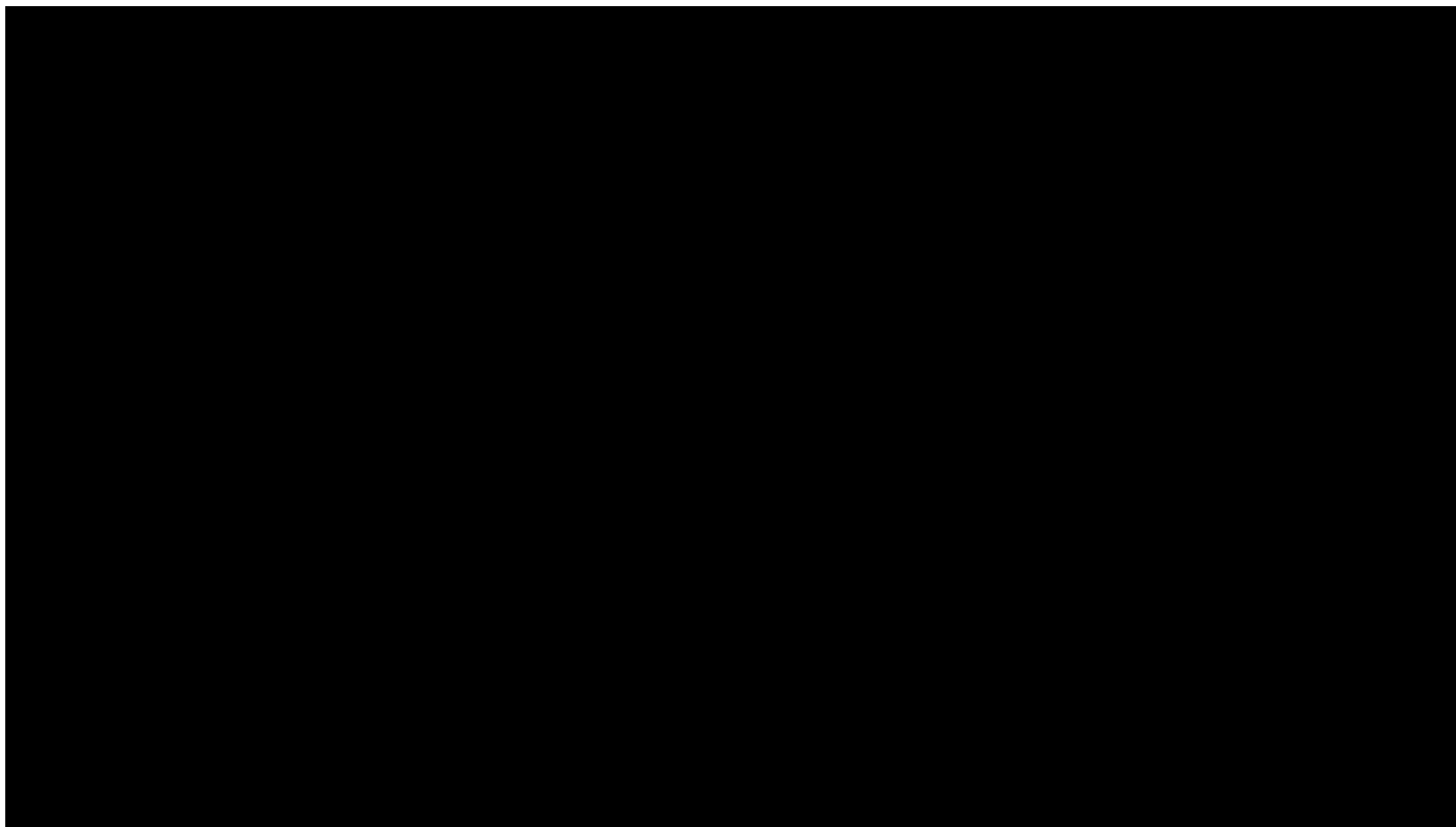
若此時有一光子進來（利用共振腔），此光子能量剛好跟 ( $E_m - E_l$ ) 一樣，則在  $E_m$  能階的電子會受激躍遷到  $E_l$  能階，並釋放出一個與入射光子一樣的光子  $h\nu_2$ 。（此過程為受激輻射）





## How a Laser Works

<https://www.youtube.com/watch?v=oUEbMjtWc-A>

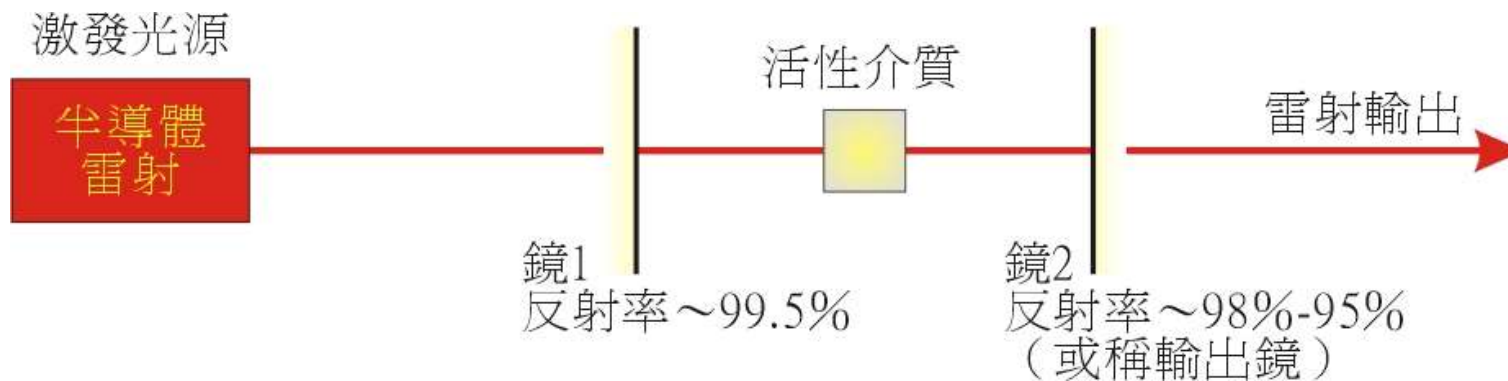


## 雷射的特性

- 1、光束平行性
- 2、同調性
- 3、單色性
- 4、高強度

## 雷射的三要件

- 1、活性介質 (Active Medium)
- 2、幫浦作用 (pump)
- 3、共振 (resonator)



# 儀器架構



## 雷射的三要件

1、活性介質 (Active Medium)

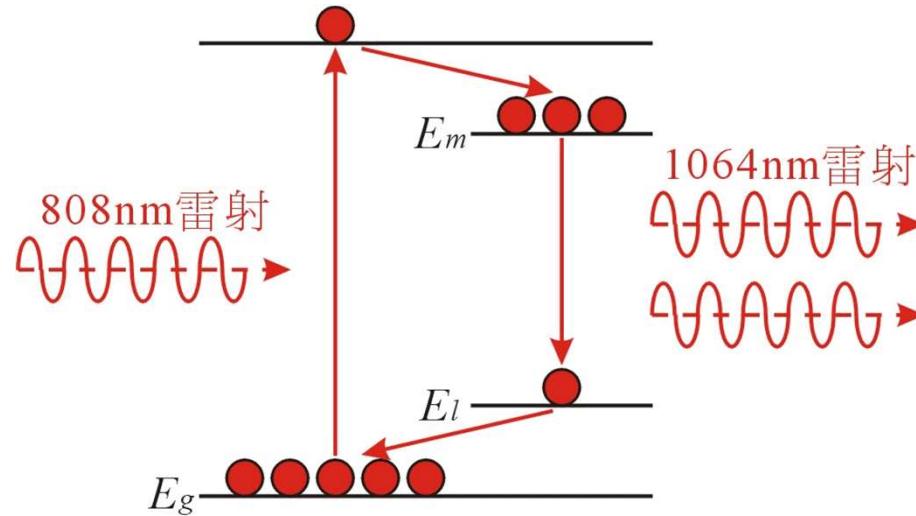
➔ NdYVO4

2、幫浦作用 (pump)

➔ 808nm雷射

3、共振 (resonator)

➔ S1面和輸出耦合鏡



溫控



電流源

808nm  
雷射

透鏡

雷射  
晶體  
S1 S2

輸出耦合鏡

屏幕



## 架設儀器步驟

### 1-對光軸



### 2-放入晶體Nd:VVO<sub>4</sub>



### 3-放入透鏡



### 4-放入輸出耦合鏡



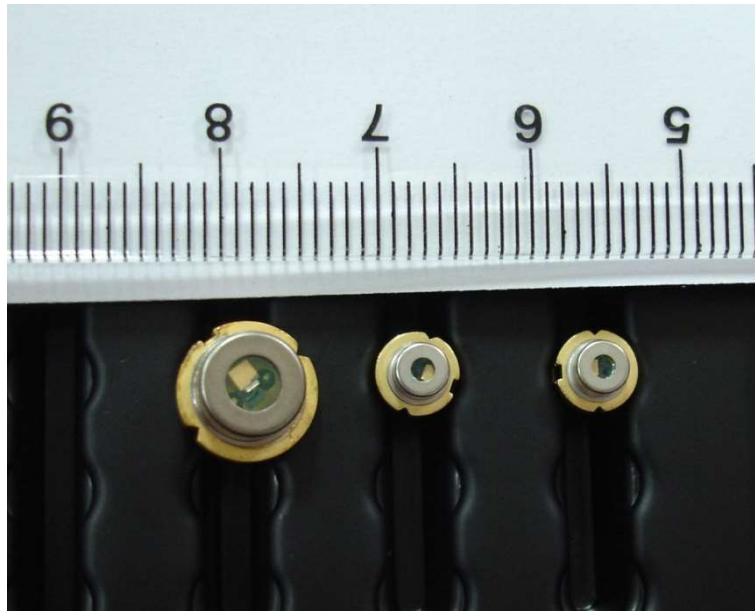
固態雷射

### 5-放入倍頻晶體 (KTP晶體)



倍頻雷射

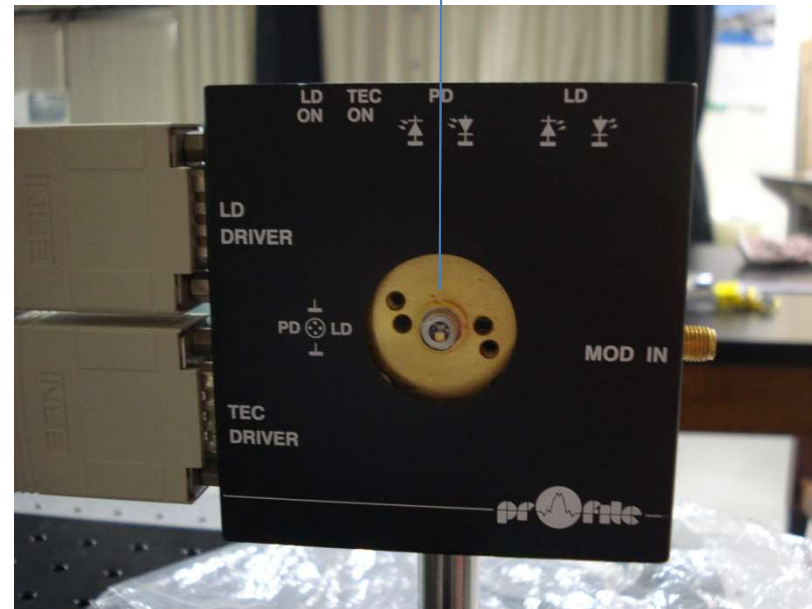
# 半導體雷射、雷射座

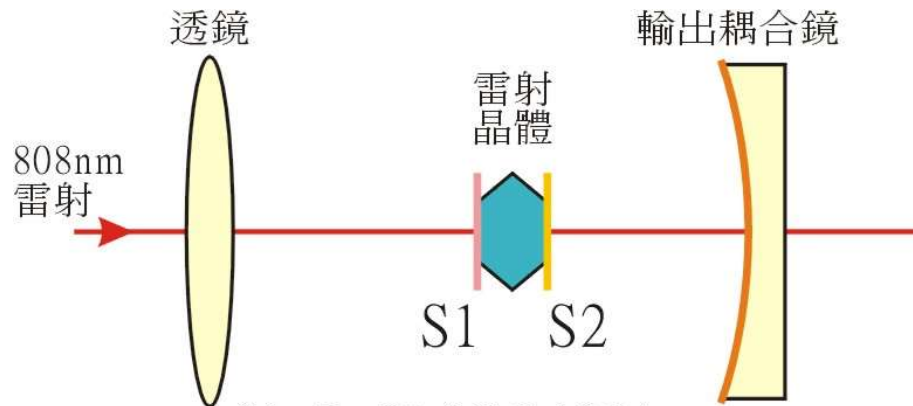


$\phi = 9\text{mm}$ 、 $\phi = 5.6\text{mm}$

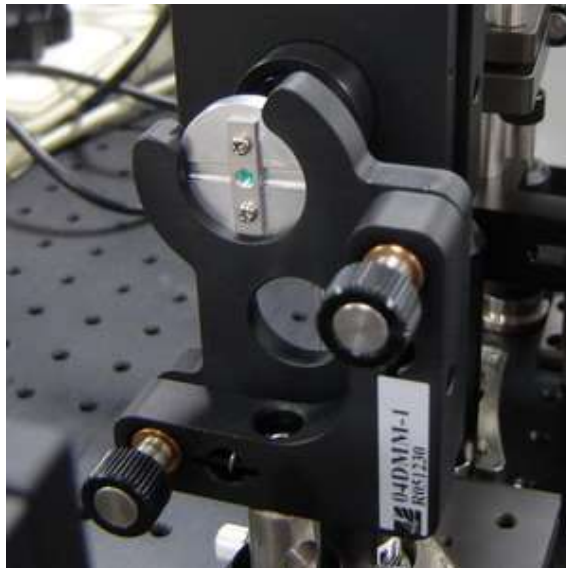


雷射diode

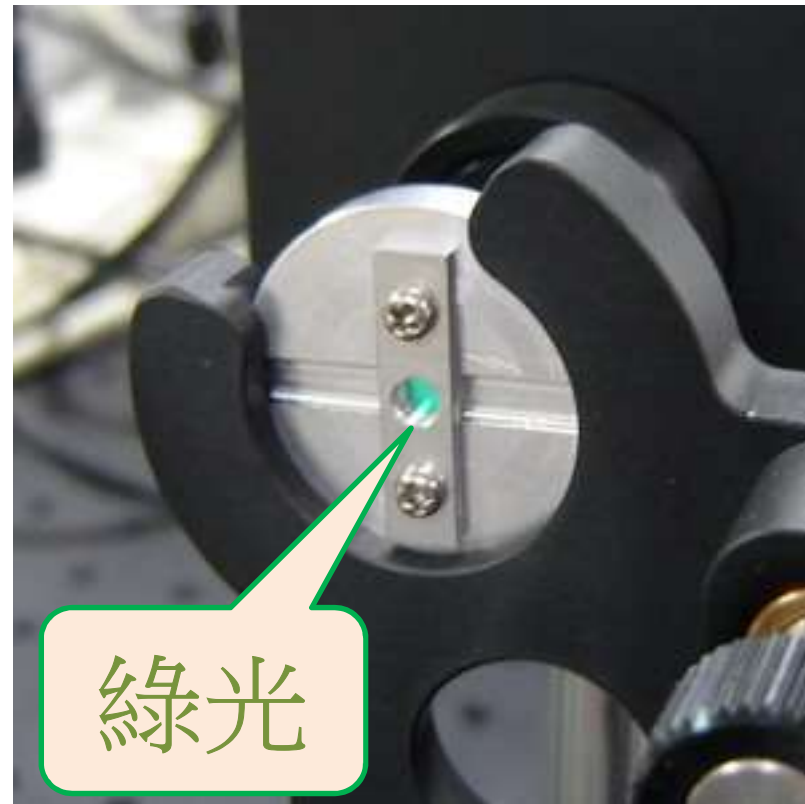




S1:  $R > 99.8\%$  @ 1064nm  
 $R > 99.0\%$  @ 532nm  
 $R < 5.0\%$  @ 808nm  
S2:  $T > 99.8\%$  @ 1064nm



## 雷射晶體 Nd:YVO<sub>4</sub>





KTP晶體





# 儀器架構 分析

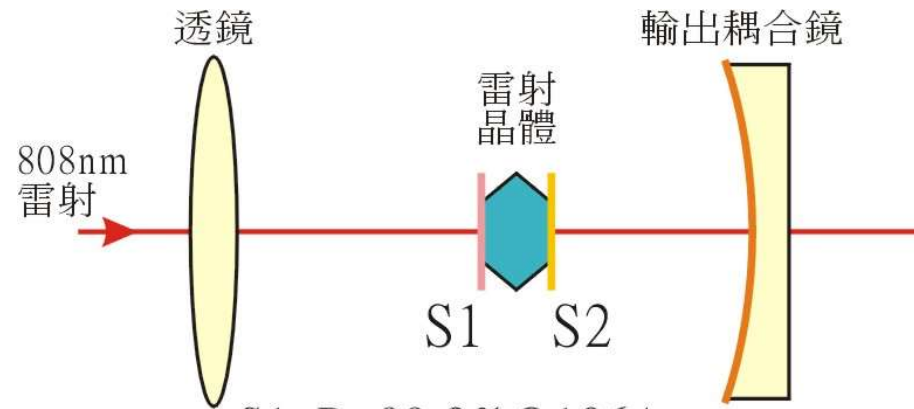


# 固態雷射儀器架構

【S1】和【輸出耦合鏡】形成【共振腔】



雷射晶體  
**Nd:YVO<sub>4</sub>**

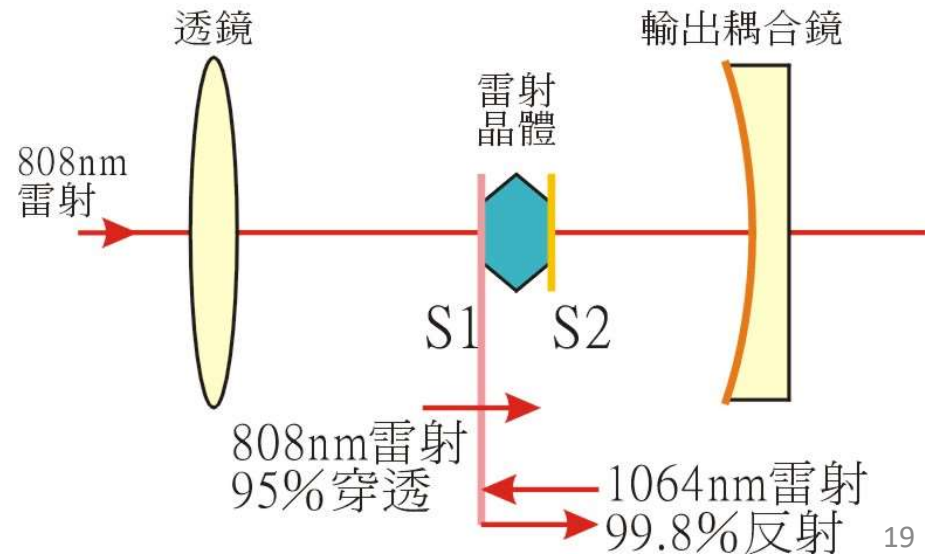


S1: R>99.8% @ 1064nm  
R>99.0% @ 532nm  
R<5.0% @ 808nm  
S2: T>99.8% @ 1064nm

# 固態雷射儀器架構



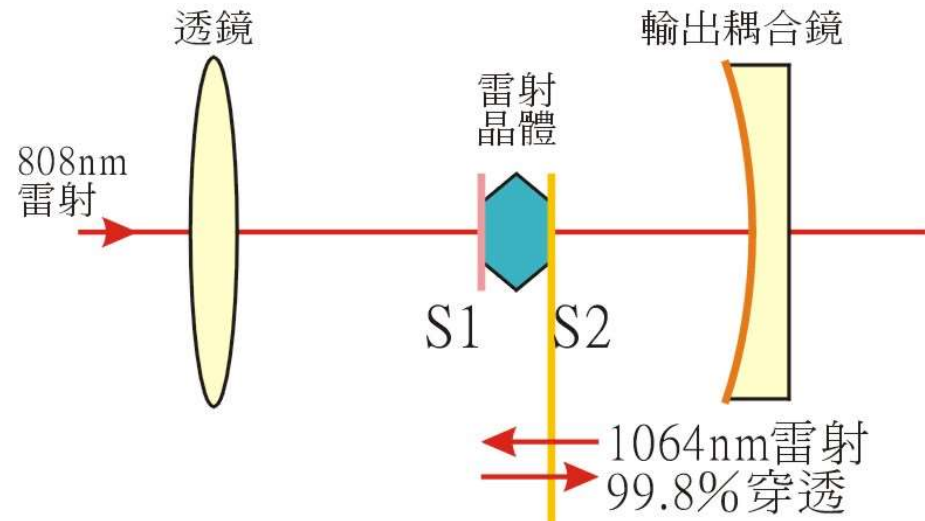
## 針對S1面的分析：



# 固態雷射儀器架構



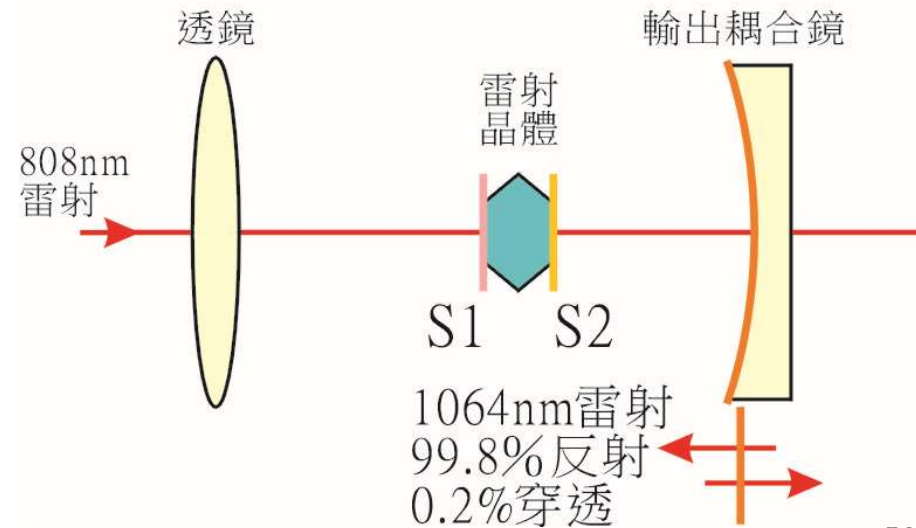
## 針對S2面的分析：



# 固態雷射儀器架構



## 針對輸出耦合鏡的分析：



# 倍頻雷射儀器架構



共振腔  
S1【】輸出耦合鏡

電流源



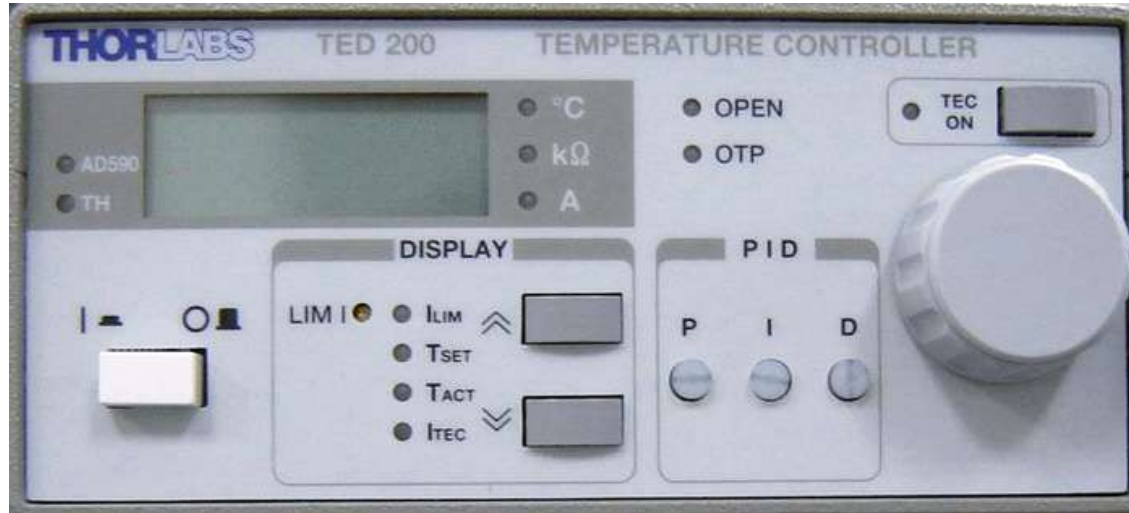
腔內倍頻  
共振腔裡面放倍頻晶體

電流源

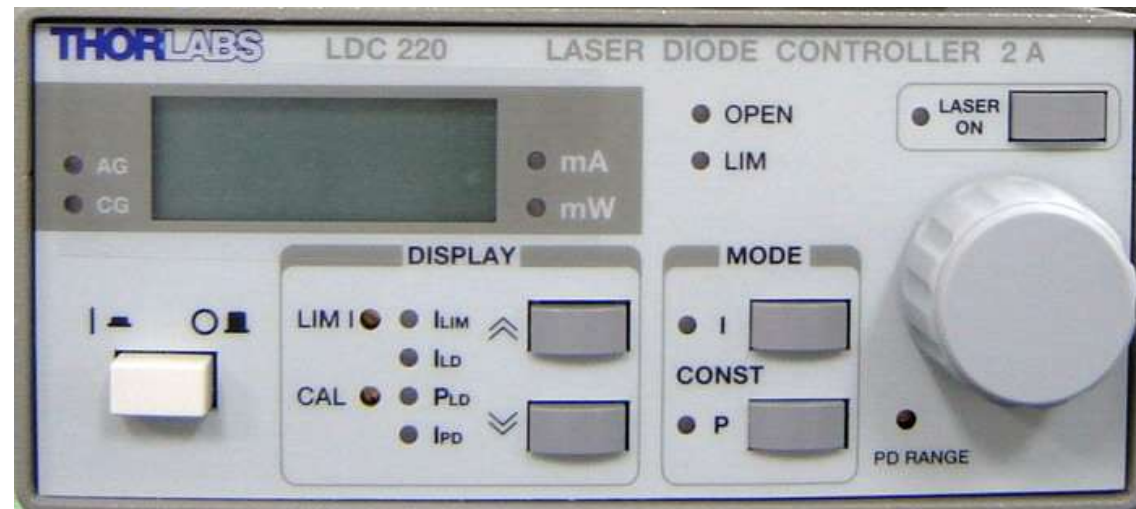


溫控、電流源

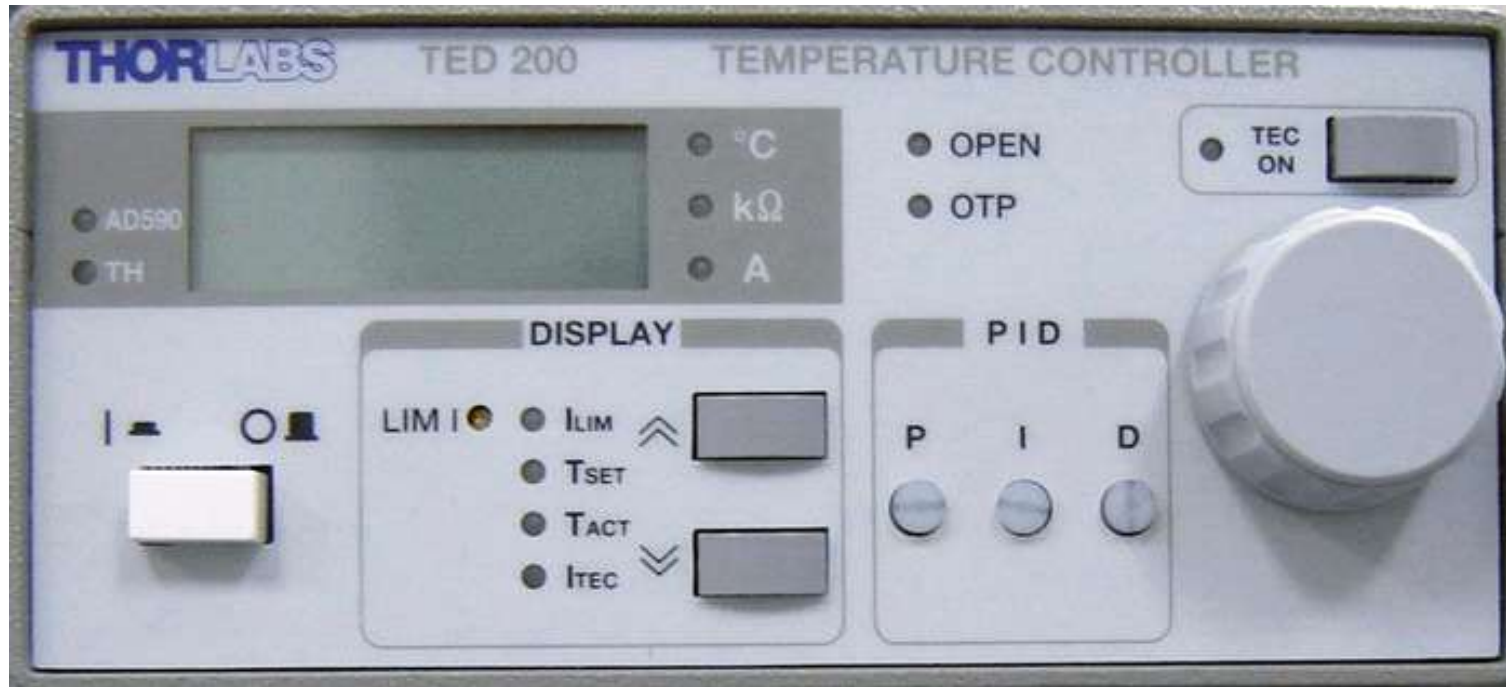
# 溫控



# 電流源



## TED200雷射溫控



- 1、將儀器電源開關打開
- 2、按【DISPLAY】區的【 $\approx$ 】或【 $\simeq$ 】按鈕，選擇【 $T_{SET}$ 】。
- 3、旋轉旋扭，設定溫度。
- 4、按【DISPLAY】區的【 $\approx$ 】或【 $\simeq$ 】按鈕，選擇【 $T_{ACT}$ 】，顯示當時溫度。
- 5、按【TEC ON】啟動溫度控制
- 6、關機時，請按相反次序進行，先關掉溫控啟動鍵，最後關電源。

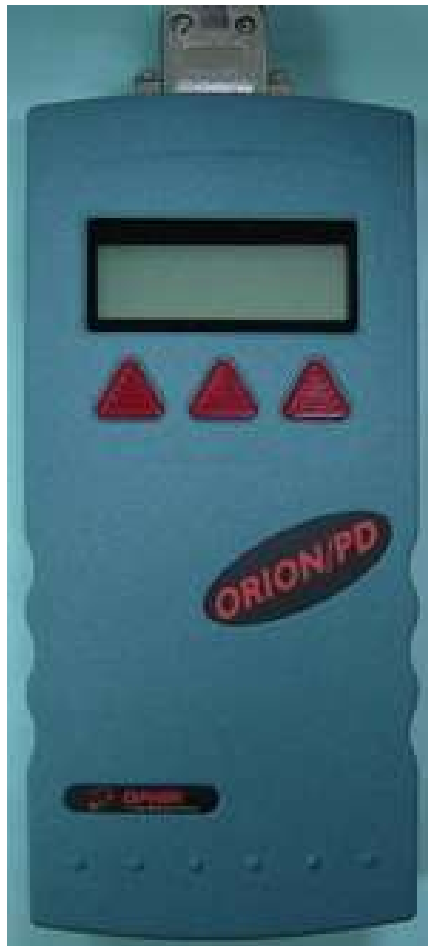


## LDC220雷射電流源



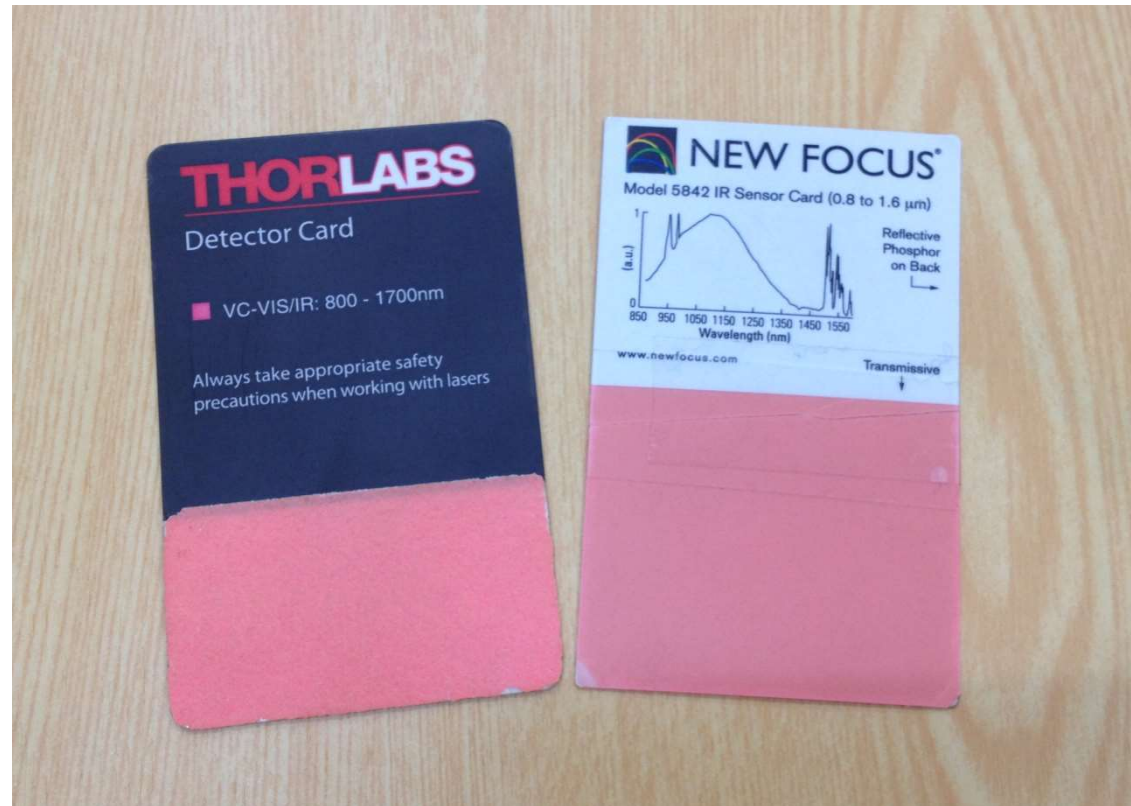
- 1、將電流源電源開關打開
- 2、按【DISPLAY】區的【 $\wedge$ 】或【 $\vee$ 】按鈕，選擇【 $I_{LD}$ 】。
- 3、檢查旋扭是否歸零（逆時針旋轉到底！）
- 4、按下輸出鍵（LASER ON），綠燈亮表示電流輸出至半導體雷射。
- 5、順時針旋轉旋扭，調整輸出雷射電流。  
（務必慢慢轉，不要讓電流輸出增加太快）
- 6、關機時，請按相反次序進行，即先降低電流至0.00mA，關掉輸出鍵，最後關電源。

# Power meter (光功率計)



可見光400nm-700nm。

本實驗808nm和1064nm $\rightarrow\rightarrow\rightarrow$  (紅外)

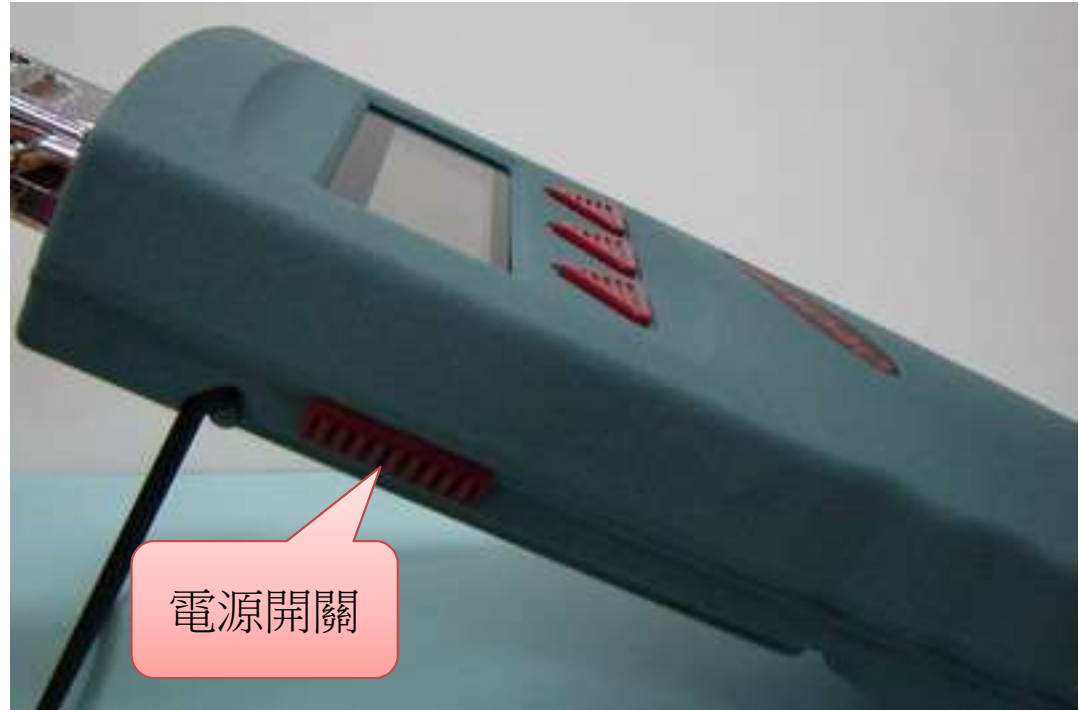


# 光功率計 (Power meter) -ORION/PD

連結偵測器



電源開關



# 光功率計 (Power meter) -ORION/PD

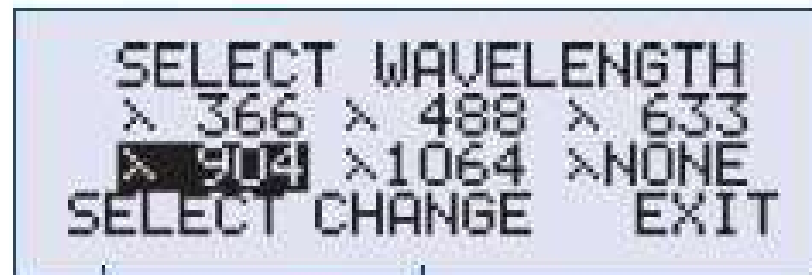


Digital Bargraph Power Screen



Bargraph    Wavelength correction    Units

Wavelength Selection Screen

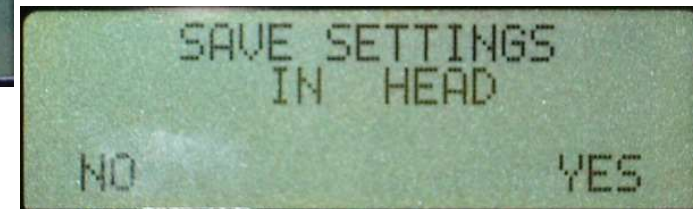
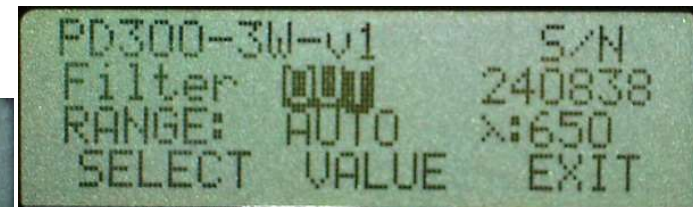
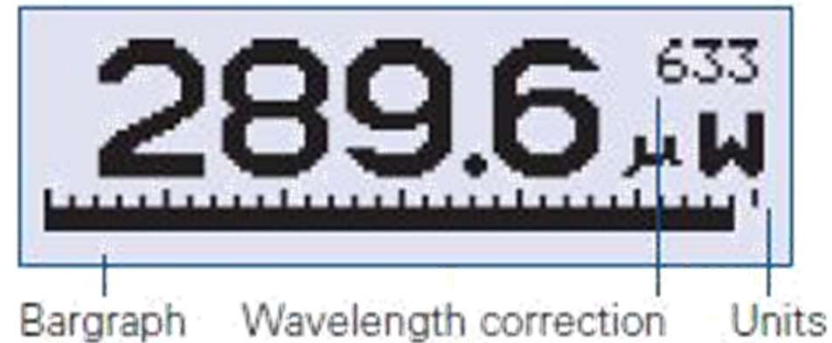


Select wavelength    Change wavelength to different value

# 光功率計 (Power meter) -ORION/PD 改變波長設定



Digital Bargraph Power Screen



- 1、打開電源開關。
- 2、連續按面版上的左鍵2次。
- 3、按【SELECT】，待反黑處移到波長 $\lambda$ ，按【VALUE】，選擇欲設定的波長。
- 4、按【EXIT】，離開設定畫面。再按一次【YES】，儲存設定。

## 光功率計 (Power meter) -ORION/PD 量測波長設定

- 1-打開電源開關。
- 2-圖1按任一按鈕一次，接著按【CONFIG】，圖2。
- 3-圖3按【SELECT】，待反黑處移到波長 $\lambda$ ，圖4。



- 4-圖5按【VALUE】，選擇欲設定的波長。(有6組內部已儲存之波長設定)
- 5-完成後按【EXIT】離開。圖6。
- 6-之後按【YES】確定要儲存設定。圖7。
- 7-圖8，正在儲存中~





# 光功率計 (Power meter) -ORION/PD 設定6組波長



Wavelength Selection Screen



Select wavelength  
Change wavelength to different value

- PD300最多可以設定6組不同波長。
- 1、打開電源開關後，按右鍵2次。
  - 2、按【wvlnth】
  - 3、按【SELECT】直到你要設定的波長選項，按【CHANGE】。
  - 4、按【UP】【DOWN】去設定波長。完成後按【DONE】。
  - 5、按【EXIT】完成設定並離開。

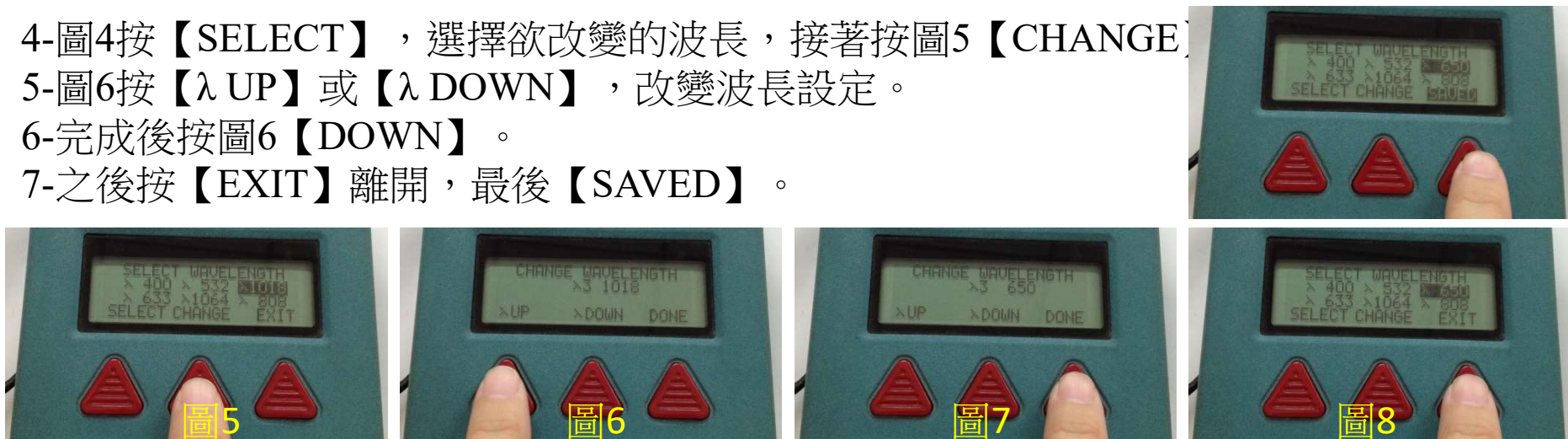


## 光功率計 (Power meter) -ORION/PD 設定6組波長

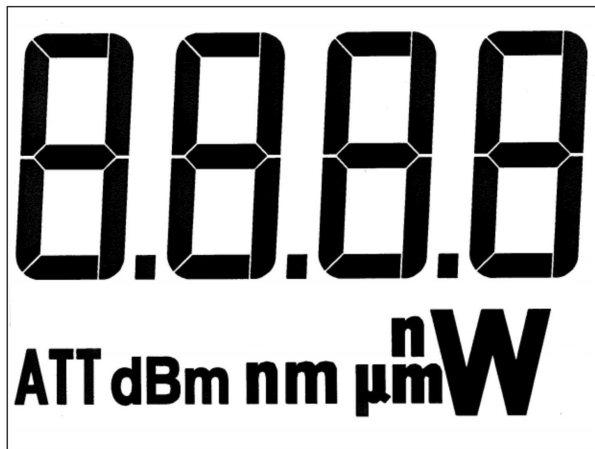
- 1-打開電源開關。
- 2-圖1按任一按鈕一次，接著按圖2【NEXT】。
- 3-圖3按【WVLNTH】圖3。



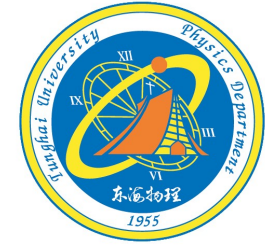
- 4-圖4按【SELECT】，選擇欲改變的波長，接著按圖5【CHANGE】。
- 5-圖6按【λ UP】或【λ DOWN】，改變波長設定。
- 6-完成後按圖6【DOWN】。
- 7-之後按【EXIT】離開，最後【SAVED】。



# 光功率計 (Power meter) gentec UNO



感應器前端有加一片衰減片  
可以將接收的光衰減10倍  
此時量測時，要按【ATT】啟動衰減功能



# 實驗步驟

1-808nm

臨界電流

輸入電流 v.s. 808nm 功率 (畫圖)

2-1064nm

臨界電流

Glan Taylor polarizer

3-532nm

臨界電流

Glan Taylor polarizer

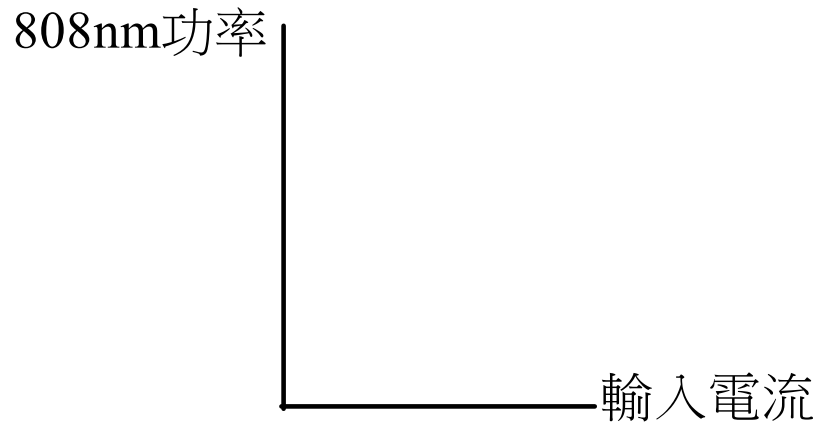
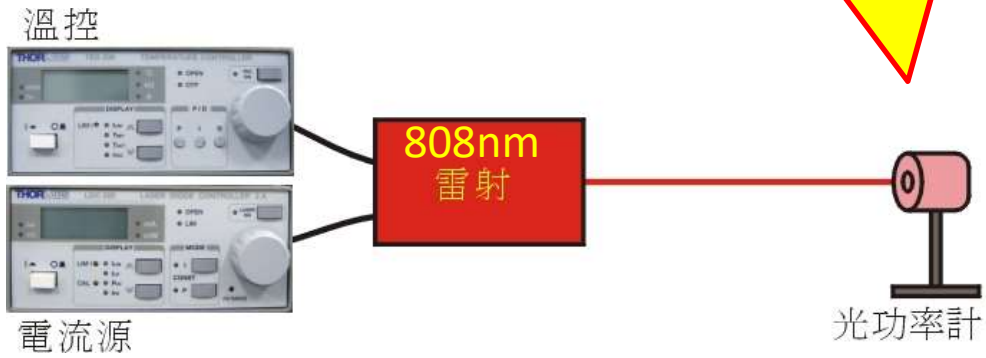
4-轉換效率

5-膜態

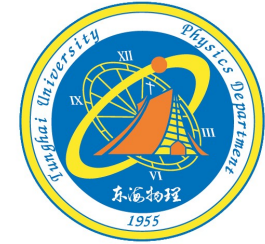
拍照

1、808nm P-I  
臨界電流\_\_\_\_\_mA

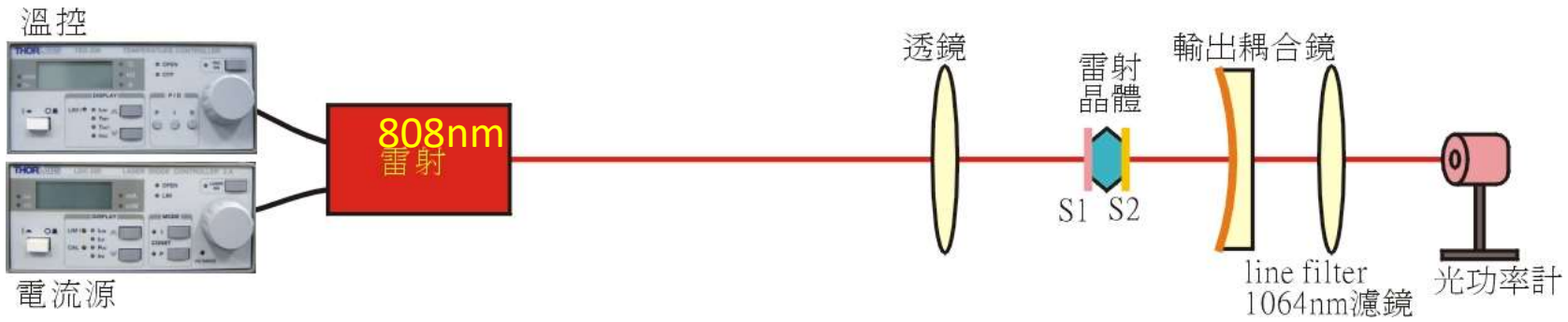
只要移動  
光功率計  
就好



不要動到  
任何鏡片



2、1064nm P-I  
臨界電流\_\_\_\_\_mA

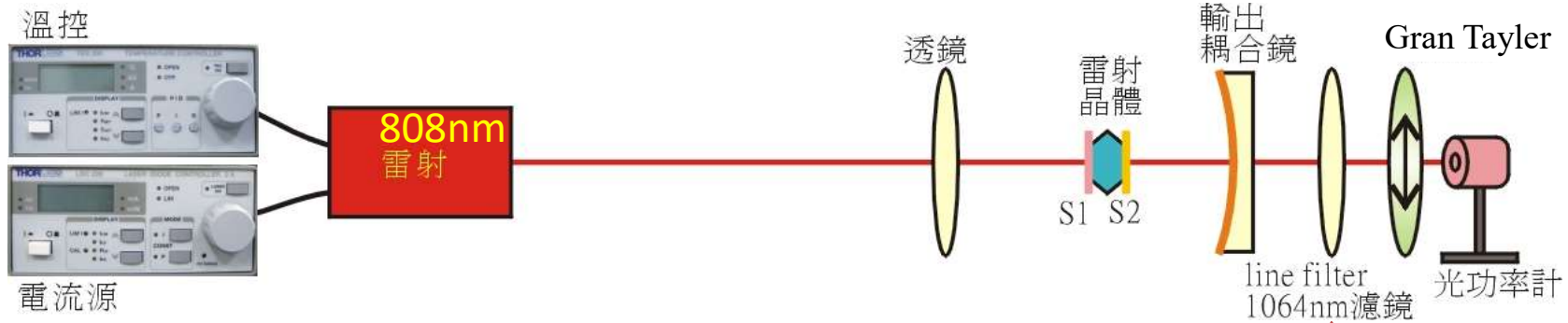


1064nm功率

輸入電流

濾鏡要記得放！

# 1、1064nm 輸出功率與偏振片角度的關係



1064nm功率

角度

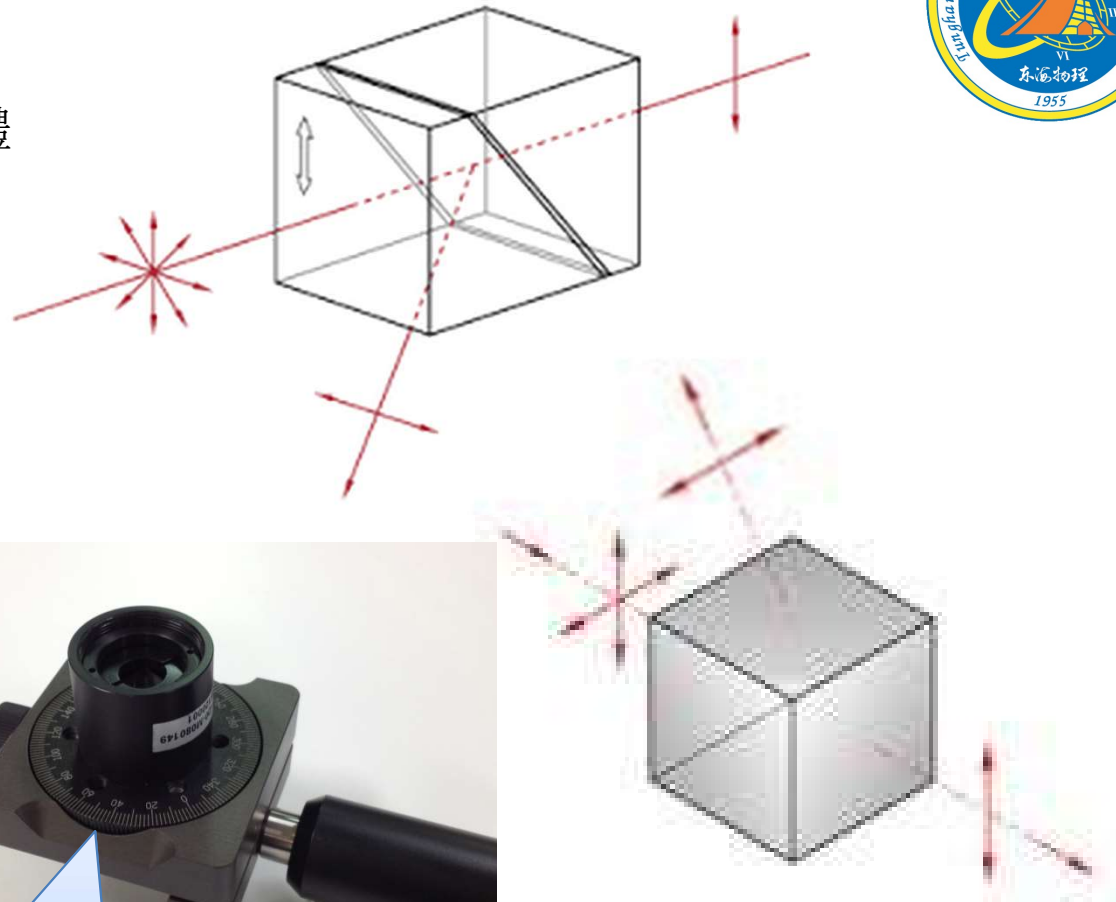
濾鏡要記得放！

## Glan Taylor偏振片

Glan Taylor是一塊立方體晶體  
因此  
雷射光務必垂直入射晶體



旋轉角度時，手要轉刻度盤。  
不要轉Glan Taylor偏振片的鏡片座。



## 倍頻實驗儀器架構

### 1、固態雷射儀器架構



### 2、放入倍頻晶體 (KTP)





# 聊一下【腔內倍頻】與【腔外倍頻】

## 1、腔內倍頻

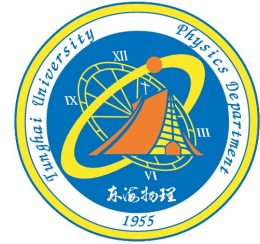


共振腔：  
S1和輸出耦合鏡

## 2、腔外倍頻



問：哪一種的轉換效率比較好？為什麼？



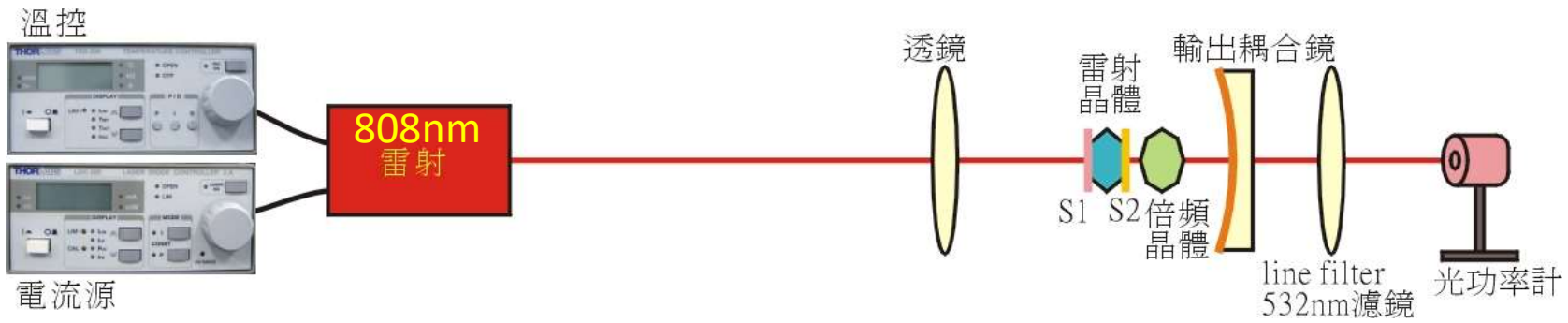
**※提醒**  
完成1064nm P-I 與  
Glan Taylor偏振後  
先畫圖找助教檢查



**再找助教放入倍頻晶體**

**學生不可以動相關零件設備**

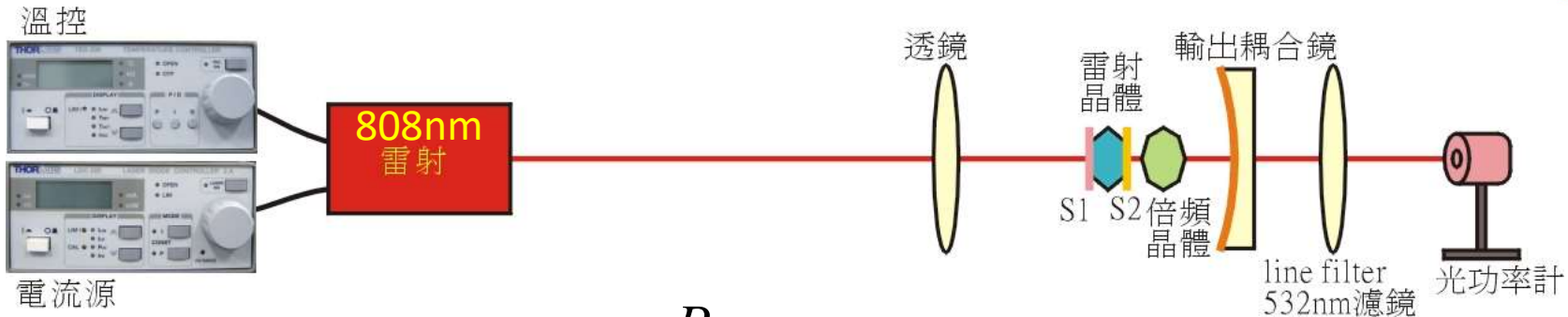
2、532nm P-I  
臨界電流\_\_\_\_\_mA



532nm功率

輸入電流

## 2、532nm P-I



$$\frac{P_{532nm}}{P_{腔內, 1064nm}}$$

532nm功率

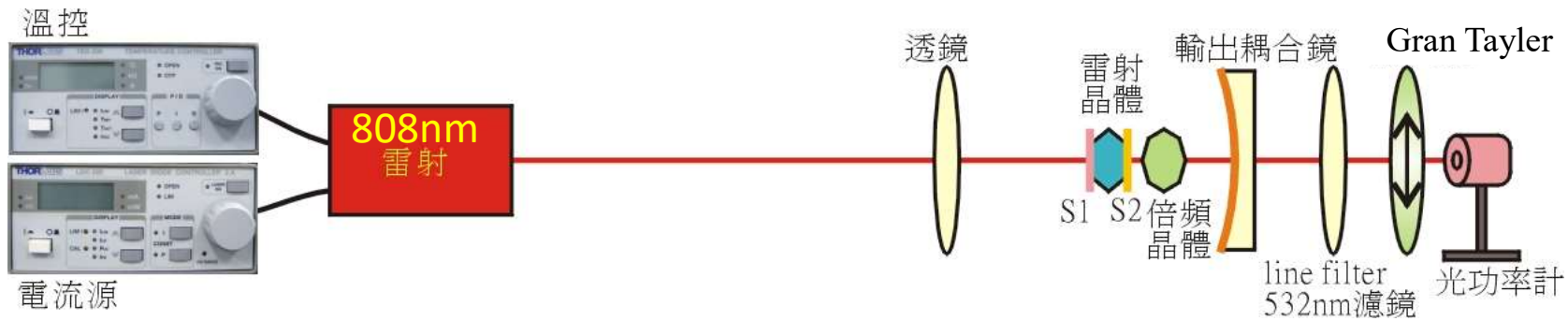
1064nm功率

$$P_{腔內, 1064nm} = \frac{1}{1-R} P_{腔外, 1064nm}$$

腔內倍頻！  
共振腔內1064nm轉532nm

如果是腔外倍頻呢？  
還要計算1064nm腔內、腔外能量？

## 2、532nm P-I 輸出功率與偏振片角度的關係

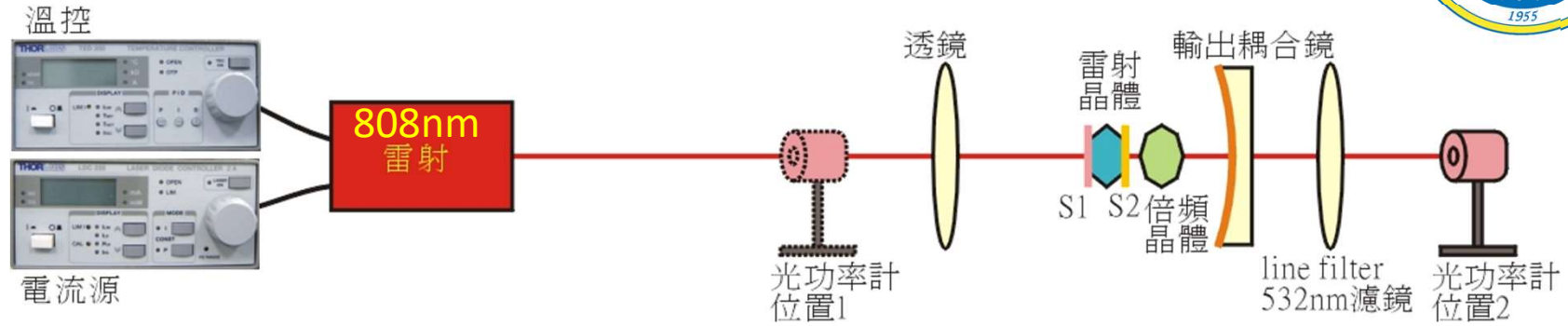


532nm功率

角度



### 3、轉換效率



輸入-808nm  
輸出-532nm

轉換效率 =

$$\frac{P_{532nm}}{P_{808nm}} \quad \begin{array}{l} \text{輸出} \\ \text{輸入} \end{array}$$



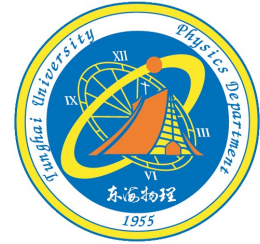
$$\frac{P_{532nm}}{P_{808nm}}$$

$$\frac{P_{1064nm}}{P_{808nm}}$$

$$\frac{P_{532nm}}{P_{腔內, 1064nm}}$$

腔內倍頻  
 共振腔內**1064轉532**  
 所以計算轉換效率時，必須使用**1064**的腔內能量去計算

如果...  
 實驗架構是腔外倍頻  
 那就不用轉換腔內腔外能量～～

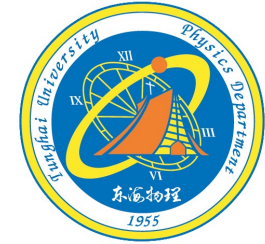


※提醒  
找助教協助移除倍頻晶體  
不要自己動

另外  
助教會再講解  
調【膜態】的注意事項  
這很重要

注意!





### 3、膜態

老師、助教操作  
學生不動



	調整輸出耦合鏡 改變共振腔結構	

旋鈕1

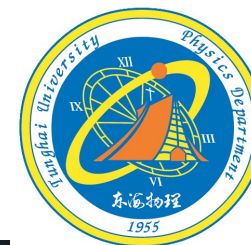
旋鈕2

旋鈕1：改變雷射光  
上下偏移

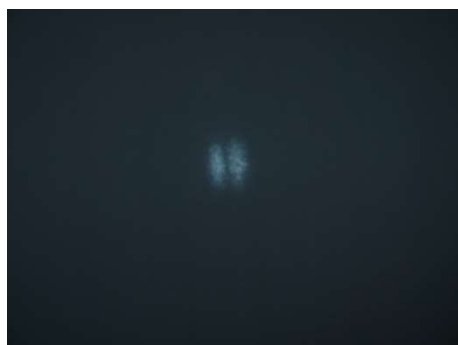
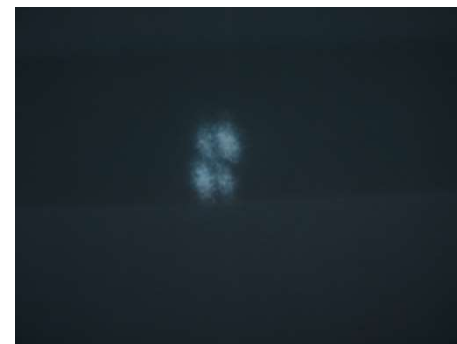
旋鈕2：改變雷射光  
左右偏移

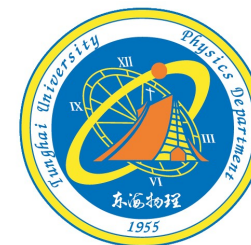
調整旋鈕1  
看膜態變化  
#助教操作  
#學生拍照

不要調  
旋鈕2



### 3、膜態



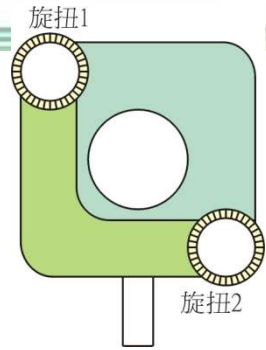


### 3、膜態

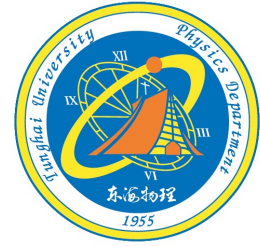


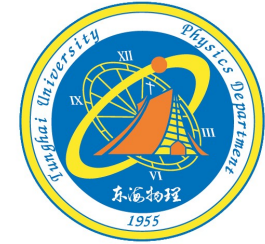
20200429整理結果

### 3、膜態



微調旋扭1  
觀察  
膜態變化





比較power

808nm功率  
1064nm功率

轉換效率

輸入電流

輸入電流

轉換效率

1064nm功率

斜率 = ?

$$\frac{P_{1064nm}}{P_{808nm}}$$

808nm功率

課本都已經給你講清楚說明白

是 **第二型 第二型 第二型**

晶體材料 <sup>◊</sup>	透光範圍 <sup>◊</sup>	最佳相位匹配形式 <sup>◊</sup>	有效非線性係數 <sup>◊</sup> [ $pm/V$ ] <sup>◊</sup>	損壞臨界 <sup>◊</sup> [ $GW/cm^2$ ] <sup>◊</sup>	吸收係數 <sup>◊</sup> [ $cm^{-1}$ ] <sup>◊</sup>
$LiNbO_3$ <sup>◊</sup>	0.42~4.2 <sup>◊</sup>	I <sup>◊</sup>	4.70 <sup>◊</sup>	0.1 <sup>◊</sup>	0.002 <sup>◊</sup>
$LiIO_3$ <sup>◊</sup>	0.32~4.0 <sup>◊</sup>	I <sup>◊</sup>	4.10 <sup>◊</sup>	0.1 <sup>◊</sup>	0.002 <sup>◊</sup>
$KD^*P$ <sup>◊</sup>	0.2~1.6 <sup>◊</sup>	II <sup>◊</sup>	0.37 <sup>◊</sup>	1 <sup>◊</sup>	0.005 <sup>◊</sup>
KTP <sup>◊</sup>	0.35~4.5 <sup>◊</sup>	II <sup>◊</sup>	3.18 <sup>◊</sup>	1 <sup>◊</sup>	0.010 <sup>◊</sup>
BBO <sup>◊</sup>	0.19~3.5 <sup>◊</sup>	I <sup>◊</sup>	1.94 <sup>◊</sup>	15 <sup>◊</sup>	0.005 <sup>◊</sup>
LBO <sup>◊</sup>	0.16~2.6 <sup>◊</sup>	II <sup>◊</sup>	1.16 <sup>◊</sup>	25 <sup>◊</sup>	0.005 <sup>◊</sup>

(表2) 一些重要非線性晶體材料及其光學性質<sup>◊</sup>

誰再寫第一型的

該去看 **眼科** 了





## 【做完實驗助教要檢查以下項目】

- 1、808nm P-I 數據
- 2、1064nm P-I 數據
- 3、1064nm偏振
- 4、532nmP-I 數據
- 5、532nm偏振
- 6、轉換效率
- 7、膜態





我們沒有最好  
只有追求更好

有空繼續補~~



東海大學應用物理學系  
地址：40704台中市西屯區東海大學BOX803  
電話：04-23590121\*32100  
網址：<http://physics.thu.edu.tw/>