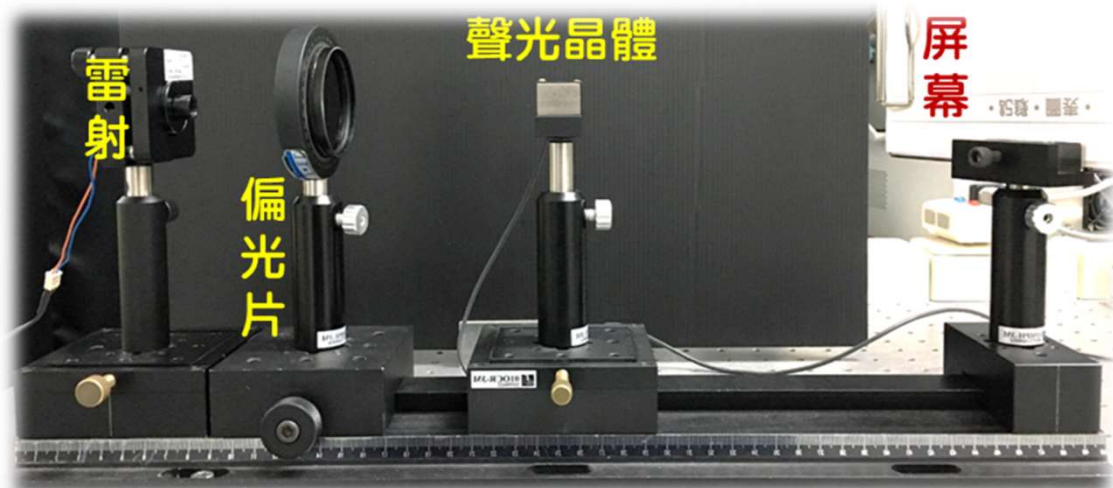


實驗09： A. O. 聲光效應

(Acousto-Optic effect)



晶格

晶體結構

指的是晶體的周期性結構

晶體中的原子、離子或分子等粒子，其排列有一定規則，可以用三度空間的點陣列來表示晶體結構

簡單立方 (simple cubic , SC)

體心立方 (body-centered cubic , BCC)

面心立方 (face-centered cubic , FCC)

六方最密堆積 (hexagonal close-packed , HCP)

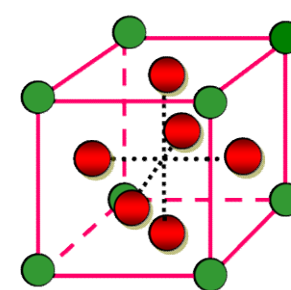
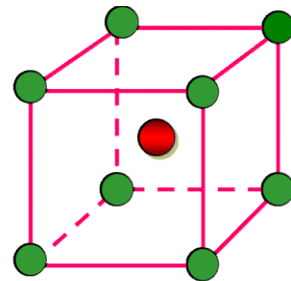
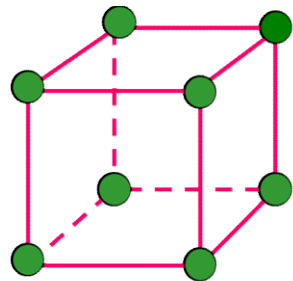
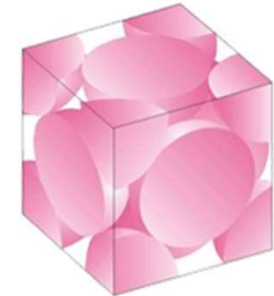
簡單立方

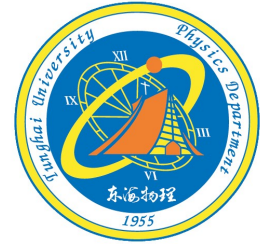


體心立方



面心立方





壓電材料：

壓電材料會有壓電效應是因晶格內原子間特殊排列方式，使得材料有應力場與電場耦合的效應。

根據材料的種類，壓電材料可以分成四種：

- 1 - 壓電單晶體
- 2 - 壓電多晶體（壓電陶瓷）
- 3 - 壓電聚合物
- 4 - 壓電複合材料

根據具體的材料形態，則可以分為兩大類：

- 1 - 壓電體材料
- 2 - 壓電薄膜

若加在介質的應力是有規則的隨時間作週期性的變化，則此應力可在介質內產生壓縮波或聲波。

假設

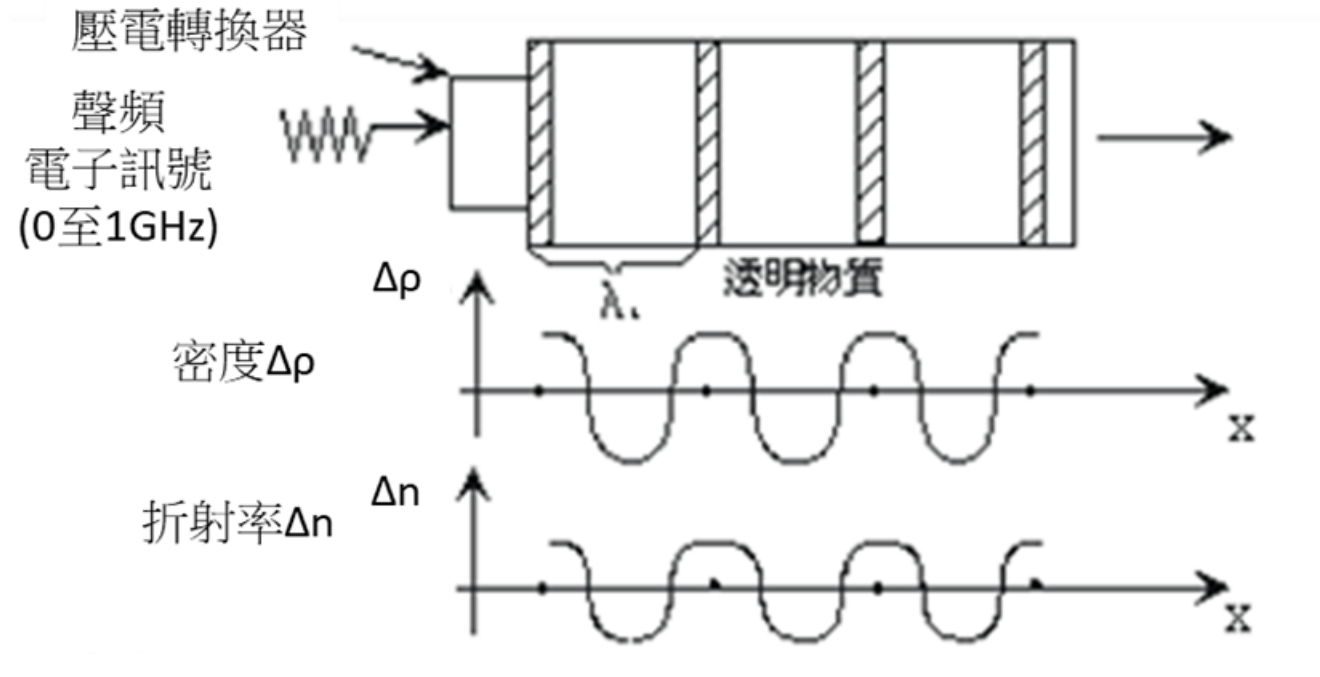
聲波波長為 λ_s ，

頻率為 f_s ，

傳播速率為 v_s ，

則

$$v_s = f_s \lambda_s$$



當光經過此介質時會產生散射 (scattering)，故可控制光的頻率、強度、方向、相位和擴散角等，此效應稱為**聲光效應 (Acousto-Optical effect)**。

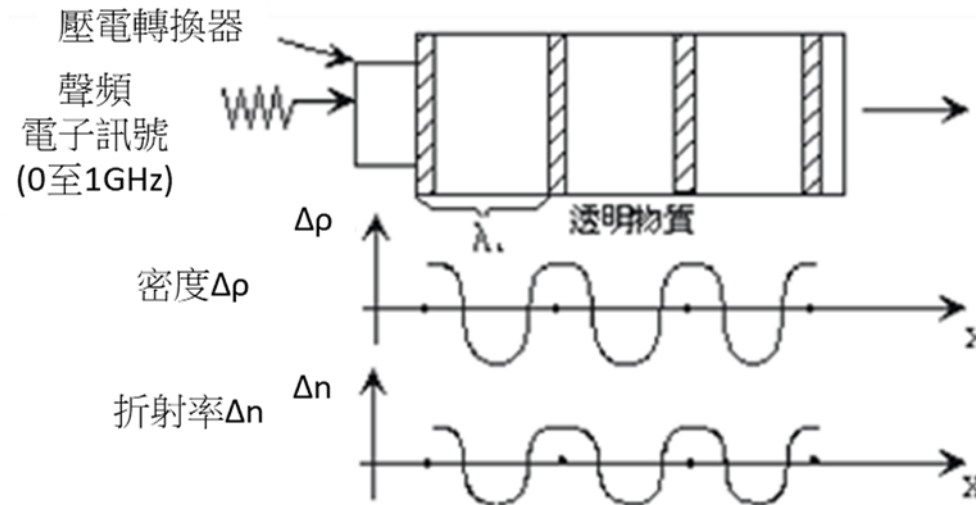


Brillouin在1921年即由理論推導聲光效應（Acousto-Optical effect），真正的實驗結果在1932年才由Debye和Sears做出。如圖1所示，壓電轉換器是一種壓電材料（如ZnO，LiNbO₃或BaTiO₃等），此材料將輸入的電信號變成機械位移的大小，若信號隨時間而變，位移亦隨時間而變，此位移進一步耦合入透明材料，使其產生週期性的壓縮，進而改變材料的密度和折射率的分布：

$$\rho - \rho_0 = \Delta\rho(x, t) = \Delta\rho \sin(\omega_s t + k_s x)$$

$$n - n_0 = \Delta n(x, t) = \Delta n \sin(\omega_s t + k_s x)$$

其中 ρ_0 ， n_0 分別為未加外力場之密度和折射率， $\Delta\rho$ 和 Δn 分別是密度和折射率最大的變化量。



上式為行進波之情況，若為駐波則令 $t = 0$ 。當光經過折射率週期變化的材料時，將會產生散射的現象。考慮駐波的情況，折射率在透明介質的變化可進一步簡化成圖2(b)的分布，而2(b)圖的分布更可看成為2(c)圖空氣一玻璃層相間而成的結構，當光入射這些相間的玻璃層時，會產生繞射的結果，強度最強的位置應該是所有光產生建設性干涉之方向。

$$AO + BO = \frac{m\lambda}{n}$$

$$\lambda_s \sin \theta + \lambda_s \sin \theta = 2\lambda_s \sin \theta = \frac{m\lambda}{n}$$

滿足上式的繞射稱為**Bragg繞射**，因為此式類似X-光入射晶體產生之繞射。

舉一數值例子：

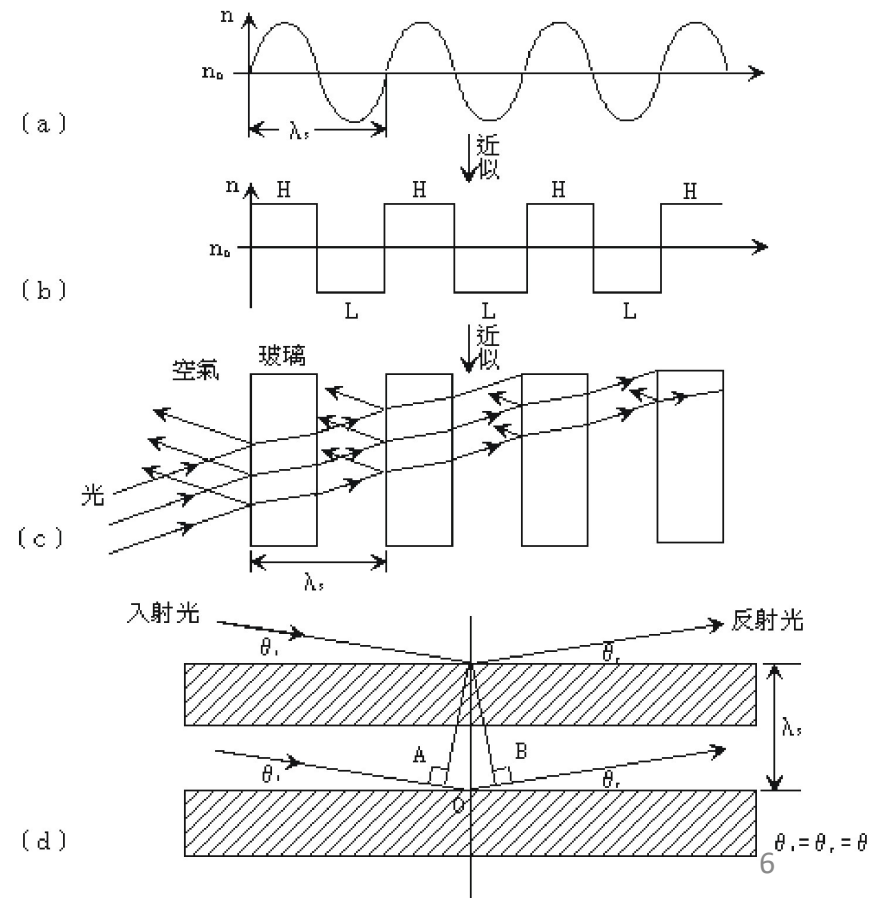
設光波波長 λ 為 500nm，

聲頻 $f_s = 500\text{MHz}$ ，

$v_s = 6 \times 10^3 \text{ m/s}$ ，

則 $\lambda_s = \frac{6 \times 10^3 \text{ m/s}}{500\text{MHz}} = 1.2 \times 10^{-5} \text{ m} = 24\lambda$ 。

$$\theta = \sin^{-1} \left[\frac{\lambda}{2\lambda_s} \right] = \sin^{-1} \left[\frac{1}{48} \right] = 1.2^\circ$$





聲光晶體元件使用時，我們必須考慮兩項因素

(1) 聲波頻率

$$|\theta_{d1} - \theta_{d2}| = \Delta\theta_d = \frac{\lambda_i}{\lambda_s} = \frac{f_s c}{f v_s} = \frac{X}{L}$$

λ_i : 光波波長，半導體雷射-650nm

λ_s : 聲波波長

(2) 繞射效率 (diffraction efficiency)

$$\eta = \frac{\text{某一特定繞射光強度}}{\text{入射光強度}} = \sin^2 \left\{ \frac{\pi l}{2^{1/2} \lambda_i} \left[\frac{n_0^6 P^2}{\rho_0 v_s^3} I_{ac}^{1/2} \right] \right\}$$

其中， l 是聲光交互作用長度；

λ_i 是入射光波長；

I_{ac} 是輸入聲波強度。

n_0 是介質折射率；

P 是介質光彈性常數；

ρ_0 是介質密度；

v_s 是聲速；

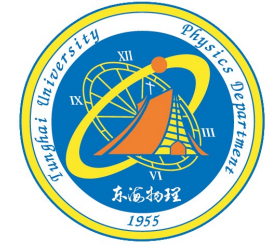


所以欲使不同級的繞射角度分得愈開，聲頻須愈高。

在實用中，聲頻的來源有二：
一是屬於較高頻的載頻；
另一是較低頻的調變頻率（訊號）。

載波（carrier wave，簡稱CW）通常是等幅正弦波，可以用正弦波振盪器來產生，它是可以在空間作較長距離的傳送頻率，因為可供發射，所以也叫作射頻（radio frequency，簡稱RF）。射頻一般為20kHz~數GHz。

聲光晶體的用途很廣，可當作光束調變（beam modulator），光束轉向（beam deflector），相位調變，聚焦或離焦元件，資訊處理器，雷射Q開關或鎖模元件等等，無論作何種用途其基本元件均類似，只是其驅動的條件（聲波頻率、功率）會稍加改變使其在某一方面應用時能達到最佳化的情況。



關於調變：

1、調變

調幅 (AM) - 振幅調變

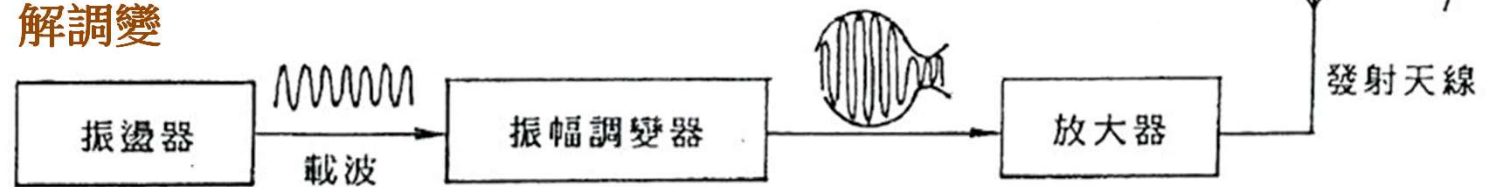
調頻 (FM) - 頻率調變

調相 (PM) - 相位調變

2、解調變

經由廣播系統發送

調變 ➤ ➤ ➤ 解調變



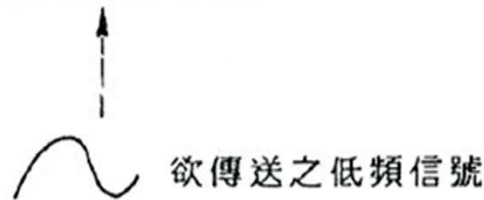
(a)

振幅調變

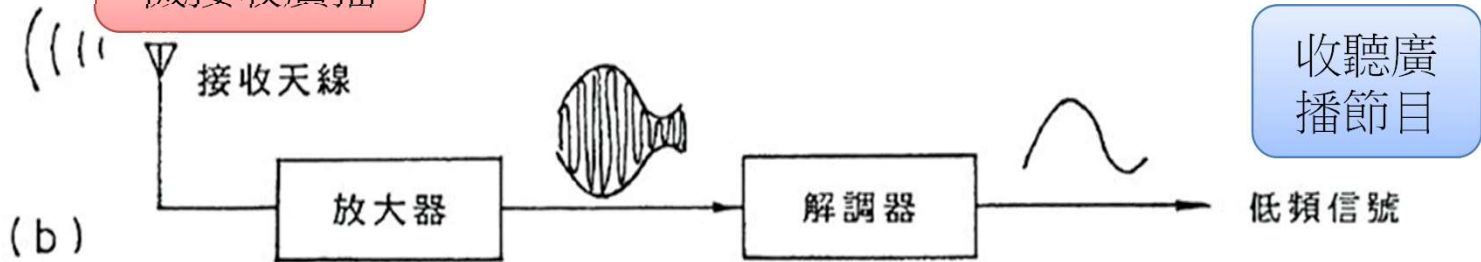
(a)發射部分

(b)接收部分

DJ錄製一段廣播



你家的收音機接收廣播



(b)



關於調變：

1、調變

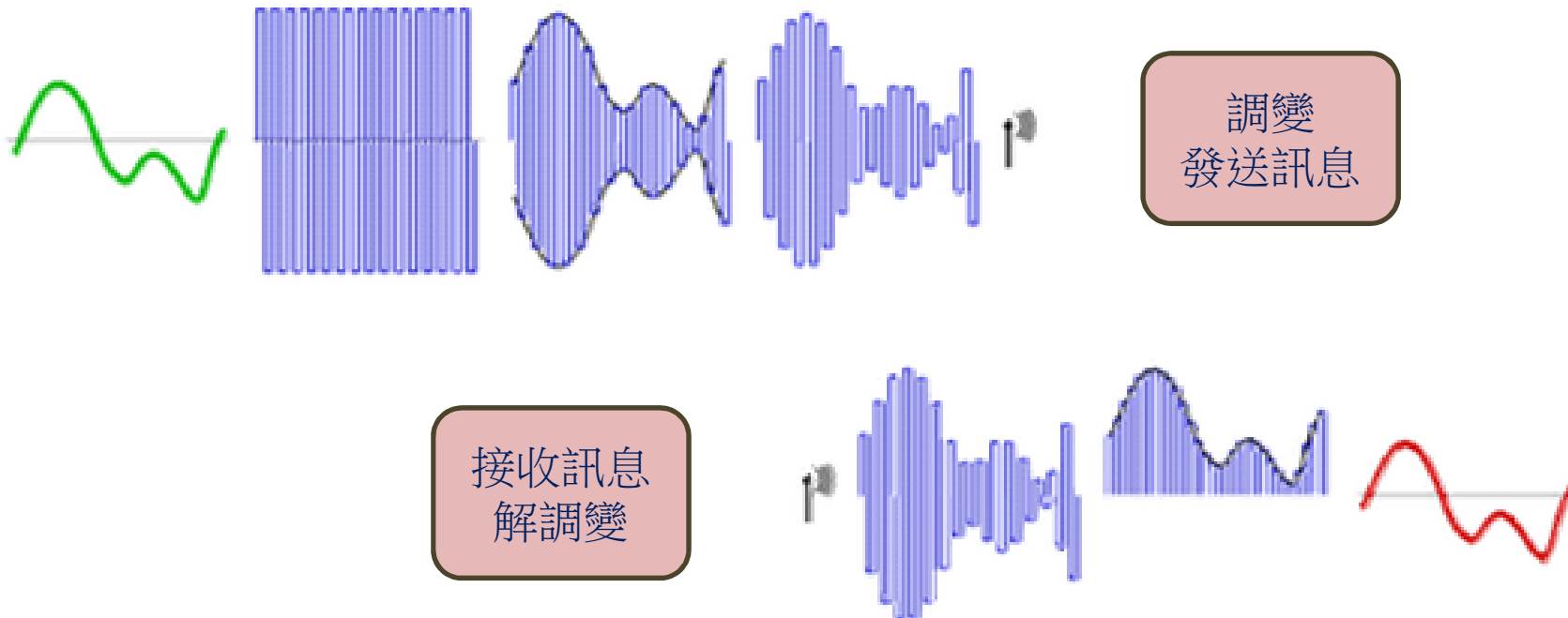
調幅 (AM) - 振幅調變

調頻 (FM) - 頻率調變

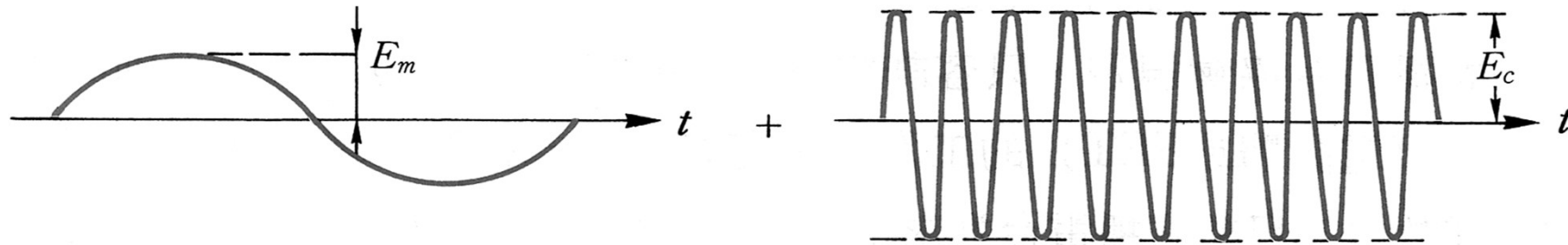
調相 (PM) - 相位調變

2、解調變

調變 ➤ ➤ ➤ 解調變

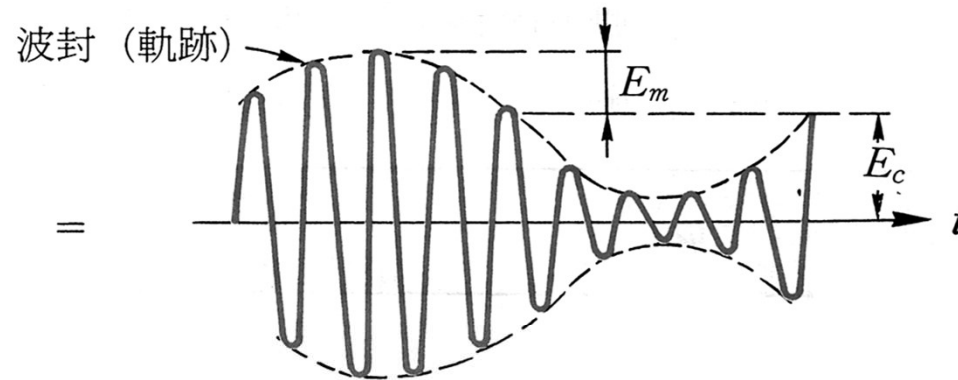


關於調變：
調幅 (AM)



(a) 聲頻調變訊號

(b) 載波訊號



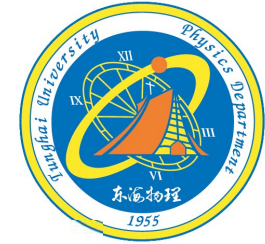
(c) 調幅訊號

以數學式表示：

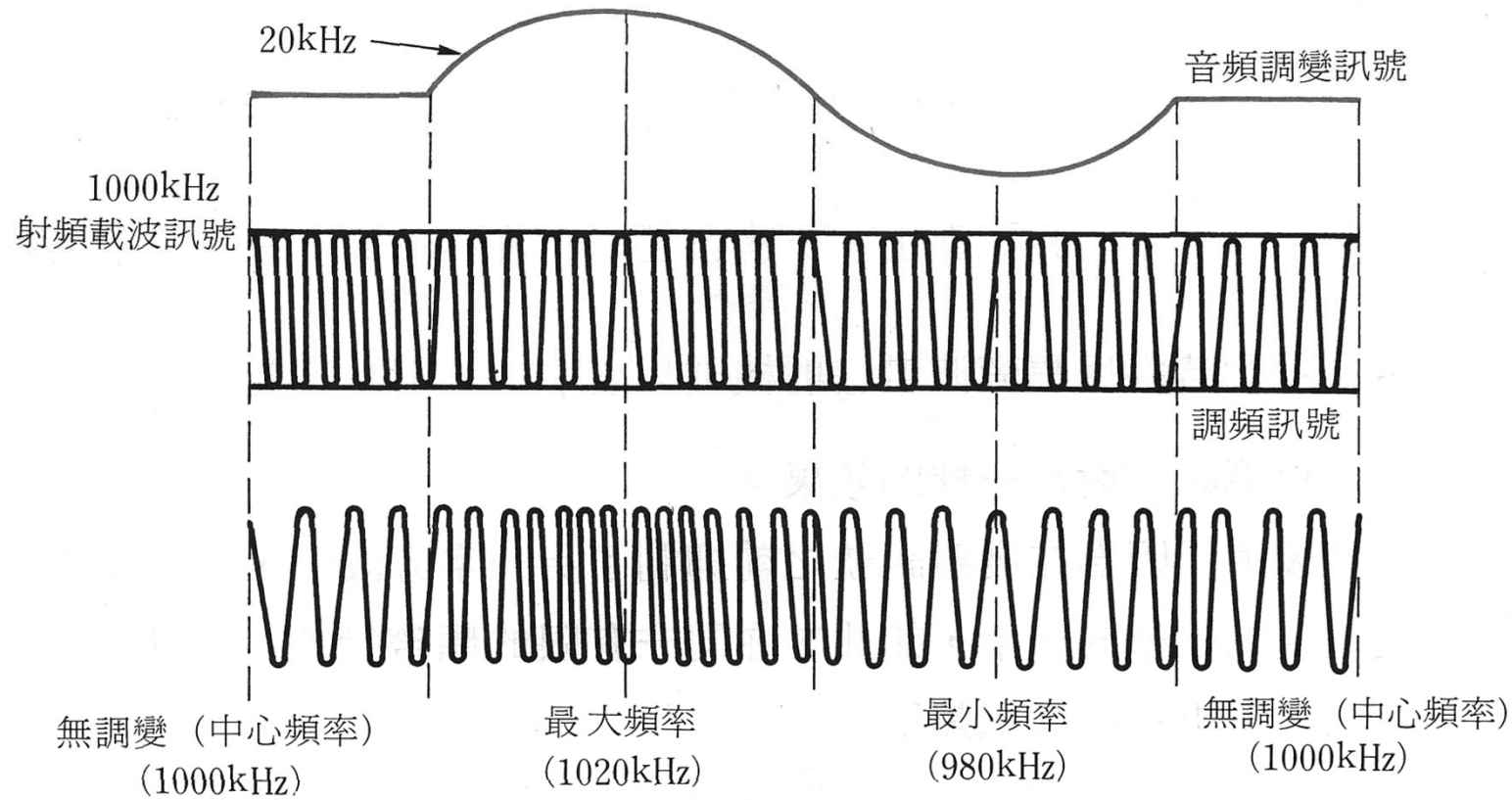
載波 (carrier) 訊號為： $E_c(t) = E_c \cdot \sin(\omega_c t)$ (圖 b)

調幅波調變 (modulation) 訊號為： $E_m(t) = E_m \cdot \sin(\omega_m t)$ (圖 a)

調變後訊號： $E(t) = E_c \cdot [1 + m \cdot \sin(\omega_m t)] \cdot \sin(\omega_c t)$ (圖 c)



關於調變： 調頻 (FM)

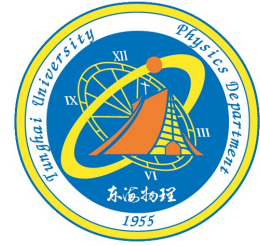


以數學式表示：

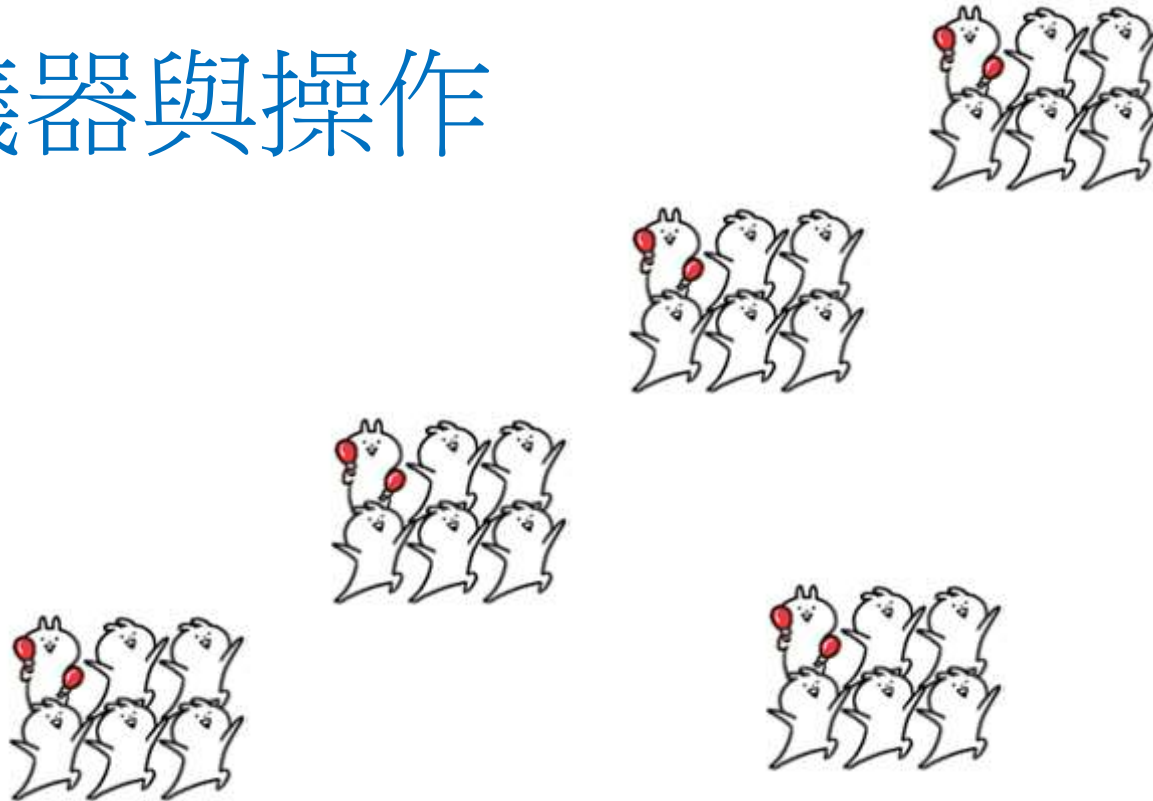
載波 (carrier) 訊號為： $E_c(t) = E_c \cdot \sin(\omega_c t)$

調變 (modulation) 訊號為： $E_m(t) = \beta \cdot \sin(\omega_m t)$

調變後訊號： $E(t) = E_c \cdot \cos[\omega_c t + \beta \sin(\omega_m t)]$

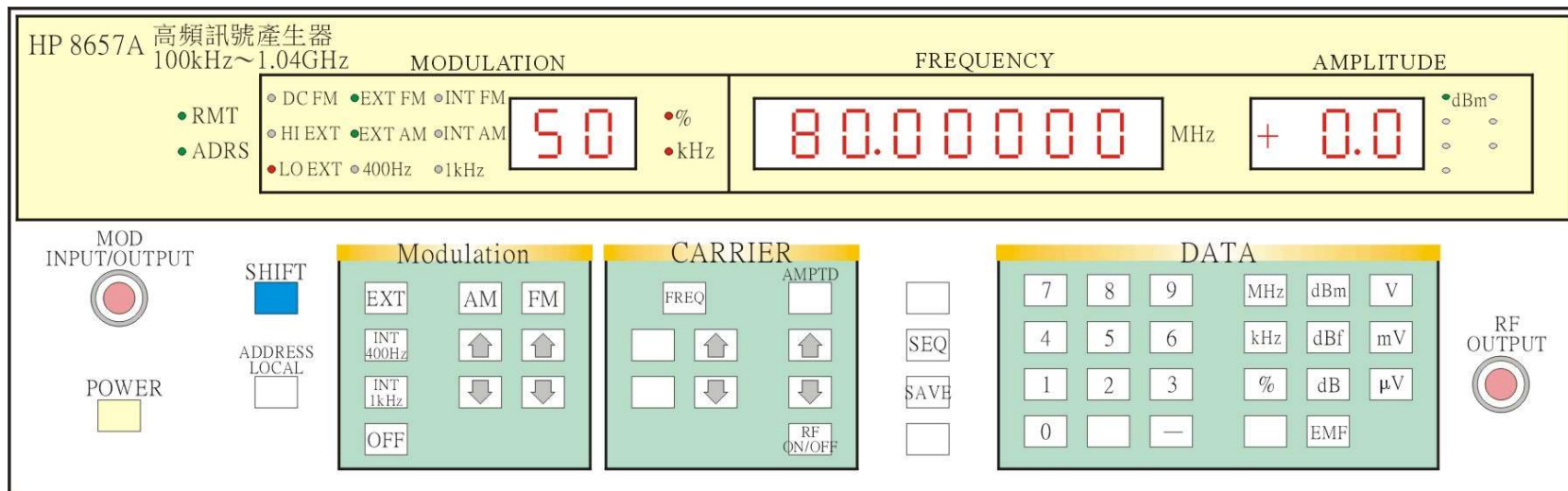
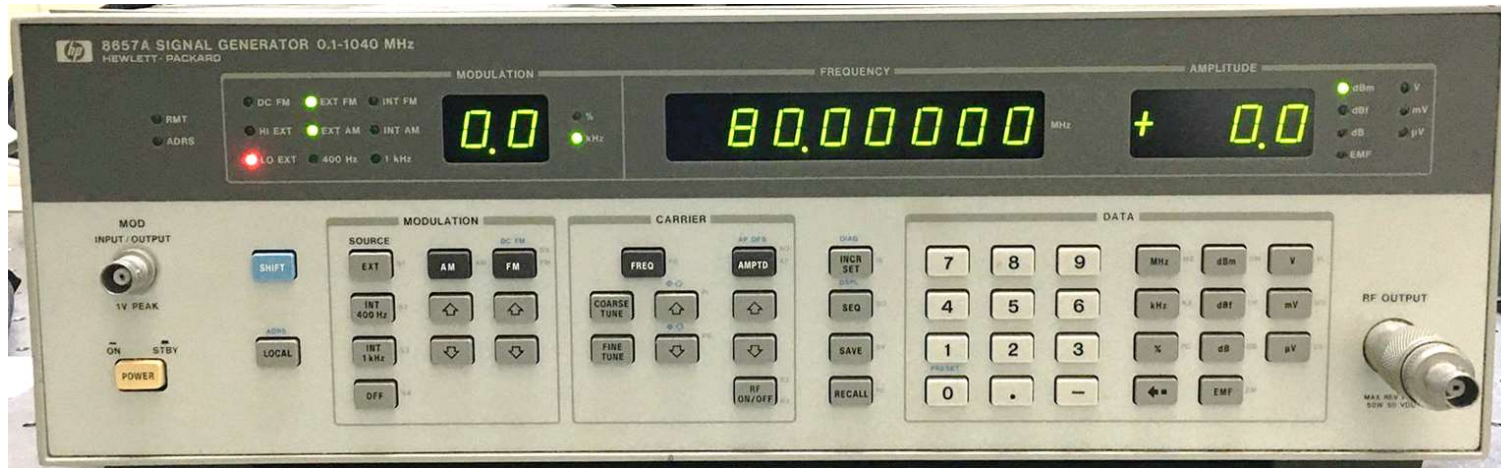


儀器與操作



高頻訊號產生器-HP 8657A

100 kHz to 1 GHz Signal Generator





高頻訊號產生器-HP 8657A

100 kHz to 1 GHz Signal Generator

HP 8657A 高頻訊號產生器
100kHz~1.04GHz

MODULATION

- DC FM • EXT FM • INT FM
- HI EXT • EXT AM • INT AM
- LO EXT • 400Hz • 1kHz

• RMT
• ADRS

50 %
kHz

FREQUENCY

80.00000 MHz

AMPLITUDE

+ 0.0 dBm

MOD INPUT/OUTPUT
POWER

SHIFT
ADDRESS LOCAL

Modulation

- EXT AM FM
- INT 400Hz
- INT 1kHz
- OFF

CARRIER

- FREQ
- AMPTD
- RF ON/OFF

SEQ
SAVE

DATA

| | | | | | |
|---|---|---|-----|-----|----|
| 7 | 8 | 9 | MHz | dBm | V |
| 4 | 5 | 6 | kHz | dBf | mV |
| 1 | 2 | 3 | % | dB | μV |
| 0 | | - | | EMF | |

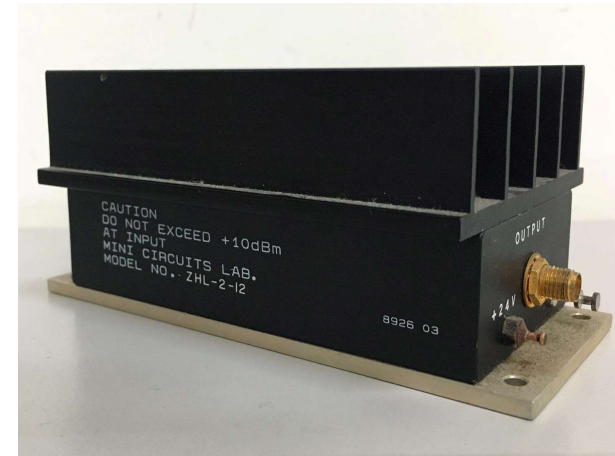
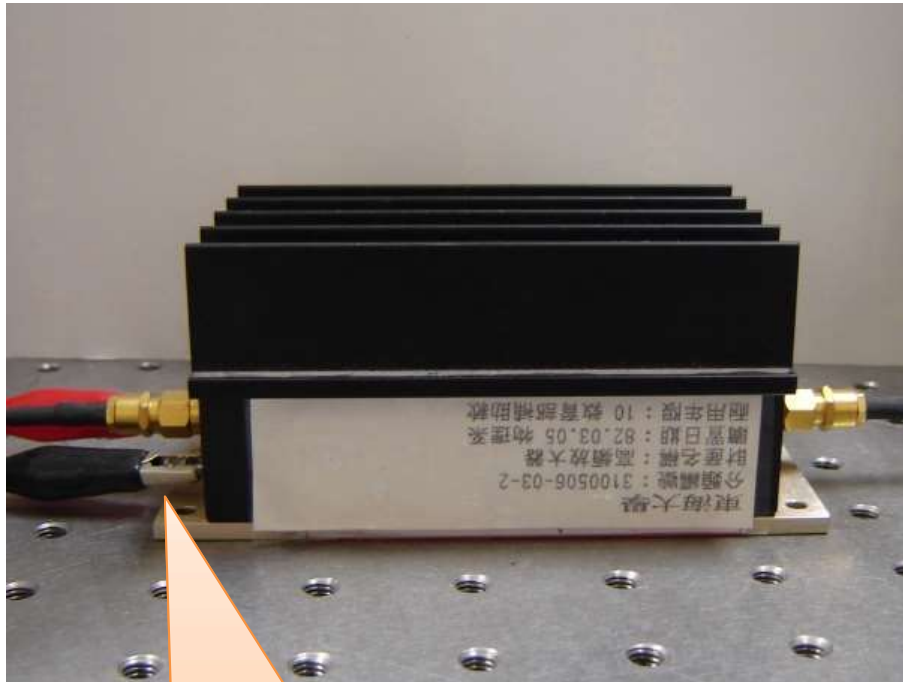
RF OUTPUT

低頻訊號產生器-AFG2225

25 MHz

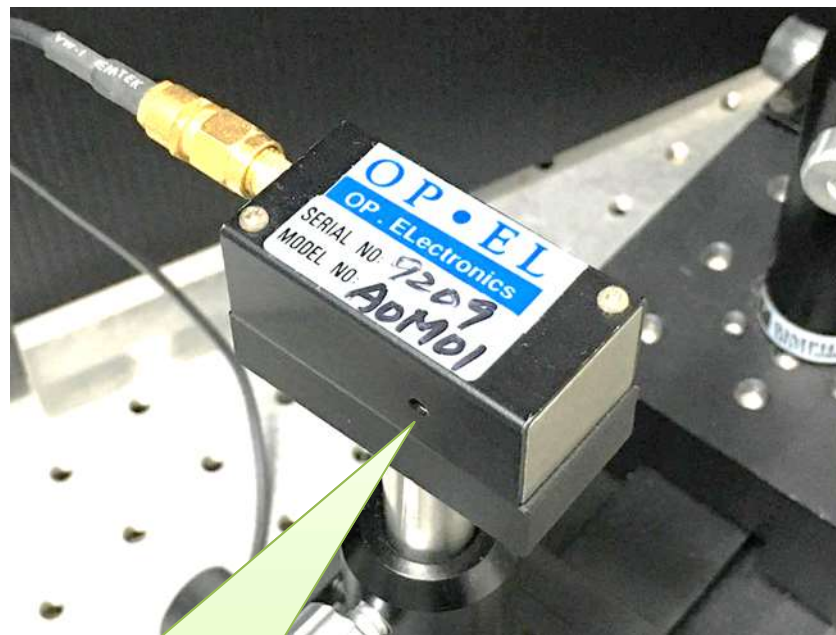


高頻放大器ZHL-2-12+



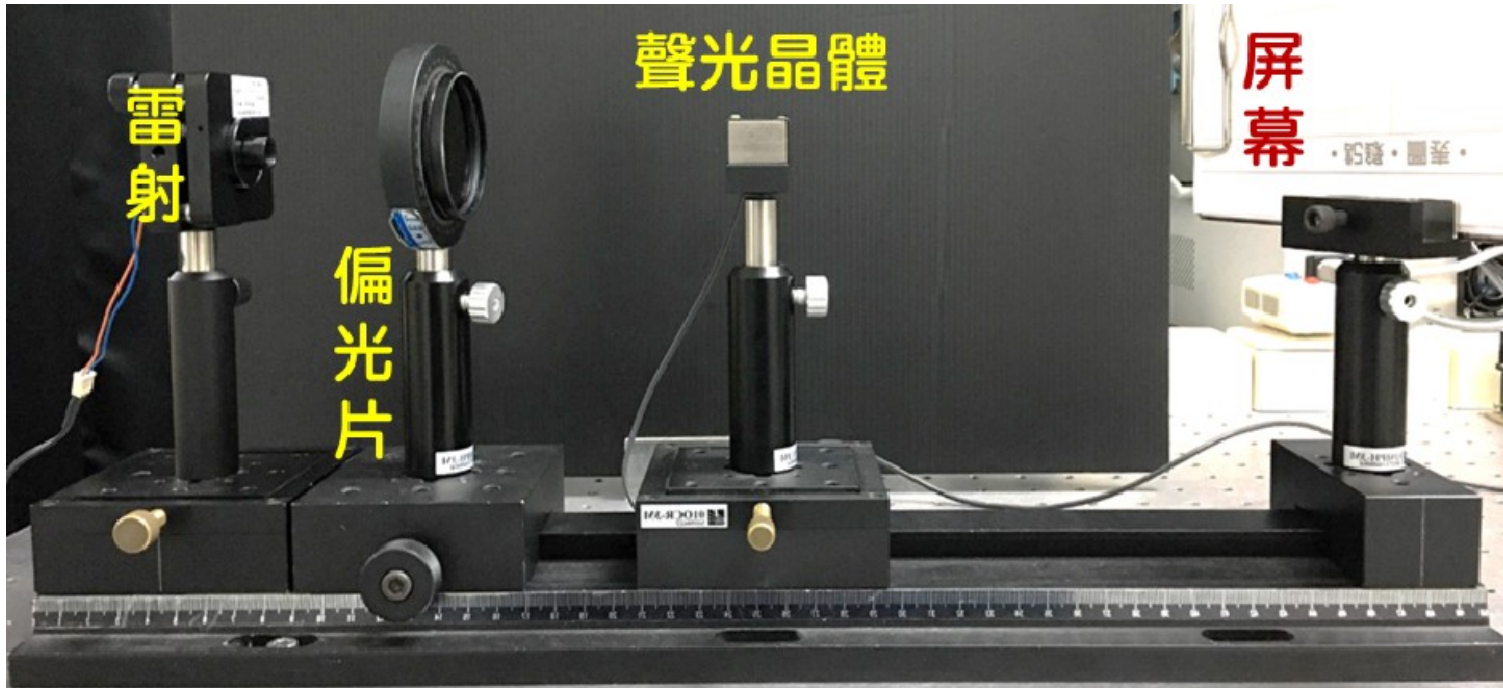
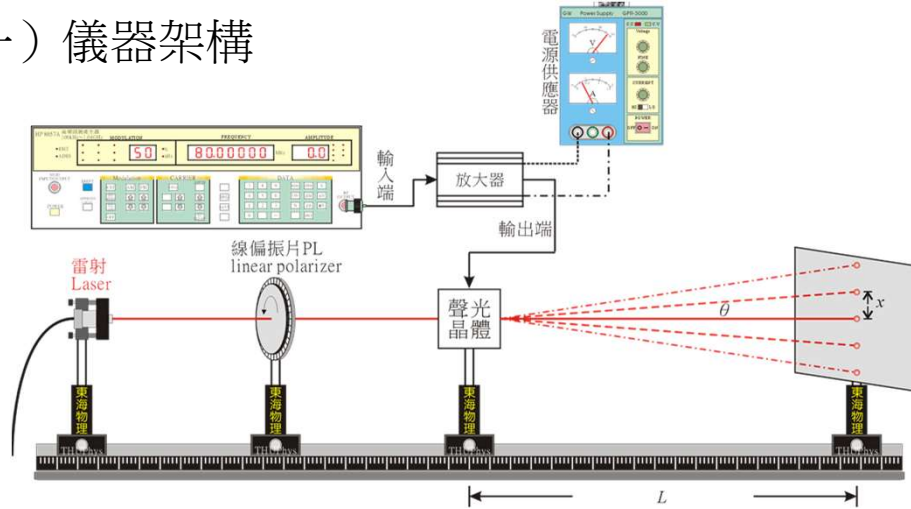
只有用夾子夾著，實驗過程中要留意不要脫落。

聲光晶體



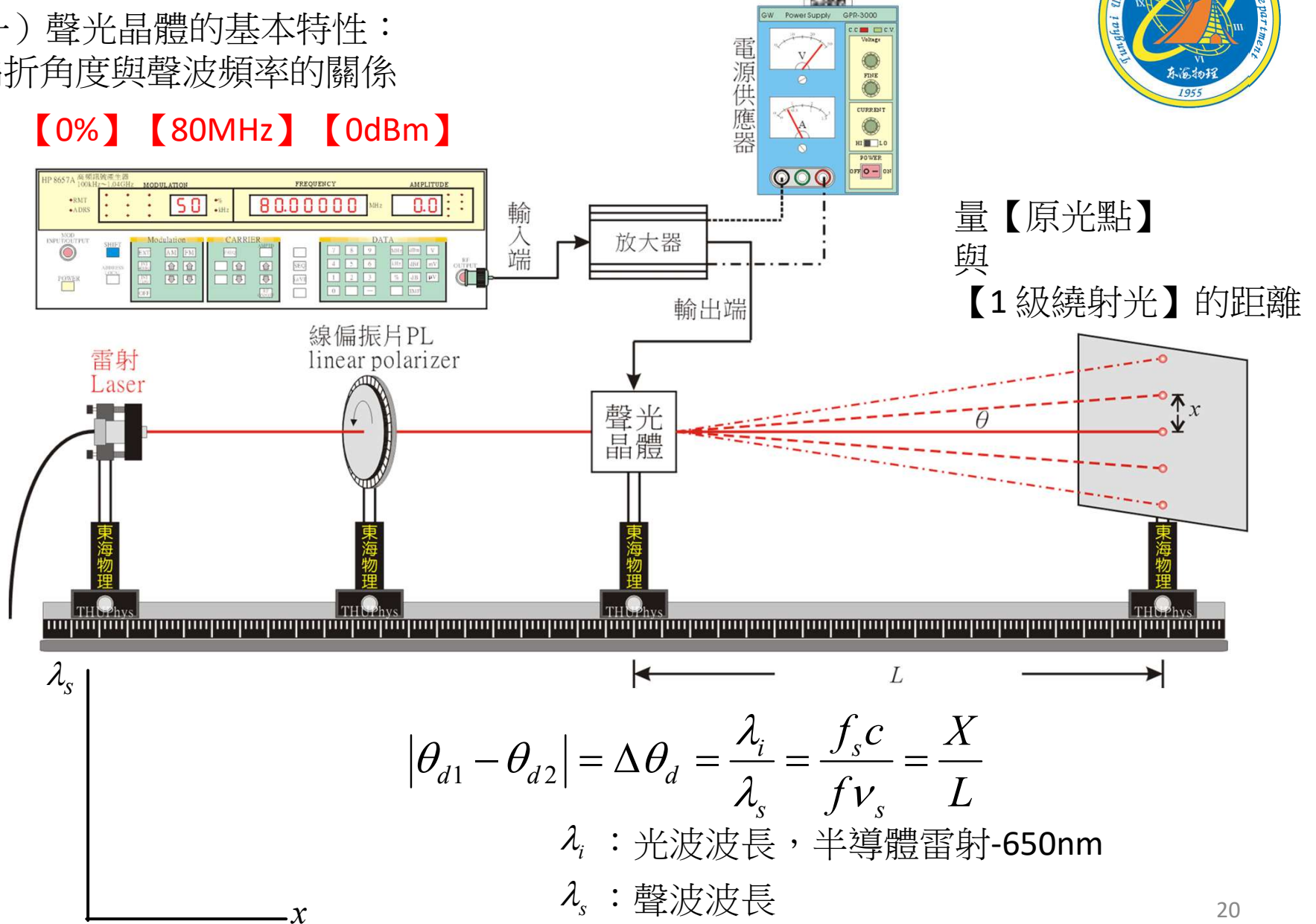
光窗
另一邊也有一個
一進一出

(一) 儀器架構

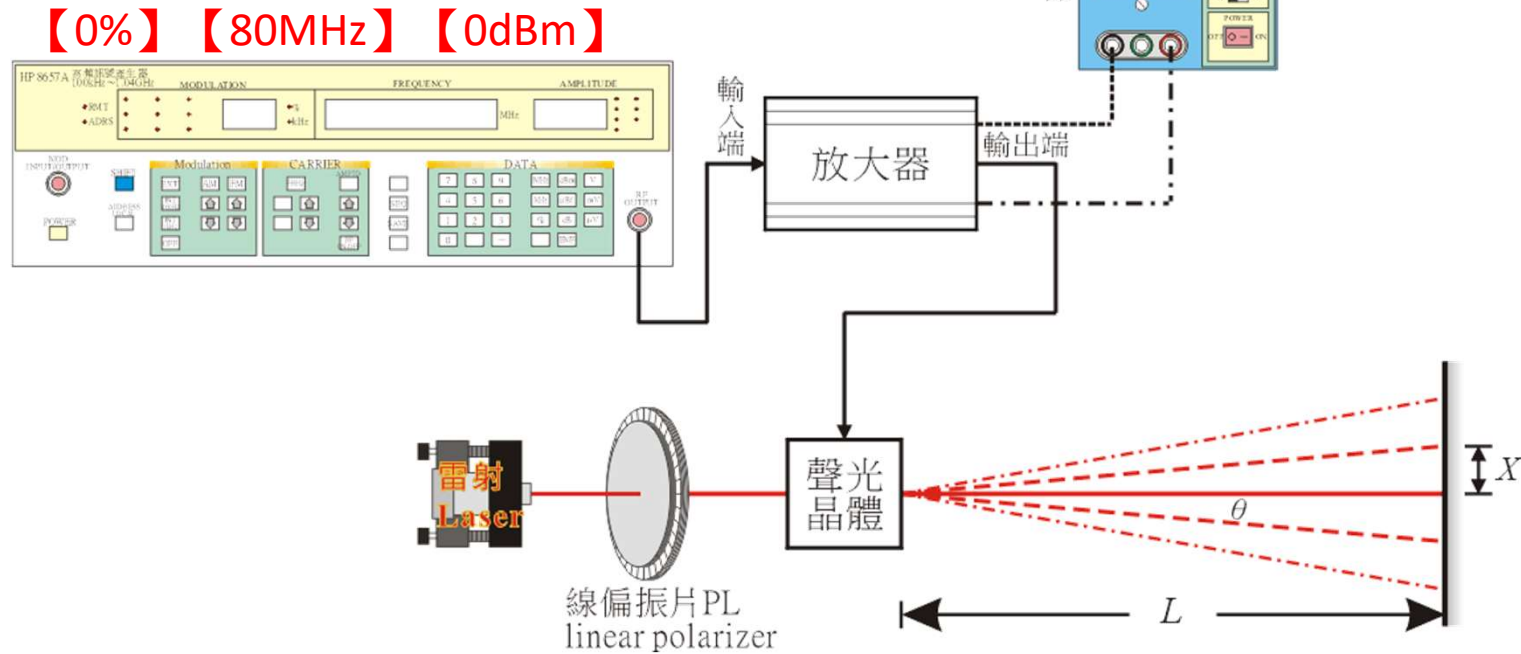


(一) 聲光晶體的基本特性：
1-偏折角度與聲波頻率的關係

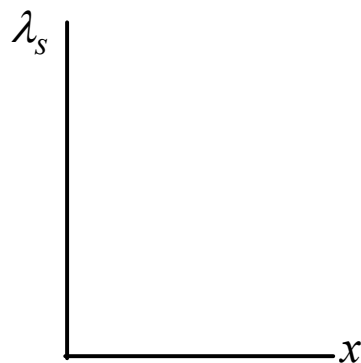
【0%】 【80MHz】 【0dBm】



(一) 聲光晶體的基本特性：
1-偏折角度與聲波頻率的關係



量【原光點】與【1級繞射光】的距離



$$|\theta_{d1} - \theta_{d2}| = \Delta\theta_d = \frac{\lambda_i}{\lambda_s} = \frac{\lambda_i f_s}{v_s} = \frac{X}{L}$$

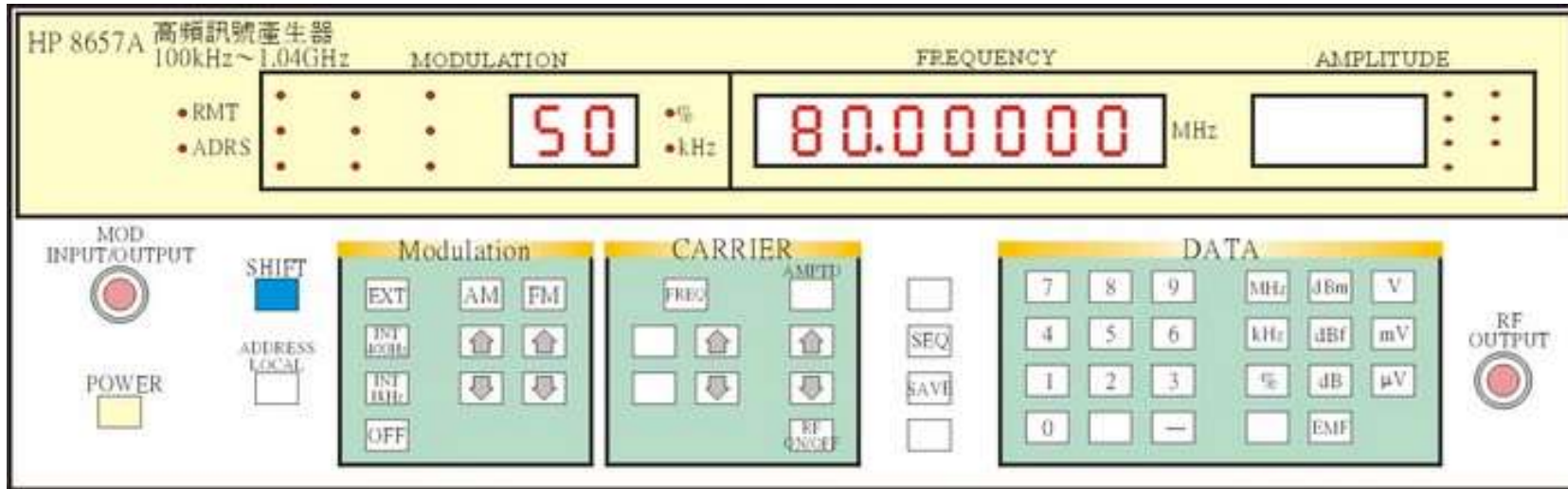
λ_i : 光波波長, 半導體雷射-650nm

λ_s : 聲波波長



高頻訊號產生器-HP 8657A

設定為：【0%】 【80MHz】 【0dBm】

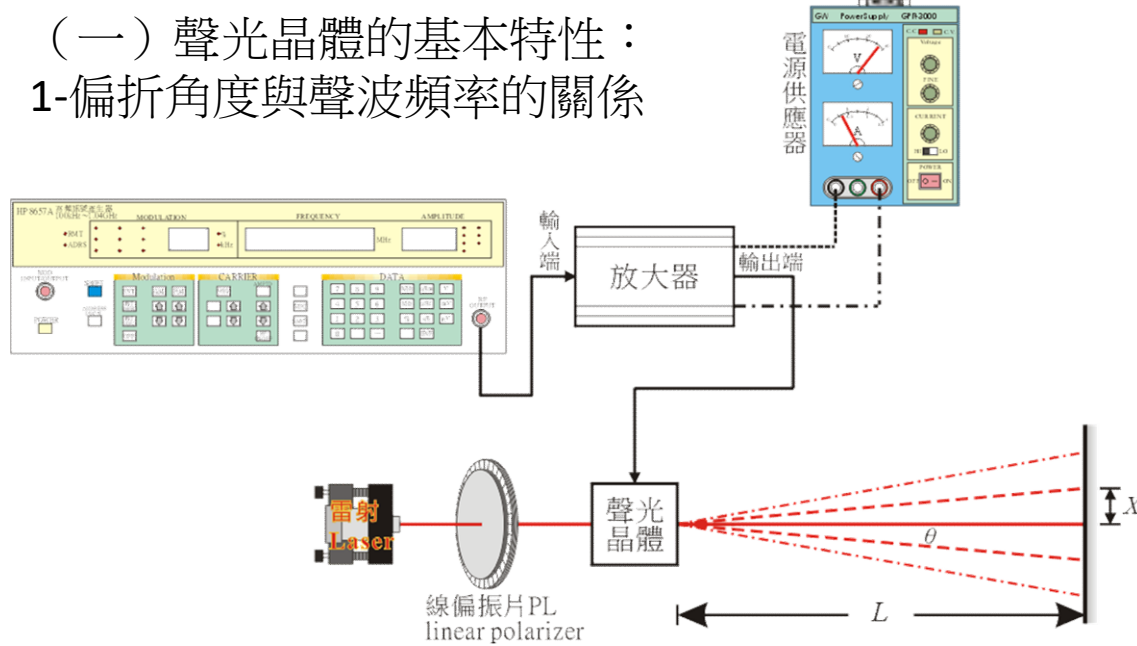


1-0dBm ➡ 依序按下高頻信號產生器在Carrier工作區的AMPTD鍵，按下 ↑ 或 ↓ 鍵，調整dBm大小至0dBm。

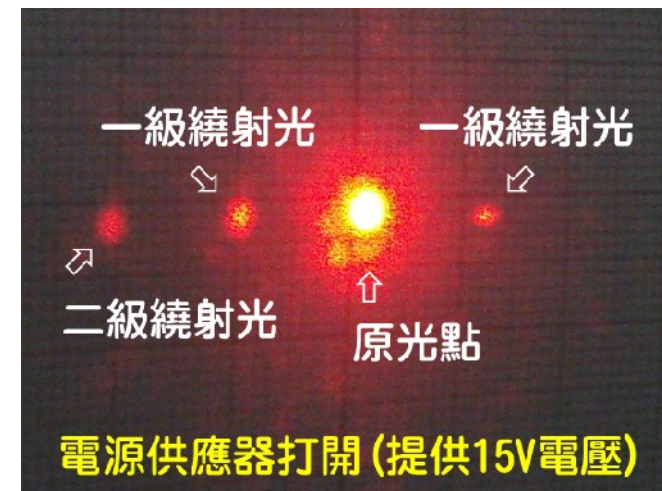
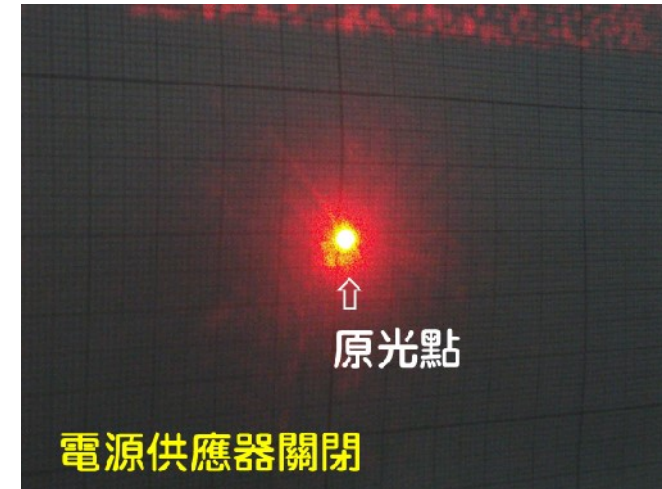
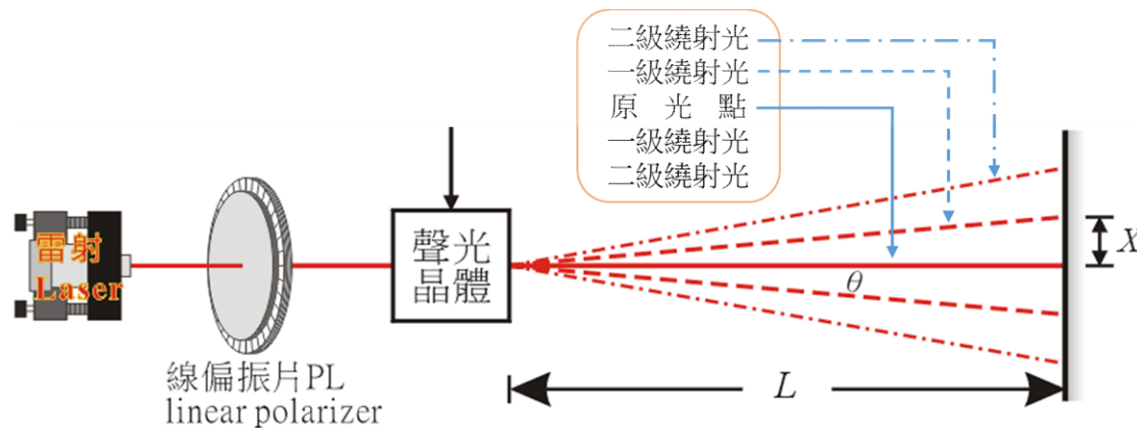
2-80MHz ➡ 先按Carrier工作區的FREQ鍵，再按DATA工作區 ”8” + ”0” + ”MHz” 按鈕。

3-0% ➡ 確定高頻信號產生器不在調制模式（Modulation工作區按下 “OFF”，Modulation顯示0.0%）。

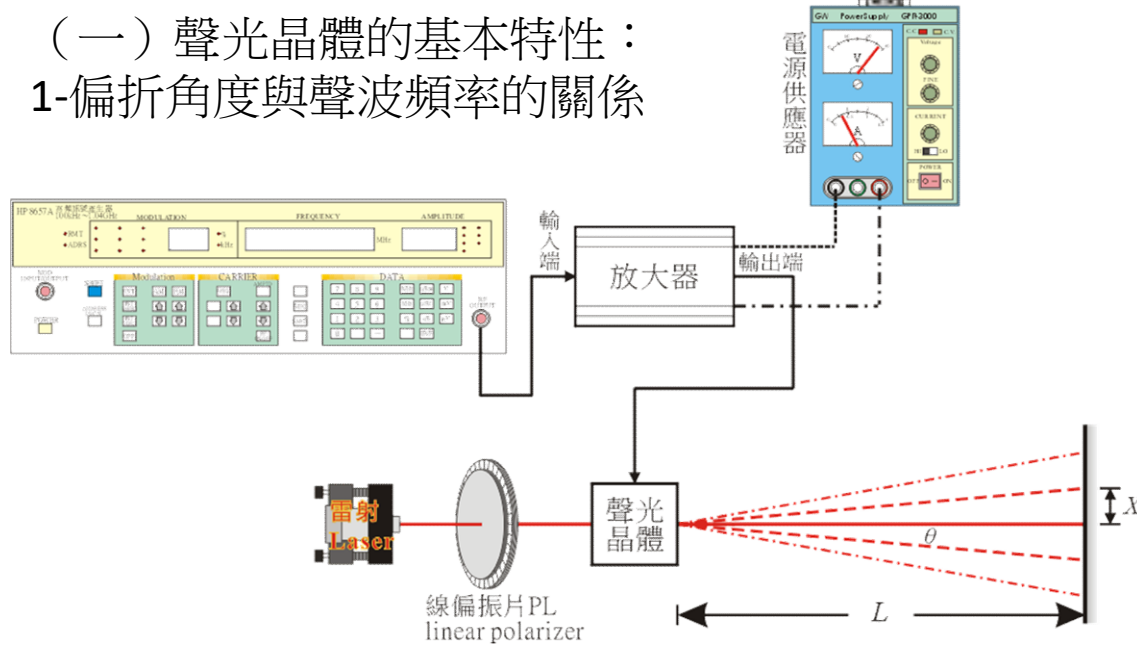
(一) 聲光晶體的基本特性：
1-偏折角度與聲波頻率的關係



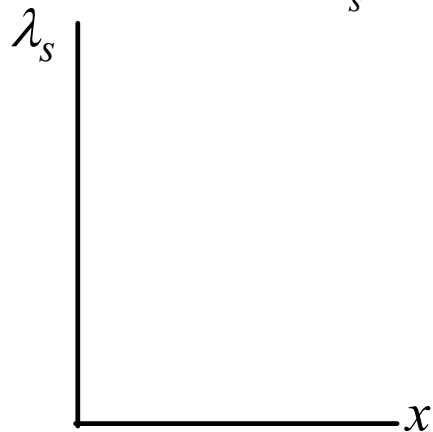
量【原光點】與【1級繞射光】的距離



(一) 聲光晶體的基本特性：
1-偏折角度與聲波頻率的關係



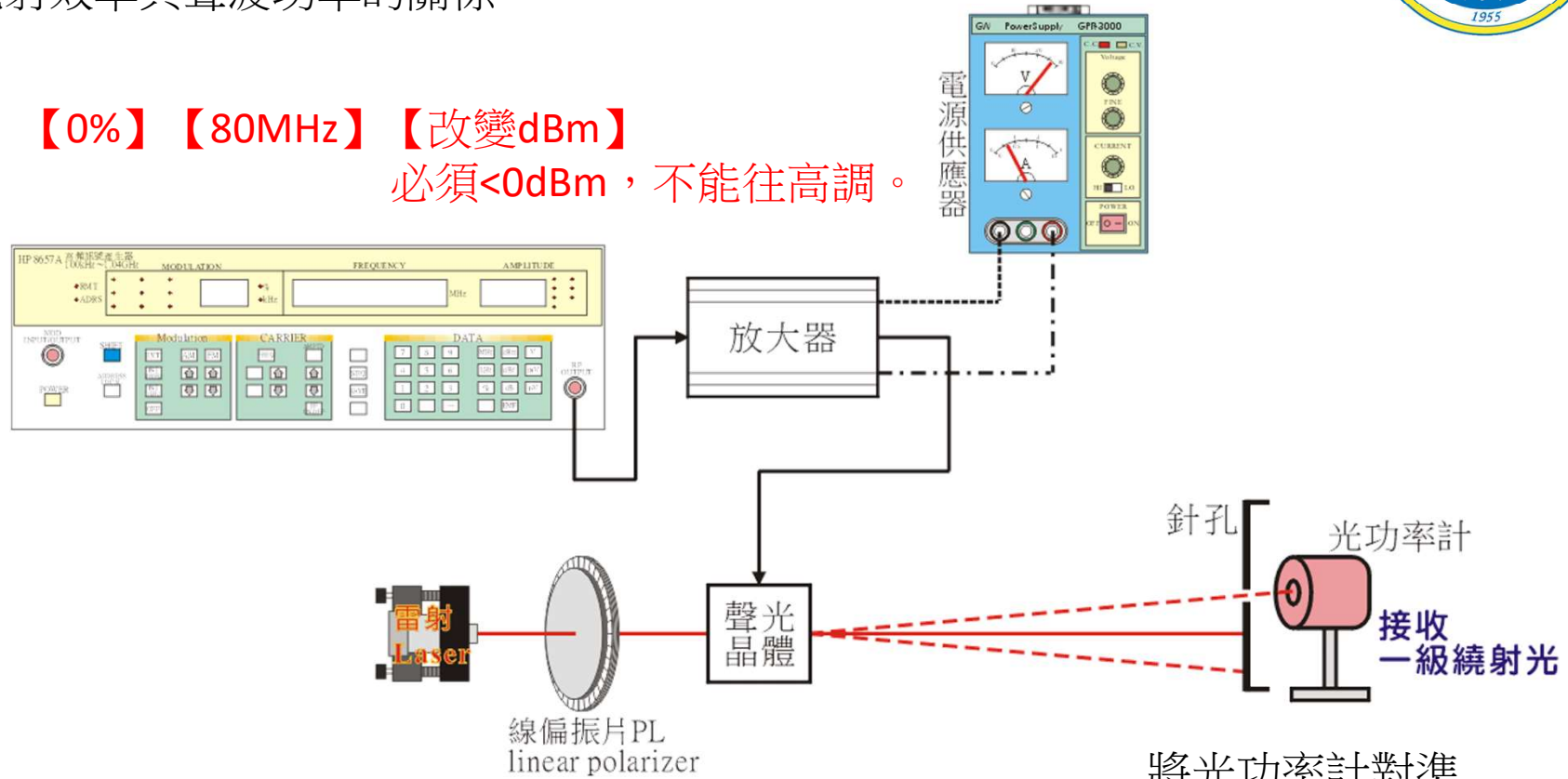
$$|\theta_{d1} - \theta_{d2}| = \Delta\theta_d = \frac{\lambda_i}{\lambda_s} = \frac{\lambda_i f_s}{v_s} = \frac{X}{L}$$



| 頻率 f_s | 距離 X | $\theta = \tan^{-1} \frac{X}{L}$ | $\lambda_s = \frac{L}{X} \lambda$ | $v_s = f_s \lambda_s$ |
|----------|--------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| 40 MHz | | | | |
| 50 MHz | | | | |
| 60 MHz | | | | |
| 70 MHz | | | | |
| 80 MHz | | | | |
| 90 MHz | | | | |
| 100 MHz | | | | |
| 110 MHz | | | | |
| 120 MHz | | | | |
| 130 MHz | | | | 24 |

(二) 聲光晶體的基本特性：
2-繞射效率與聲波功率的關係

【0%】 【80MHz】 【改變dBm】
必須<0dBm，不能往高調。

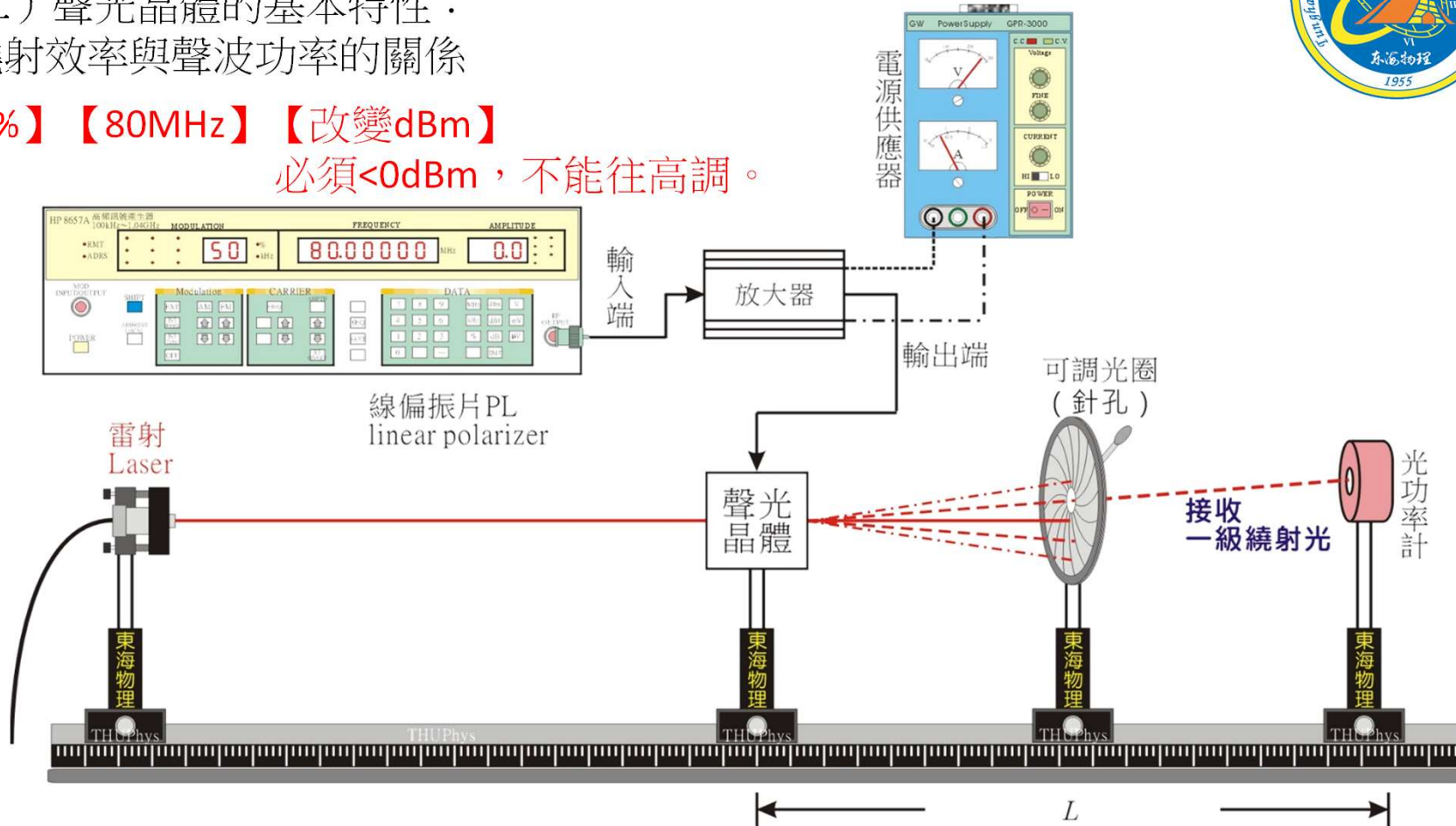


將光功率計對準
“1級”繞射光

改變高頻訊號產生器的輸出振幅大小 (AMPTD)
振幅 (dBm)
量測一級繞射光的功率

(二) 聲光晶體的基本特性：
2-繞射效率與聲波功率的關係

【0%】 【80MHz】 【改變dBm】
必須<0dBm，不能往高調。

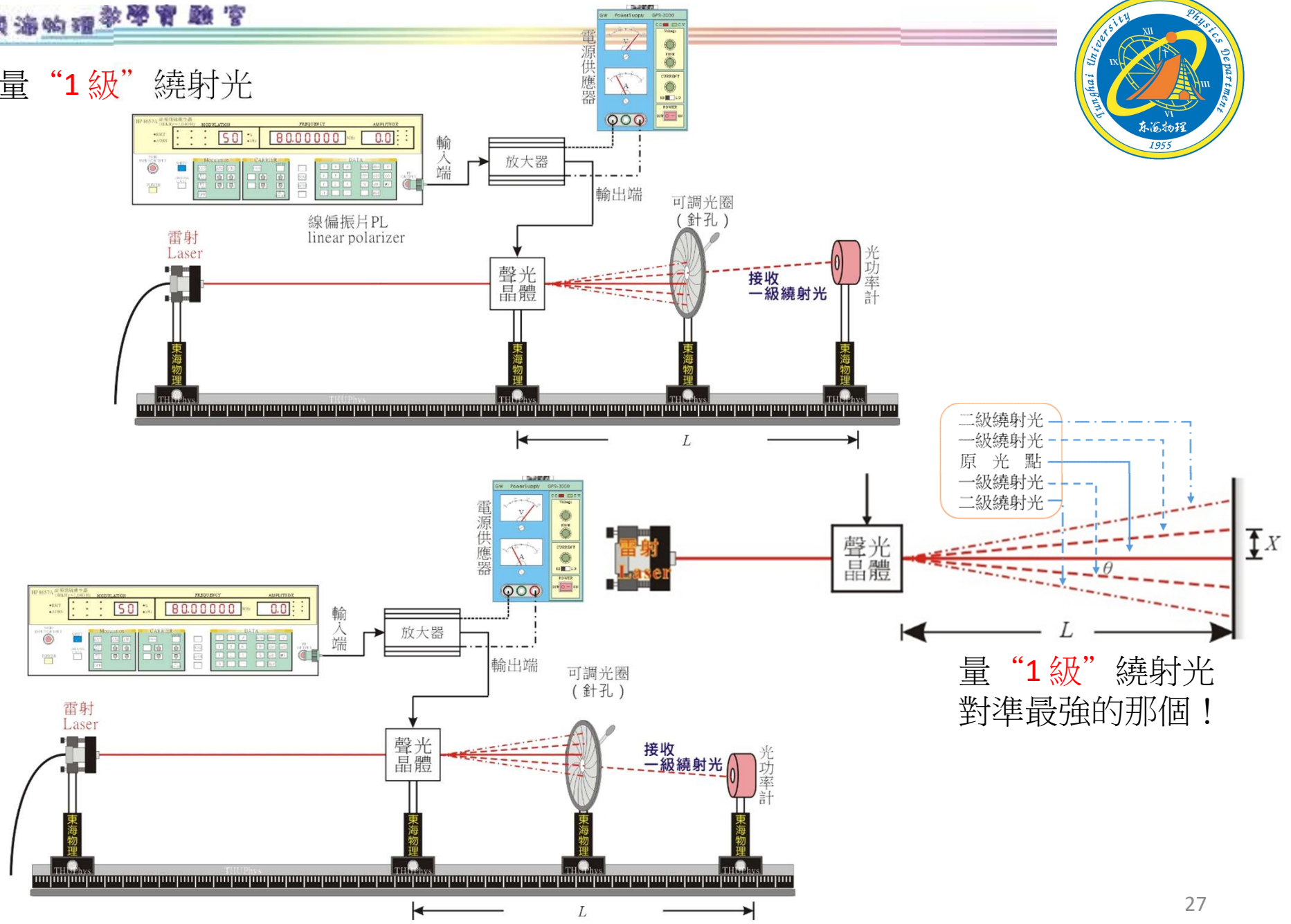


改變高頻訊號產生器的輸出振幅大小 (AMPTD) 振幅 (dBm)
量測一級繞射光的功率

將光功率計對準
“1級”繞射光



量“1級”繞射光





(二) 聲光晶體的基本特性：
2-繞射效率與聲波功率的關係

NOTE：必須 < 0dBm，不能往高調。

$$\eta = \frac{\text{一級繞射光功率}}{\text{原光點光功率}}$$

| 振幅 (dBm) | 一級繞射功 率(mW) | 繞射效率 (η) | 振幅 (dBm) | 一級繞射功 率(mW) | 繞射效率 (η) |
|-------------|----------------|-------------|-------------|----------------|-------------|
| 0 | | | -11 | | |
| -1 | | | -12 | | |
| -2 | | | -13 | | |
| -3 | | | -14 | | |
| -4 | | | -15 | | |
| -5 | | | -16 | | |
| -6 | | | -17 | | |
| -7 | | | -18 | | |
| -8 | | | -19 | | |
| -9 | | | -20 | | |
| -10 | | | | | |

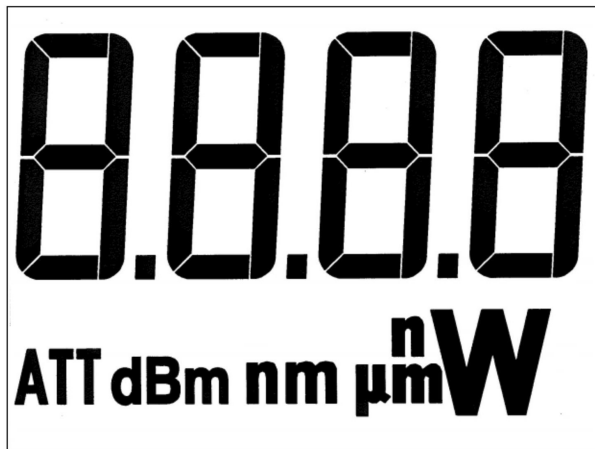
(表格 2)

要量原光點光強度時，需先將放大器的電源供應器關掉，此時量到的才是原光點。

Power meter (光功率計)



光功率計 (Power meter) gentec UNO



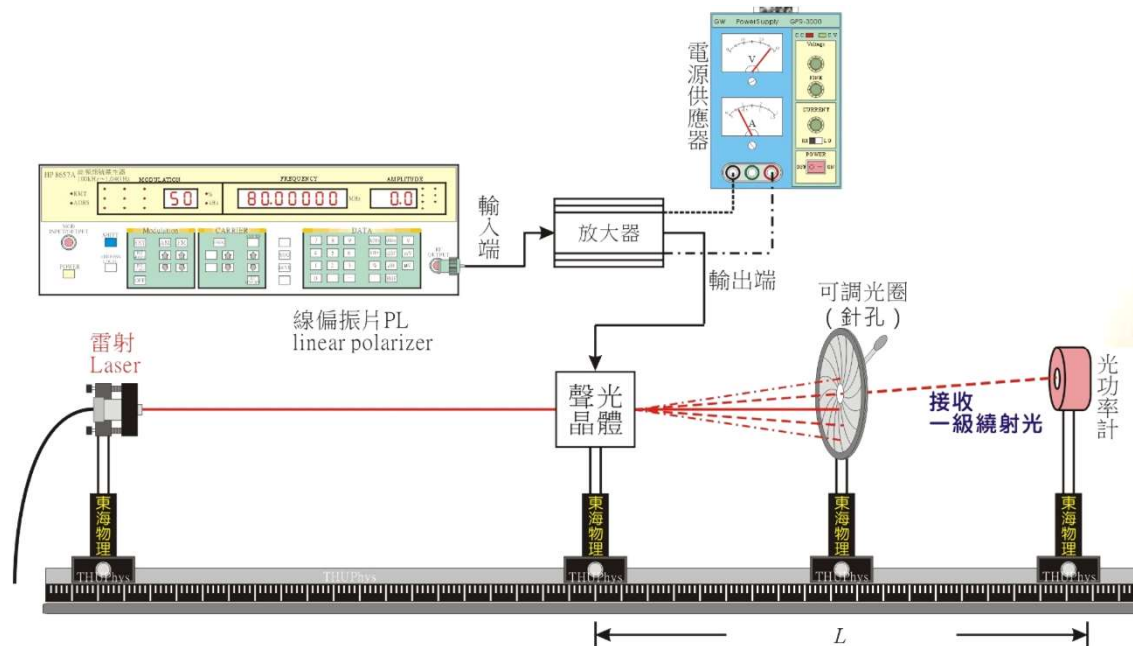
感應器前端有加一片衰減片
可以將接收的光衰減10倍
此時量測時，要按【ATT】啟動衰減功能

針孔

把【可調光圈】當【針孔】

利用可調光圈
將 0 級光檔下
只讓 1 級繞射光通過

提醒：
我們要量的是 1 級繞射光的調變訊號





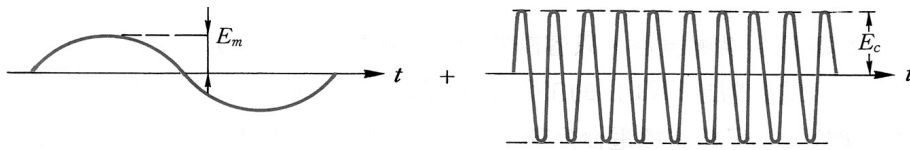
(三) AM調變

HP-8657A高頻訊號產生器

固定80MHz、0dBm、50% AM modulation

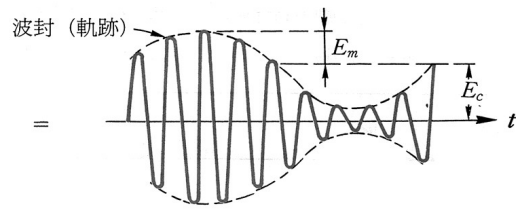
AFG-2225波形產生器

固定200Hz，**改變振幅**



(a) 聲頻調變訊號

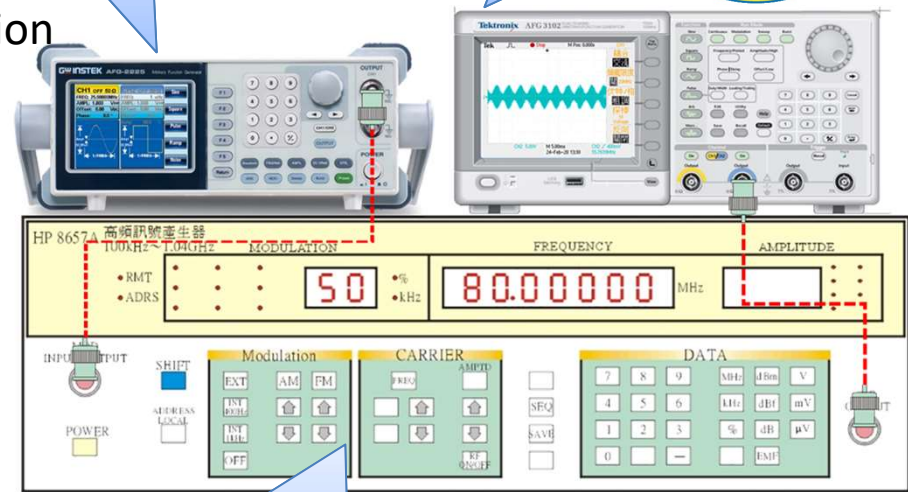
(b) 載波訊號



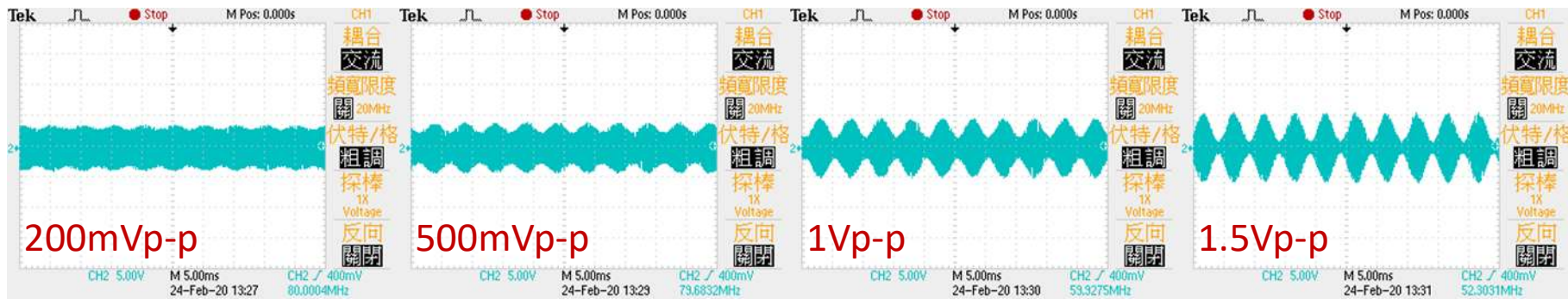
(c) 調幅訊號

FG-2225波
形產生器

示波器



HP-8657A高頻訊號產生器



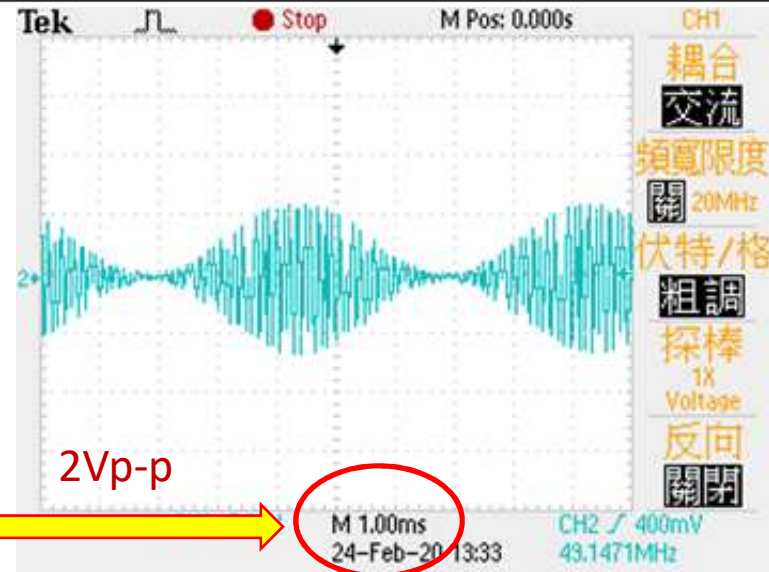
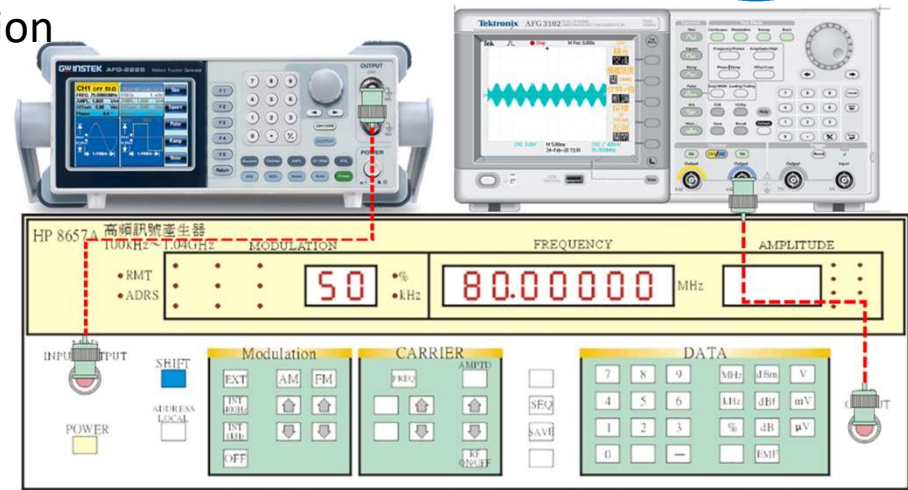
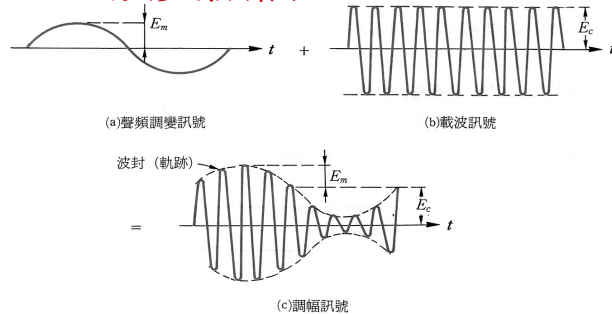
(三) AM調變

HP-8657A高頻訊號產生器

固定80MHz、0dBm、50% AM modulation

AFG-2225波形產生器

固定200Hz，**改變振幅**



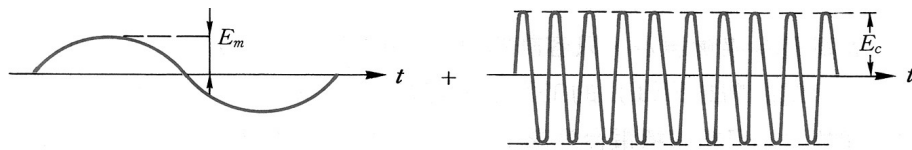
(三) AM調變

HP-8657A高頻訊號產生器

固定80MHz、0dBm、50% AM modulation

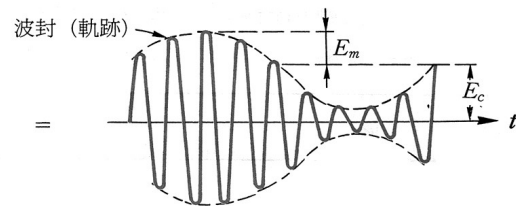
AFG-2225波形產生器

固定200mVp-p、**改變頻率**

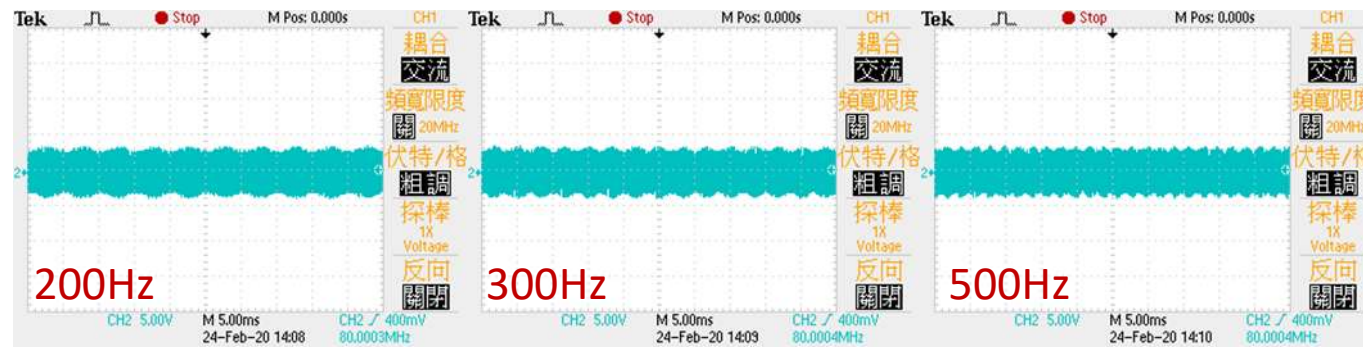
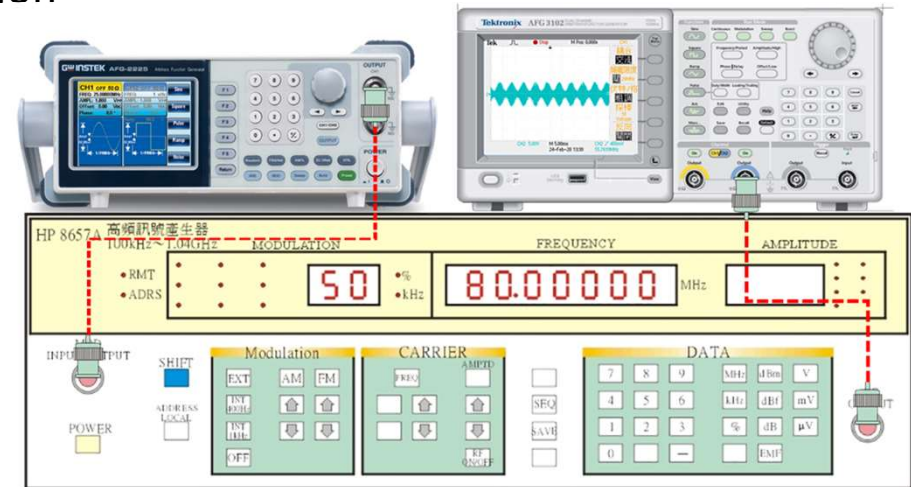


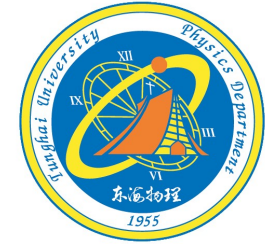
(a) 聲頻調變訊號

(b) 載波訊號

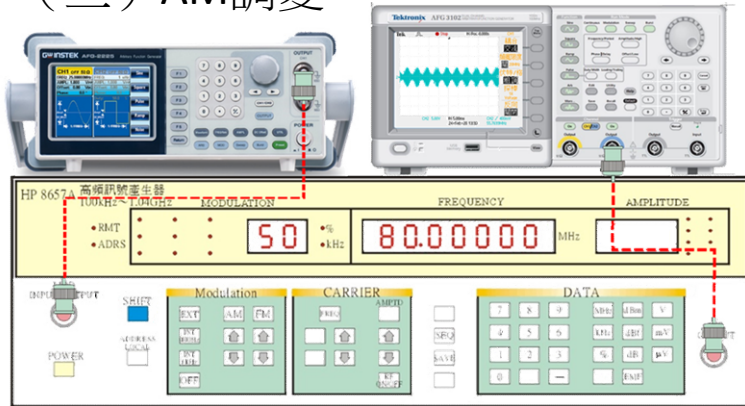


(c) 調幅訊號





(三) AM調變



HP-8657A 高頻訊號產生器

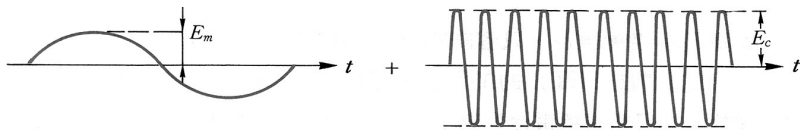
固定0dBm、80MHz

改變調變比例

(AM Depth %)

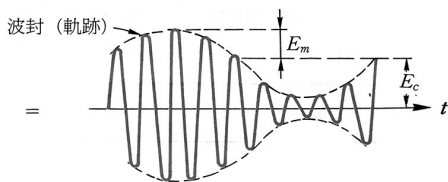
AFG-2225 波形產生器

固定1Vp-p、200Hz

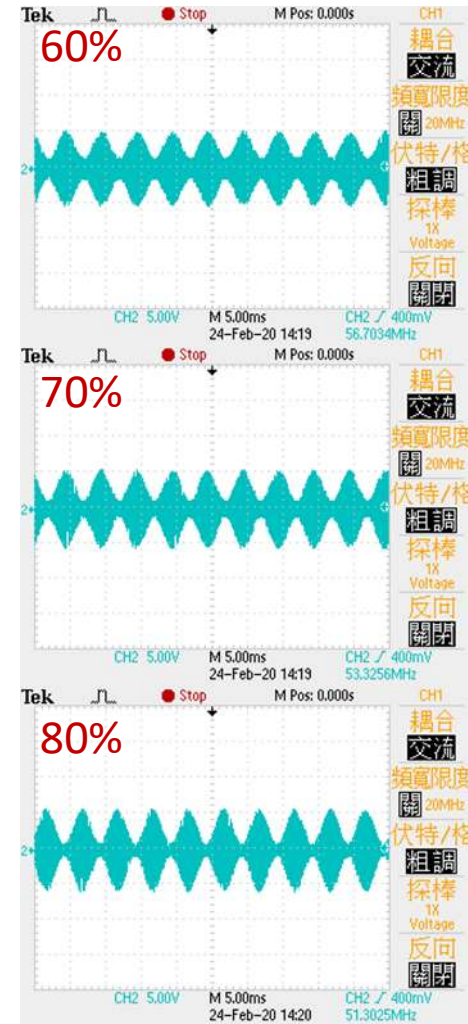
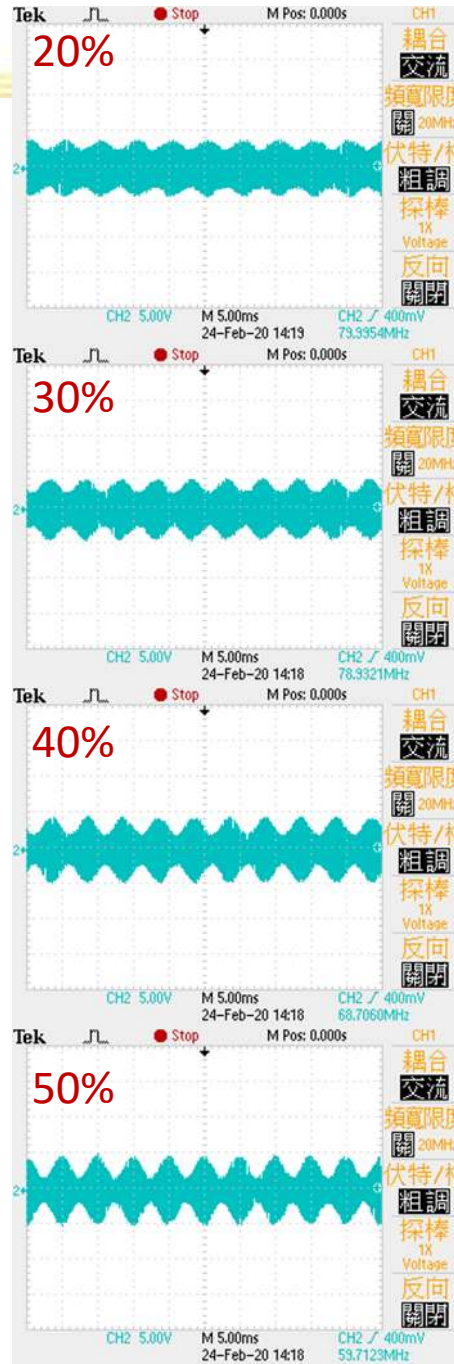


(a) 聲頻調變訊號

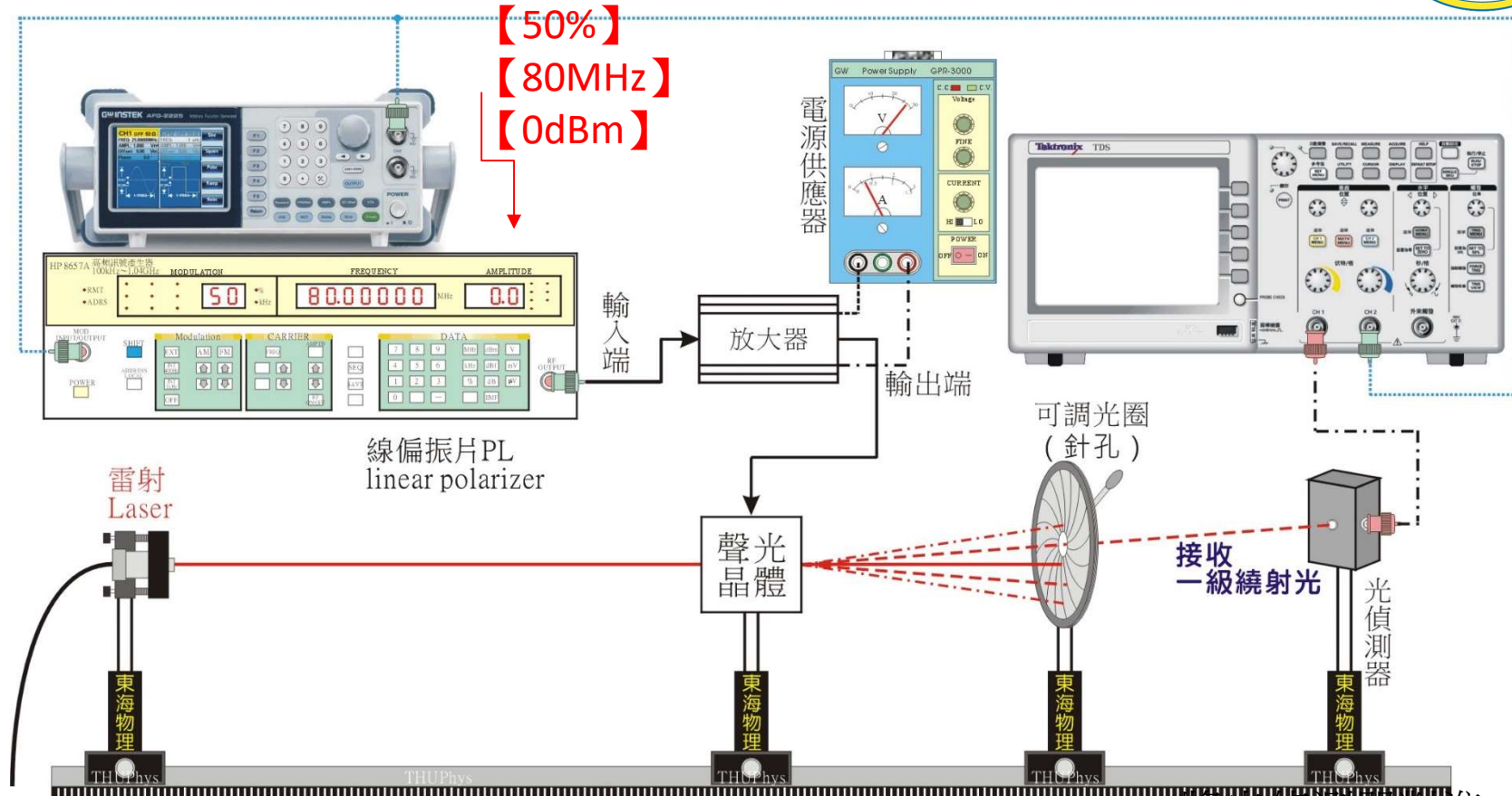
(b) 載波訊號



(c) 調幅訊號



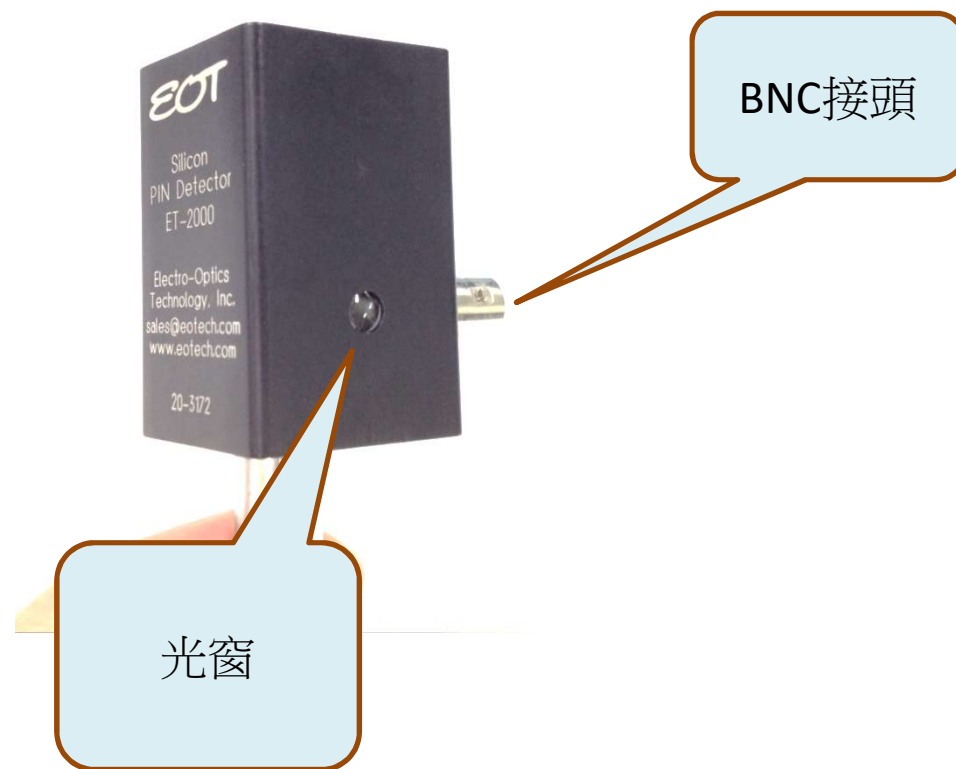
(四) 聲光調製的應用： 繞射與調變振幅的關係



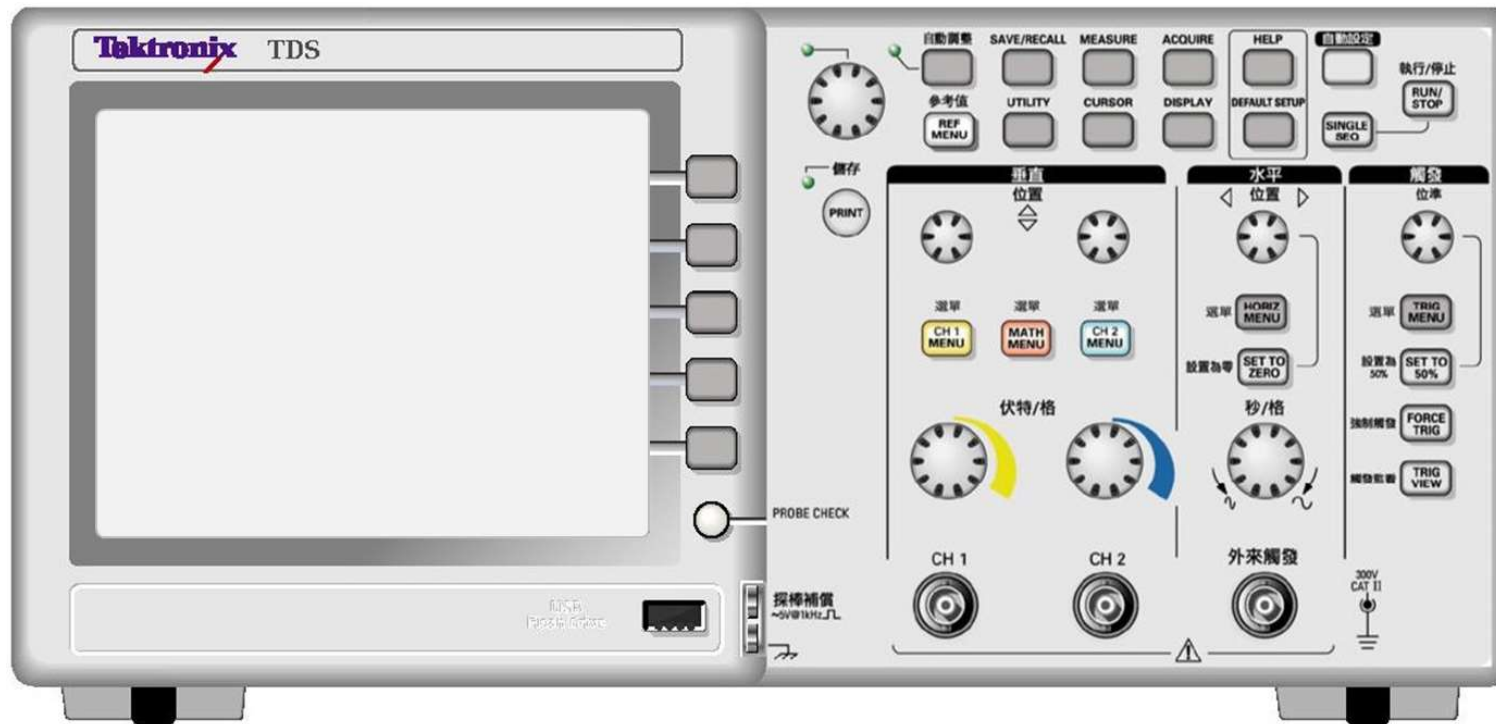
改變低頻訊號產生器的輸出振幅大小
量測一級繞射光的輸出 (CH1振幅)

將光偵測器對準
“1級”繞射光

Detector (光偵測器)



TDS2022C示波器

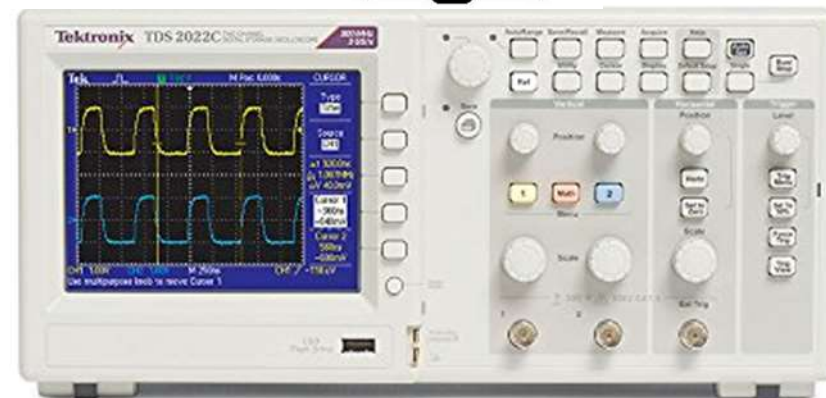


儲存方式 (32G以下USB隨身碟)

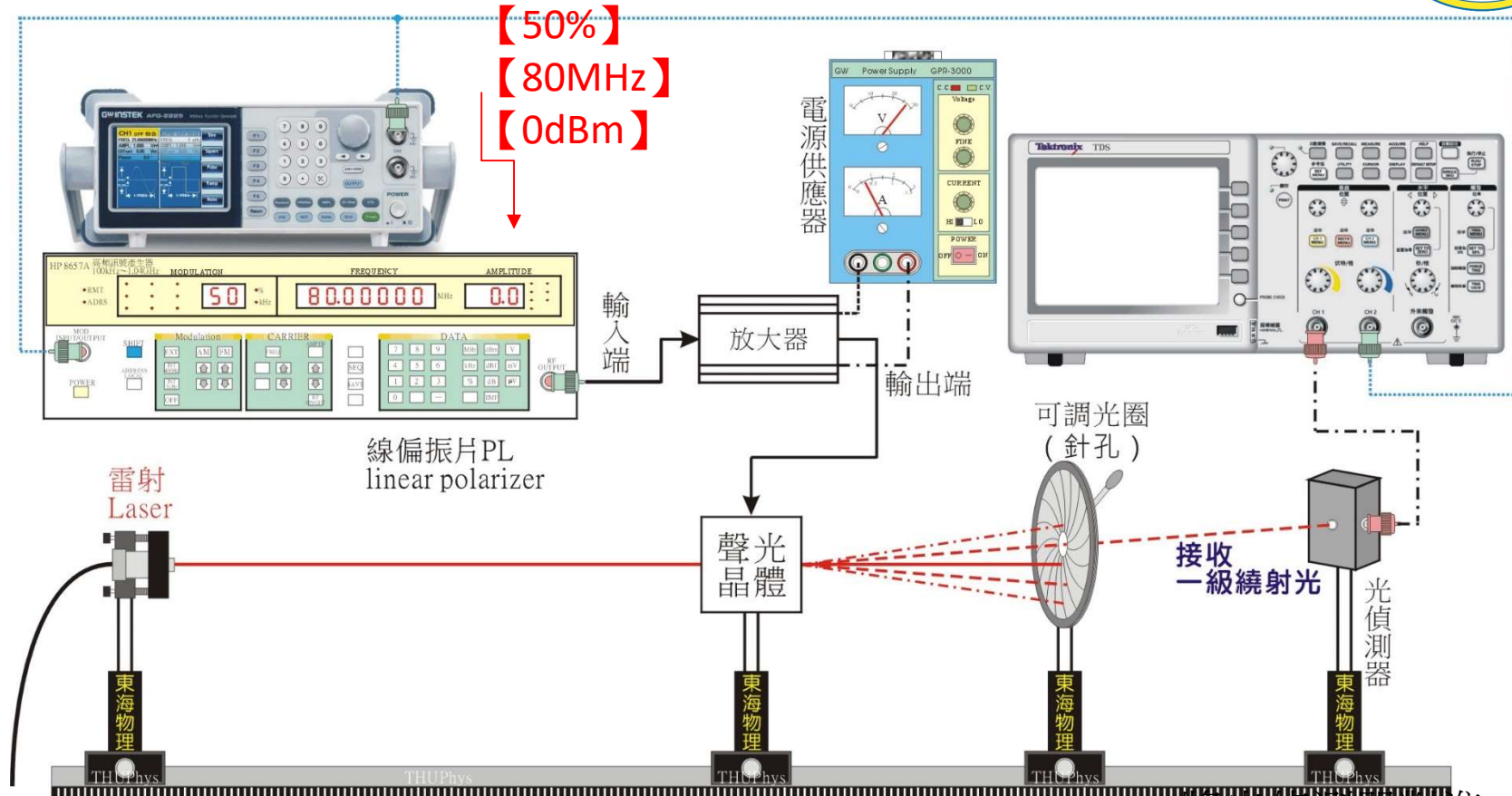
1-Save/Recall

2-Print

示波器會將螢幕影像儲存至目前的資料夾並自動產生檔案名稱。



(四) 聲光調製的應用： 繞射與調變振幅的關係



改變低頻訊號產生器的輸出振幅大小
量測一級繞射光的輸出 (CH1振幅)

將光偵測器對準
“1級”繞射光



(四) 聲光調製的應用：
繞射與調變振幅的關係

這是計算出來的值！

| 振幅百分比 | 100% | 90% | 80% | 70% | 60% |
|--------|-------|----------|----------|----------|-----|
| 振幅 | A mV | A*90% mV | A*80% mV | A*70% mV | mV |
| 頻率 f | 200Hz | F9 | F8 | F7 | |

(表格 4) 光功率計輸出波形變化情形

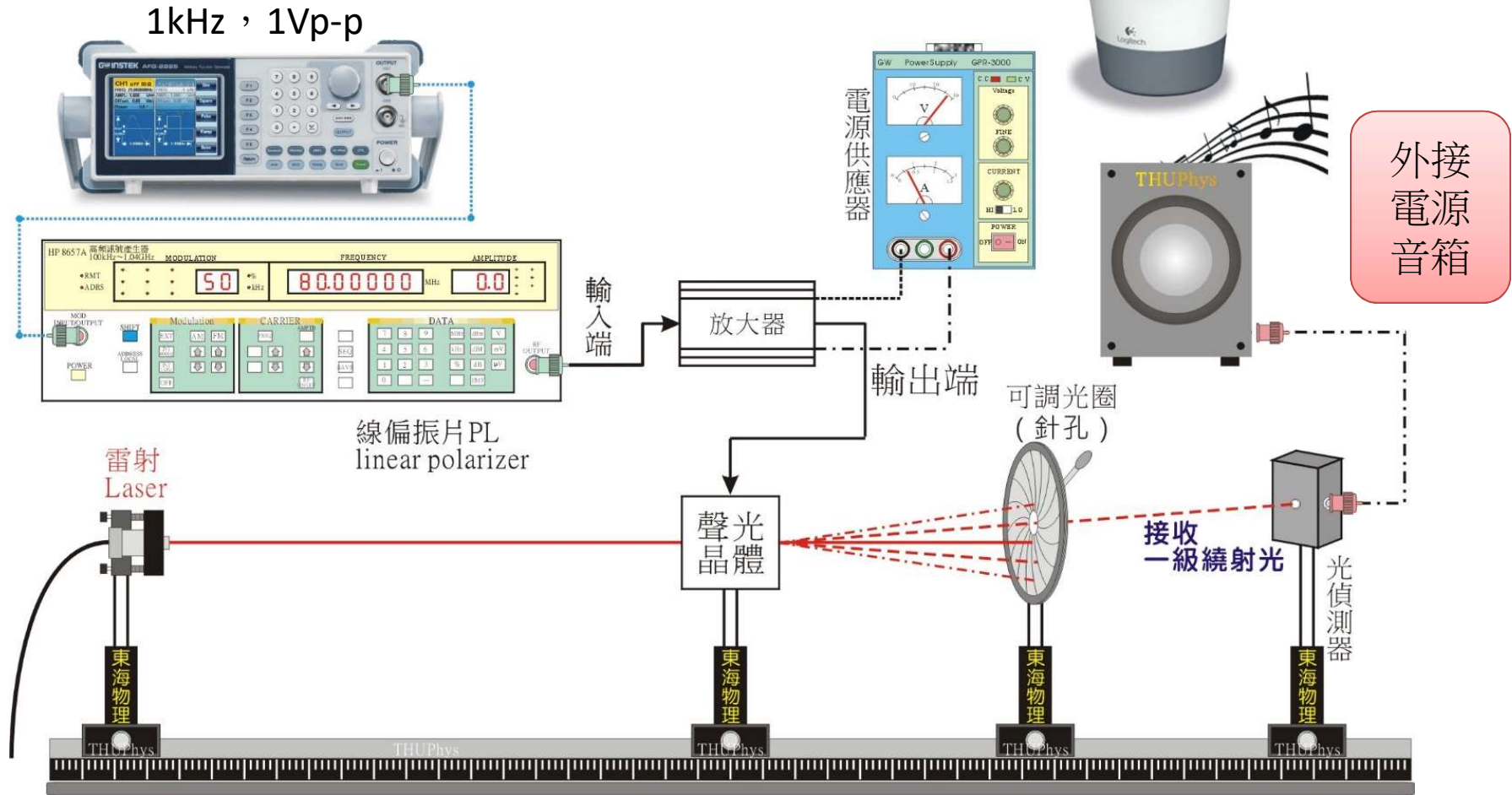
這是調出來的值！

- 頻率設定200Hz ➔ 得到振幅 (A) mV
- 增加頻率至 (F9) Hz，可以得到 (A*90%) mV的振幅
- 增加頻率至 (F8) Hz，可以得到 (A*80%) mV的振幅
- 增加頻率至 (F7) Hz，可以得到 (A*70%) mV的振幅
- 增加頻率至 (F6) Hz，可以得到 (A*60%) mV的振幅

➔ (F7) Hz為“**高頻截止頻率**”。

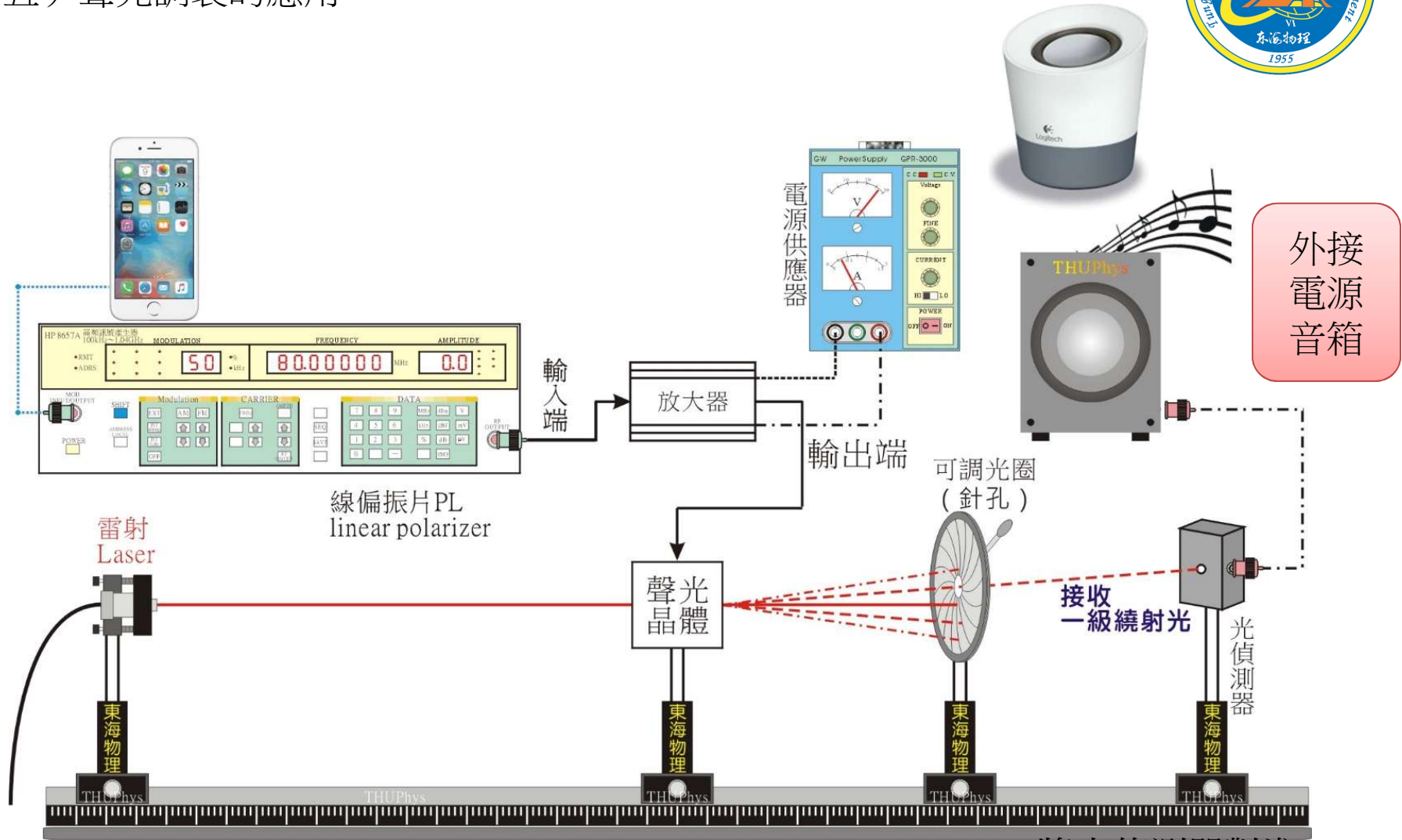
截止頻率 (Cutoff frequency)：
系統輸出訊號的振幅(能量)開始大幅下降時的邊界頻率。

(五) 聲光調製的應用：



將光偵測器對準
“1級”繞射光

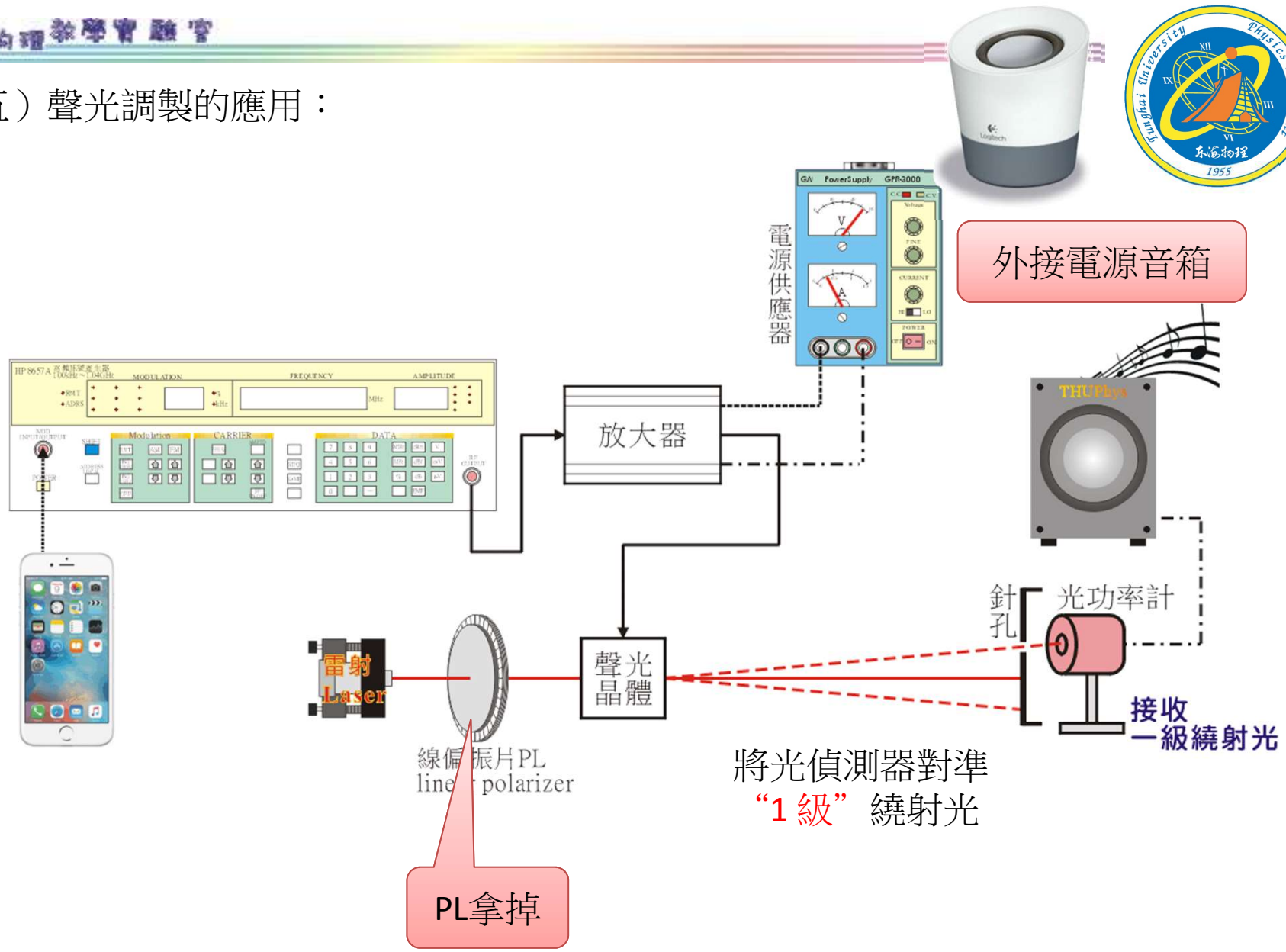
(五) 聲光調製的應用：



將光偵測器對準
“1級”繞射光



(五) 聲光調製的應用：



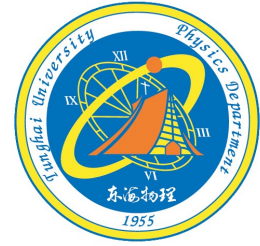


接線：



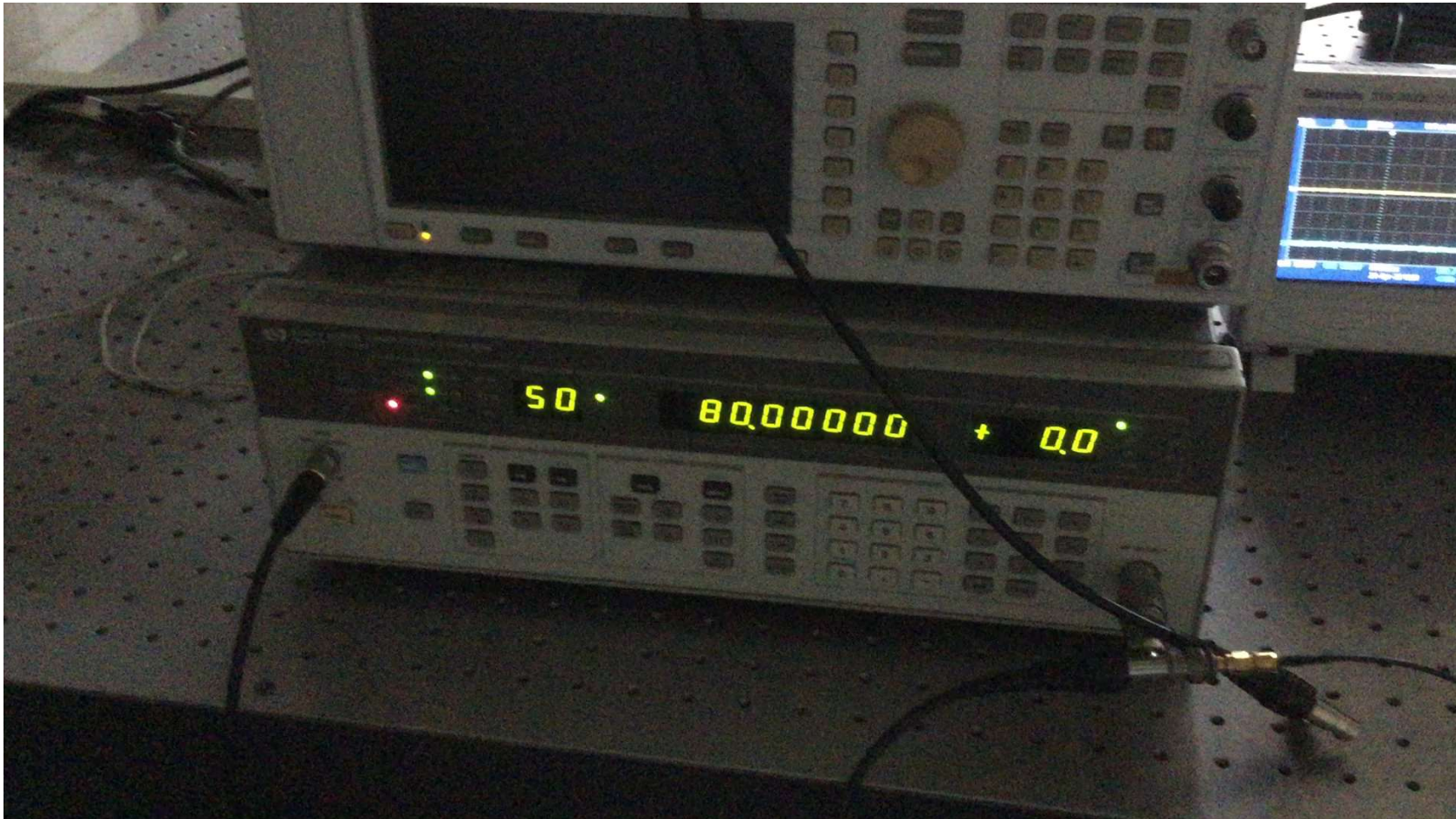


iPhone 6S



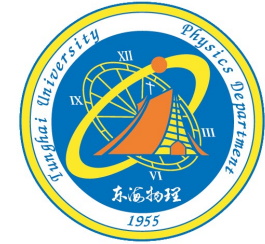
(五) 聲光調製的應用：
聲音的傳輸

手機撥放音樂，透過A.O.調變，雷射傳輸，偵測器接收，擴音喇叭撥放



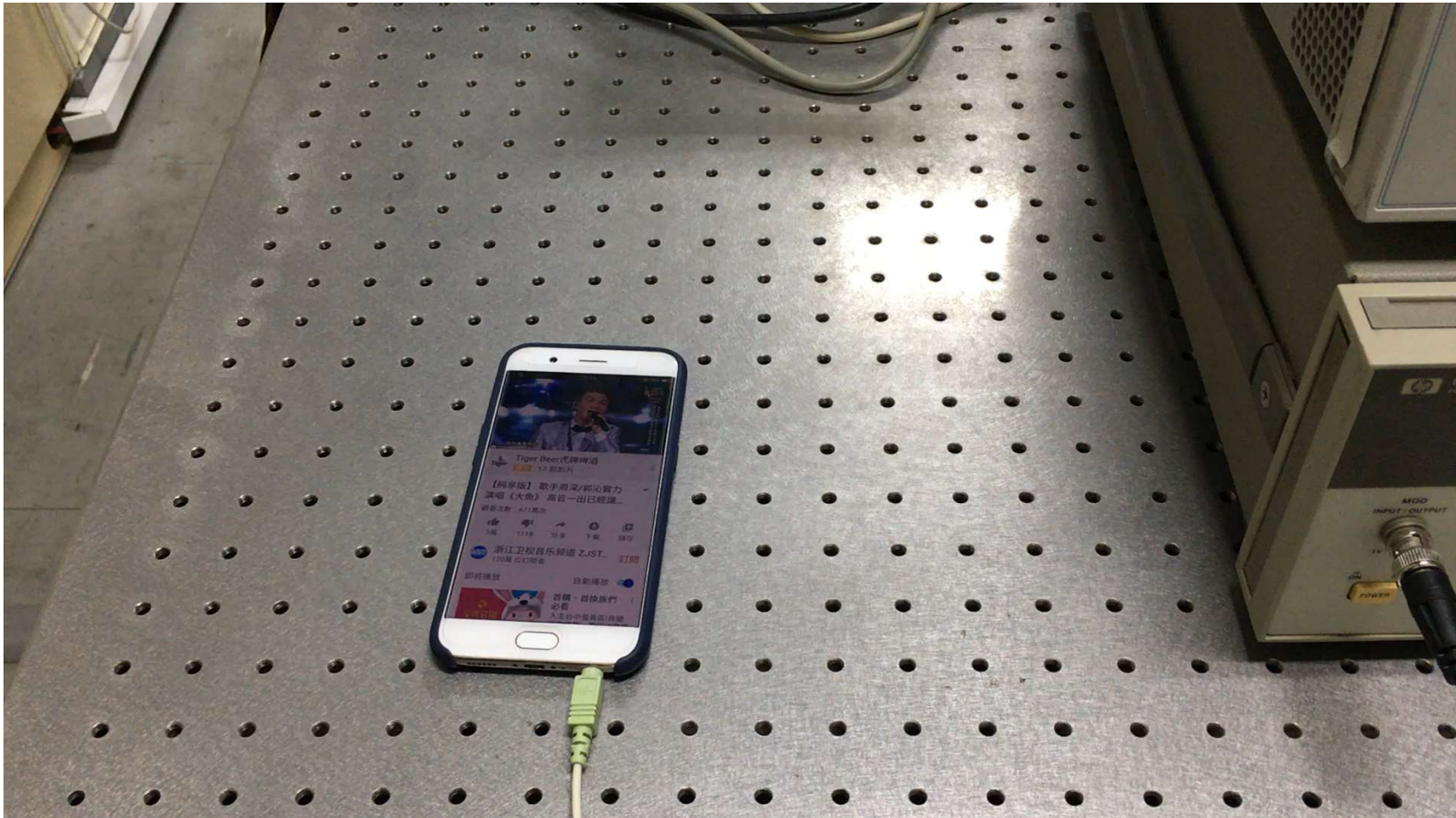


OPPO R11



(五) 聲光調製的應用：
聲音的傳輸

手機撥放音樂，透過A.O.調變，雷射傳輸，偵測器接收，擴音喇叭撥放





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/>