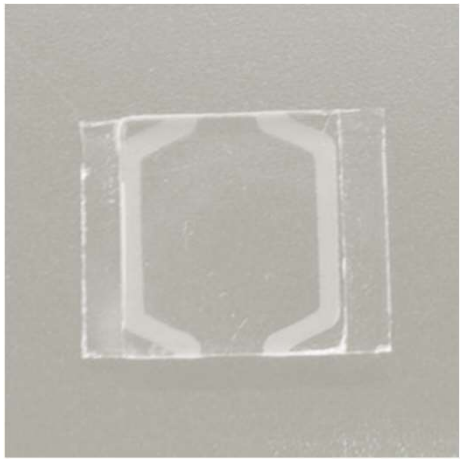
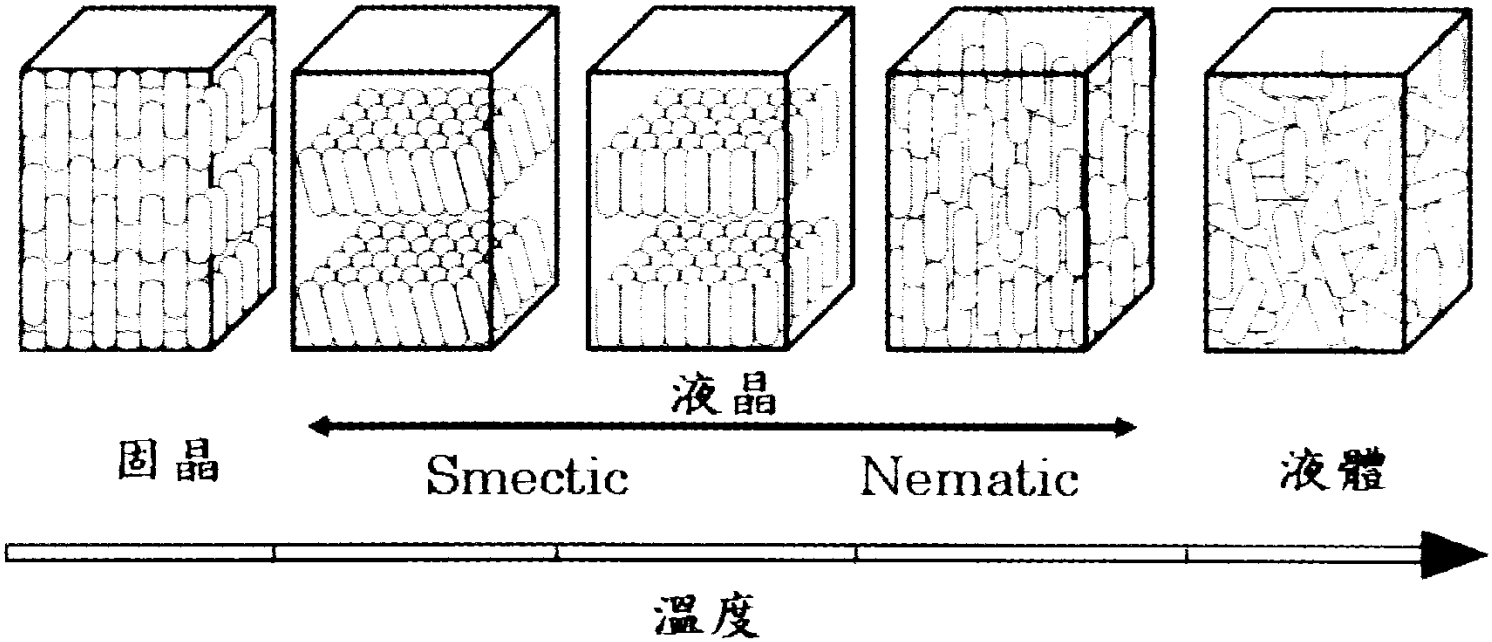
實驗7：液晶



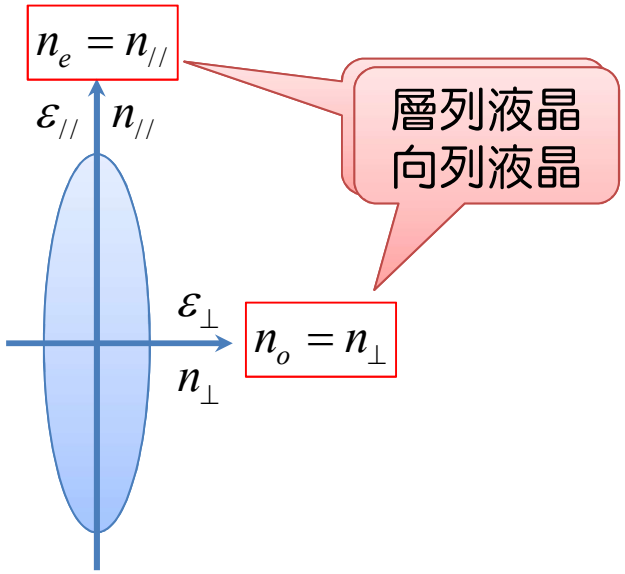
液晶材料的基本單位大多為圓柱狀，為非均向性物質，有兩個不同方向的性質，在溫度低時，其性質為晶體，為一排列整齊的材料。隨著溫度升高，晶形開始改變，開始有液體的性質。

1888年植物學家Friedrich Reinitzer發現並觀察到膽固醇的乙酸酯化物在145 時為固體，隨著溫度升高，會轉化成白濁狀的液體，直到179時會轉變成清澈的液體。後來，德國物理學家O.Lehmann將這種類似晶體的液體稱為液晶。

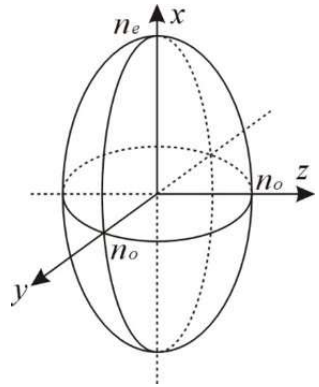


液晶材料的基本單位大多為圓柱狀
為非均向性物質
有兩個不同方向的性質

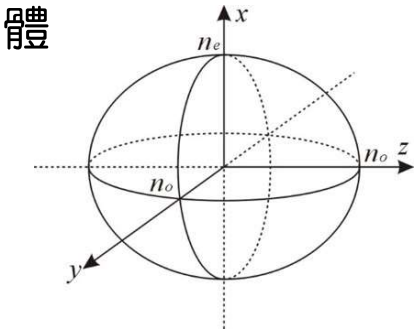
液晶有兩個折射率，分別是
垂直於液晶長軸方向（n_o）
與
平行於液晶長軸方向（n_e）



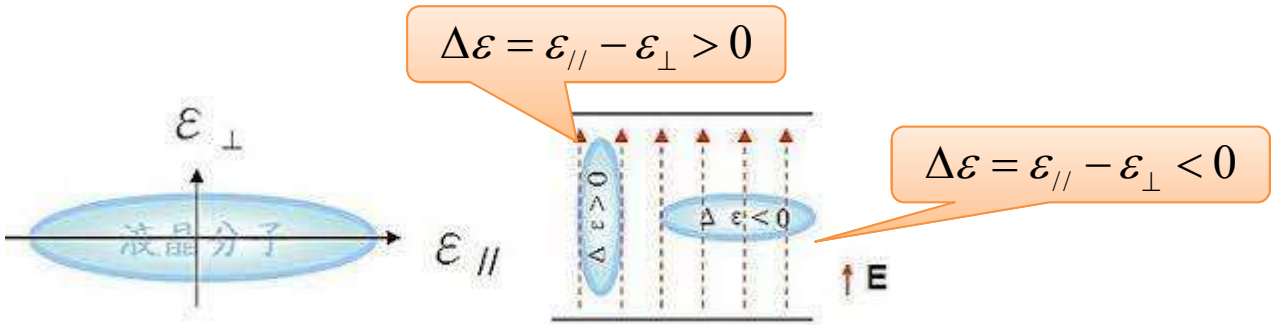
光學正性，正晶體
光學正液晶
$n_e - n_o > 0$

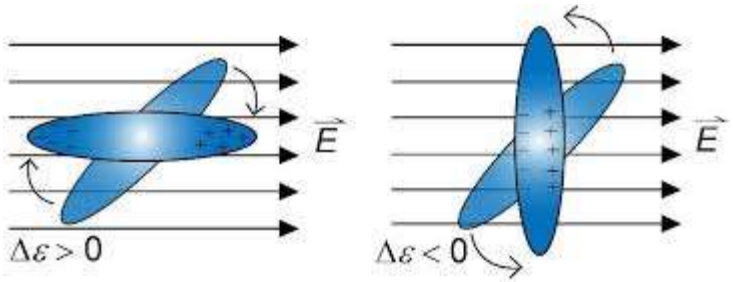


光學負性，負晶體
光學負液晶
$n_e - n_o < 0$



液晶分子會因介電異方性(dielectric anisotropy) $\Delta\varepsilon$ 為正值（或負值）來決定液晶分子的轉向方向 與 外加電場平行（或垂直），。





https://blog.xuite.net/kernlliang/twblog/129461338

https://ir.nctu.edu.tw/bitstream/11536/72942/1/832301.pdf

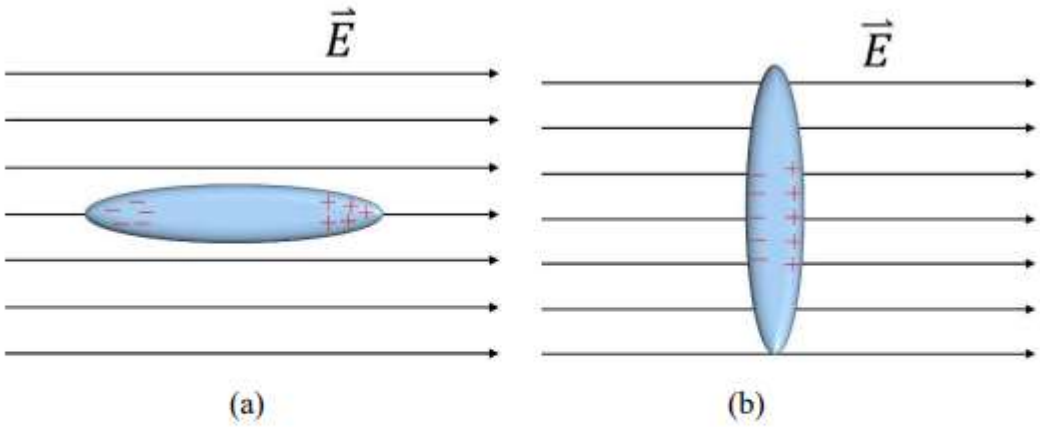
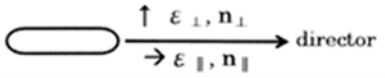
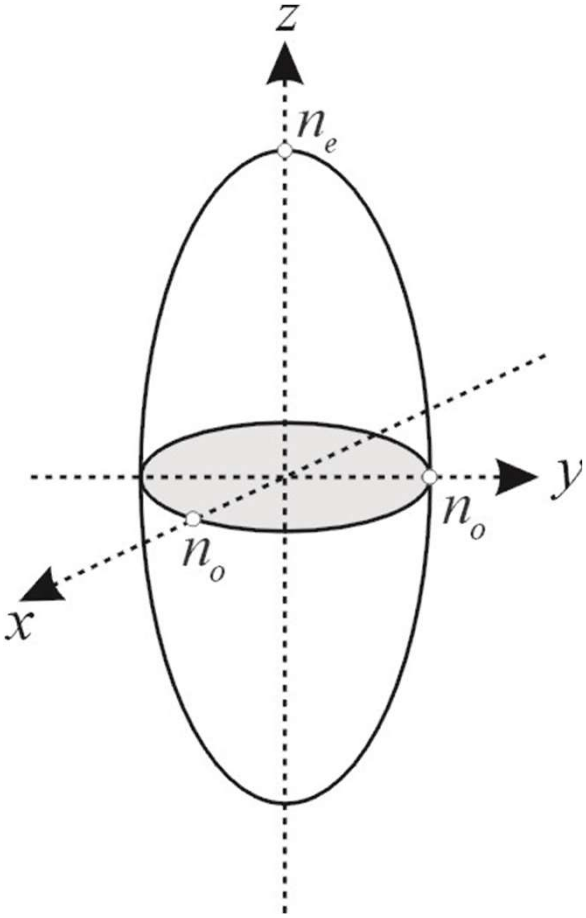


圖 1-2 液晶的介電常數異向性

(a)正型液晶 (b)負型液晶

液晶
極性分子





對於層列液晶和向列液晶而言

光行進方向

與液晶分子長軸平行時，速度為 v_e

與液晶分子長軸垂直時，速度為 v_o

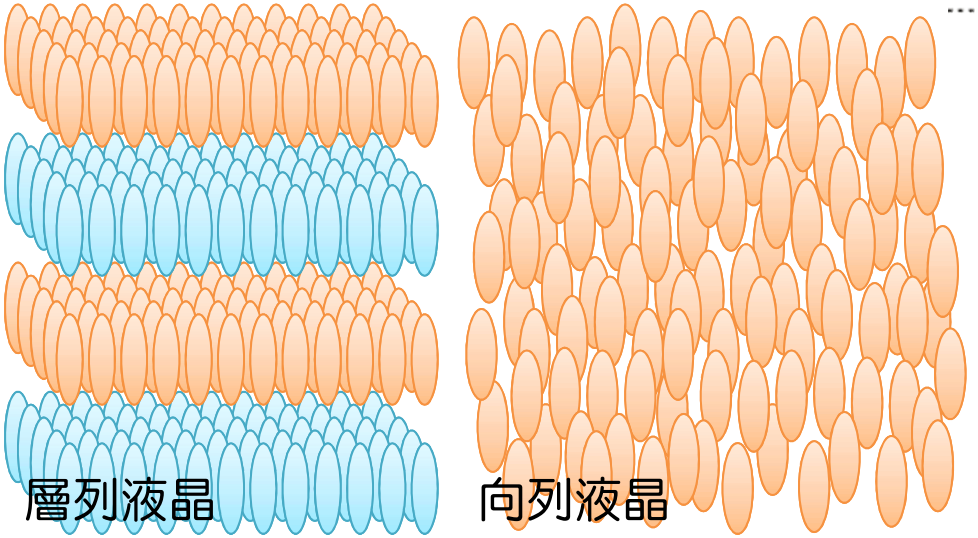
$v_e < v_o$

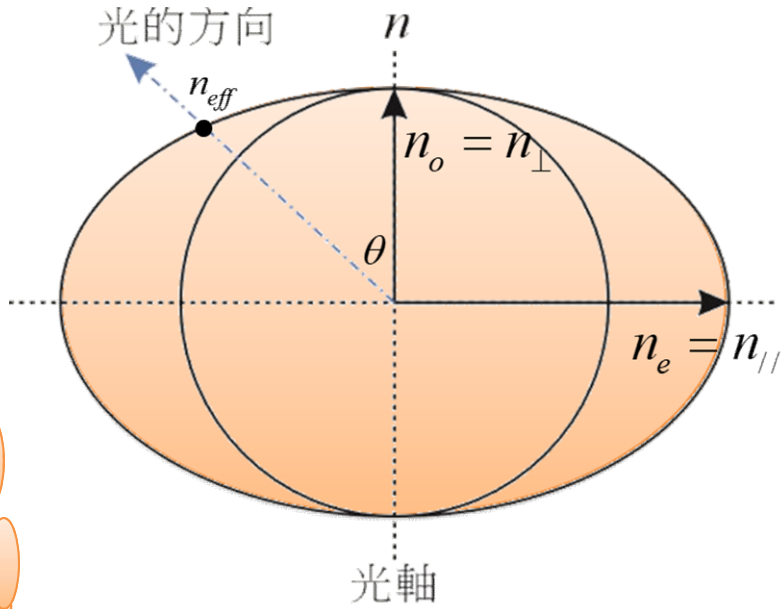
$$n = \frac{c}{v}$$

因為 $n_e = n_{//}$

$n_o = n_{\perp}$

所以 $\Delta n = n_e - n_o > 0$





(a)層列液晶和向列液晶

（光學正液晶）

$n_e - n_o > 0$

對於膽固醇液晶而言
與指向矢垂直的螺璇，相當於『光軸』（z軸）
當光的波長遠大於螺距時

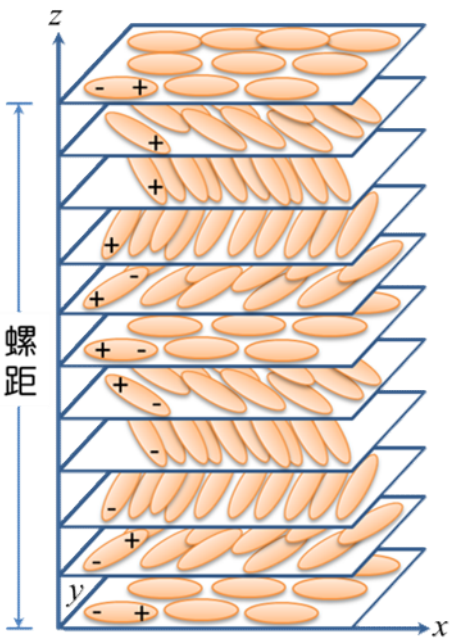
$$n_{//} > n_{\perp}$$

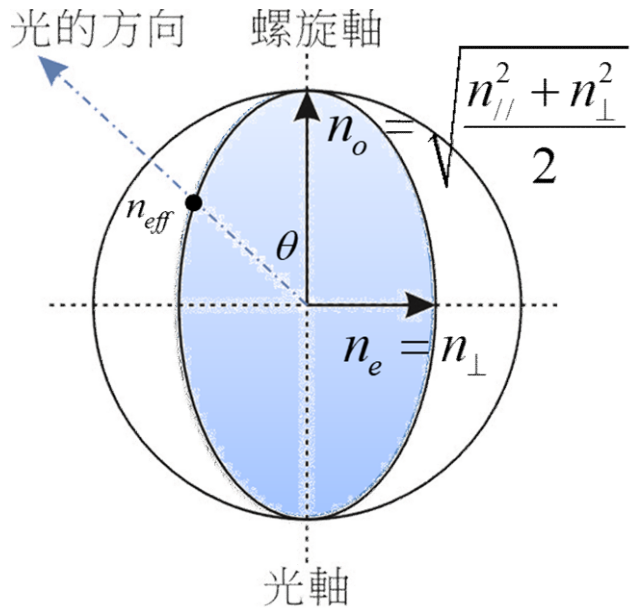
$$\Delta n = n_e - n_o < 0$$

$$n_o = \sqrt{\frac{n_{//}^2 + n_{\perp}^2}{2}}$$

$$n_e = n_{\perp}$$

膽固醇相液晶的指向矢 $\hat{n}$ 在空間（xy平面上）
不是固定的，而是呈螺旋狀週期排列。

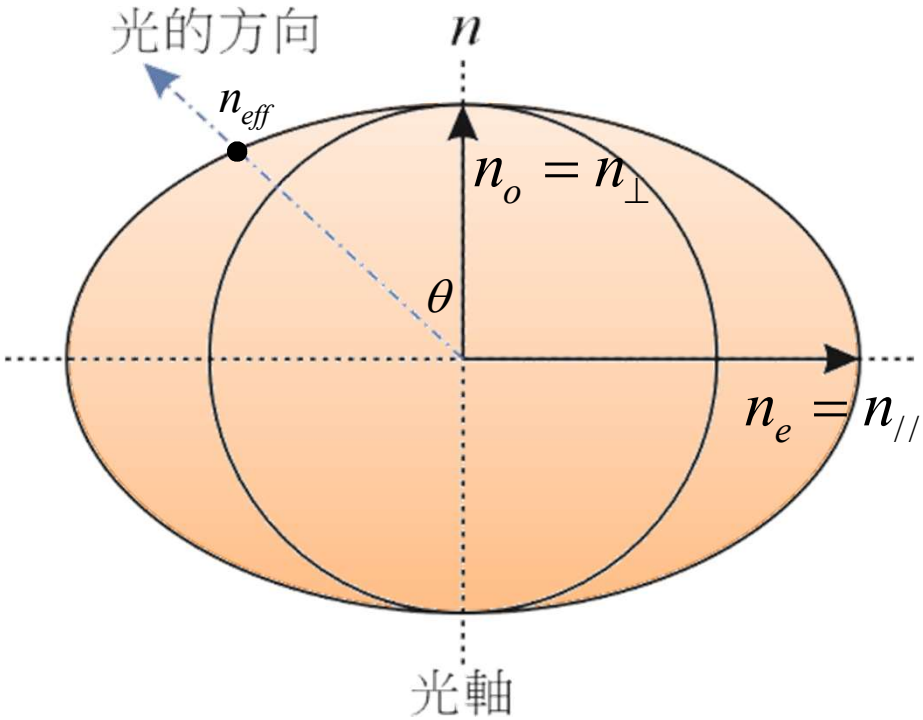




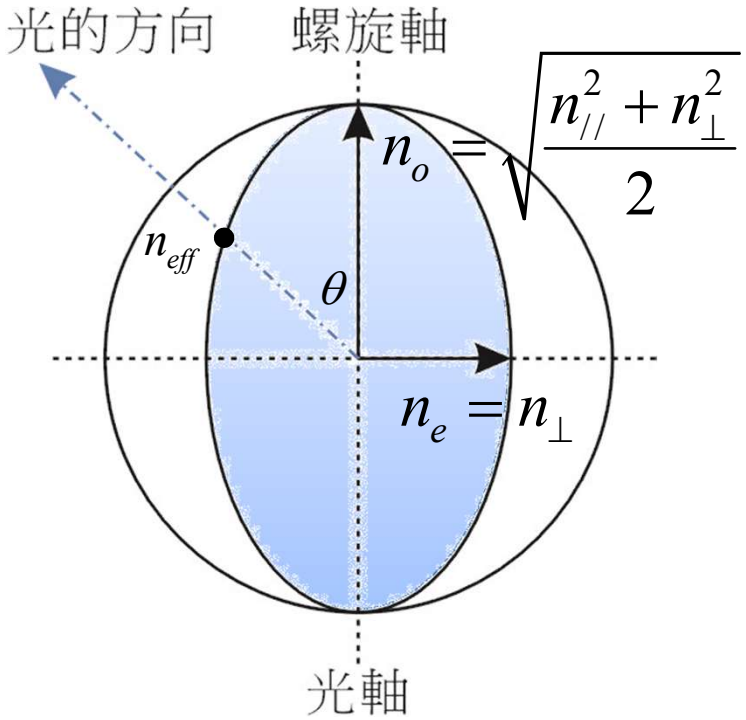
(b)膽甾相液晶
（光學負液晶）
$n_e - n_o < 0$

雙折射晶體中有一定
特定方向稱為光軸
（材料結構之對稱軸）

單軸性液晶折射率的各向異性

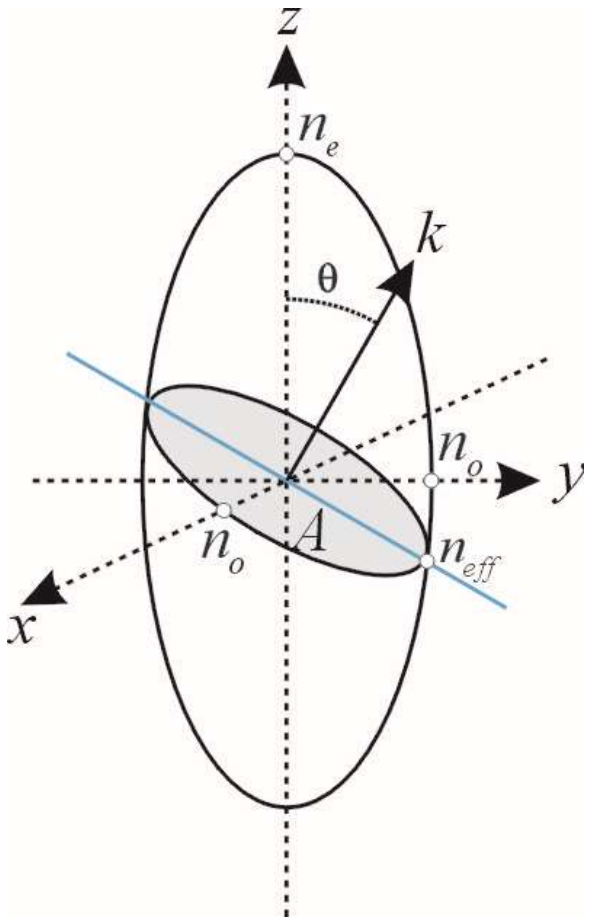


(a)層列液晶和向列液晶
（光學正液晶）
$n_e - n_o > 0$



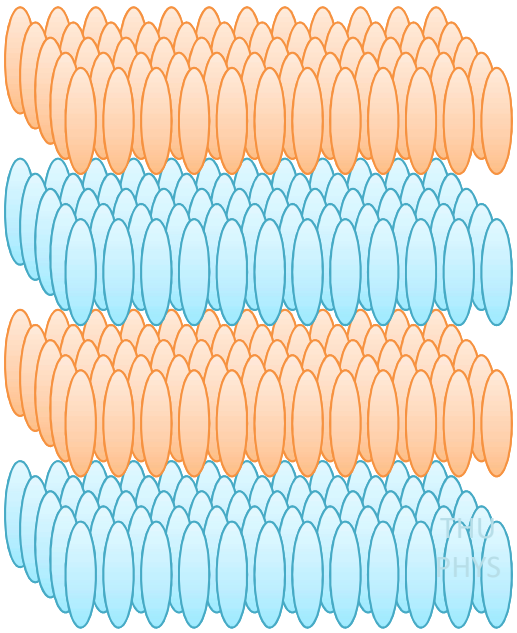
(b)膽甾相液晶
（光學負液晶）
$n_e - n_o < 0$

$$\frac{1}{n_{eff}^2} = \frac{\cos^2\theta}{n_0^2} + \frac{\sin^2\theta}{n_e^2}$$

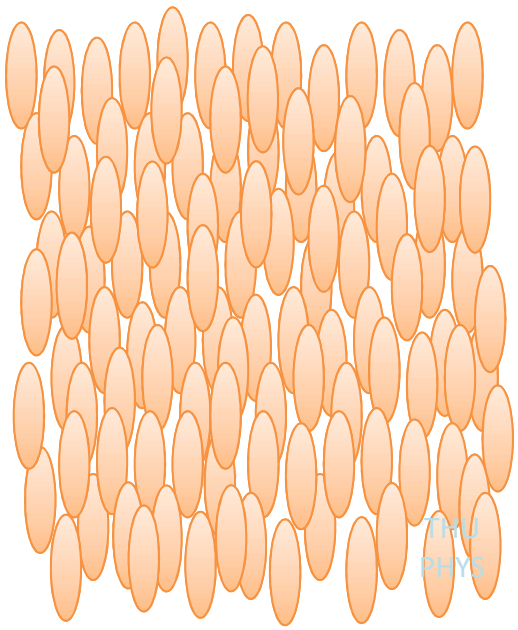


1922年，由G. Friedel利用偏光顯微鏡觀察到的結果，將液晶大致分為三類：

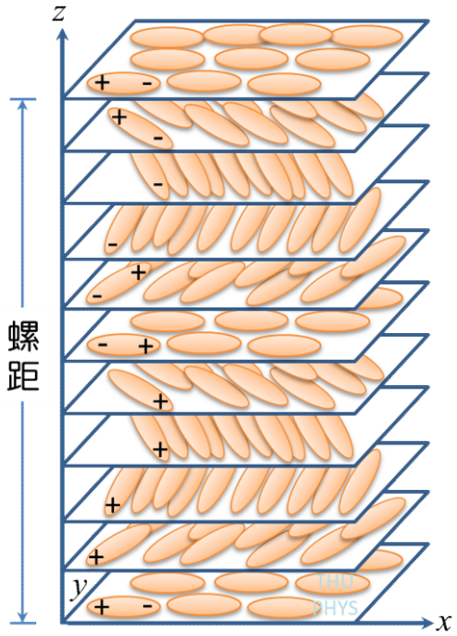
- 向列液晶（Nematic）
- 層列液晶（Smectic）
- 膽甾相液晶（Cholesteric）



層列液晶（Smectic）

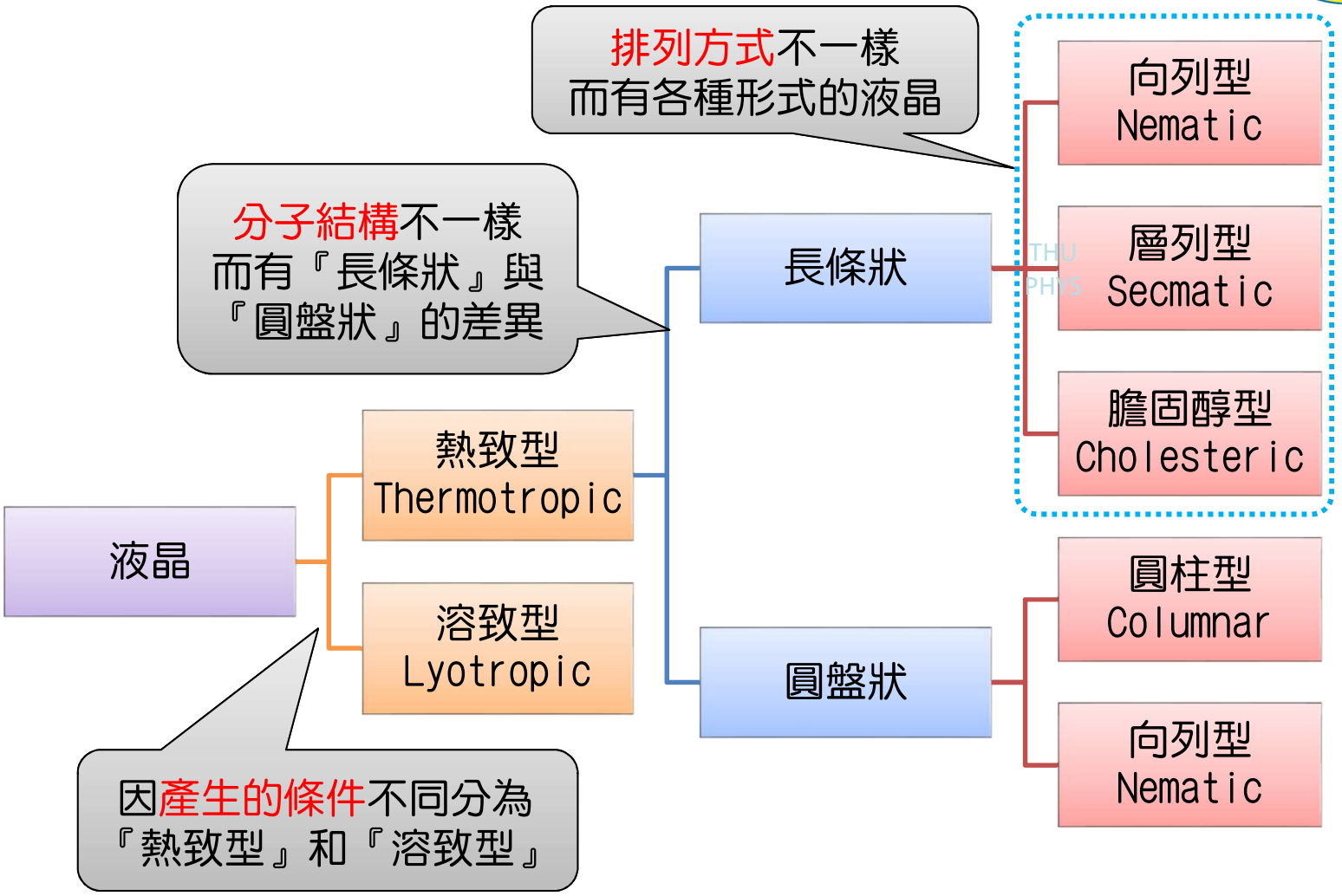


向列液晶（Nematic）



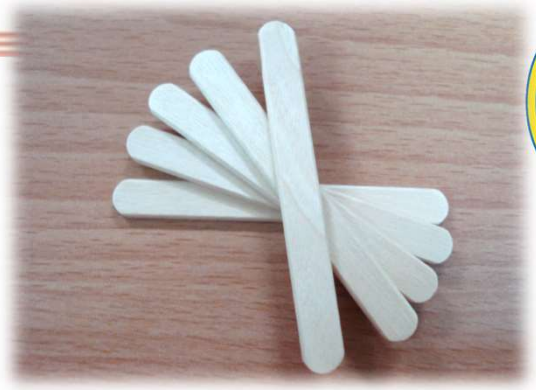
膽甾相液晶（Cholesteric）

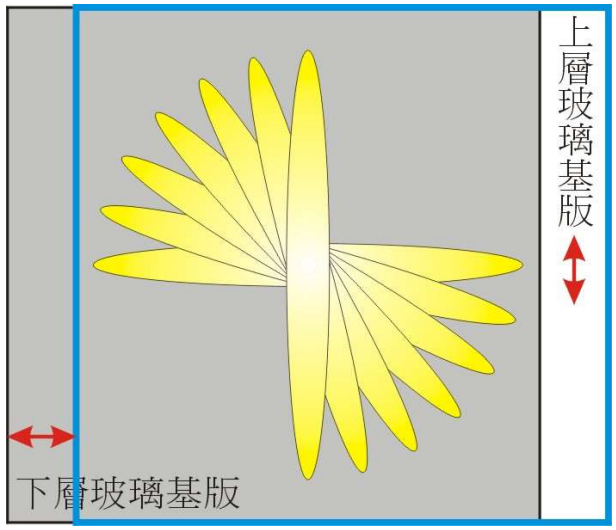
液晶的分類：

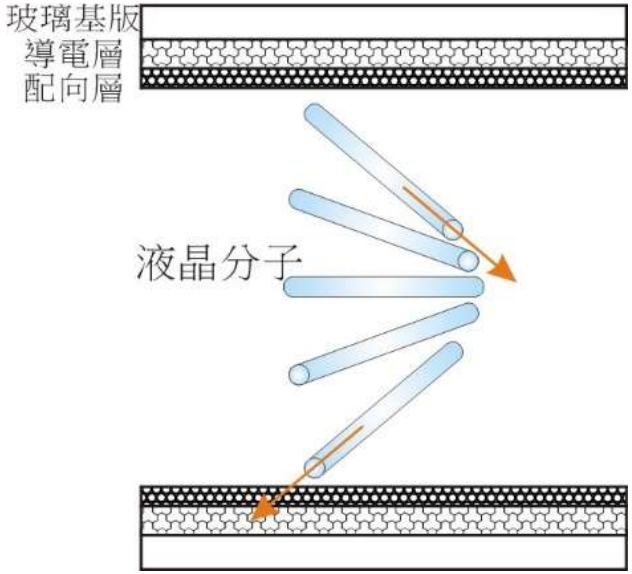

排列方式不一樣
而有各種形式的液晶
分子結構不一樣
而有『長條狀』與
『圓盤狀』的差異
因產生的條件不同分為
『熱致型』和『溶致型』
液晶
熱致型
Thermotropic
溶致型
Lyotropic
長條狀
圓盤狀
向列型
Nematic
層列型
Secmatic
膽固醇型
Cholesteric
圓柱型
Columnar
向列型
Nematic

扭轉向列效應（twisted nematic effect，TN效應）

TN效應是將所有的液晶晶體當作一個相位延遲版（Retardation plate），而將此液晶一端固定後另一端扭轉90°。

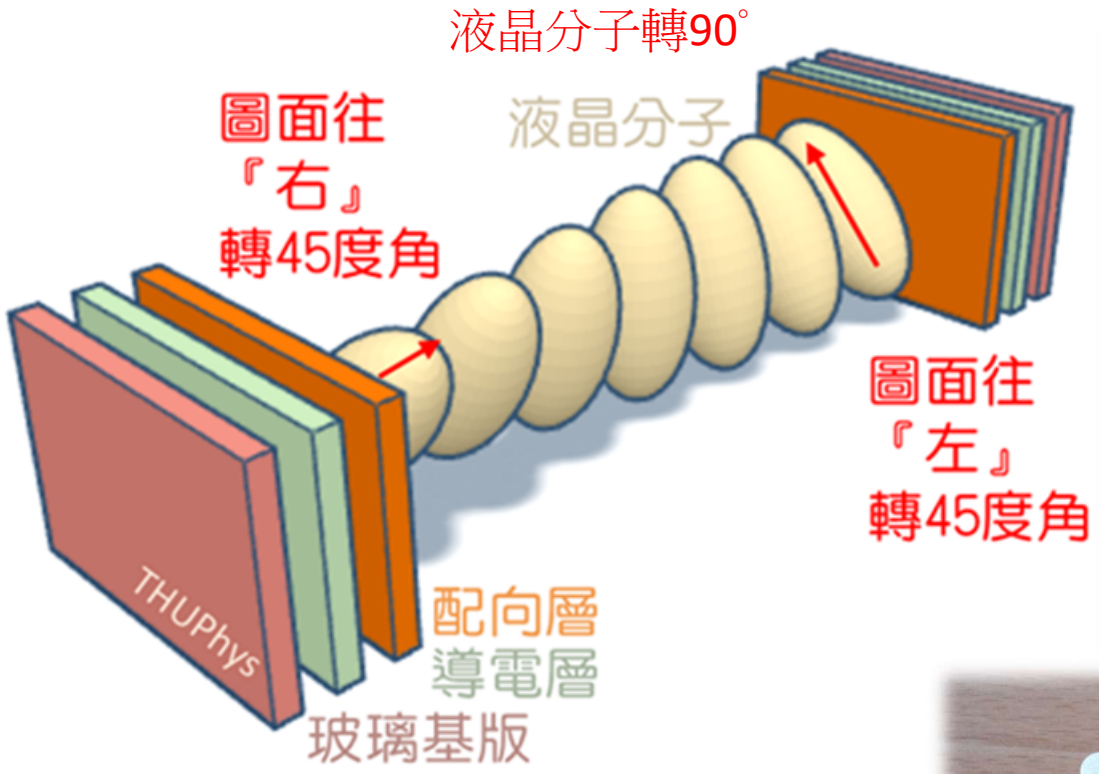


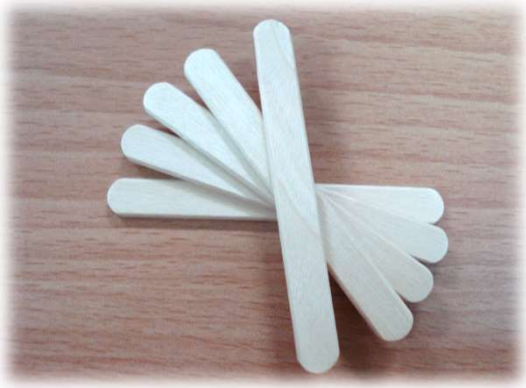




向列型液晶夾在兩片玻璃中間。這種玻璃的表面上先鍍有一層透明而導電的薄膜以作電極之用，如圖中的導電層。這種薄膜通常是一種銦（Indium）和錫（Tin）的氧化物（Oxide），簡稱ITO。在有ITO的玻璃上鍍表面配向劑，使液晶順著一個特定且平行於玻璃表面之方向排列。此元件中之液晶的自然狀態具有從上到下的扭曲，這也是為什麼被稱為扭曲型液晶顯示器的原因。

扭轉向列效應（twisted nematic effect，TN效應）



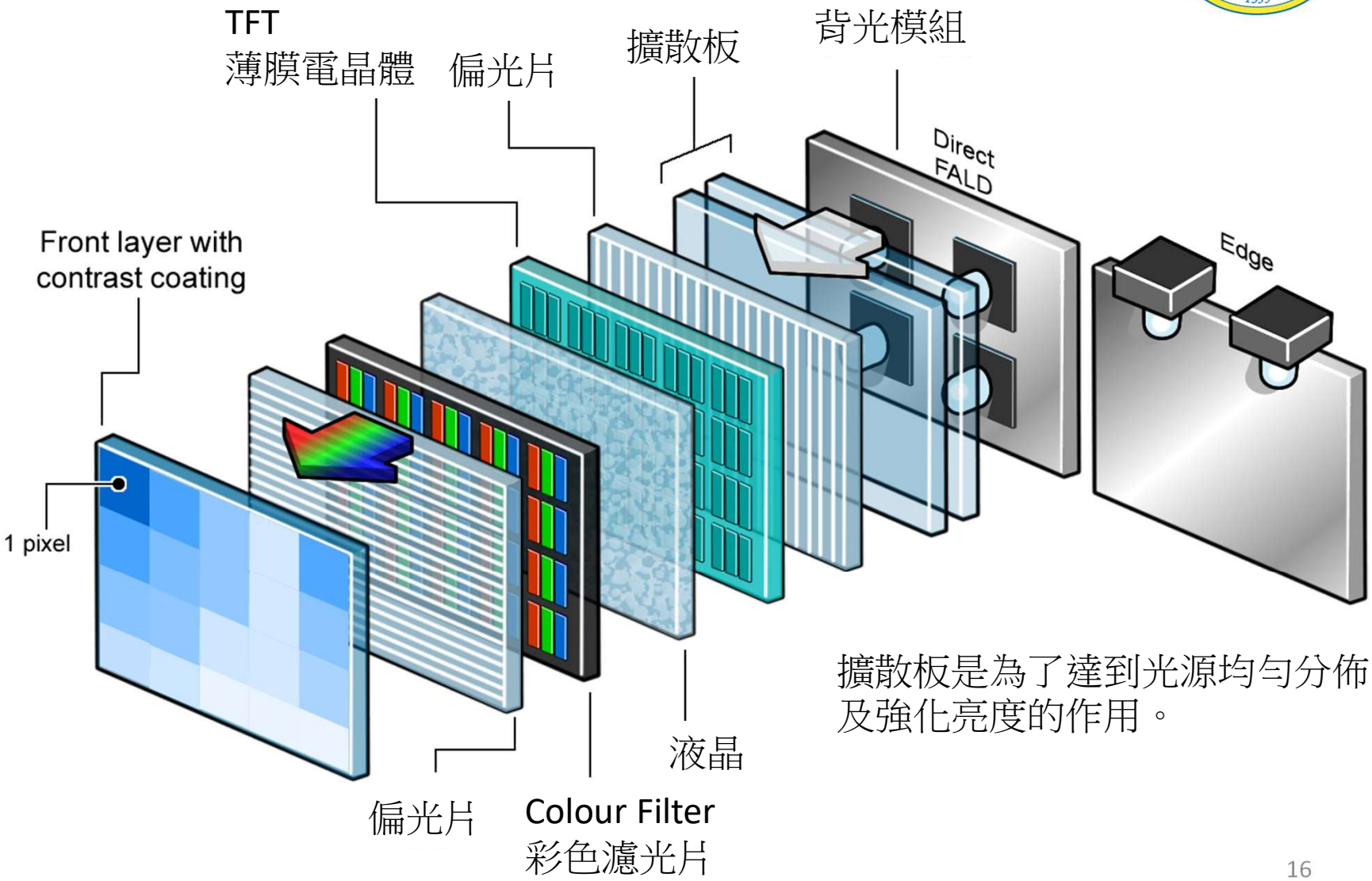


液晶顯示器原理

Sharp LCD Technology

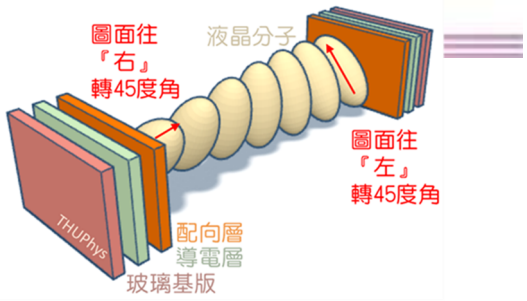
https://www.youtube.com/watch?v=uh9SqvBVRwk

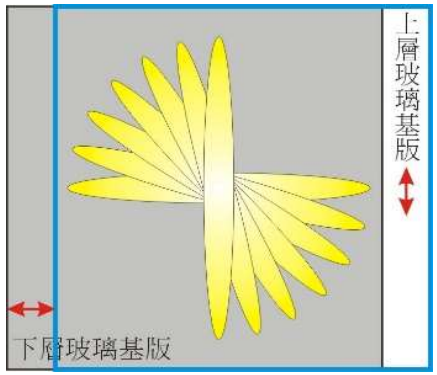
液晶顯示器原理

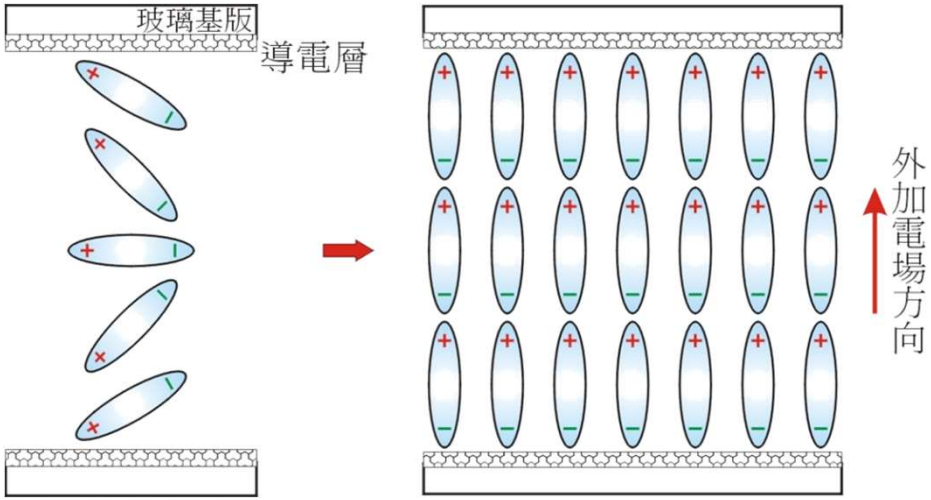


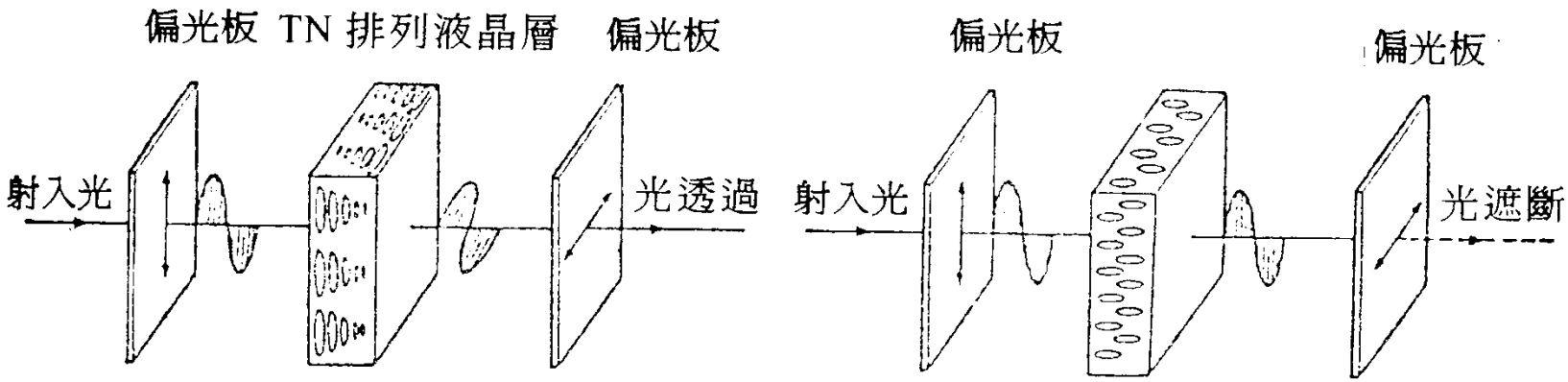
擴散板是為了達到光源均勻分佈及強化亮度的作用。

由於液晶晶體可視為電耦極（Electric dipole），晶體的頭和尾各為正負極，假如上下兩端加入夠大的電位差，則除了兩端被抓住的晶體無法偏轉外，其他的晶體會被吸成直立的以達到最低能量。



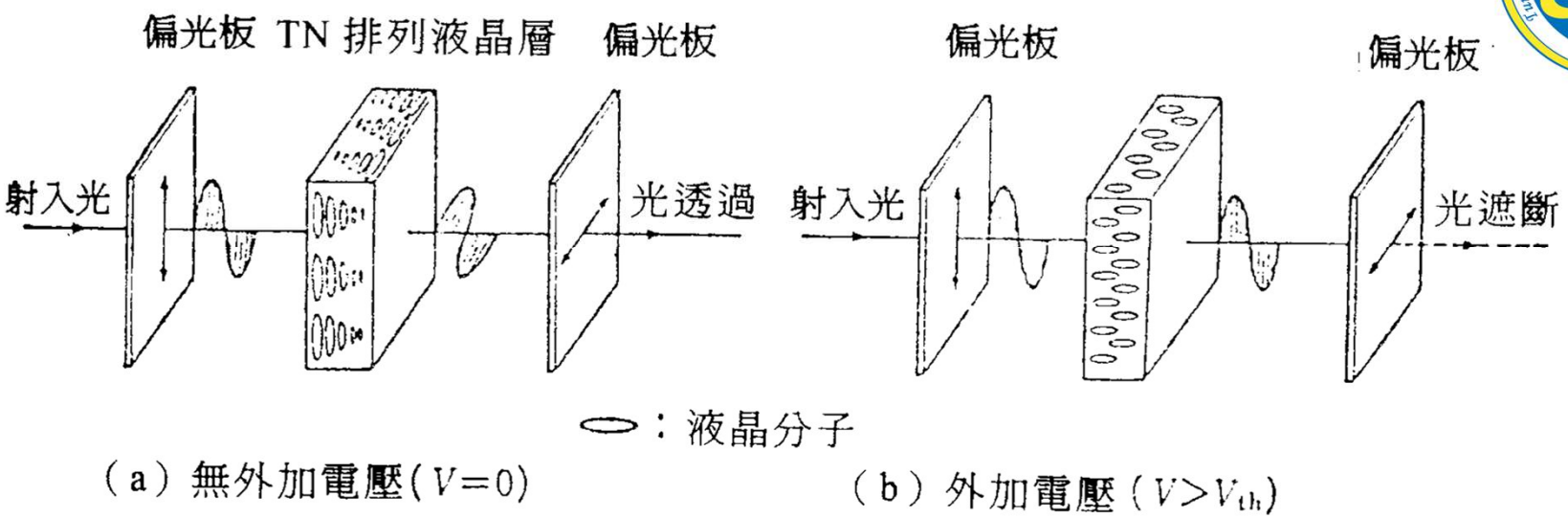


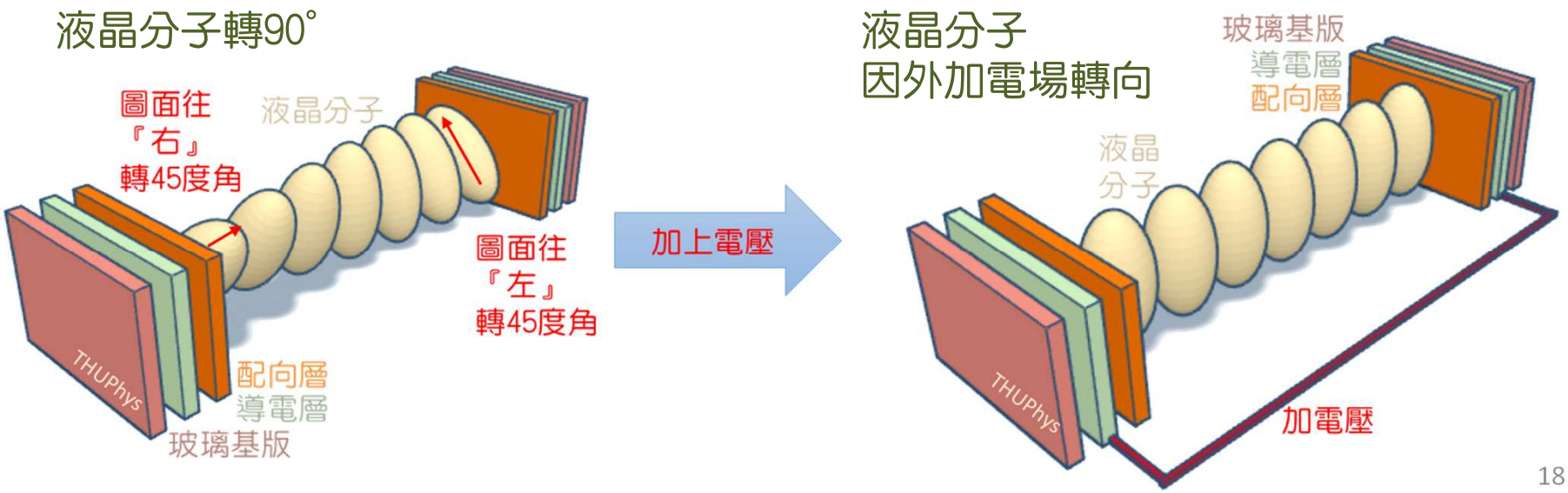




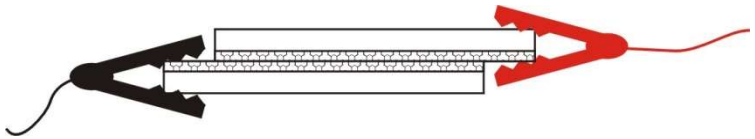
⬭：液晶分子

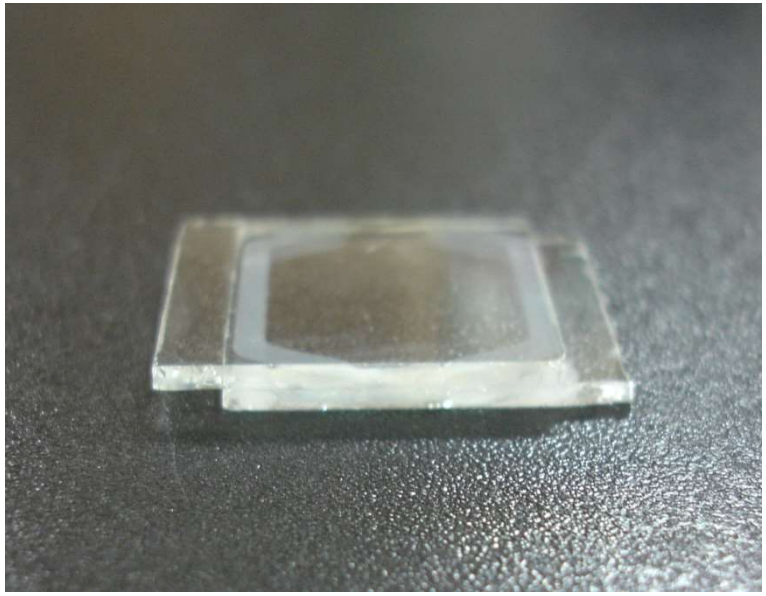
（a）無外加電壓（$V=0$）　　（b）外加電壓（$V>V_{th}$）


偏光板
TN 排列液晶層
偏光板
射入光
光透過
偏光板
偏光板
射入光
光遮斷
：液晶分子
（a）無外加電壓（$V=0$）
（b）外加電壓（$V>V_{th}$）

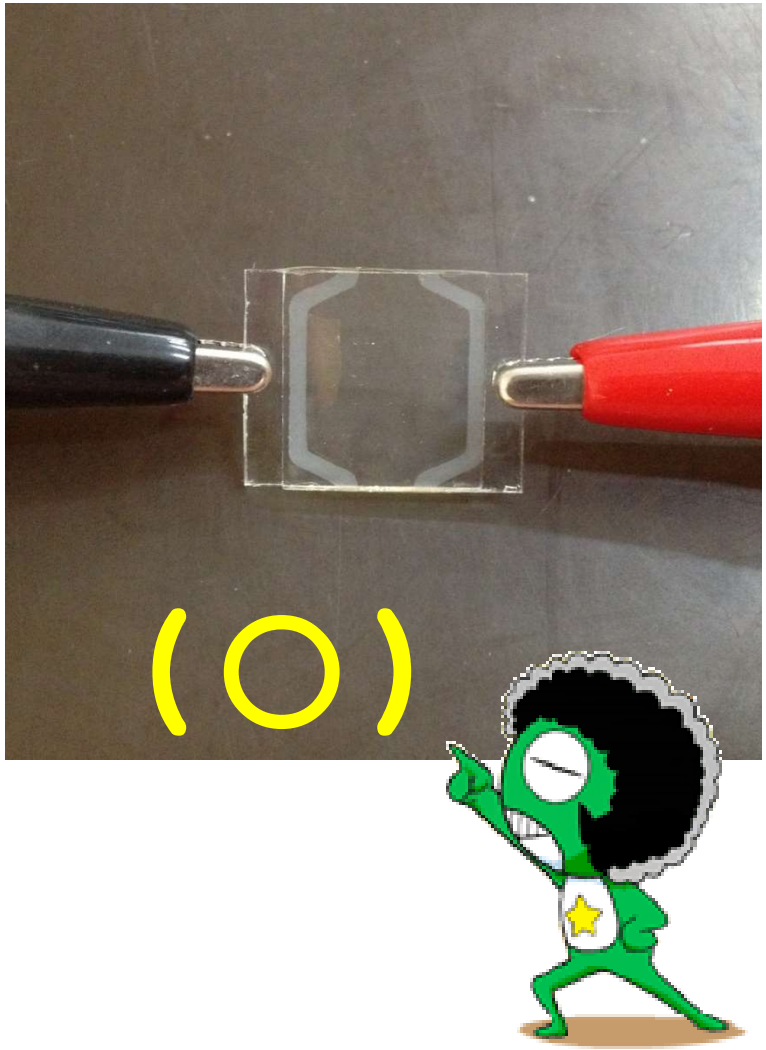

液晶分子轉90°
圖面往『右』轉45度角
液晶分子
圖面往『左』轉45度角
THUPhys
配向層
導電層
玻璃基版
加上電壓
液晶分子因外加電場轉向
玻璃基版
導電層
配向層
液晶分子
THUPhys
加電壓

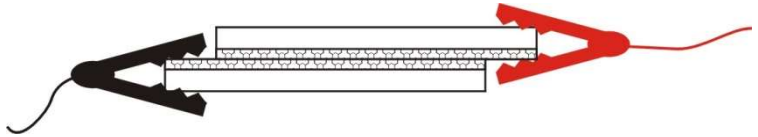
液晶加偏壓的方式

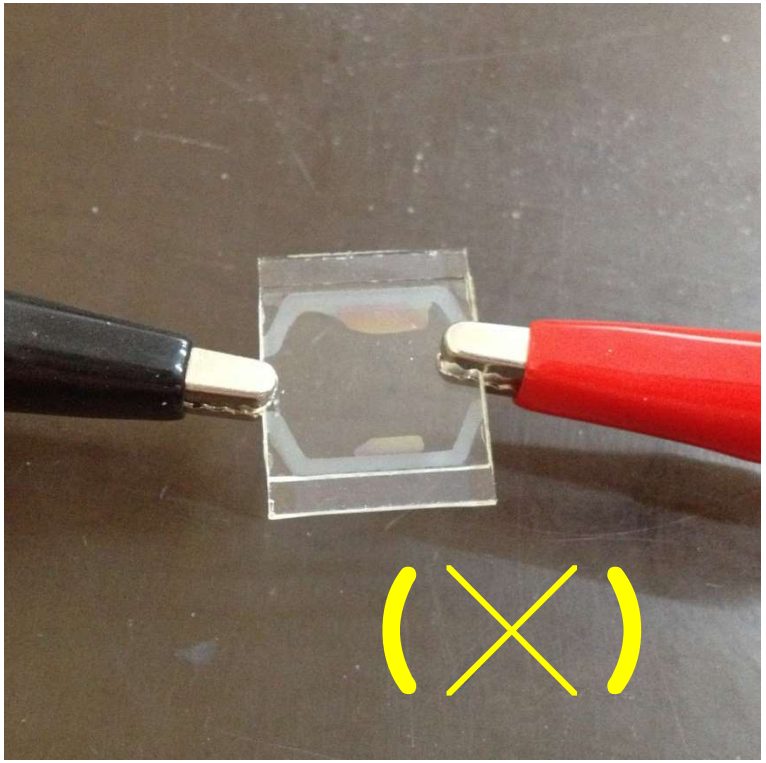


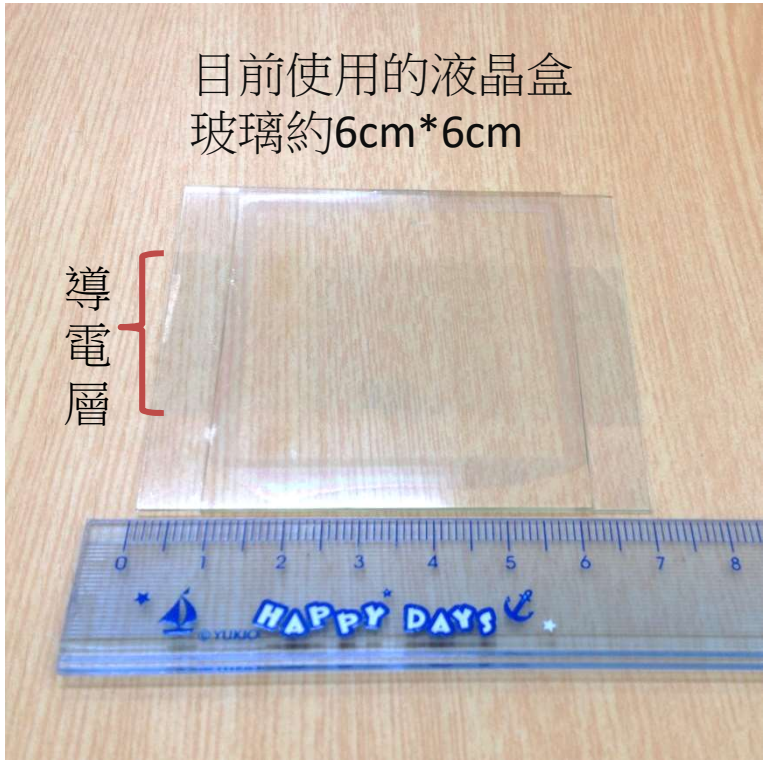


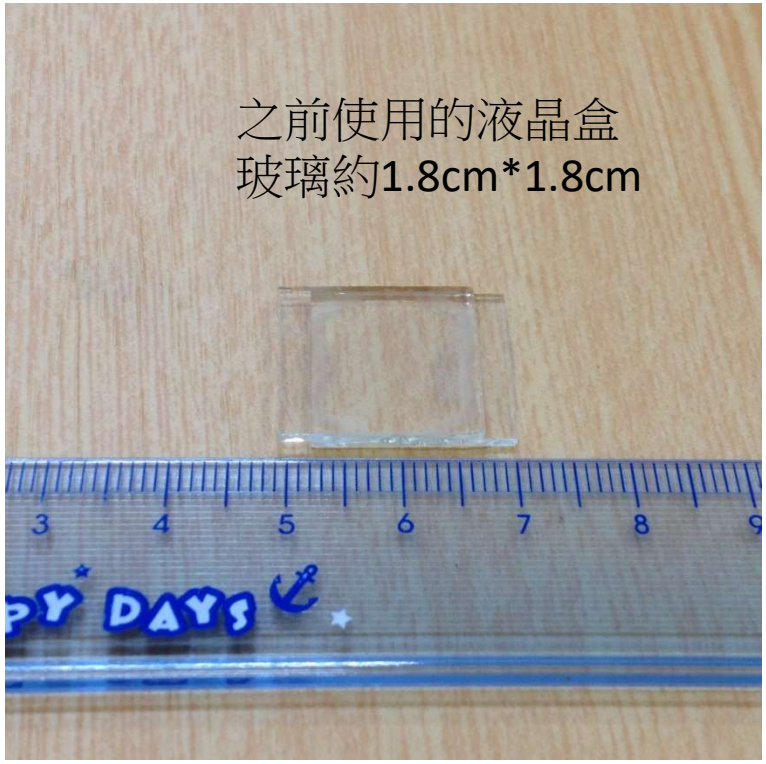
液晶加偏壓的方式

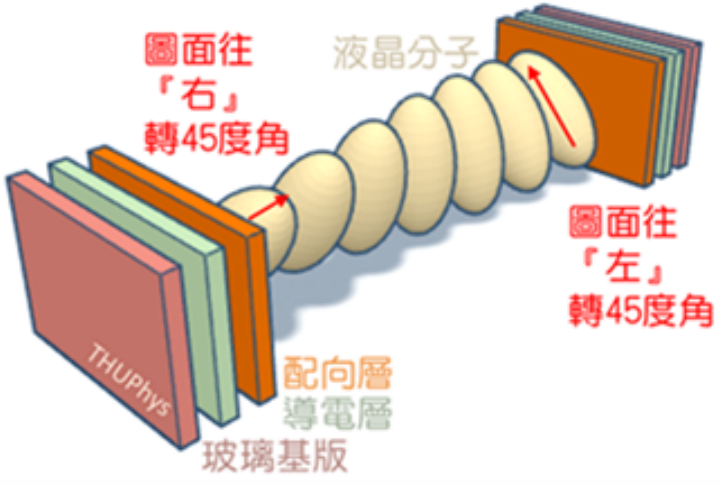







目前使用的液晶盒
玻璃約6cm*6cm
導
電
層
HAPPY DAYS

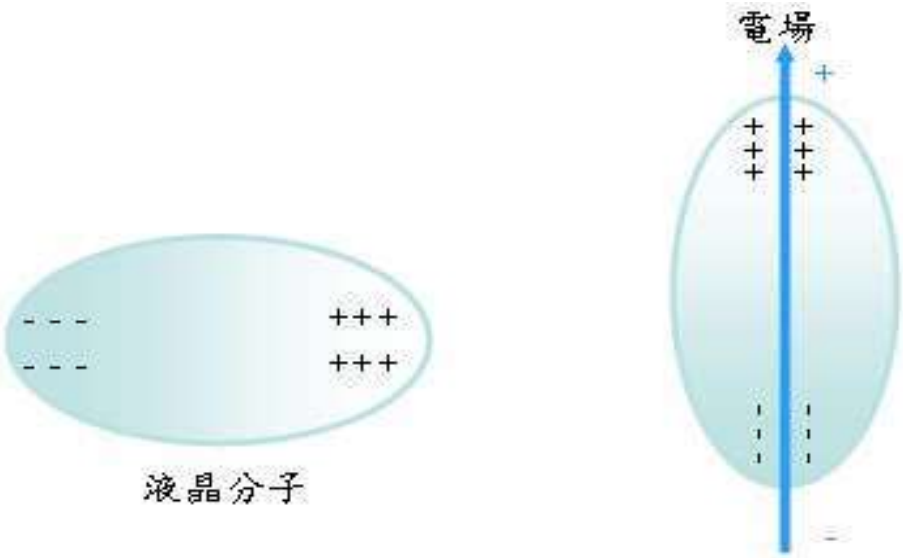

之前使用的液晶盒
玻璃約1.8cm*1.8cm
DAYS


圖面往
『右』
轉45度角
液晶分子
圖面往
『左』
轉45度角
THUPhys
配向層
導電層
玻璃基版

液晶不能給直流

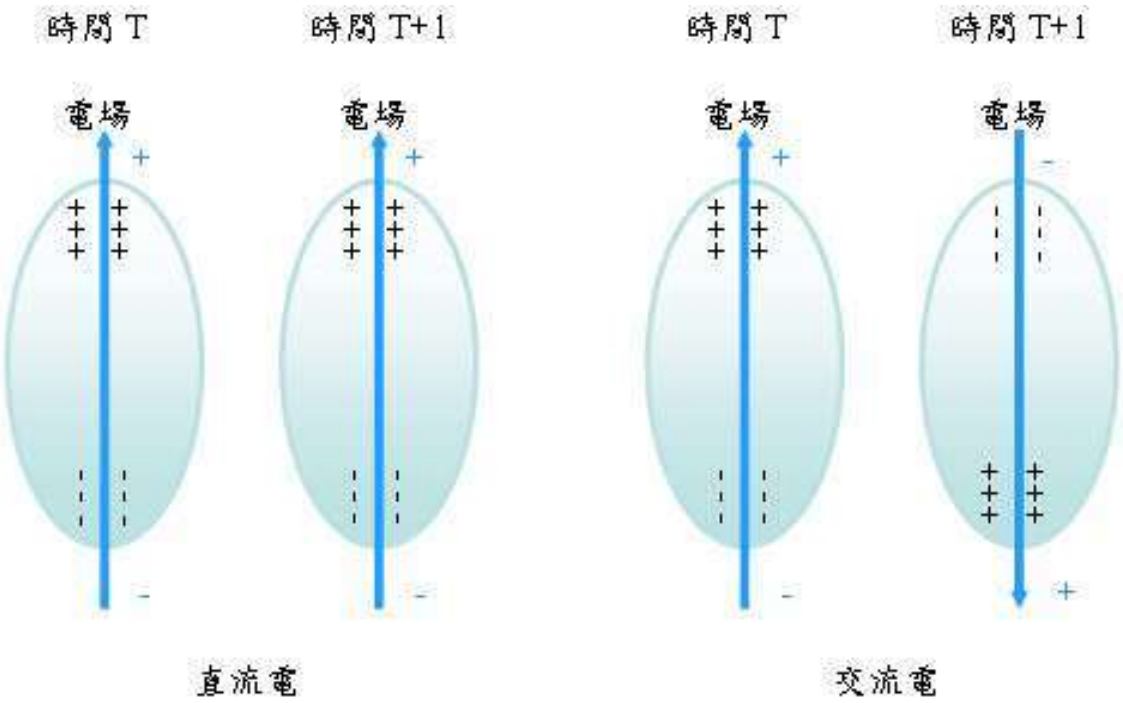
液晶顯示器中所使用的液晶材料，在不同位置與不同方向上具有不同折射率及介電係數，折射率的不同將造成液晶具有改變光偏振之能力，介電係數的不同將造成液晶因電場之影響而發生不同程度的轉動，因此，改變液晶材料的光偏振狀態，再搭配上偏光片後就能控制光線的通過量。

液晶材料本身並不導電，而且分子中的正電荷與負電荷是相互分開的，但如果給予液晶分子電場，就可以驅使液晶『站立』，進而達到控制液晶的目的。



液晶不能給直流

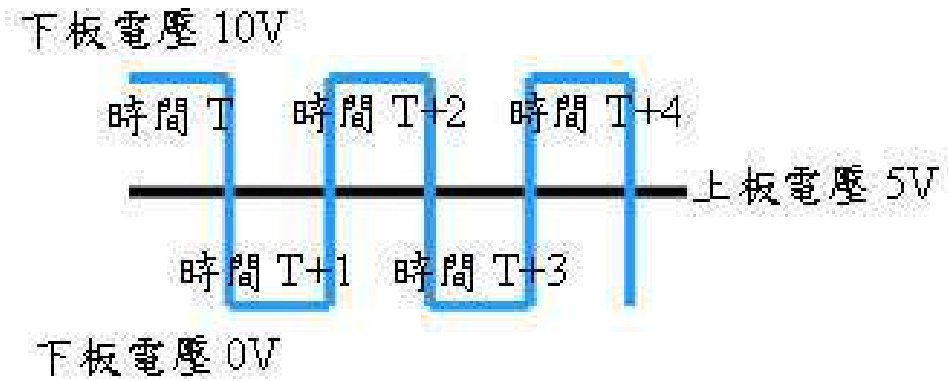
另外，若給予直流電，液晶分子中的電荷可能被固定，而形成偶極矩（Dipole），當正負電荷固定在液晶分子兩端時，將造成液晶之反應速度遲鈍，因此，若要使液晶動作，必須以交流電方式驅動。

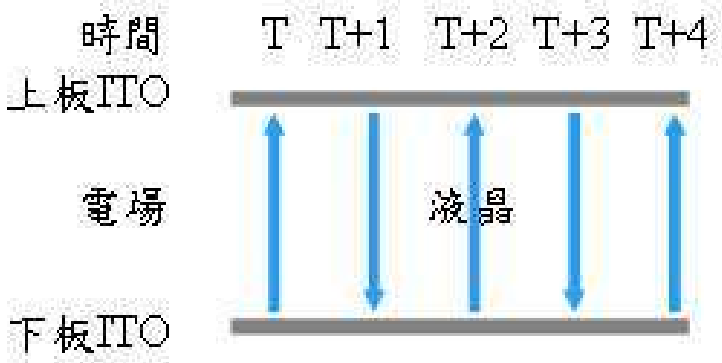


液晶不能給直流

若是液晶電容內所儲存的電荷殘留有直流成份，將使液晶分子中的正負電荷固定在液晶分子的兩端，在切換液晶傾斜角度時，液晶分子反應速度會變得遲緩，造成顯示影像發生殘影與畫面閃爍的現象。

液晶電容的上板與下板中間層夾著有液晶材料，在交流電的情況下，液晶電容上板與下板之間的電場方向就會不斷產生變化。



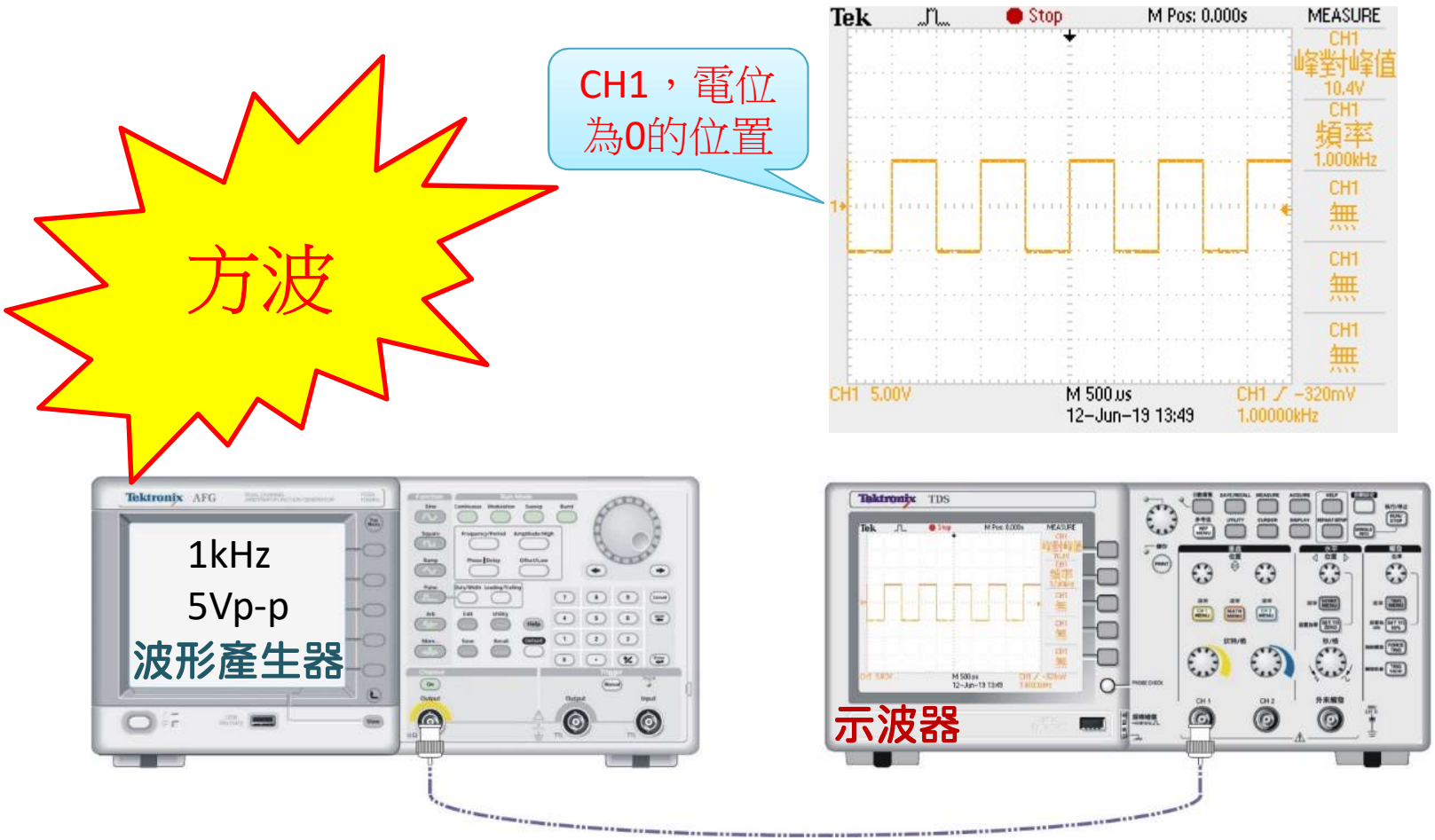


液晶電容

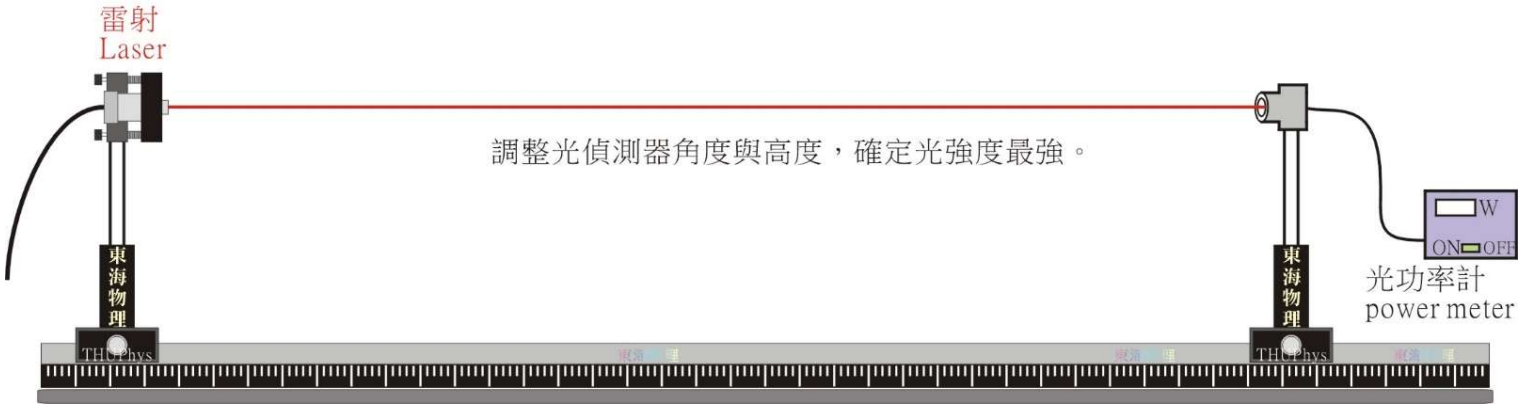
Part A（一）確定訊號產生器的輸出

輸出方波

因為液晶不能承受直流電流，因此，此步驟是為了確認輸出訊號。



Part A（二）確定訊號產生器的輸出



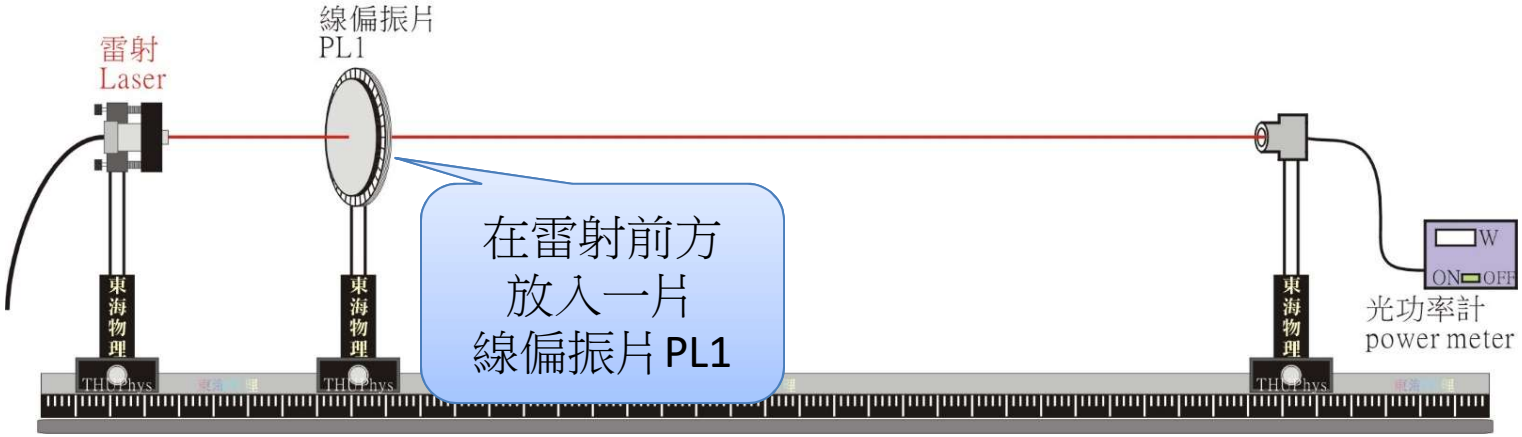
光功率計（Power meter）gentec UNO

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

在雷射前方放入一片線偏振片PL。旋轉PL，使得光偵測器量測為未飽和狀態。即...調整到訊號不是最強的狀態，或是說…先確定訊號最強強度（會量到3.2V，甚至會量到3.8V），再將訊號調弱一些。

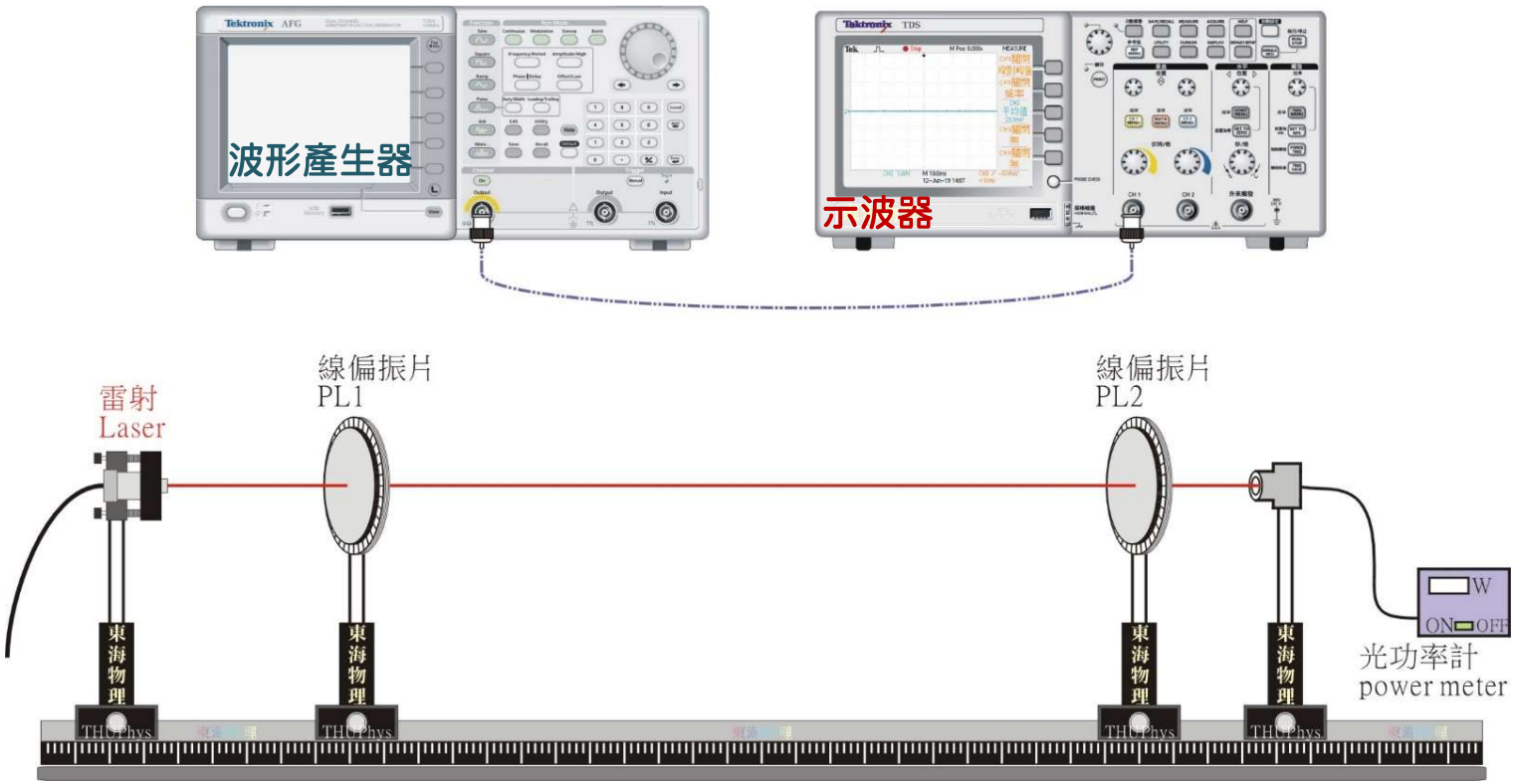
接著微調光偵測器，使得此時量測到的訊號最強。

再微微旋轉PL，使得量測到的訊號減弱一點點（此時確定光偵測器量到的訊號為未飽和狀態），用此雷射光束去做接下來的實驗。



Part A（二）確定訊號產生器的輸出

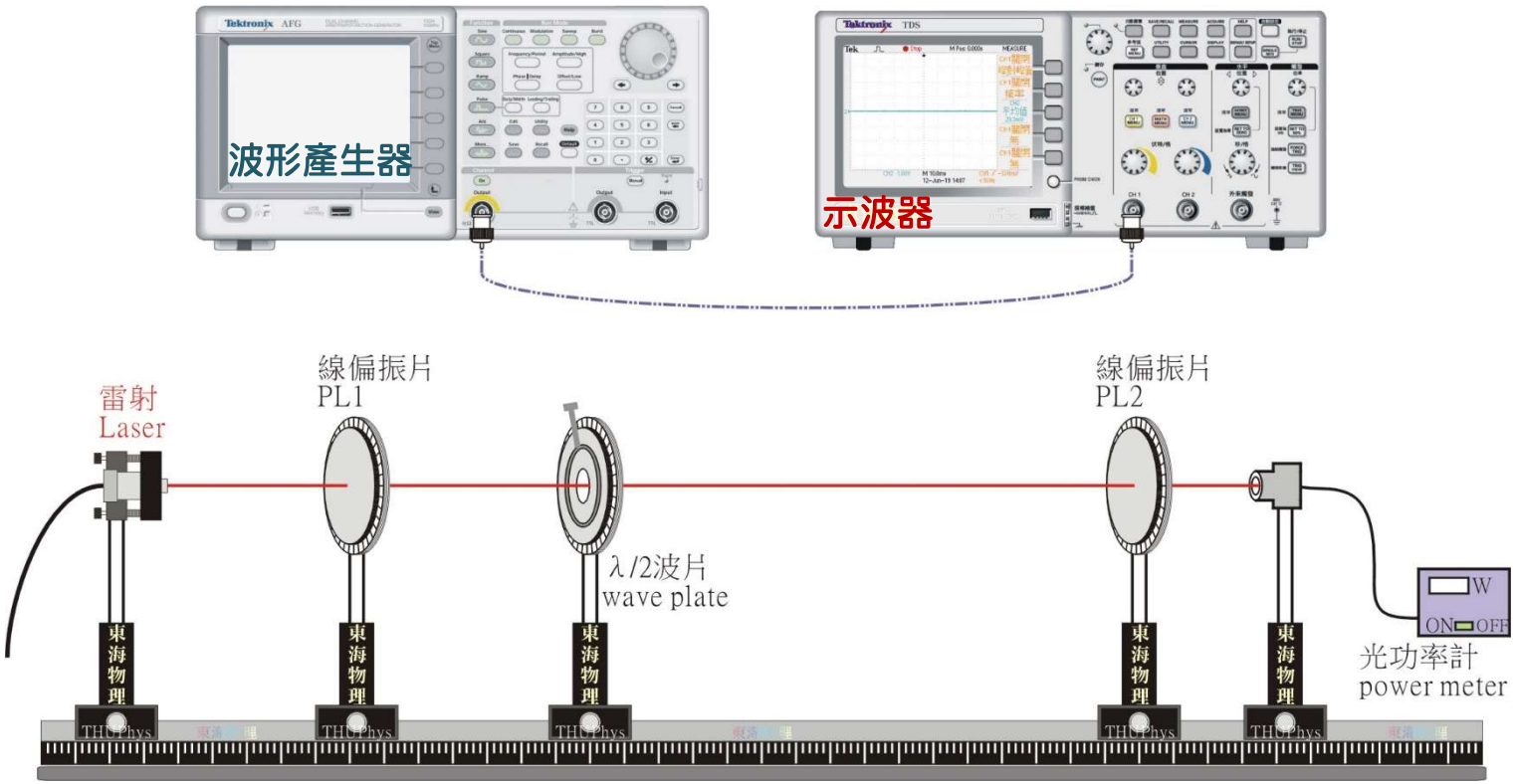
接著放入第二片偏振片（檢偏板），旋轉檢偏板，找到功率最小的位置，紀錄檢偏板刻度。
將此時的檢偏板刻度紀錄為角度90度。

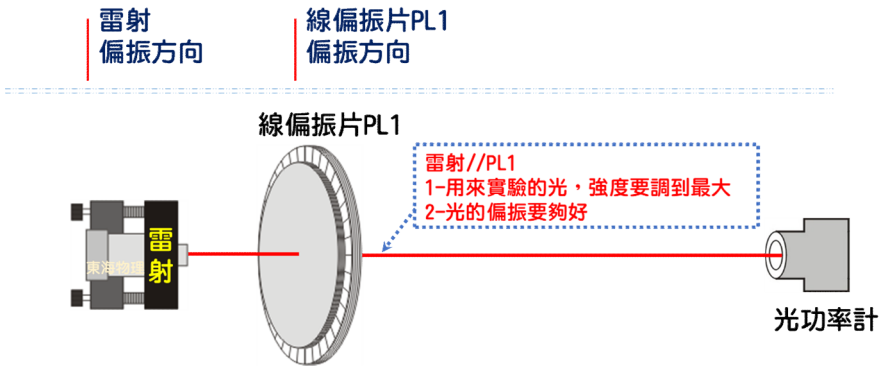


Part A：（二）確定λ/2波片
與偏振片角度的關係

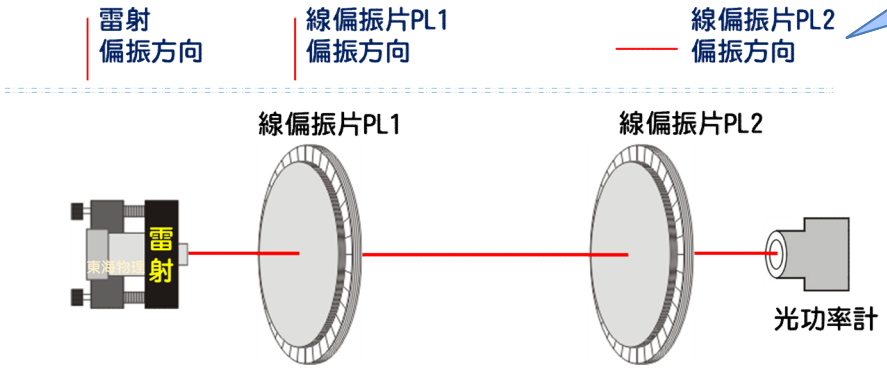
旋轉 λ/2波片，找到功率最小的位置，紀錄 波片的刻度。此時， λ/2波片主軸和雷射光的偏振方向是平行的。

將此時 λ/2波片的刻度紀錄為角度0度。

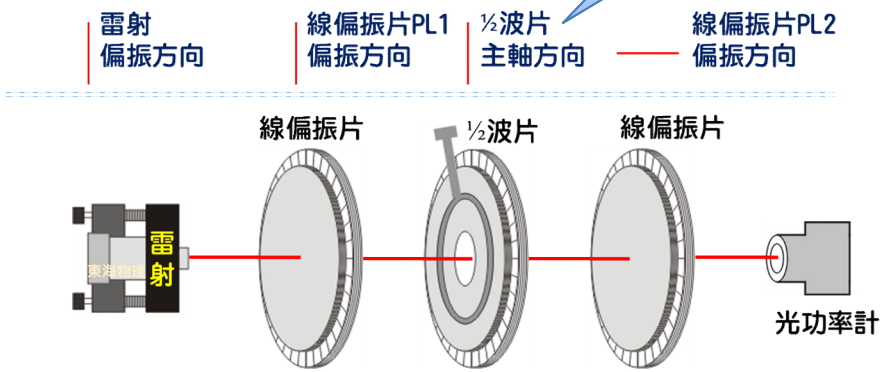




定義此時
線偏振片 PL2的刻
度為角度90度

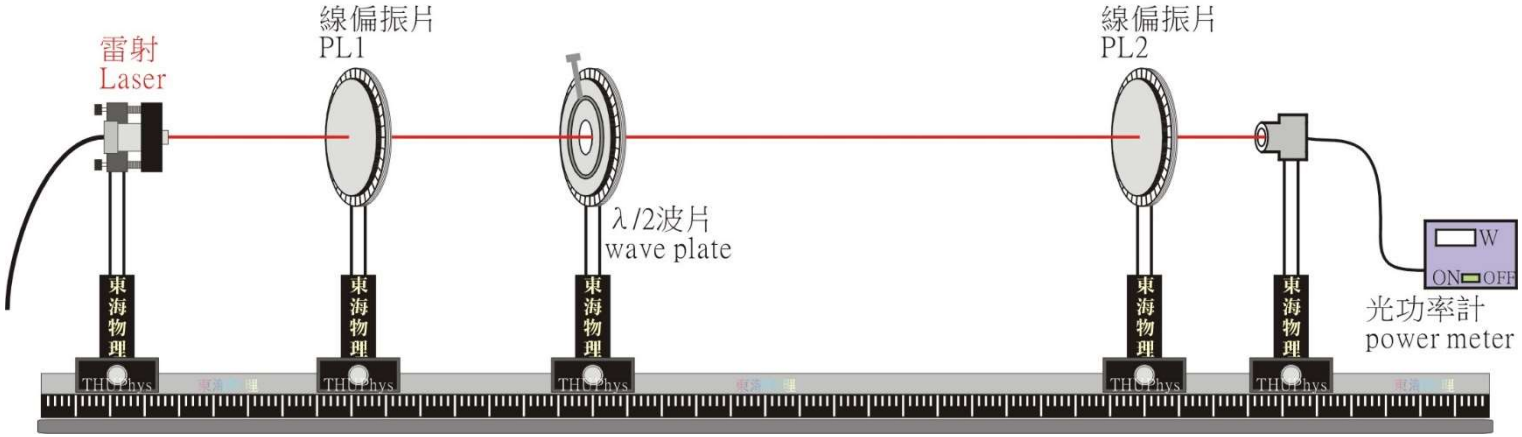


定義此時
1/2波片的刻度為
角度0度



Part A：（二）確定λ/2波片與偏振片PL2角度的關係

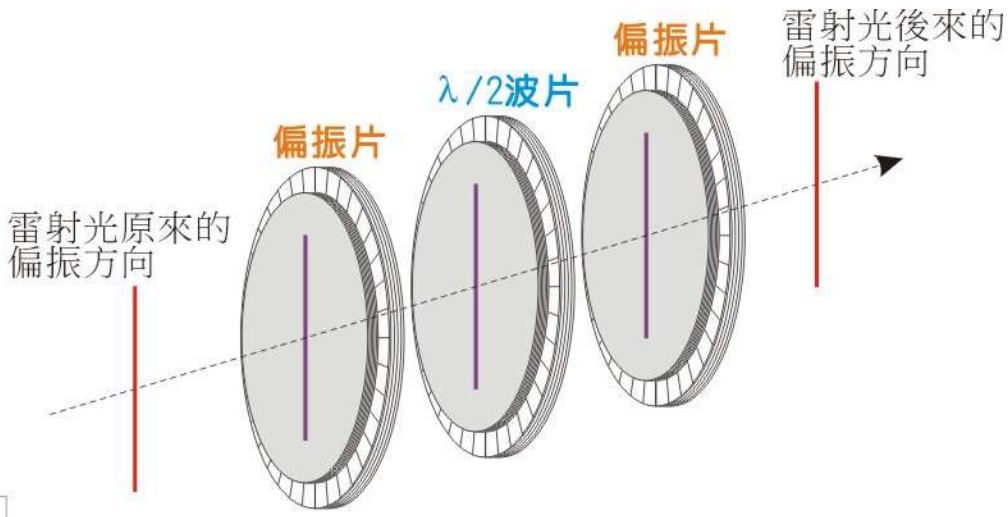
λ/2波片　順時針　轉 θ 角度
偏振片　順時針　要轉？角度
➲ 光偵測器量到的維持最小訊號

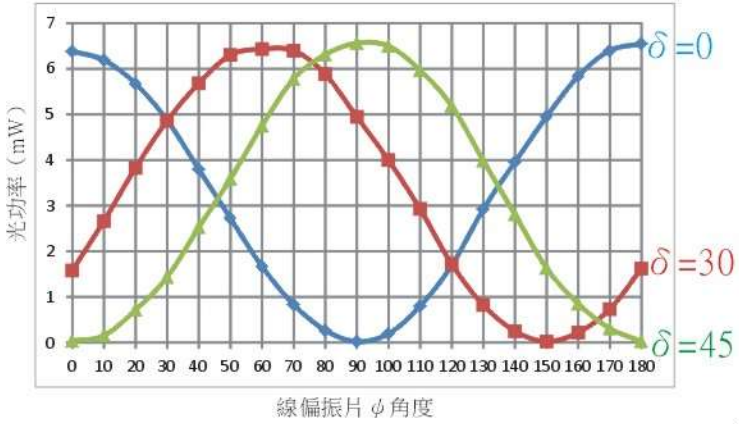


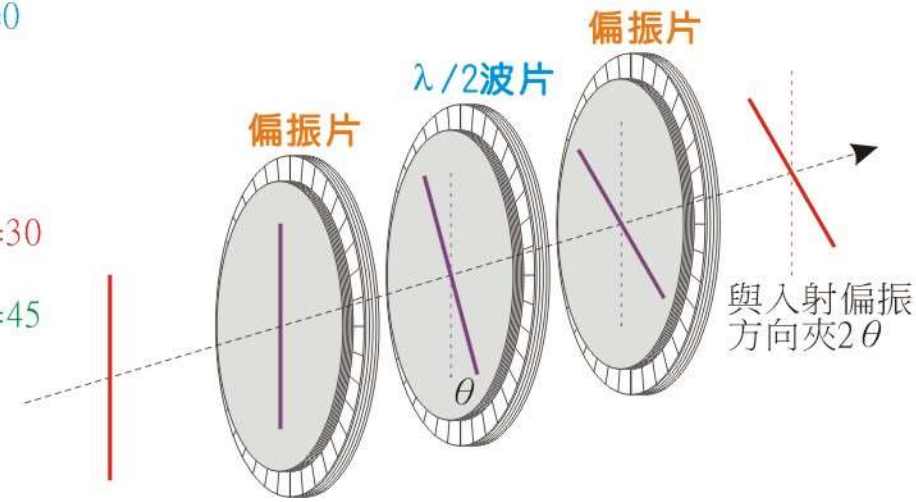
Part A：（二）確定λ/2波片與偏振片PL2角度的關係
偏振實驗-關於λ/2波片

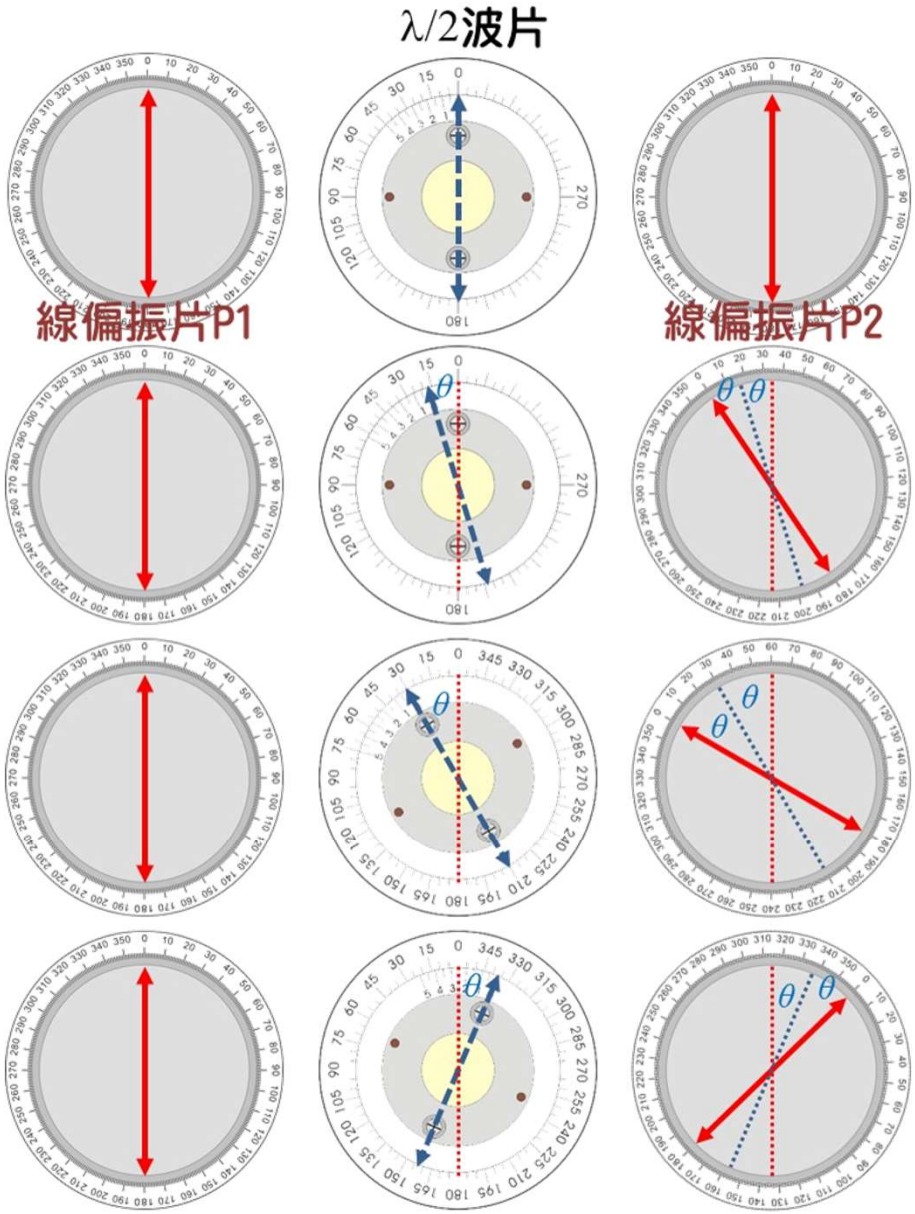
入射光是線偏振~

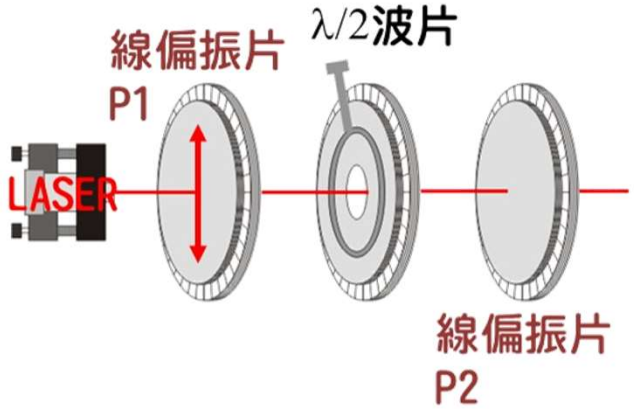
出射光一樣是【線偏振】
但...偏振方向不一樣！！



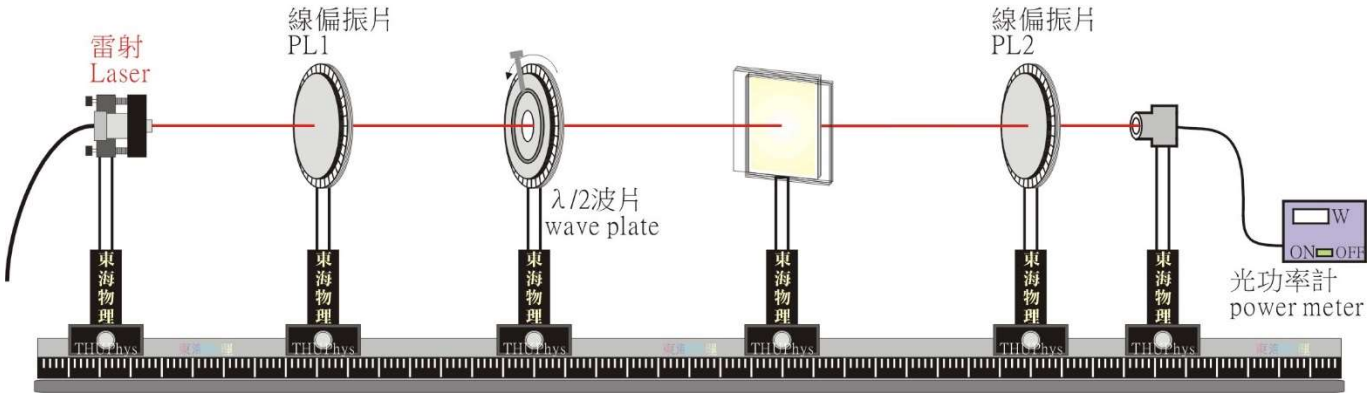





λ/2波片
線偏振片P1
線偏振片P2


線偏振片
P1
λ/2波片
LASER
線偏振片
P2

Part A：（三）液晶兩端不加偏壓

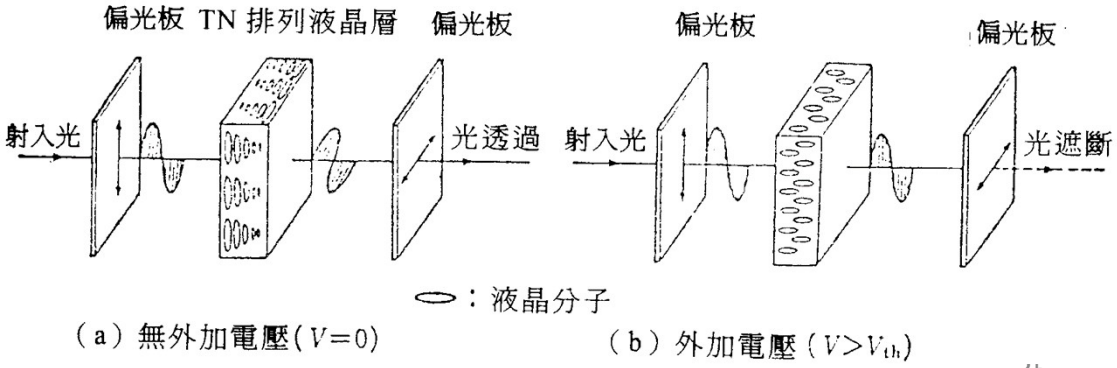


液晶兩端不加偏壓

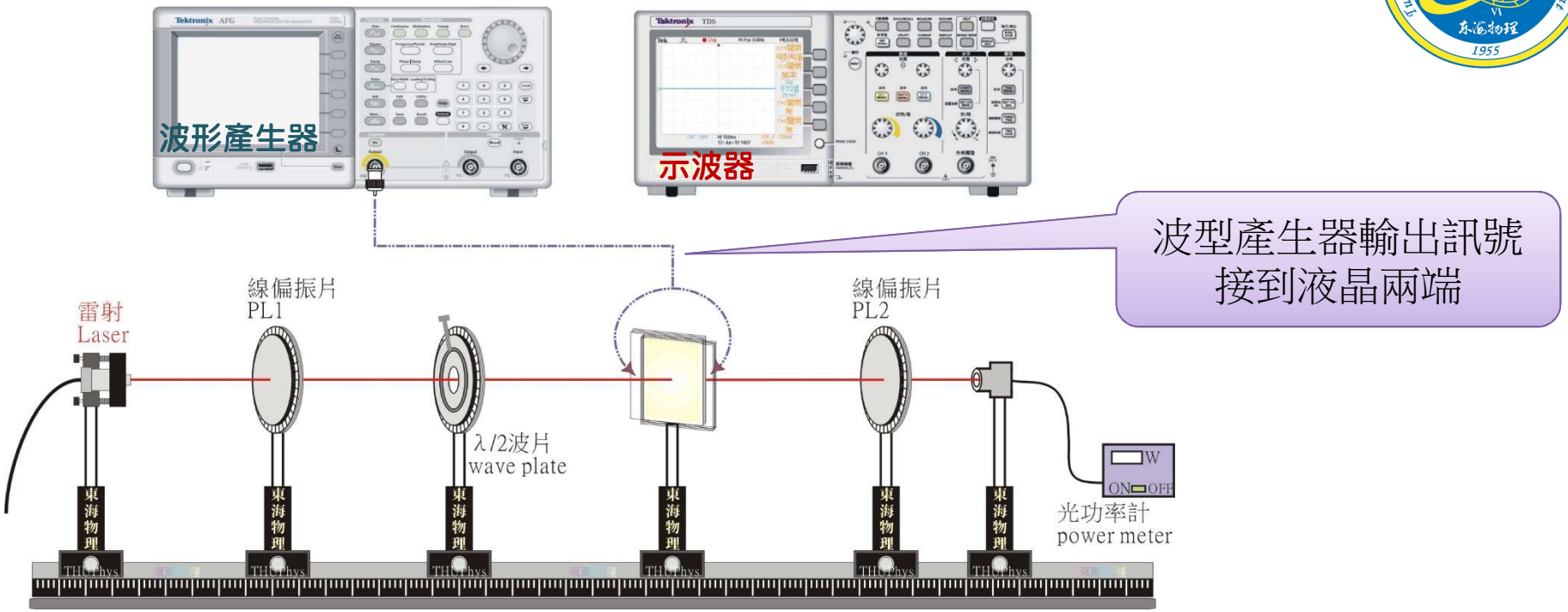
【λ/2波片】⊥【偏振片】

➲ 光偵測器量到的是最強訊號

➲ （DC訊號）



Part A：（三）液晶兩端不加偏壓

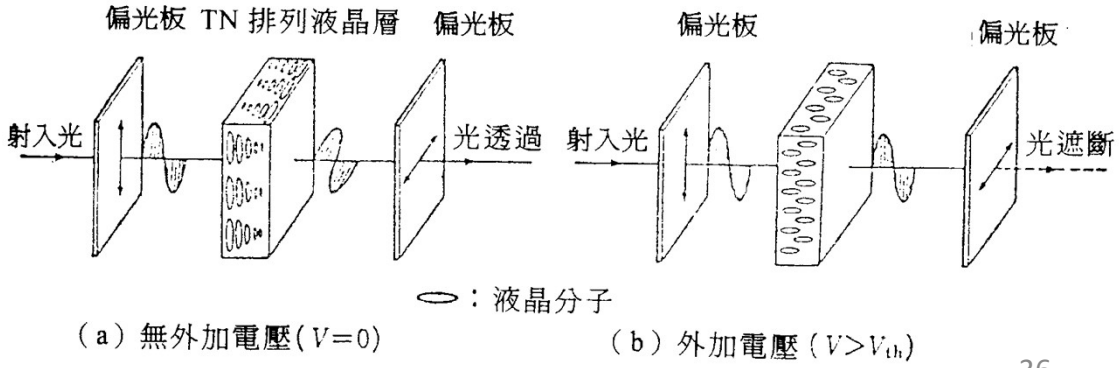


液晶兩端不加偏壓

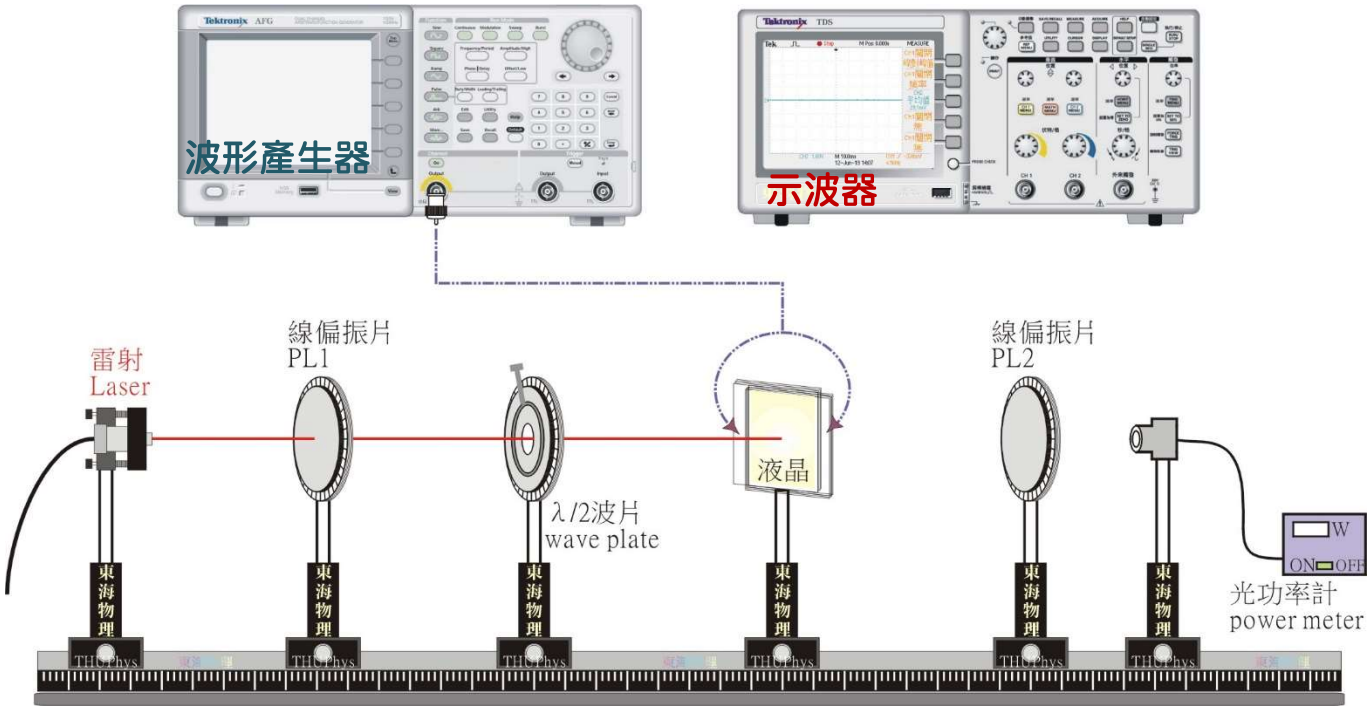
【λ/2波片】⊥【偏振片】

➲ 光偵測器量到的是最強訊號

➲ （DC訊號）



Part A：液晶兩端加偏壓4V-p-p

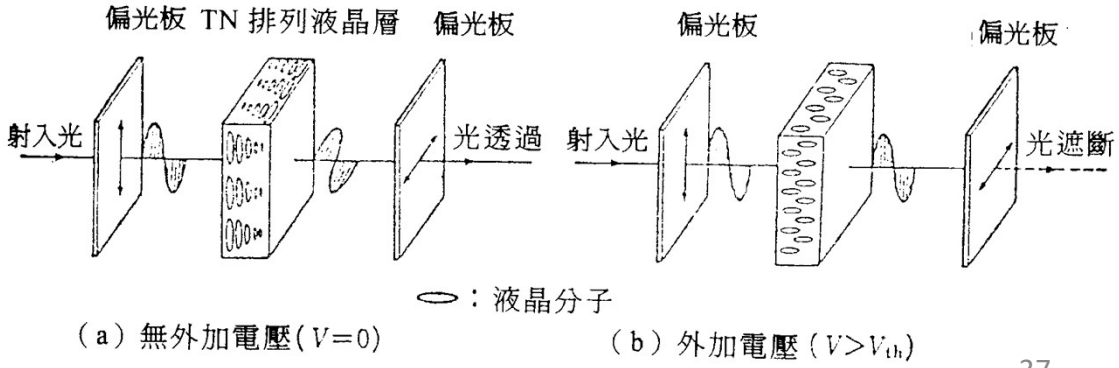


液晶兩端加偏壓

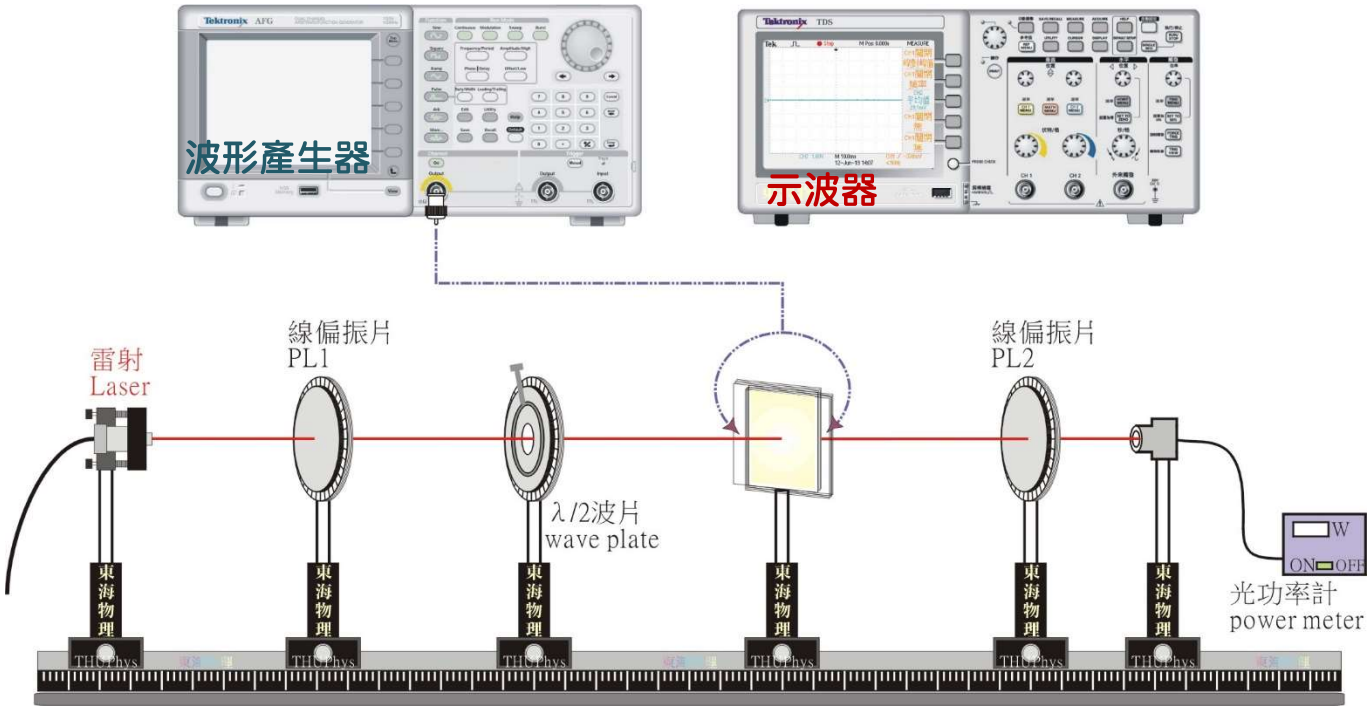
【λ/2波片】⊥【偏振片】

➲ 光偵測器量到的是最弱訊號

➲ （DC訊號）



Part B：改變電壓



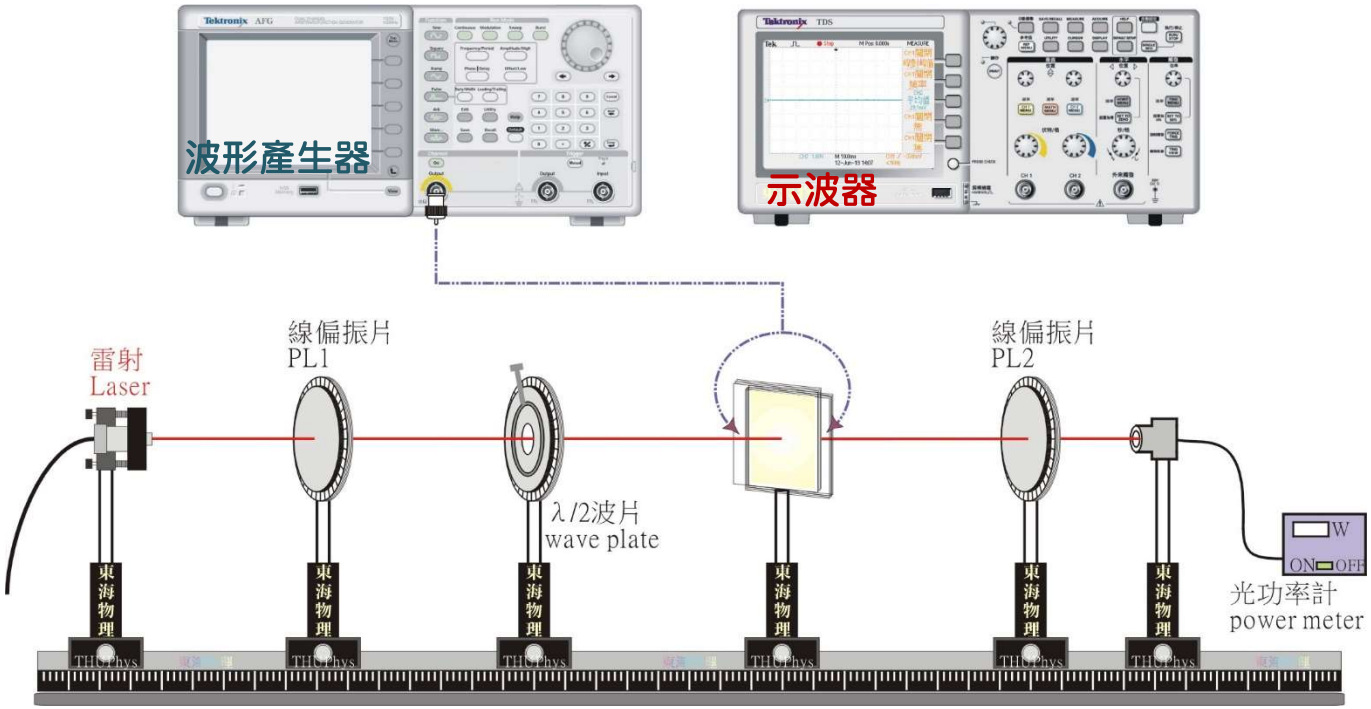
液晶兩端加偏壓4Vp-p。【λ/2波片】⊥【偏振片】

➲ 光偵測器量到的是最小訊號（DC訊號）

➲ 改變偏壓 0.1Vp-p ⇨ 4Vp-p

➲ 記錄不同偏壓下的光強度

Part C：改變頻率



液晶兩端加偏壓4Vp-p。【λ/2波片】⊥【偏振片】

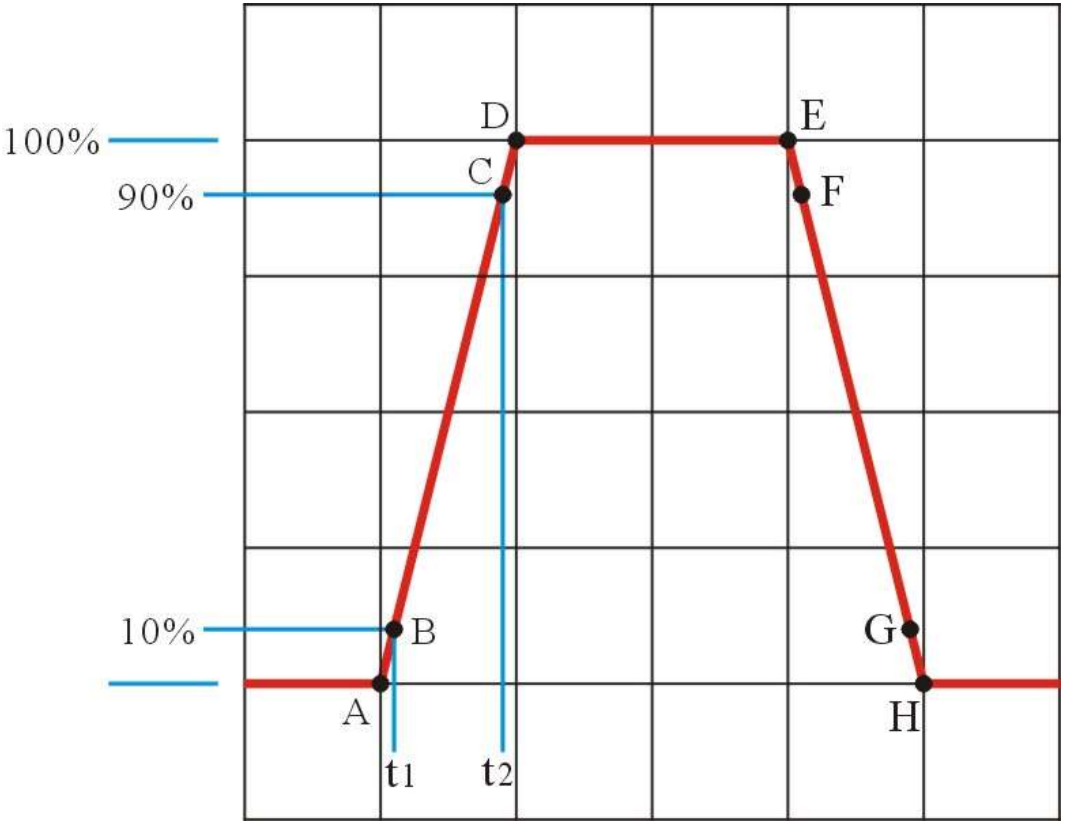
➲ 光偵測器量到的是最小訊號（DC訊號）

➲ 改變頻率　20Hz　⇨　400kHz

➲ 記錄不同頻率下的光強度

➲ 找出截止頻率

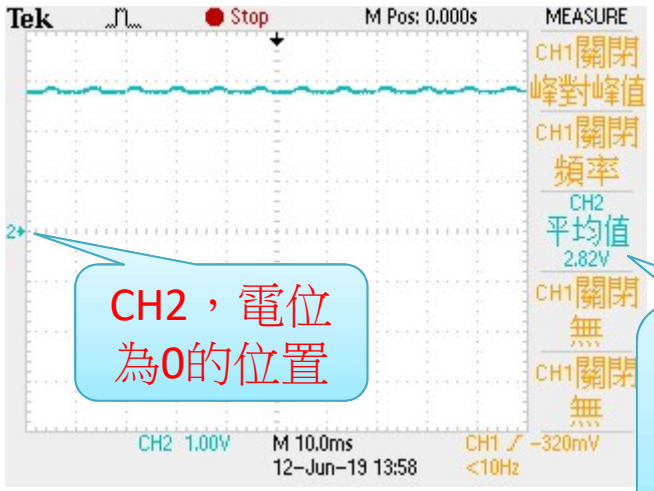
Part D：反應時間
上升時間
下降時間



Part D：反應時間
上升時間
下降時間

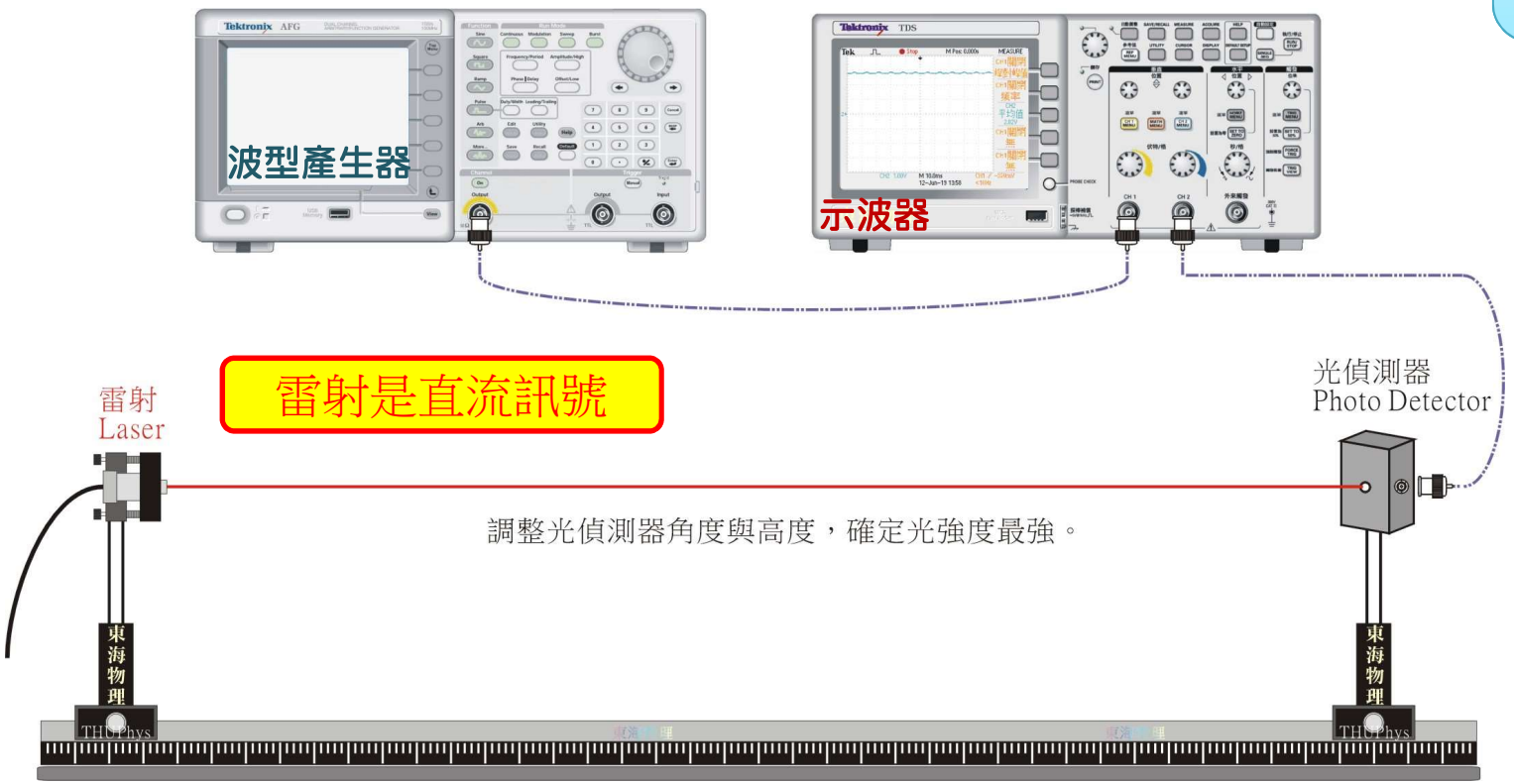
改換光偵測器（Detector）量測光強度。

雷射光打入光偵測器（Detector），調整光偵測器高度和角度，找到訊號最強的位置（示波器measure的V_avg要大於3V）。



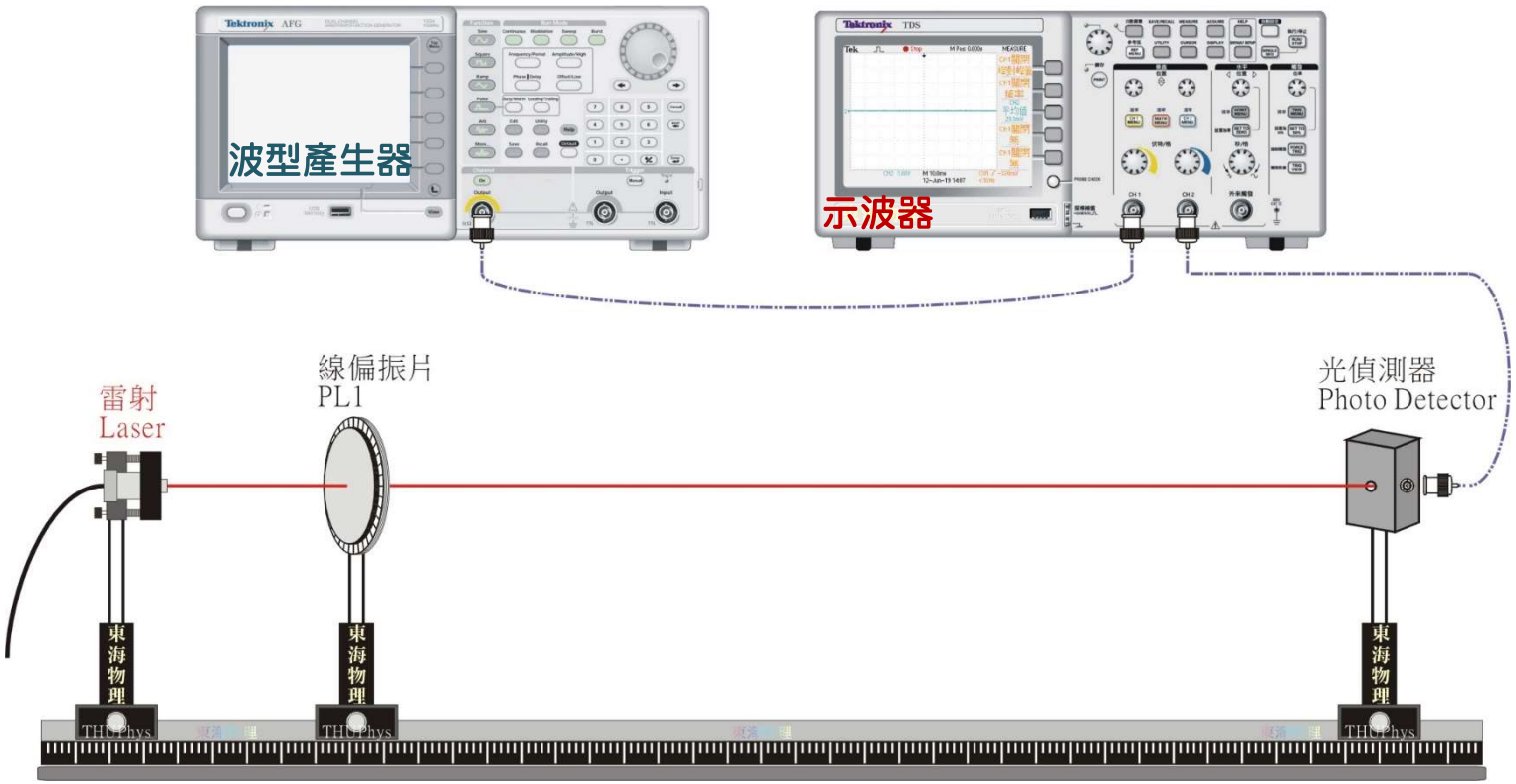
CH2，電位為0的位置

CH2訊號平均值 2.82V



Part D：反應時間
上升時間
下降時間

放入線偏振片 PL1，轉動 PL1
使光強度 V_avg 接近 3.0V，不要大於 3.1V。



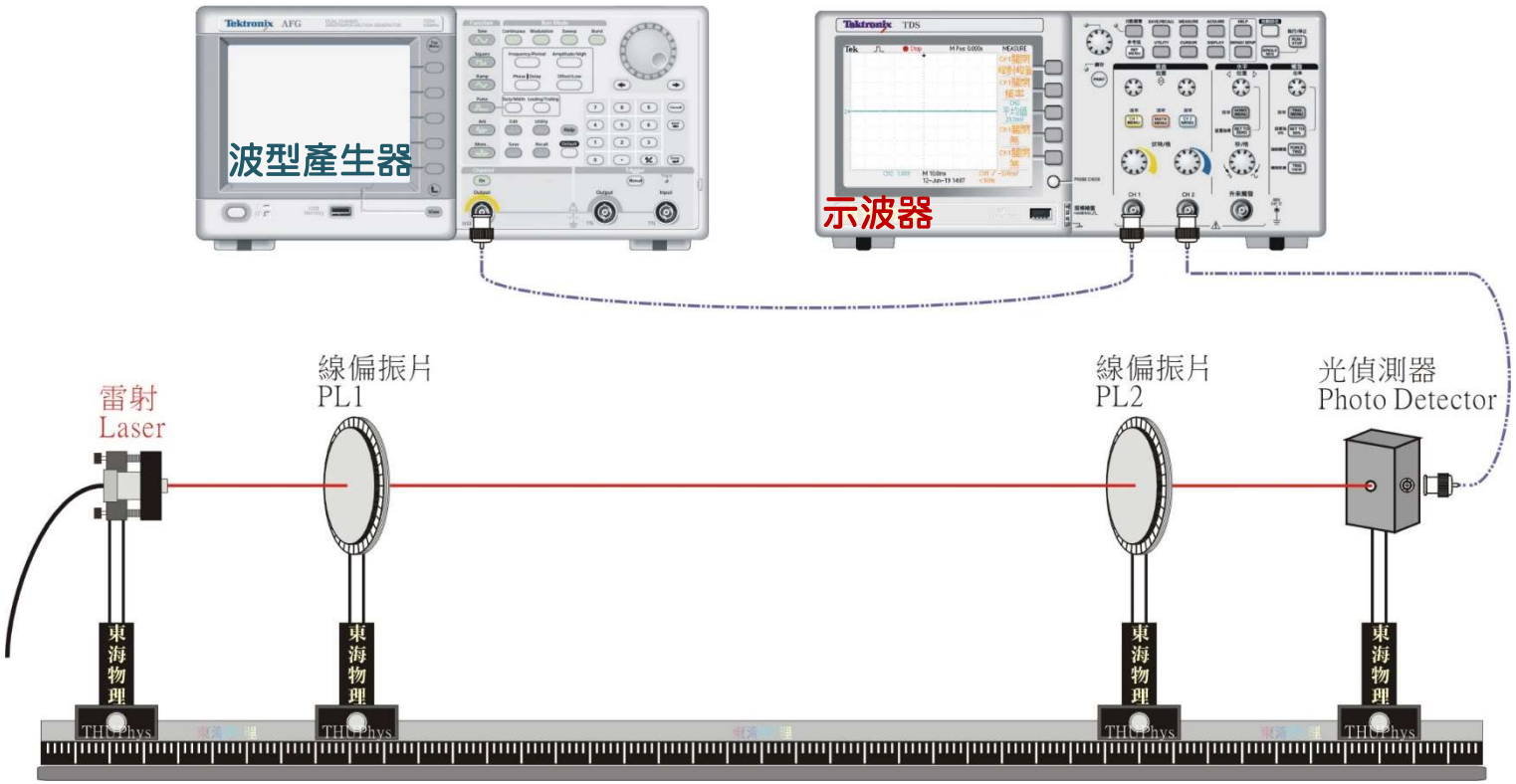
Part D：反應時間

上升時間

下降時間

放入線偏振片 PL2，轉動 PL2 使光強度最低

此時【線偏振片 PL1】⊥【線偏振片 PL2】



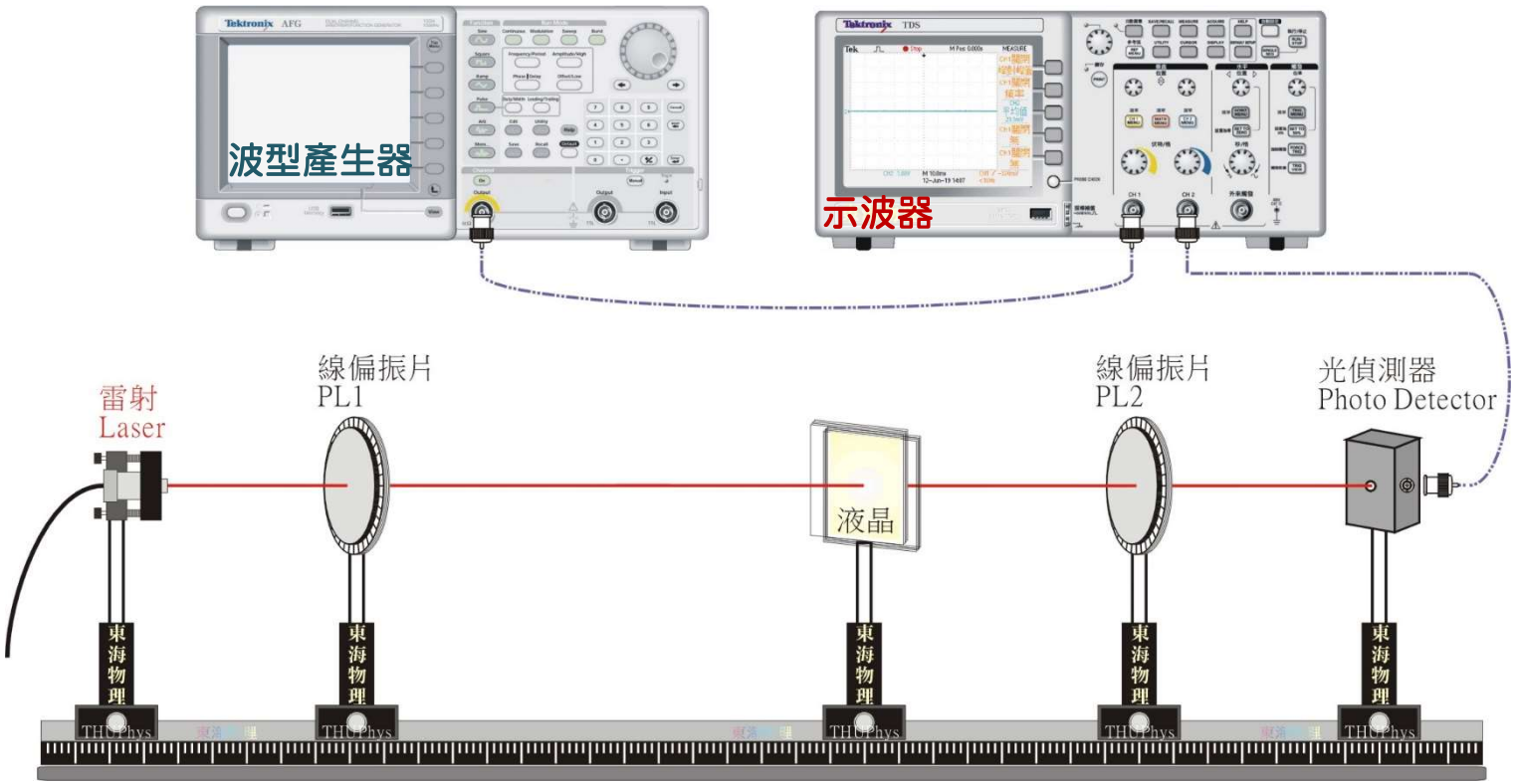
Part D：反應時間

上升時間

下降時間

放入液晶盒，此時光強度變高。

PS：此時…液晶盒兩端『不加』電壓



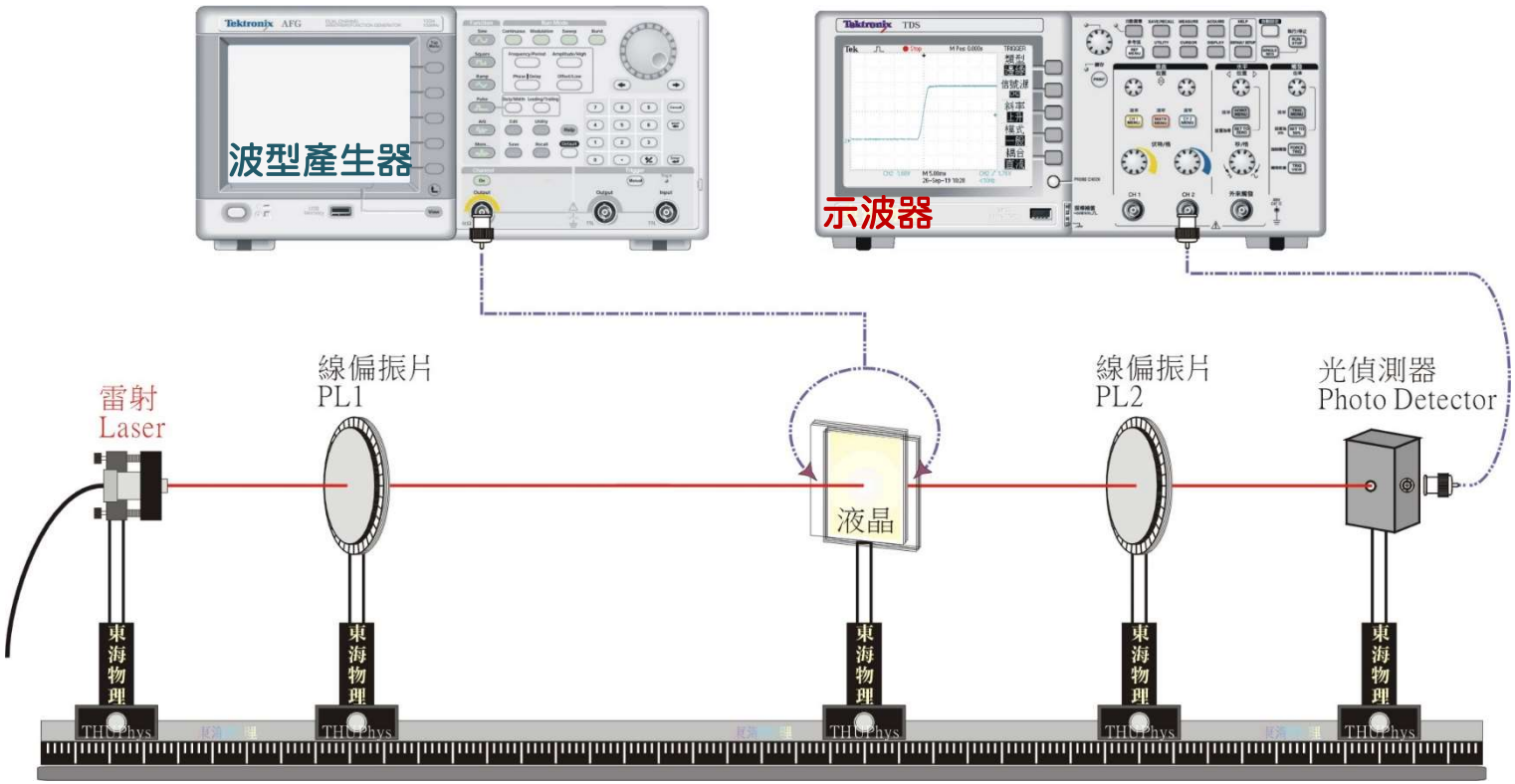
Part D：反應時間

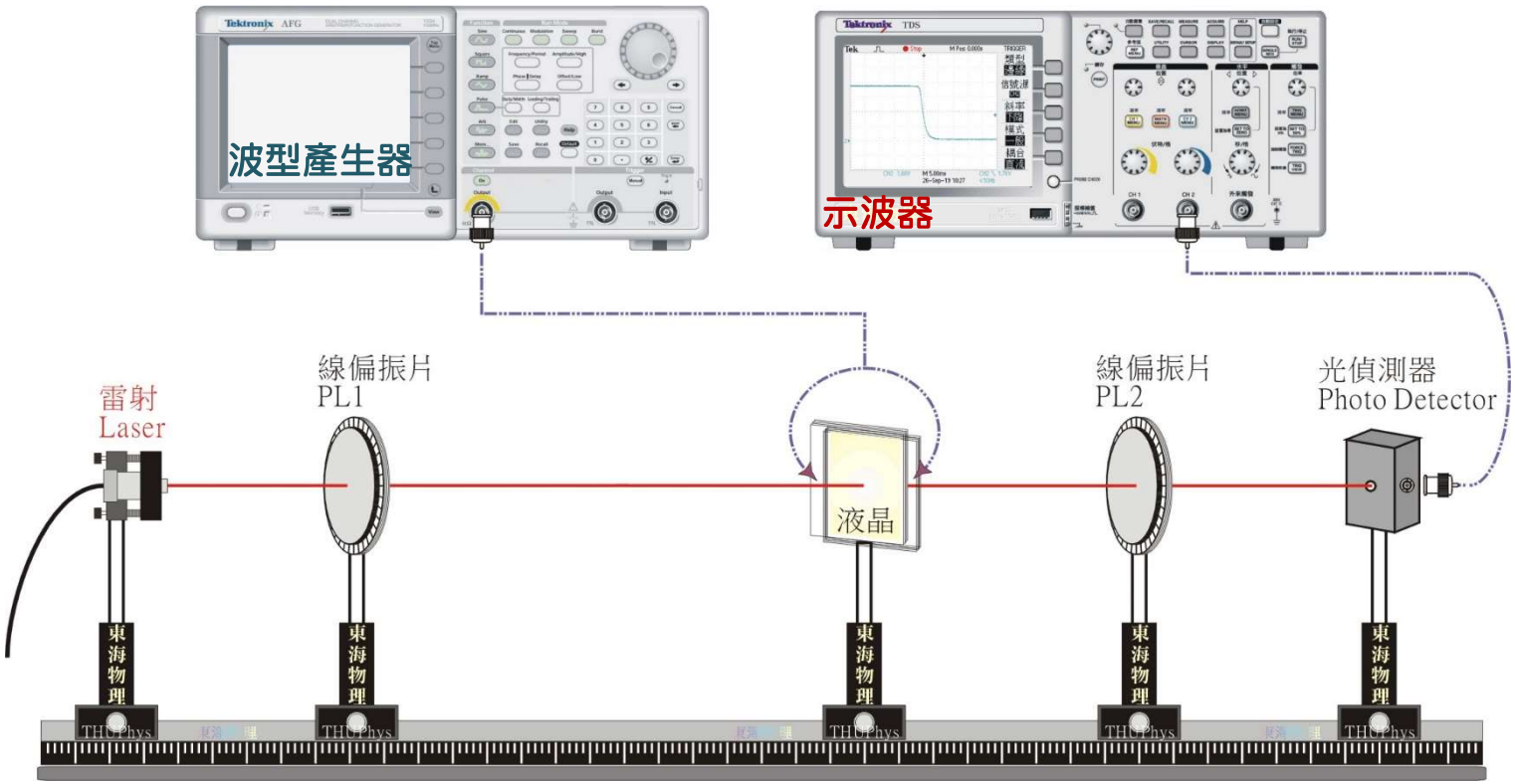
上升時間

下降時間

將波型產生器的輸出，接到液晶盒兩端。

波型產生器設定為1kHz、4Vp-p 。




波型產生器
示波器
雷射
Laser
線偏振片
PL1
液晶
線偏振片
PL2
光偵測器
Photo Detector
東海物理
THUPhys

上升時間 與 下降時間

上升時間（t_r）為方波電壓自 10%上升到 90%的時間。

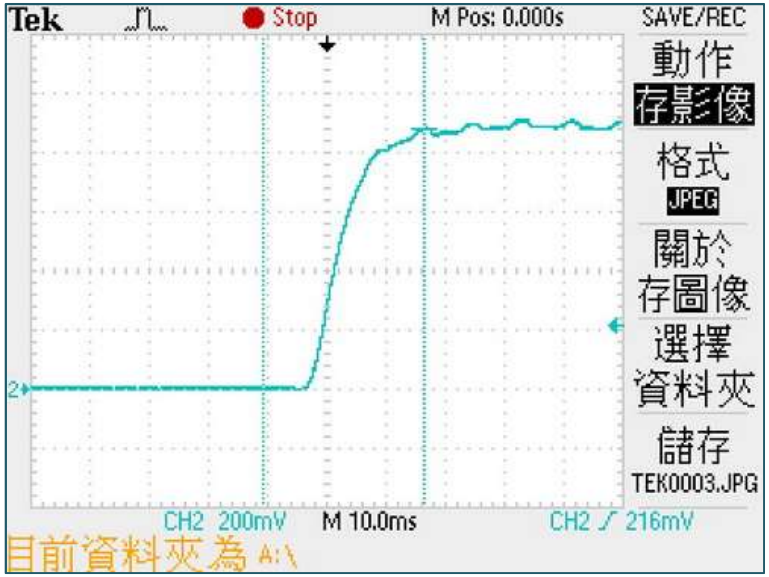
A 點到 B 點為上升到 10%

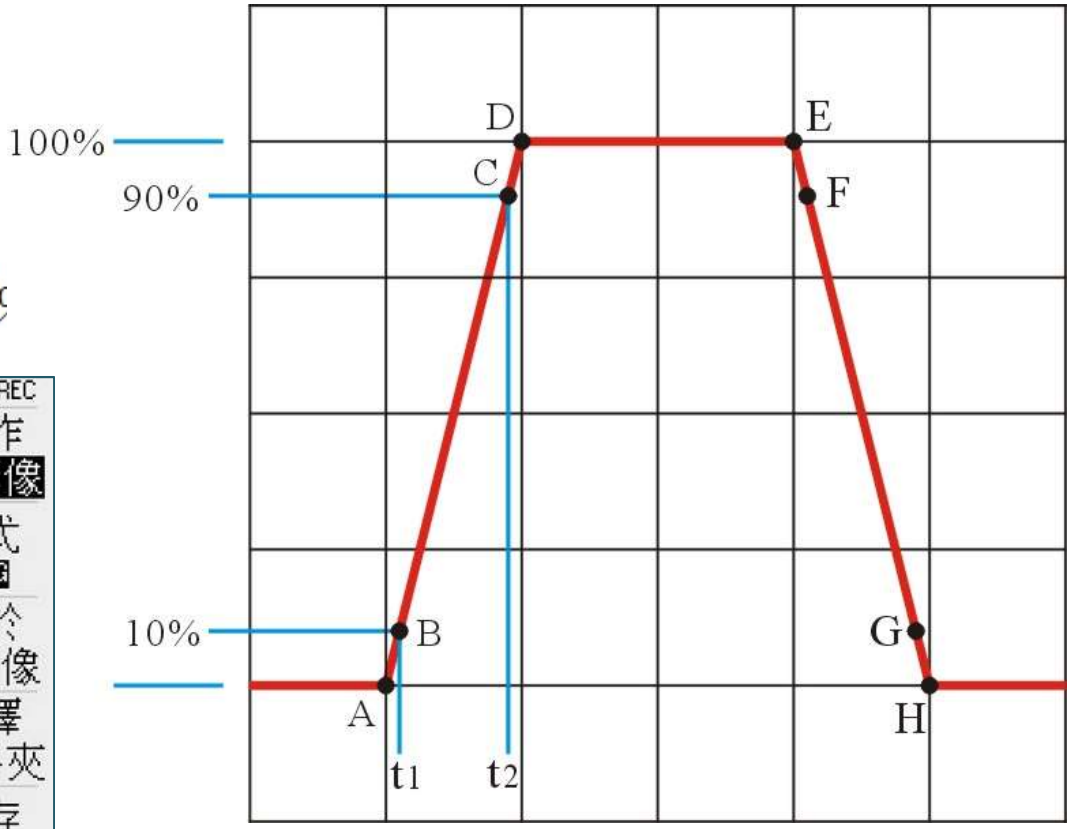
A 點到 C 點為上升到 90%

∴從 B 點到 C 點的時間差即為上升時間

$$上升時間\ t_r = (t_2 - t_1) \times \frac{SEC/DIV\ 刻度}{MAG\ 倍率}$$

下降時間（t_f）為電壓自 90%下降到 10%





1. 延遲時間（td）：V_i 上升開始至 V_o 下降到 90%所歷經的時間。
2. 下降時間（tf）：V_o 由 90%下降至 10%所歷經的時間。
3. 儲存時間（ts）：V_i 下降開始至 V_o上升到 10%所歷經的時間。
4. 上升時間（tr）：V_o 由 10%上升至 90%所歷經的時間。

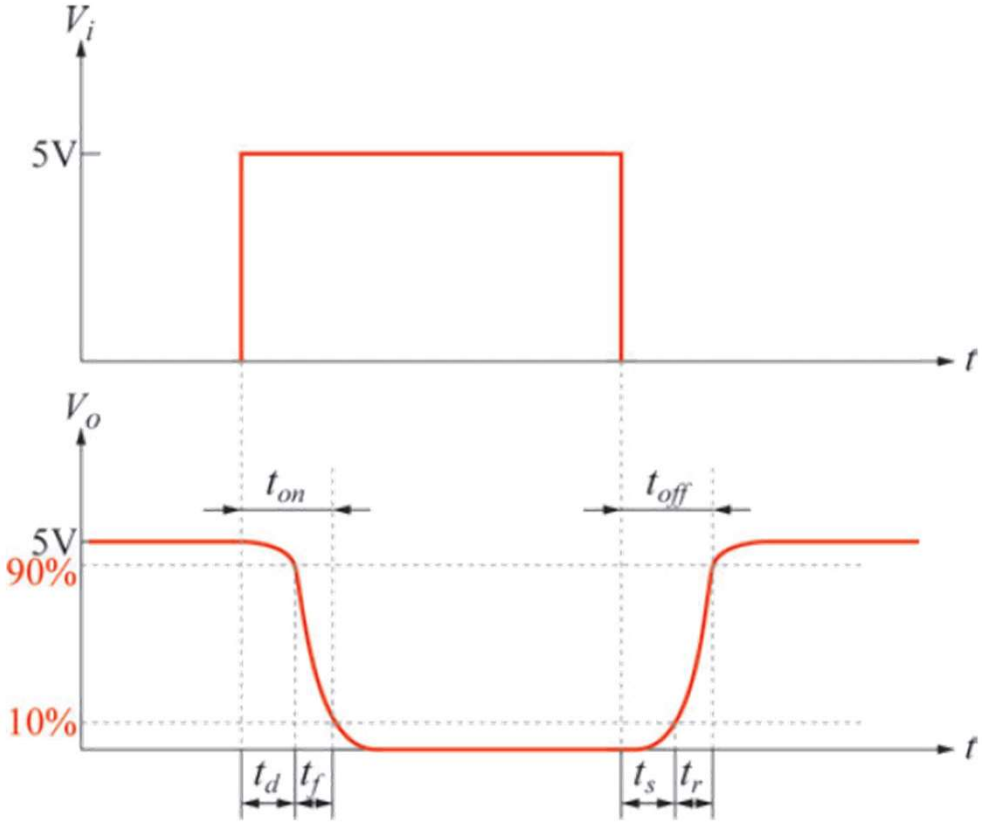
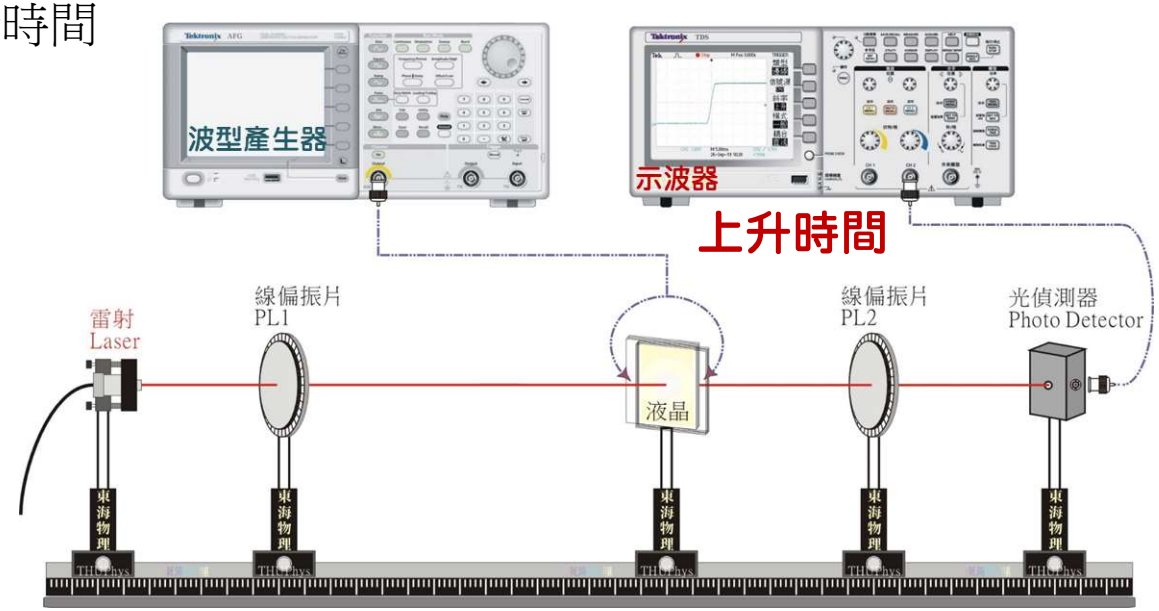
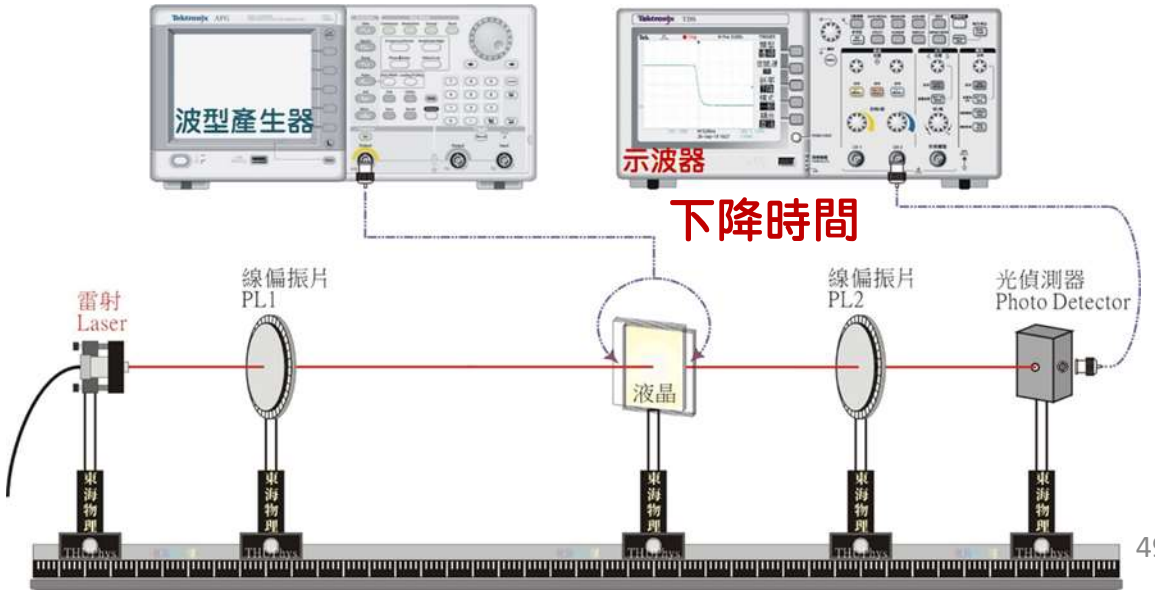


圖 7-15　信號的延遲狀況

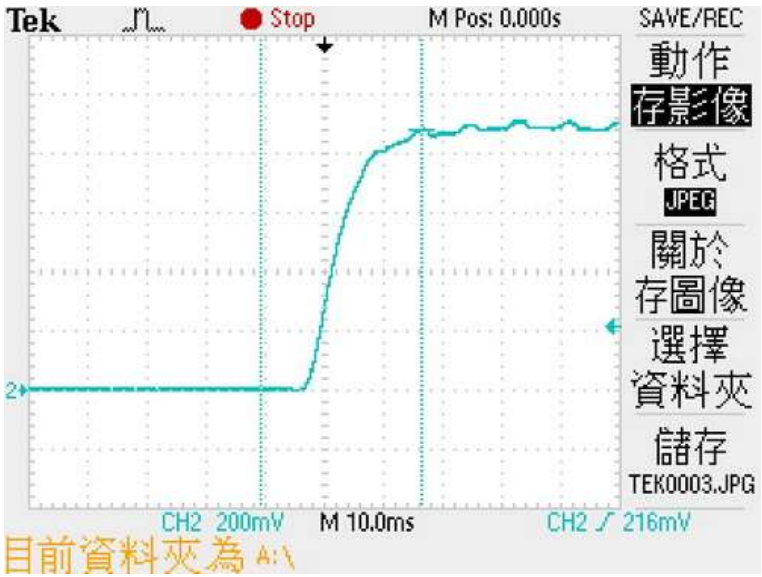
上升時間 與 下降時間

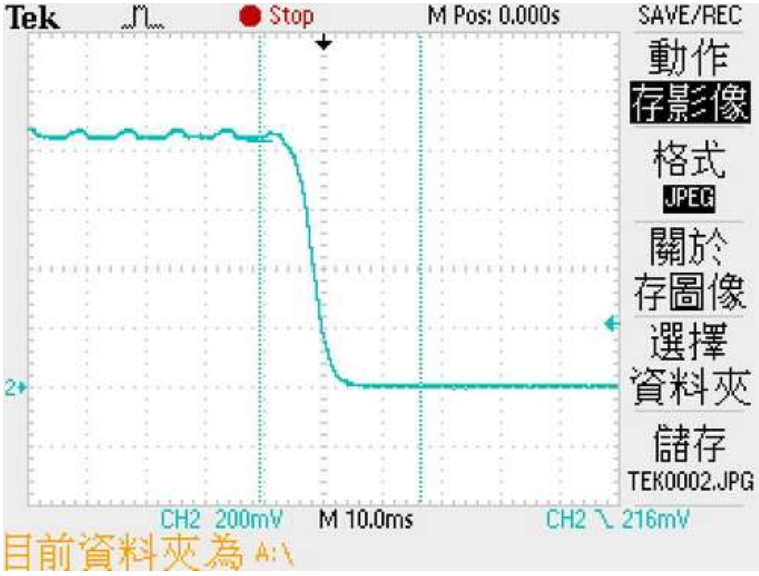


液晶的旋轉需要一段時間，通常是以光強度從10%到90%所需的時間稱為上升時間，從90%到10%所需的時間稱為下降時間，液晶的反應時間取決於上升時間與下降時間的長短。



上升時間 與 下降時間

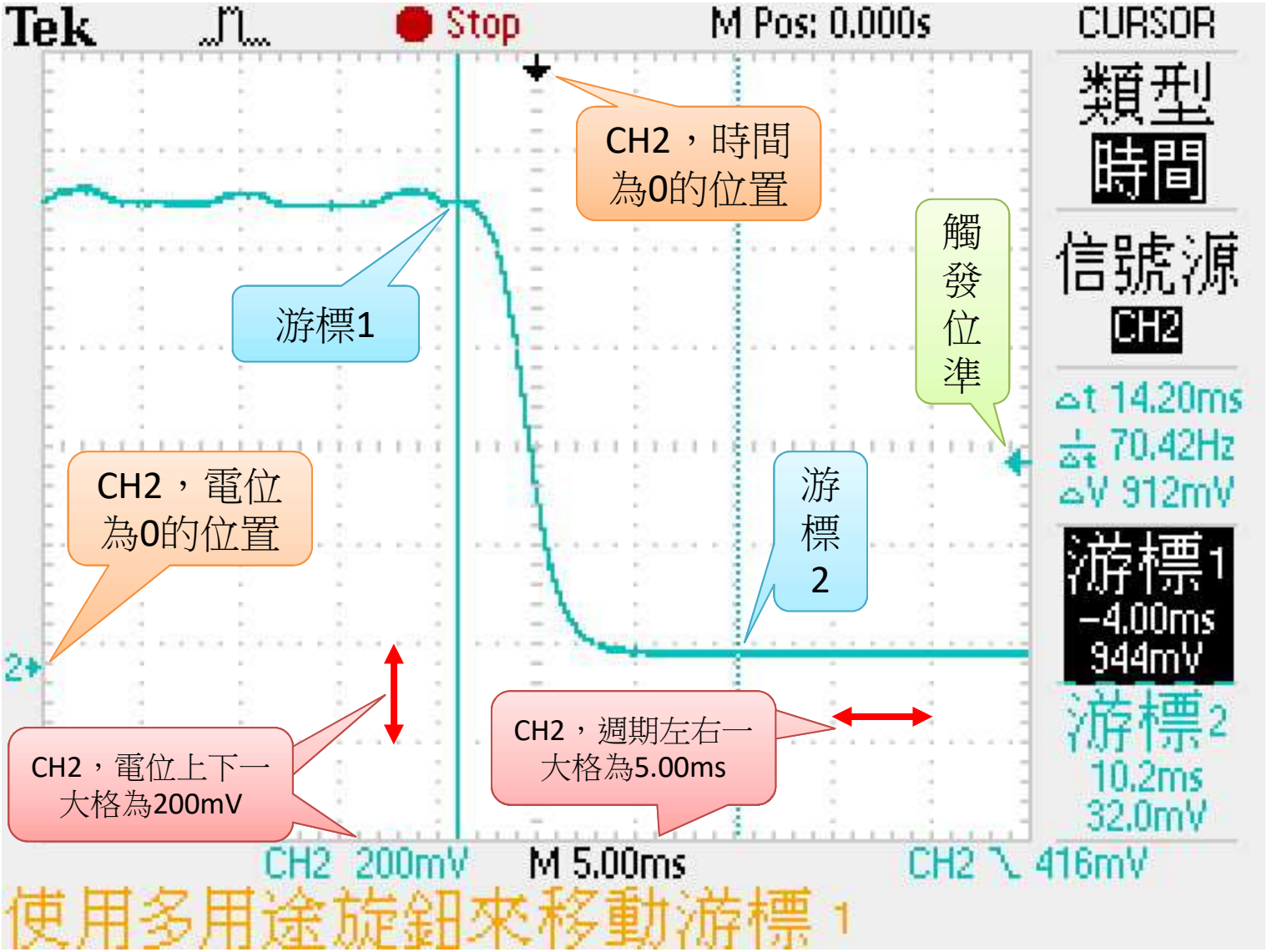




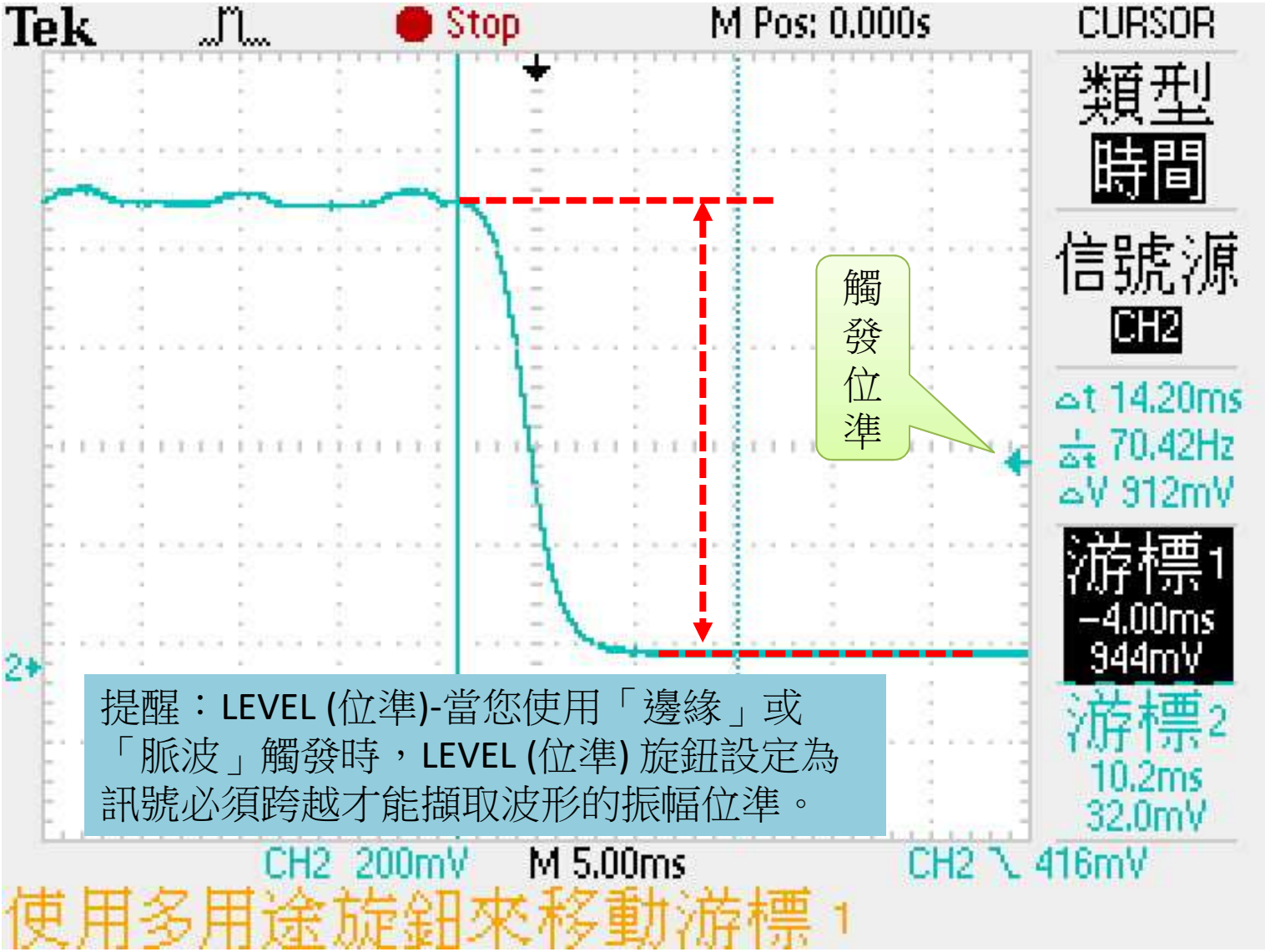
示波器面版上，按下【Trig MENU】，接著以下設定：
類型：邊緣
信號源：CH2
斜率：上升 or 下降
模式：一般
耦合：直流
提醒：LEVEL (位準)-當您使用「邊緣」或「脈波」觸發時，LEVEL (位準) 旋鈕設定為訊號必須跨越才能擷取波形的振幅位準。

利用示波器Cursor功能，訂出上升時間與下降時間。

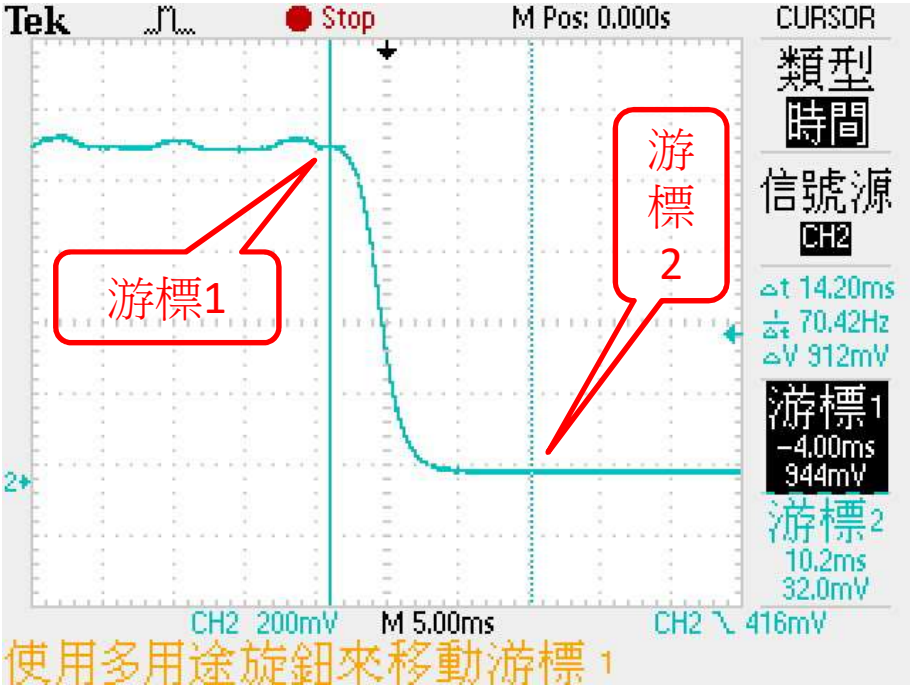
利用示波器Cursor功能，訂出上升時間與下降時間。

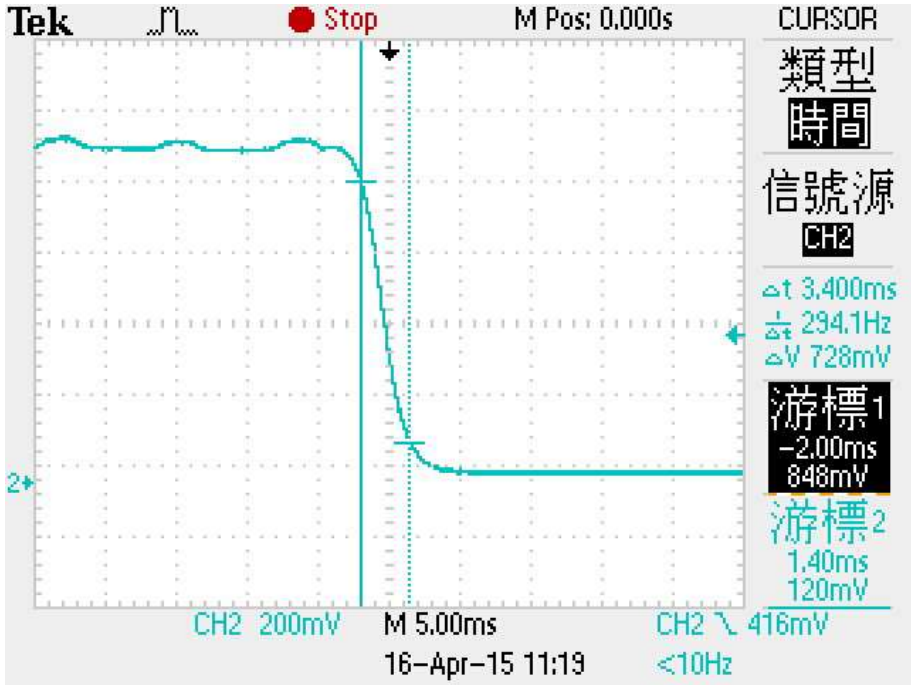


利用示波器Cursor功能，訂出上升時間與下降時間。



利用示波器Cursor功能，訂出上升時間與下降時間。





利用【游標量測】（Cursor）功能

1-先定位出0至100%的電壓差ΔV=944mV-32mV=912mV

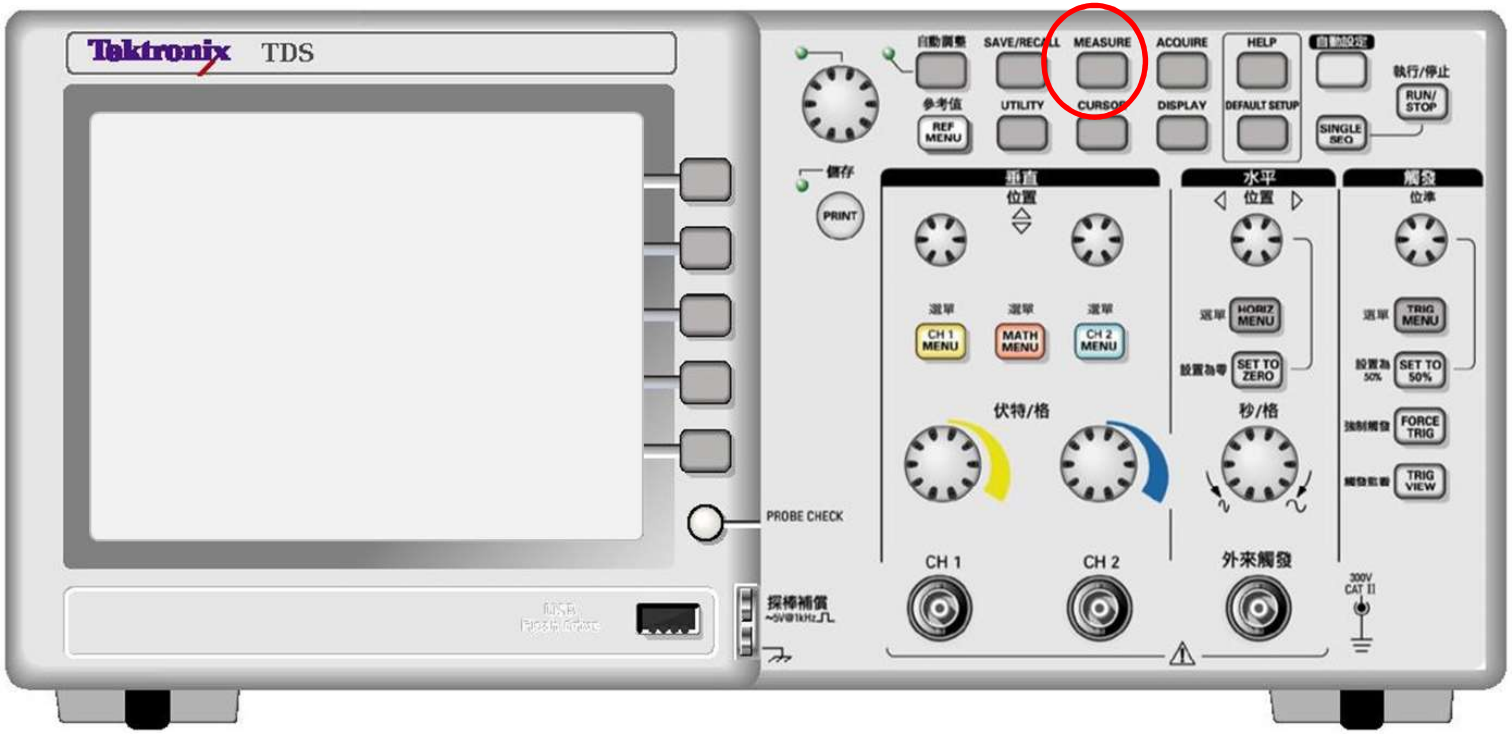
2-計算出10%的電壓差ΔV=91mV

3-移動游標1至944mV-91mV的位置（即90%）

4-移動游標2至32mV+91mV的位置（即10%）

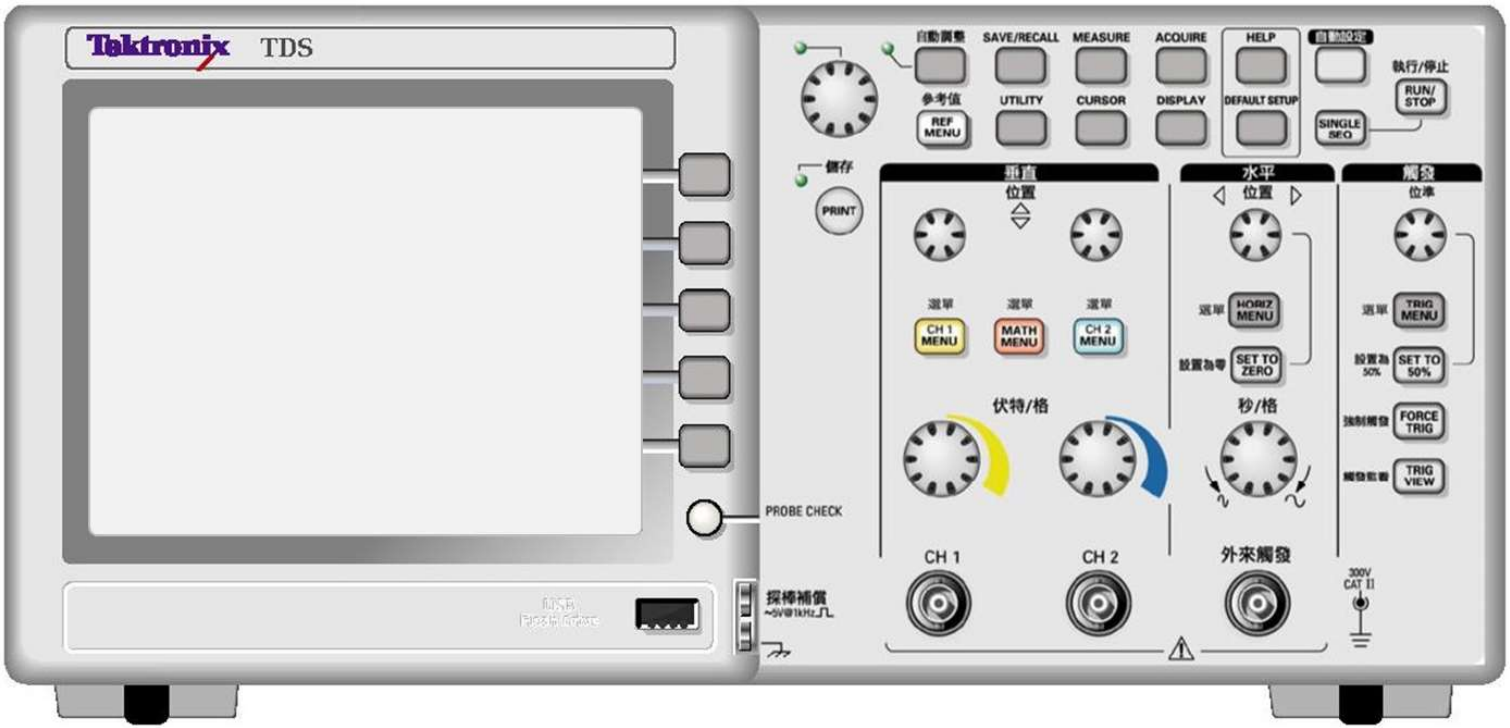
5-記錄此時的Δt=3.4ms（此即為下降時間）

利用示波器Measure功能，讀取上升時間與下降時間。



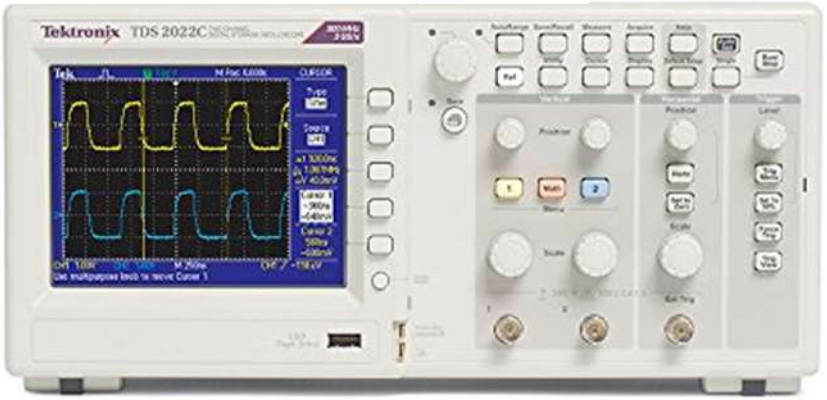
比較一下
利用『Measure』自動量測
和
利用『Cursor』游標定位
兩個方式讀取的上升時間與下降時間
誤差有多大

TDS2022C示波器

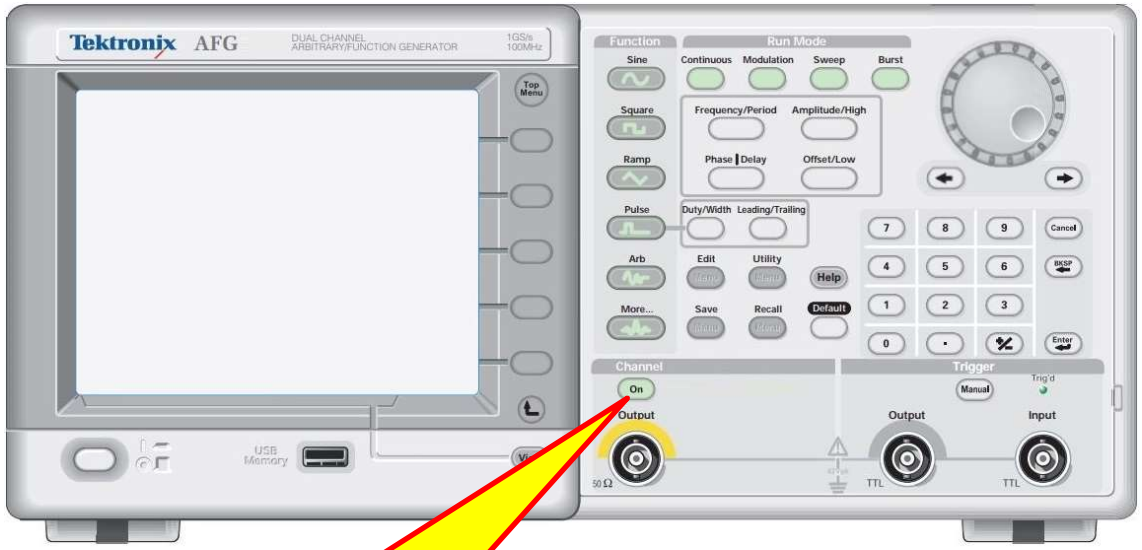


儲存方式（USB隨身碟）
1-Save/Recall
2-Print

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。



AFG3021波形產生器



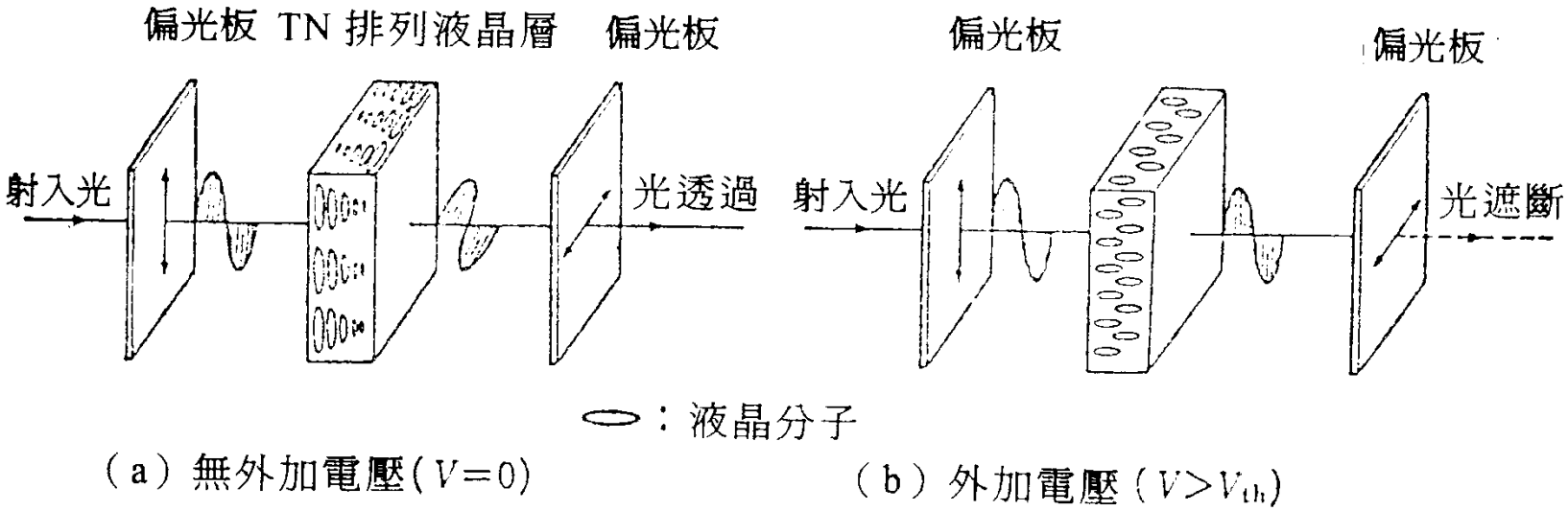
設定完成後
一定要按【ON】
訊號才會輸出！

型號	AFG3021B/AFG3022B
波道	1/2
正弦波	25 MHz
脈波	12.5 MHz
記憶體	2 到 131,072
取樣率	250 MS/s
振幅	10 V_{p-p}
顯示器	單色/彩色
介面	USB, LAN, GPIB

提醒：
此實驗並沒有對雷射做任何調變（和A.O.、E.O.實驗不同）
單純的雷射是直流訊號

方波是加在液晶兩端

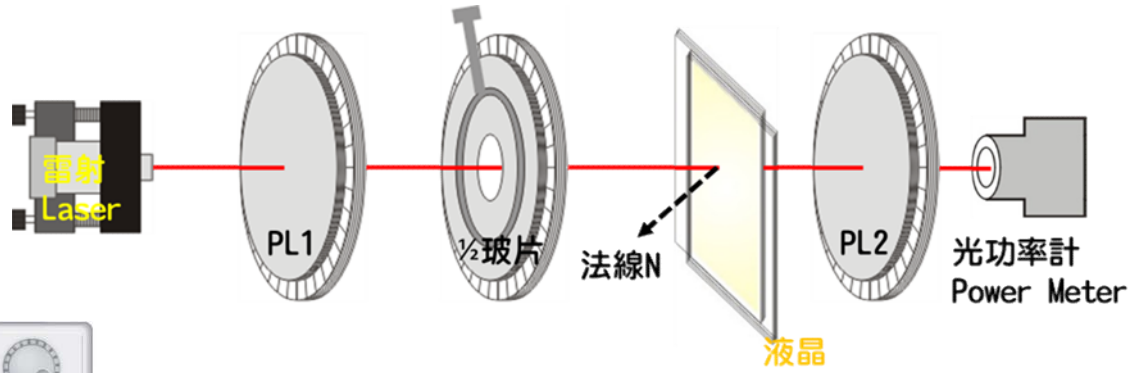
液晶不加電壓 ➲ 光通過（一樣是直流訊號）
　　加變壓 ➲ 光遮斷

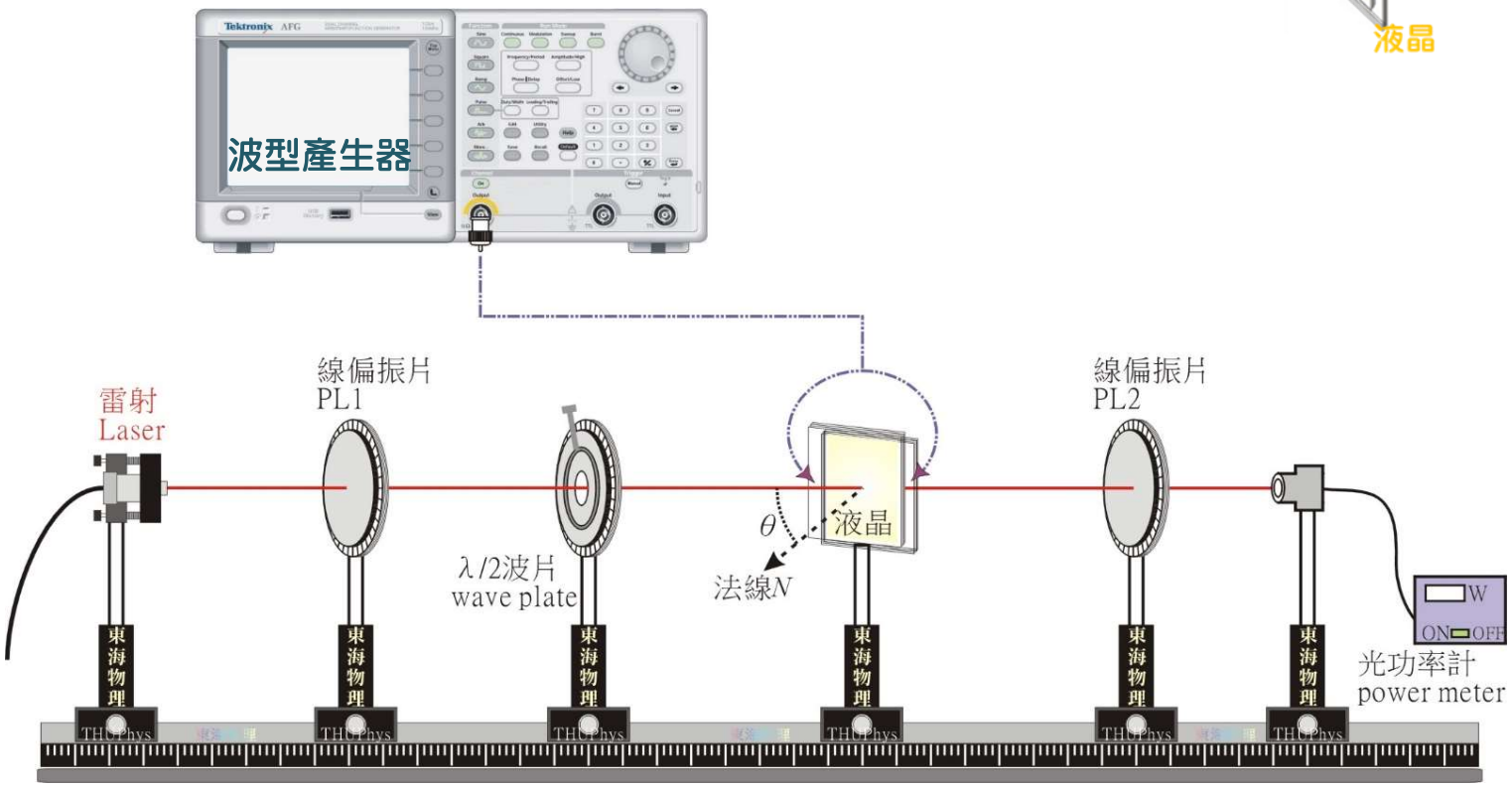


Part E：液晶偏轉

λ/2玻片垂直光軸。
液晶盒法線與光軸夾θ角。
偏振片垂直光軸。

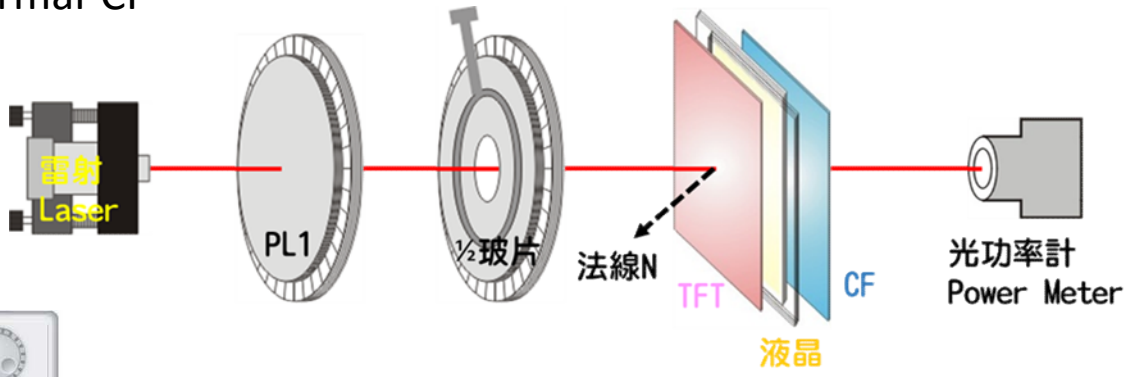
轉動液晶，改變入射光入射角度，量測穿透光強度。



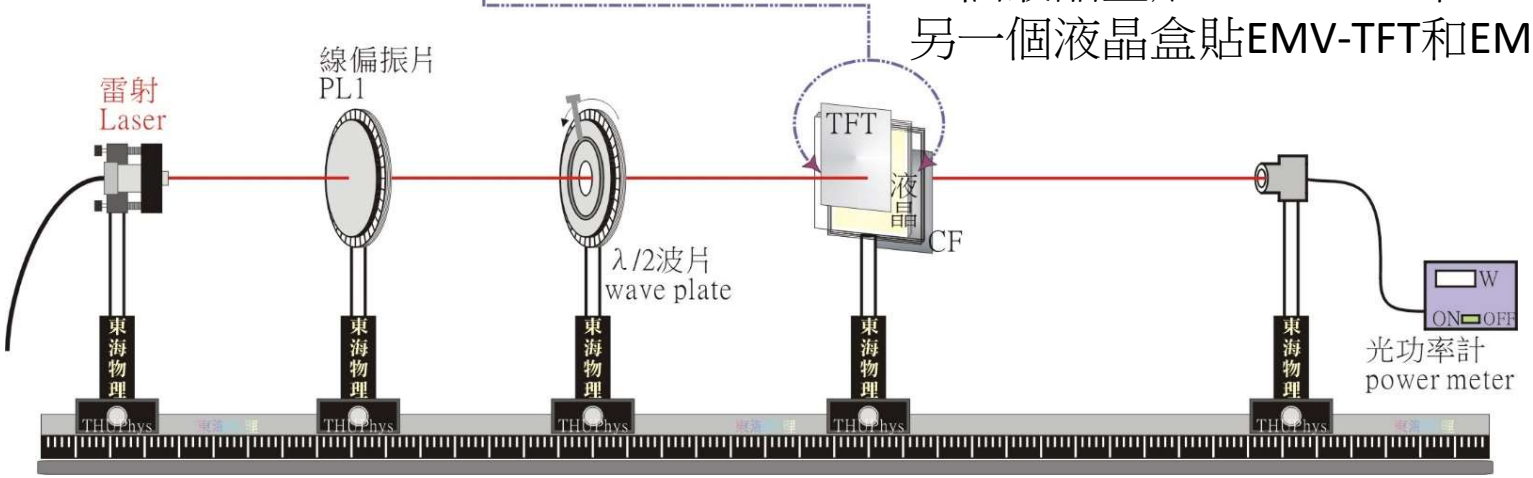


Part E：液晶偏轉

在液晶盒兩面分別貼上Normal-TFT（thin film transistor薄膜電晶體）和Normal-CF（Color Filter 彩色濾光片）。
雷射光從TFT入射，從CF離開。
此時不需放入線偏振片。



TFT和CF膜已經加上偏光片。
TFT和CF偏振必須夾90度。
PS：助教已貼好兩個液晶盒樣品。
一個液晶盒貼Normal-TFT和Normal-CF。
另一個液晶盒貼EMV-TFT和EMV-CF。



鏡片座刻度讀法

偏振片
（偏光片）

實驗室的偏振片
不是
定光軸偏振片
SO...
我們記錄的是相對角度

偏振方向相互垂直 ➲ 功率最小
平行 大

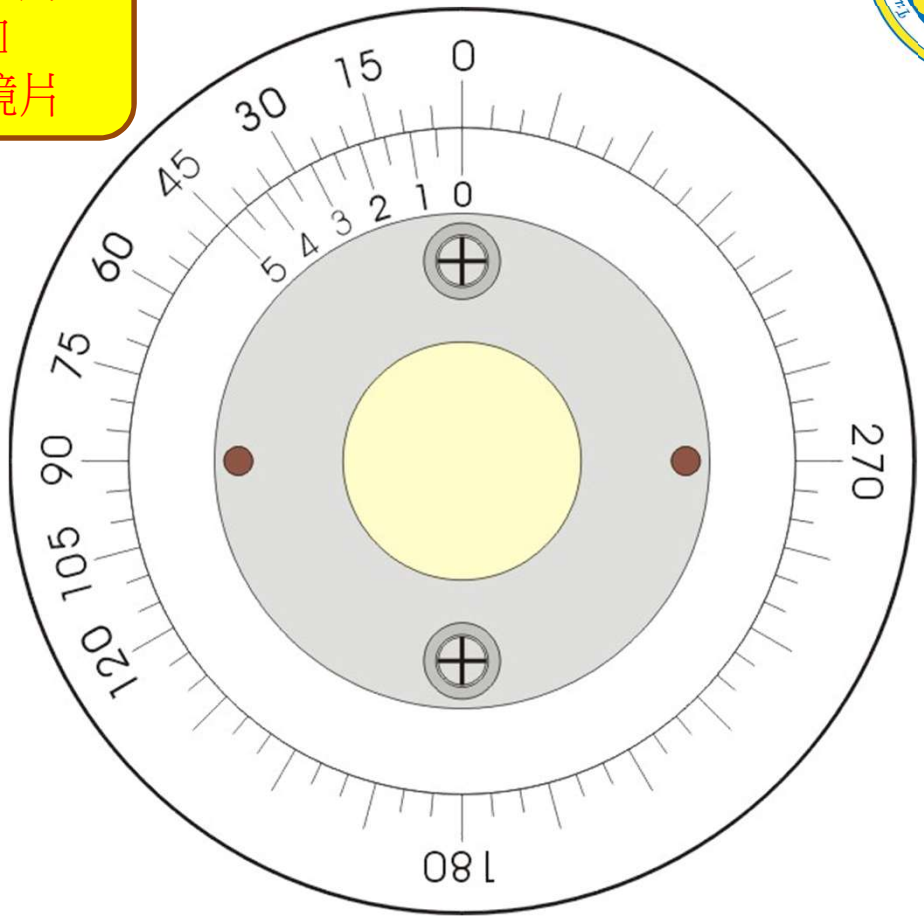
記錄刻度，去計算相對角度。

量測到功率最小時，選定一字母指向某一個刻度，該刻度定義為角度90度，再去計算相對角度。

一般我會選 POLARIZER 的『P』這個字母～

精密鏡片座刻度讀法

λ/2鏡片
和
λ/4鏡片

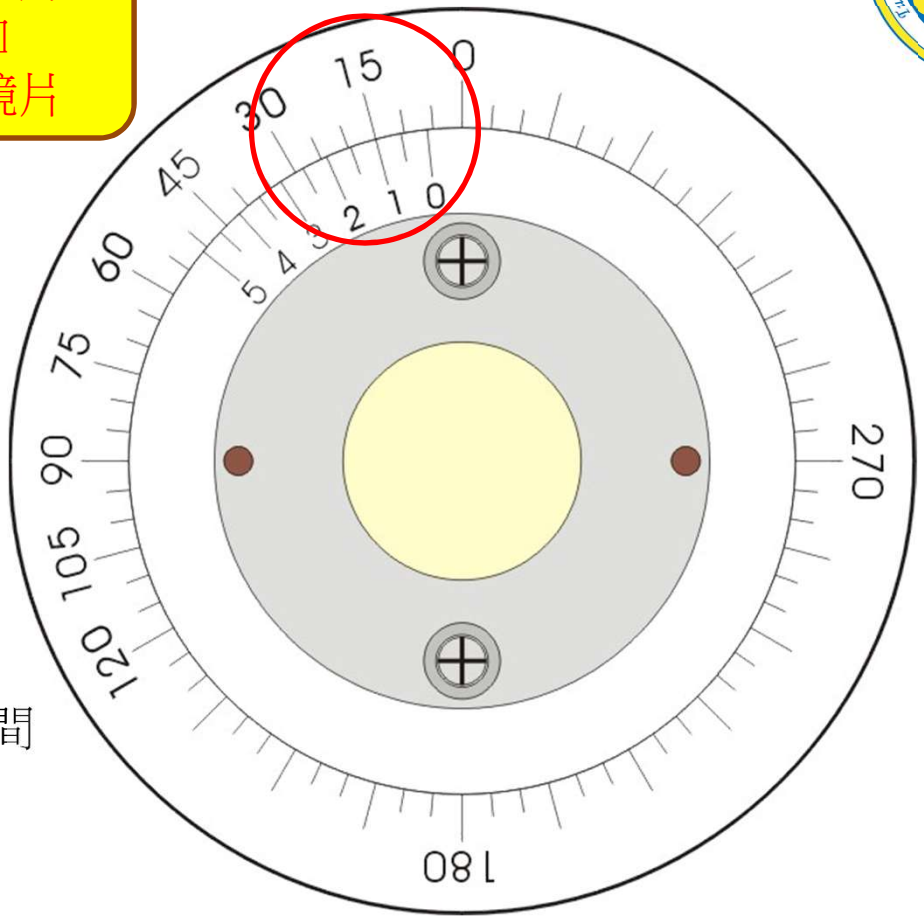


主尺角度0度與副尺0刻度對齊

主尺角度45度與副尺5刻度對齊

精密鏡片座刻度讀法

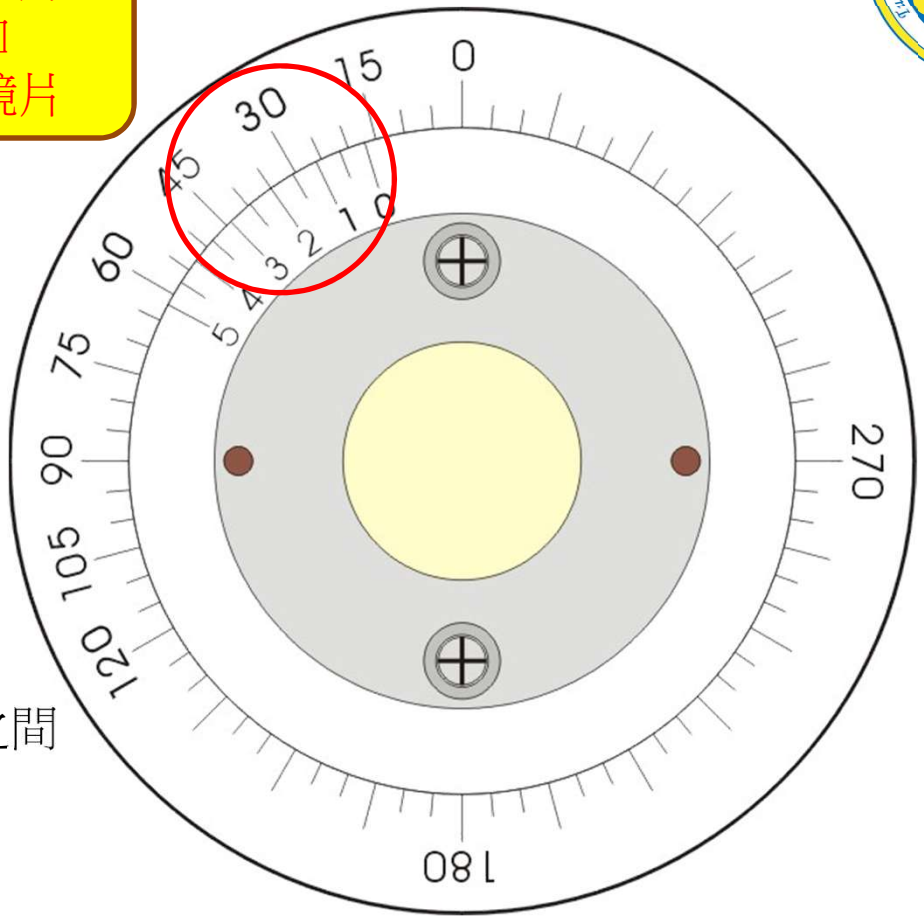
λ/2鏡片
和
λ/4鏡片



副尺0刻度介於主尺5-10角度之間
測量結果為5+ΔΘ
副尺1刻度與主尺15對齊
SO ΔΘ=1
測量結果為角度6度

精密鏡片座刻度讀法

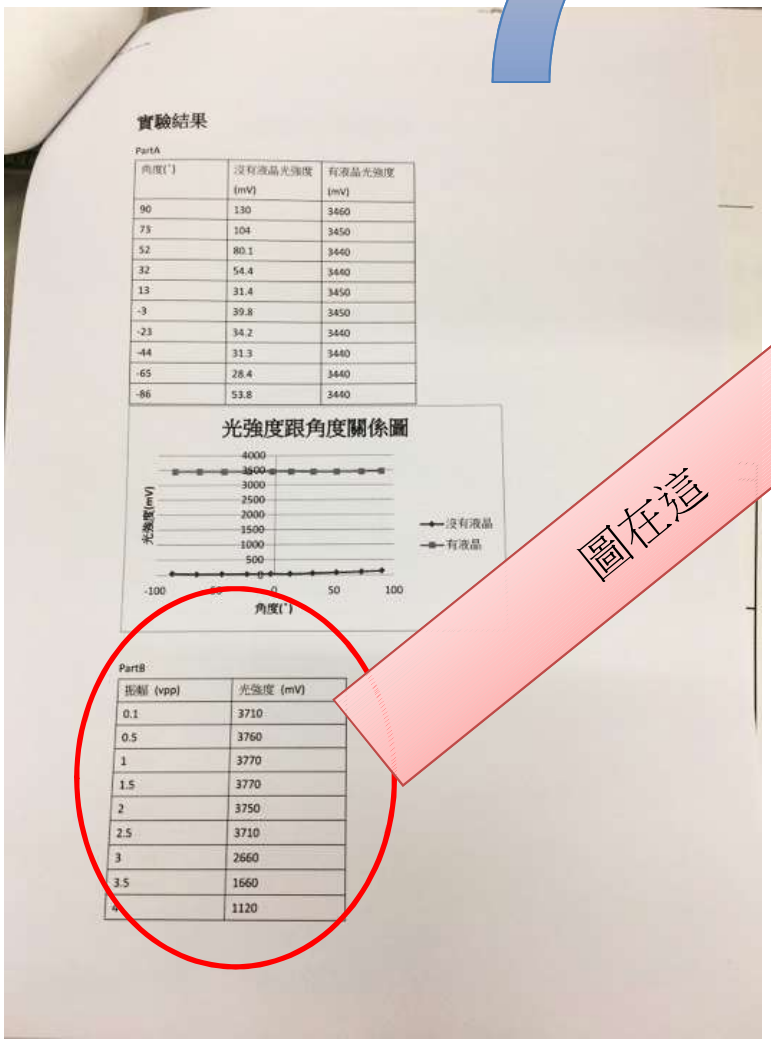
λ/2鏡片
和
λ/4鏡片



副尺0刻度介於主尺15-20角度之間
測量結果為15+ΔΘ
副尺2刻度與主尺35對齊
SO ΔΘ=2
測量結果為角度17度

精密鏡座科度判讀練習
http://physexp.thu.edu.tw/~mengwen/OPEXP/OPEXP-L031/OPEXP-L031-S.html

下一頁



實驗結果

PartA

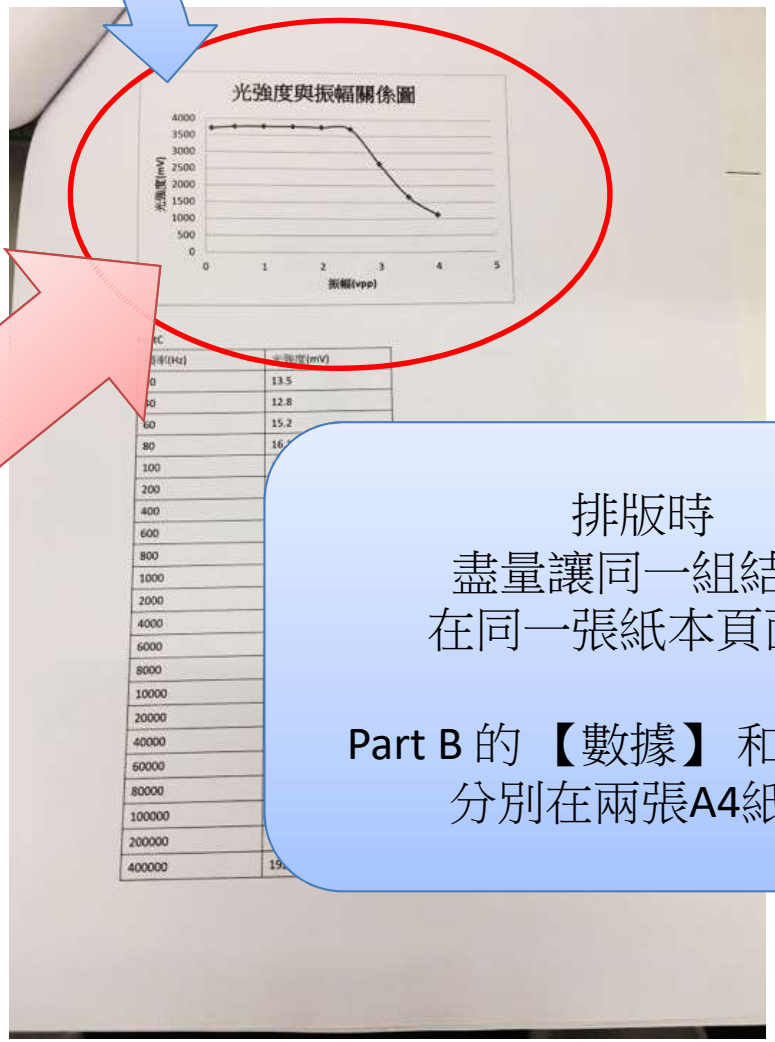
角度(°)	沒有液晶光強度 (mV)	有液晶光強度 (mV)
90	130	3460
73	104	3450
52	80.1	3440
32	54.4	3440
13	31.4	3450
-3	39.8	3450
-23	34.2	3440
-44	31.3	3440
-65	28.4	3440
-86	53.8	3440

光強度跟角度關係圖

PartB

振幅 (vpp)	光強度 (mV)
0.1	3710
0.5	3760
1	3770
1.5	3770
2	3750
2.5	3710
3	2660
3.5	1660
4	1120

圖在這



光強度與振幅關係圖

頻率(Hz)	光強度(mV)
0	13.5
40	12.8
60	15.2
80	16.
100	
200	
400	
600	
800	
1000	
2000	
4000	
6000	
8000	
10000	
20000	
40000	
60000	
80000	
100000	
200000	
400000	19.

排版時
盡量讓同一組結果
在同一張紙本頁面上

Part B 的【數據】和【圖】
分別在兩張A4紙上

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/