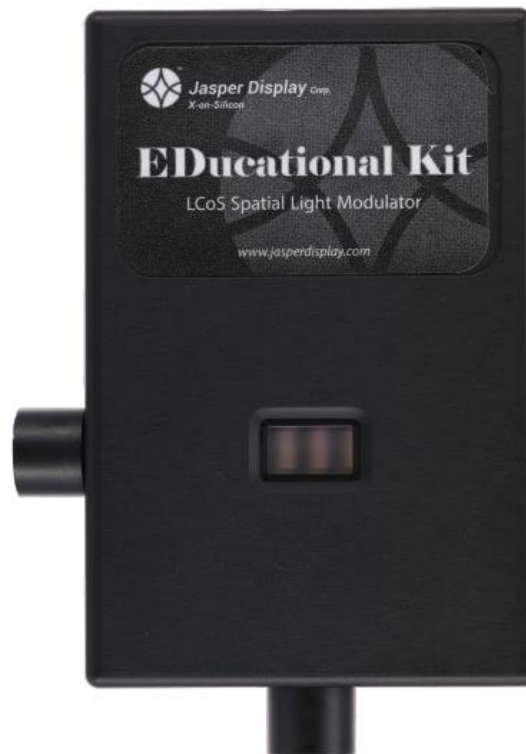


實驗9： 空間光調變 Spatial Light Modulator (SLM)



空間光調變

Spatial Light Modulator

大多數『空間光調變器』都依靠**機械移動元件**來控制光的『**強度**』或『**相位**』，但這種方法會導致光學裝置的體積龐大且速度緩慢。

美國的研究人員開發了一種簡單的空間光調變器，由金電極製成，上面覆蓋著一層**電光材料薄膜**，能夠改變其回應電訊號的光學特性...

本實驗使用的是

液晶

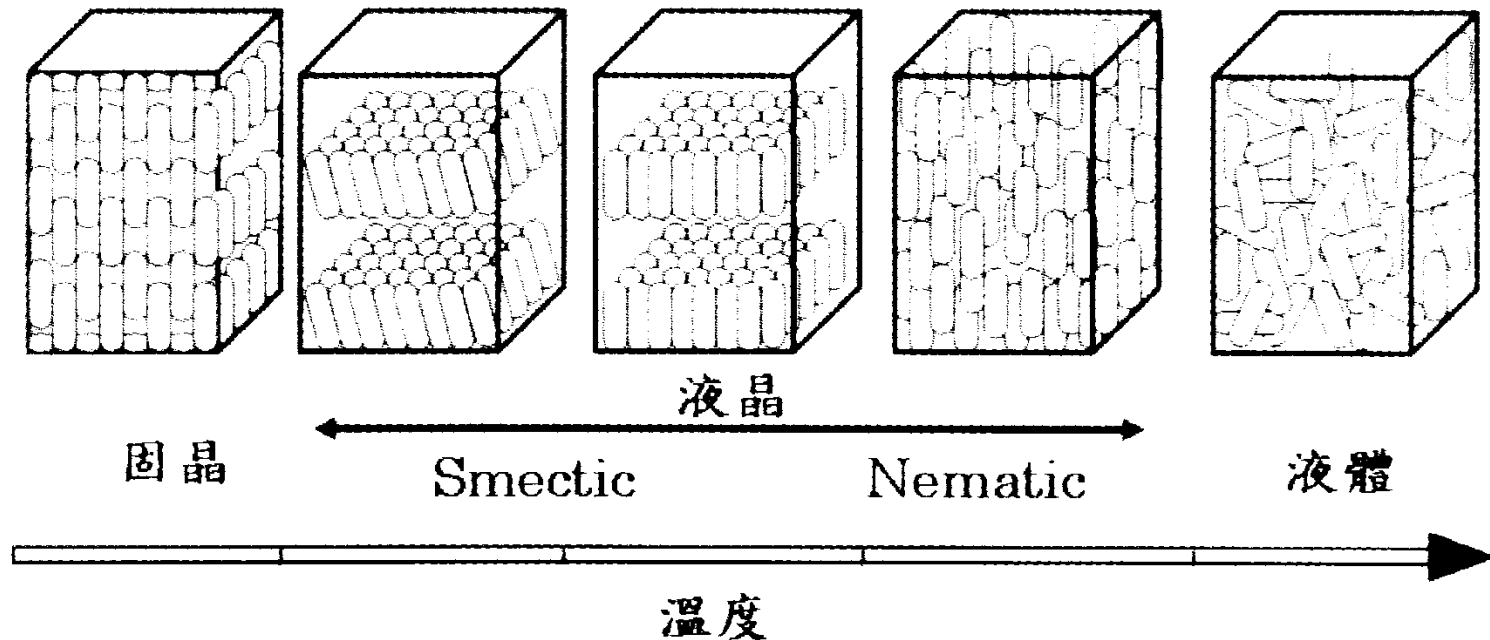
研究人員使用華盛頓大學化學家Delwin L. Elder和Larry R. Dalton設計的電光材料。當向這種材料施加電訊號時，材料的折射率會發生變化。藉由將材料分割成畫素，研究人員就**可以透過連鎖電極分別控制每個畫素的光強度**。

<https://www.edntaiwan.com/20211027nt61-new-spatial-light-modulator-marries-optical-and-electronic/>

關於液晶

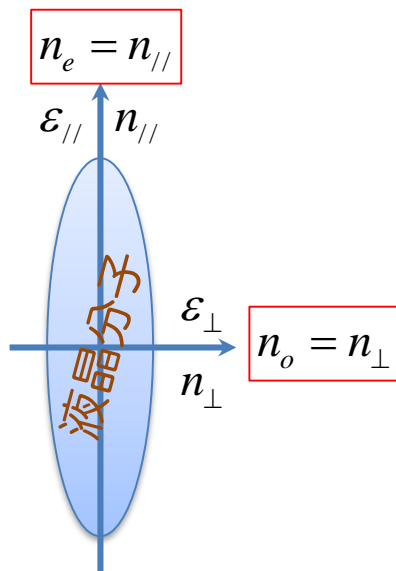
液晶材料的基本單位大多為**圓柱狀**，為**非均向性物質**，有兩個不同方向的性質，在溫度低時，其性質為晶體，為一排列整齊的材料。隨著溫度升高，晶形開始改變，開始有液體的性質。

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。



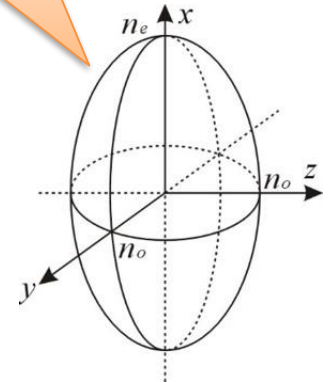
液晶材料的基本單位大多為圓柱狀
為非均向性物質
有兩個不同方向的性質

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)

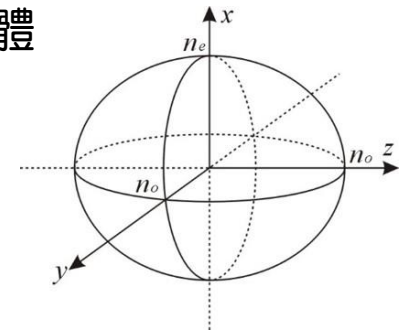


折射率橢球

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
 $n_e - n_o < 0$



『折射率橢球』是晶體光學幾何表示法中最常採用的三維曲面，用來表示三維空間中不同方向折射率的變化。

補充：

在折射率為 n 的**各向同性介質**中，一個點光源P，它發出的光波沿著各方向的傳播速度都一樣，

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

經過一段時間 Δt 後，所形成的波面為一個半徑為 $v \Delta t$ 的球面，我們稱它為**光線面 (ray surface)**。

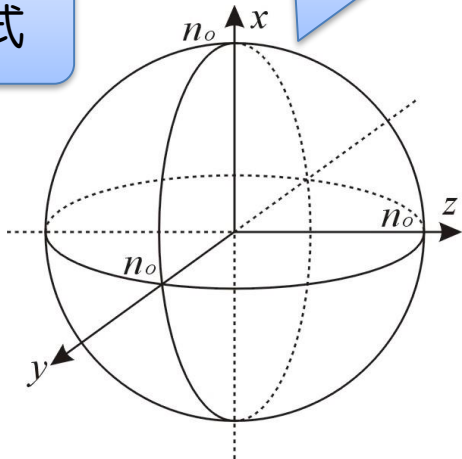
$$n = n_o$$

空氣、水、...

$$\frac{x^2}{n_o^2} + \frac{y^2}{n_o^2} + \frac{z^2}{n_o^2} = 1$$

球面方程式

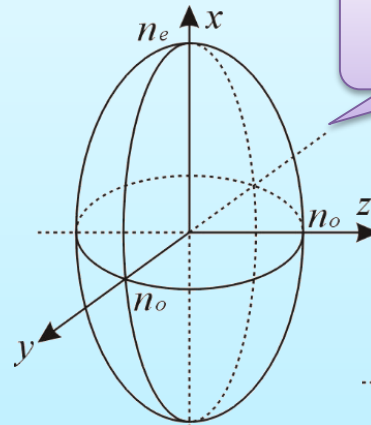
光線面
是一個**球面**



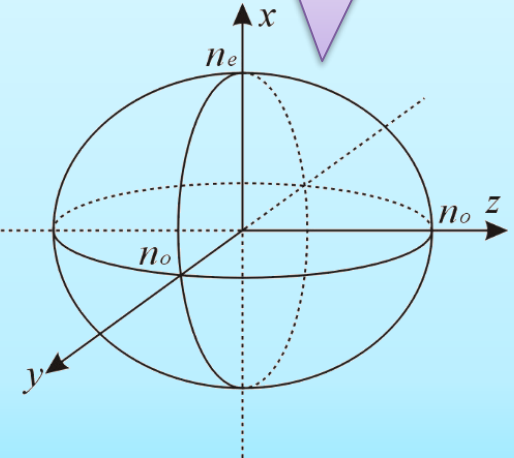
各向異性介質

正晶體

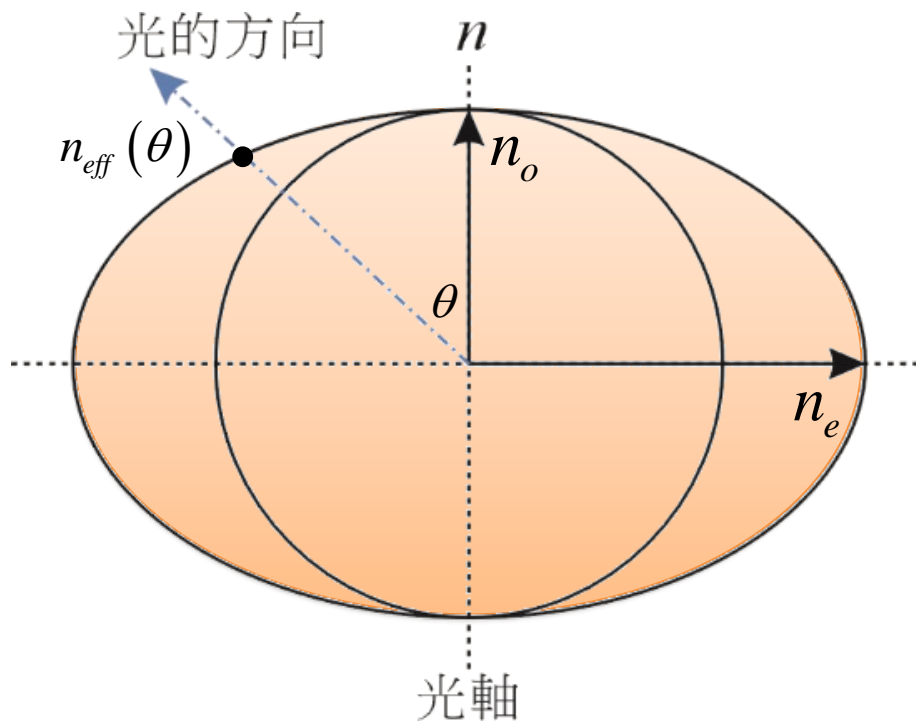
負晶體



光線面是
一個**橢球**



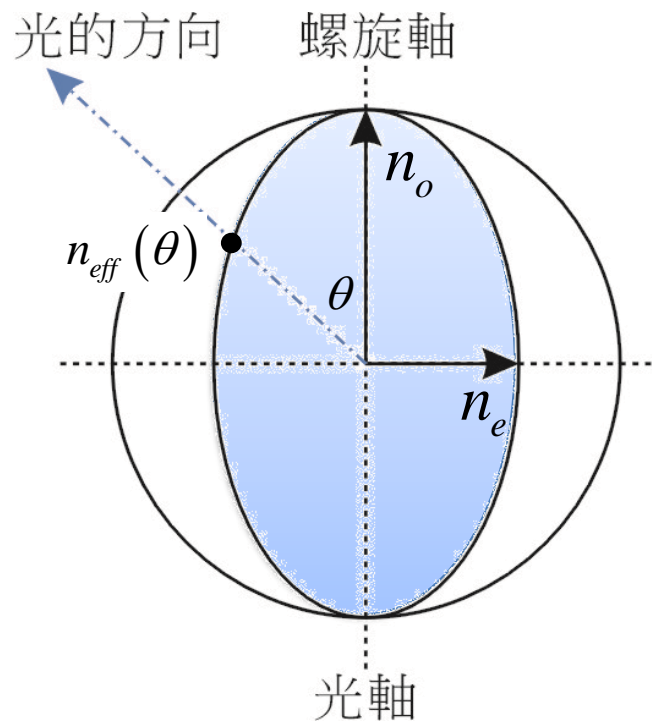
單軸性液晶折射率各向異性



(a) 層列液晶和向列液晶
(光學正液晶)

$$n_e - n_o > 0$$

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

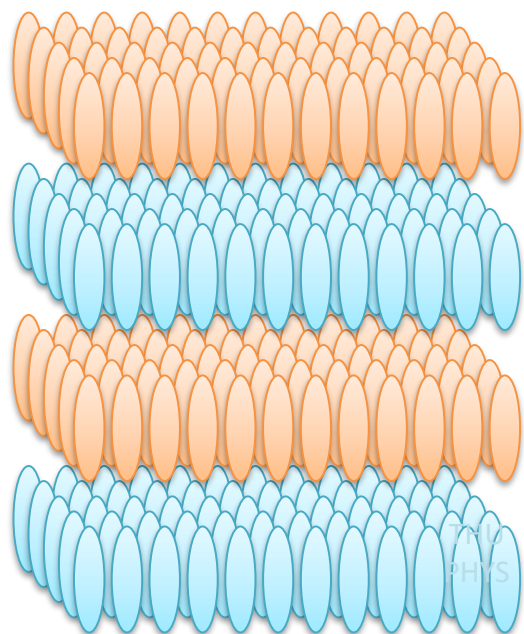


(b) 膽甾相液晶
(光學負液晶)

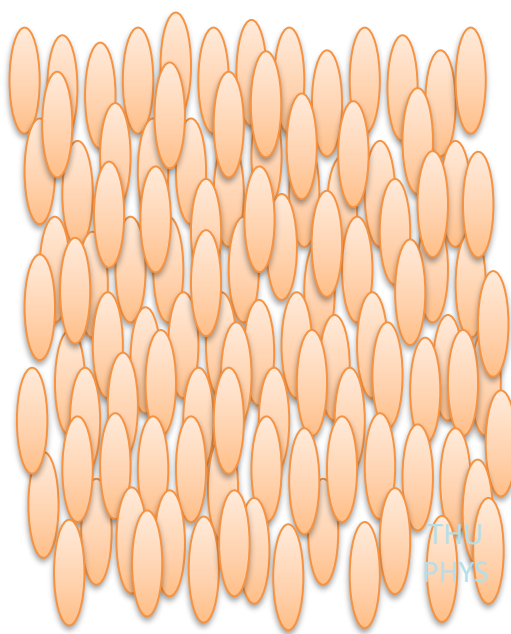
$$n_e - n_o < 0$$

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：

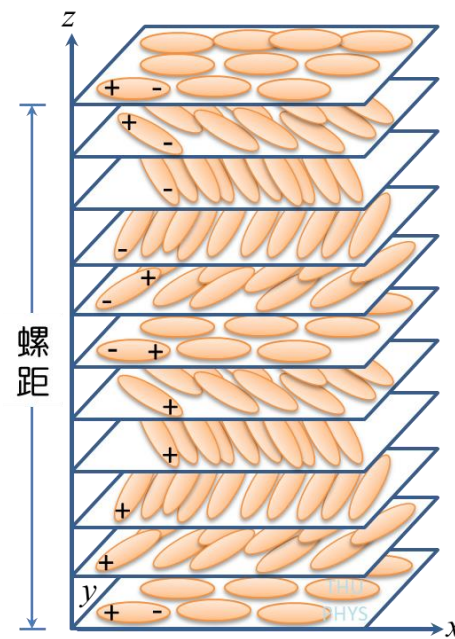
- ➡ 向列液晶 (Nematic)
- ➡ 層列液晶 (Smectic)
- ➡ 膽甾相液晶 (Cholesteric)



層列液晶 (Smectic)

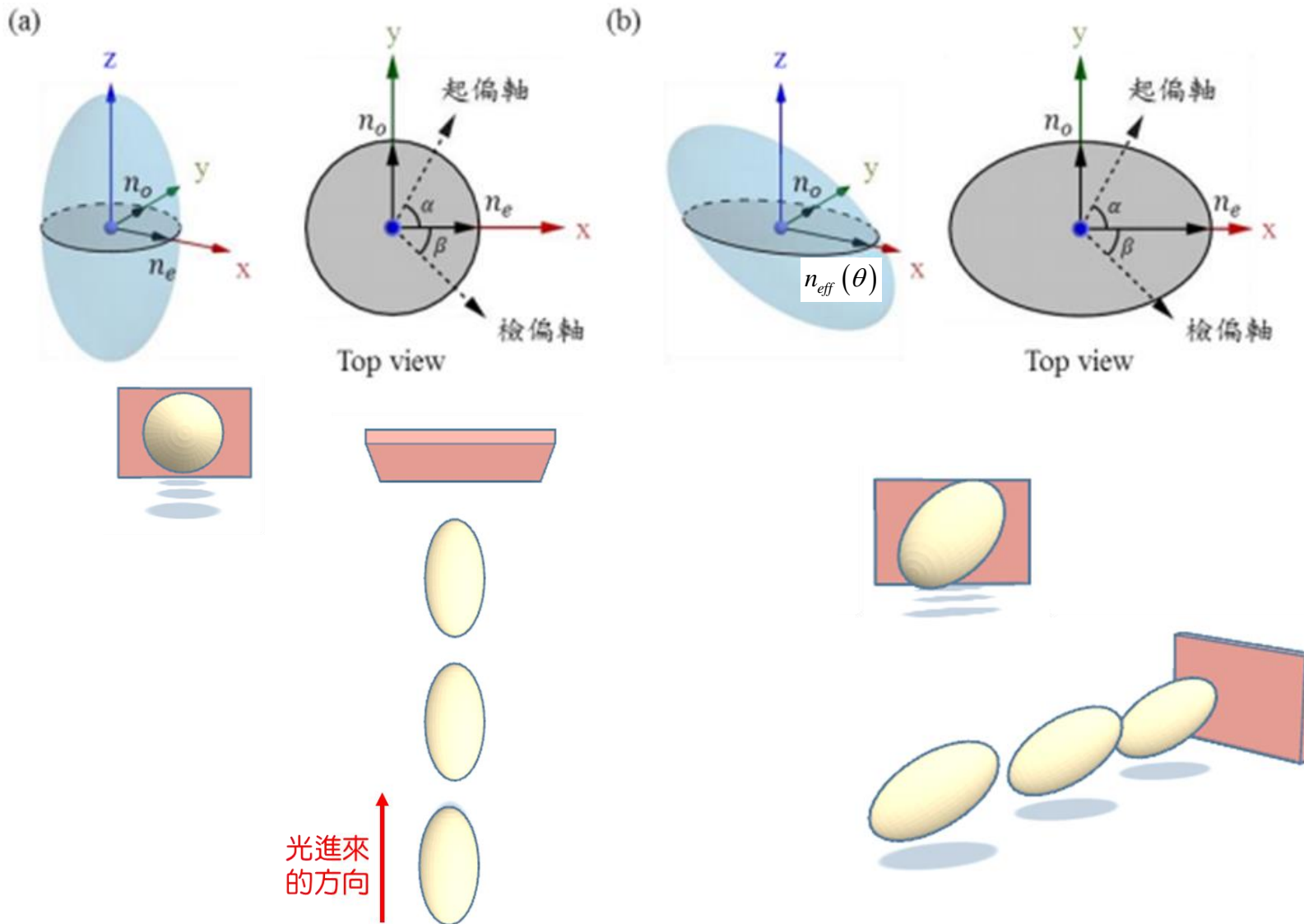


向列液晶 (Nematic)



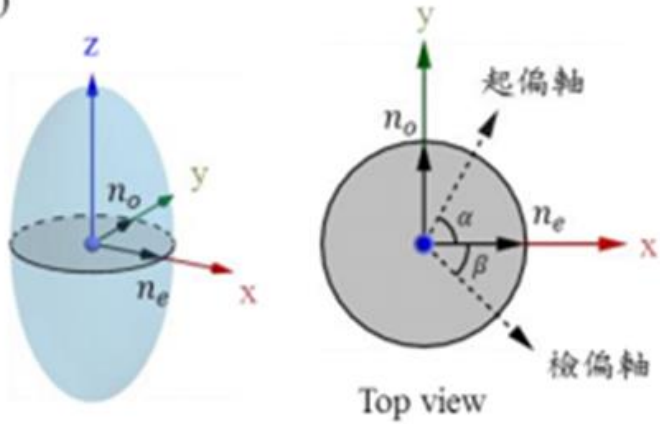
膽甾相液晶 (Cholesteric)

液晶分子受電場作用沿 X 方向轉動，造成 $n(\theta)$ 的變化。

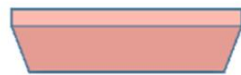


液晶分子受電場作用沿 X 方向轉動，造成 $n(\theta)$ 的變化。

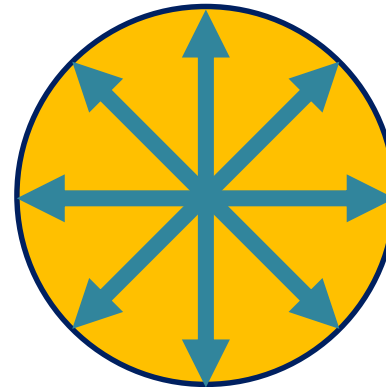
(a)



看到的只有 n_o ，不會有雙折射現象。



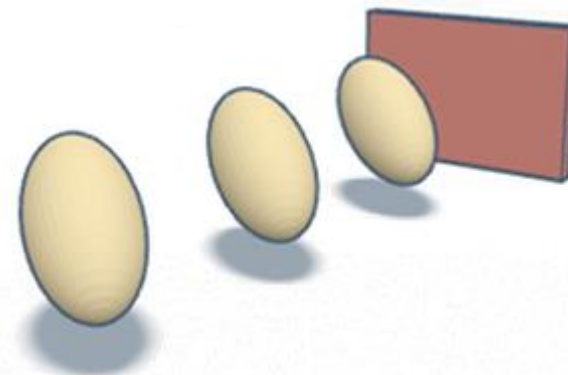
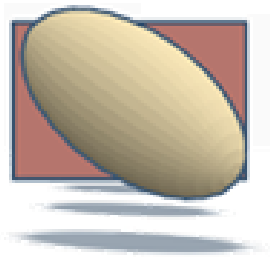
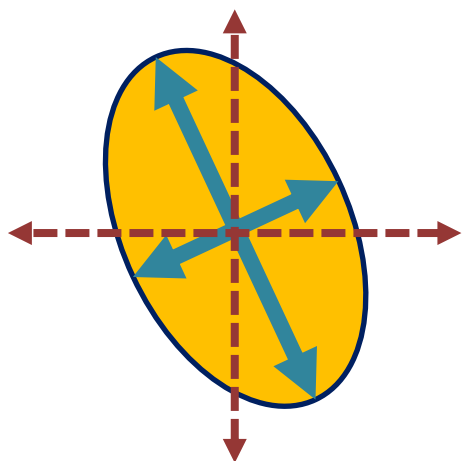
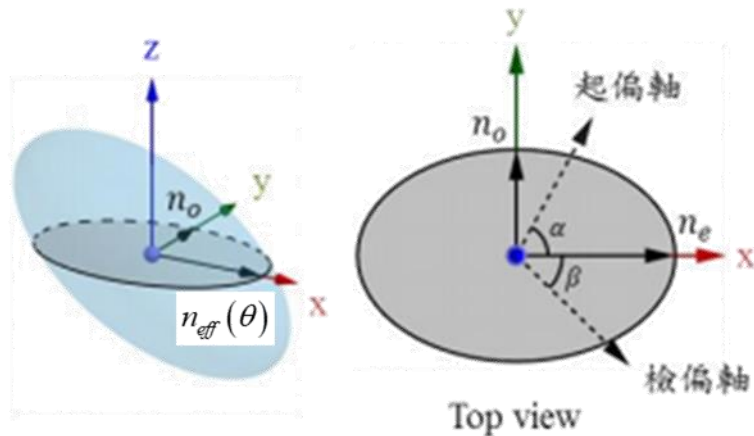
光進來的方向
↑



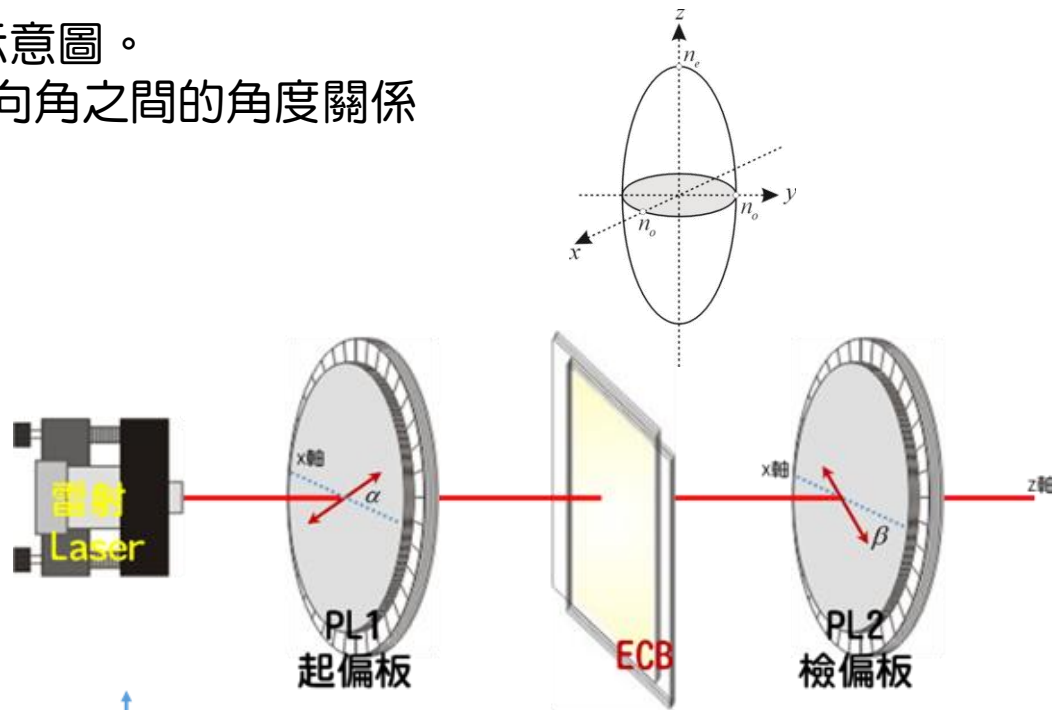
液晶分子受電場作用沿X方向轉動，造成 $n_{eff}(\theta)$ 的變化。

液晶兩端加偏壓，液晶偏轉，使通過的光之 X 偏振與 Y 偏振有相位差。

(b)



EBC型液晶盒之結構示意圖。 起偏板、檢偏板與配向角之間的角度關係



雙折射晶體

兩個光軸方向



入射光偏振方向 // 長軸

輸出的光偏振為線偏振

入射光偏振方向 ⊥ 長軸 (// 短軸)

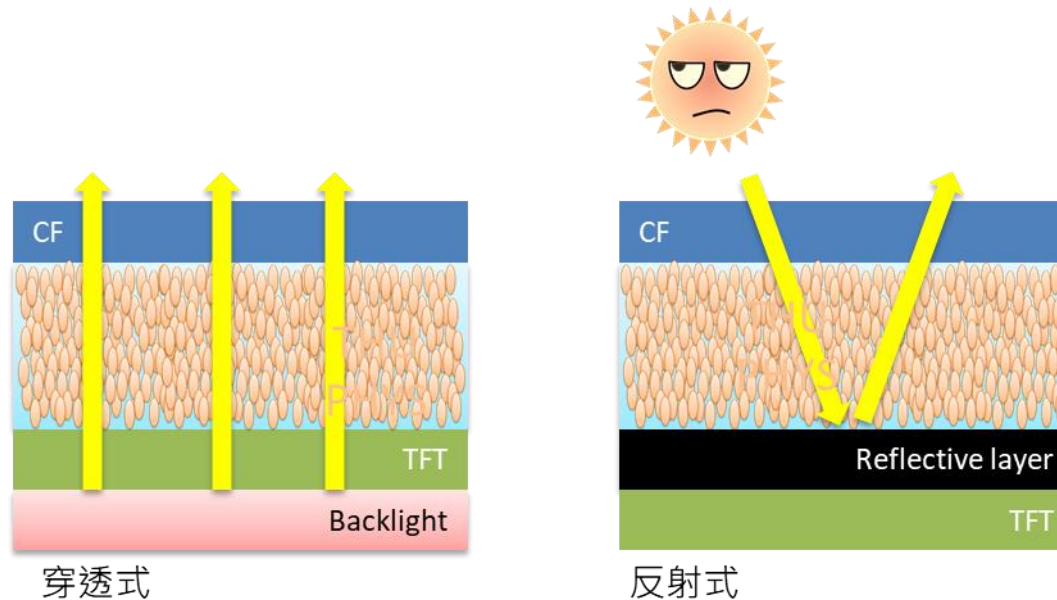
輸出的光偏振為線偏振

入射光偏振方向與光軸有夾角

輸出的光偏振可能為線偏振、橢圓偏振、圓偏振

電控雙折射型 (Electrically Controlled Birefringence, ECB) 液晶盒

『反射式』與『穿透式』液晶



在『實驗6：液晶』實驗中，我們使用的是**穿透式液晶盒**。

在『實驗9：空間光調變SLM』實驗中，則是使用**反射式液晶盒**。

傳統液晶面板為穿透式LCD，透過背光模組提供光源。

反射式LCD則是將外在光源反射，達到螢幕顯示的效果，這樣的設計，可以在強光下保持畫面清晰，同時節省能源，缺點則是在黑暗處視覺辨識效果較差。

一般螢幕按照“照明方式”可分為：

『反射式 (Reflective)』螢幕

螢幕背面有反光鏡，為陽光、燈光下閱讀提供光源。

優點：在戶外日照等強光源下表現優異。

缺點：在弱光或無光下看不清或無法閱讀。

『穿透式 (Transmissive)』螢幕

螢幕背面沒有反光鏡，靠背光提供光源。

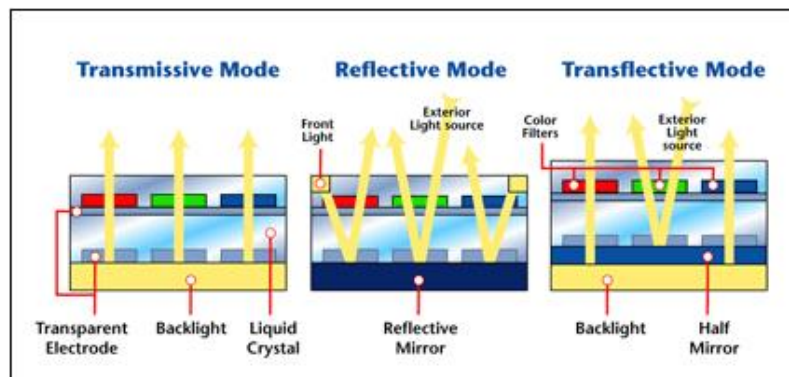
優點：弱光、無光下閱讀能力優秀。

缺點：在戶外陽光下背光亮度嚴重不足。

單純依靠提高背光亮度，會急速損失電量，而且效果也非常不理想。

『半穿透半反射 (Transflective)』螢幕

就是將反射式螢幕的背面的反光鏡換成鏡面反光膜。而反光膜，正面看是鏡子，而背面看能看穿鏡子，是透明的玻璃。且加入全透型的背光；可以說半反半透螢幕是反射式螢幕和穿透式螢幕的混血兒。集中了兩者的優點，兼具反射式螢幕在戶外陽光下的優秀閱讀能力，和穿透式螢幕在弱光和無光下閱讀的優異能力。



用顯微鏡看螢幕

acer 液晶螢幕-LED

iPad air 液晶螢幕

小米手環6是OLED

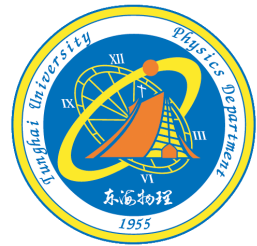
小米手環螢幕



手機
顯微鏡



有觸控功能



籠式系統

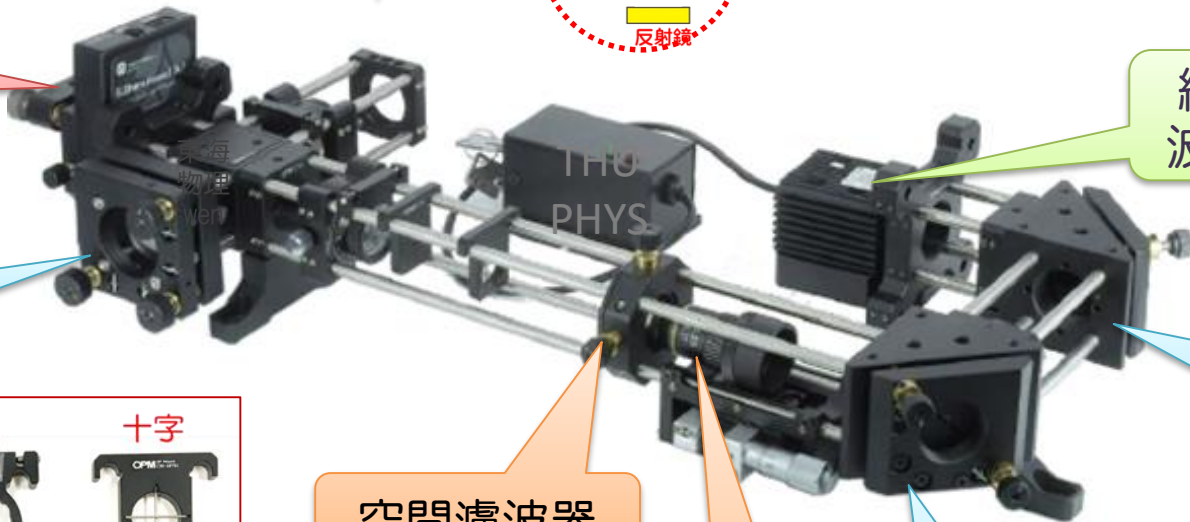
空間光調變
套裝儀器



SLM

SLM

反射鏡



綠光雷射
波長532nm

反射鏡-
調整近光

空間濾波器

擴束鏡

反射鏡-
調整遠光

SLM套組之配件



籠式系統

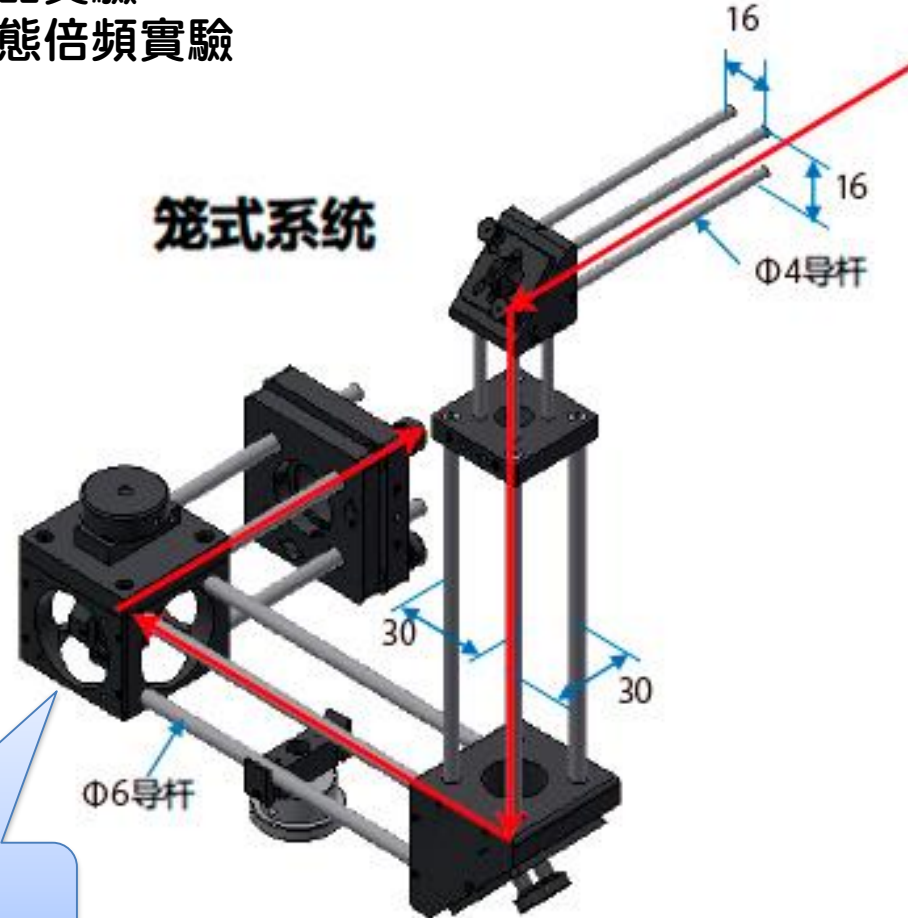
實驗室裡大多是
傳統光學系統

幾何光學
偏振實驗
液晶實驗
固態倍頻實驗
...



传统的光学实验装置

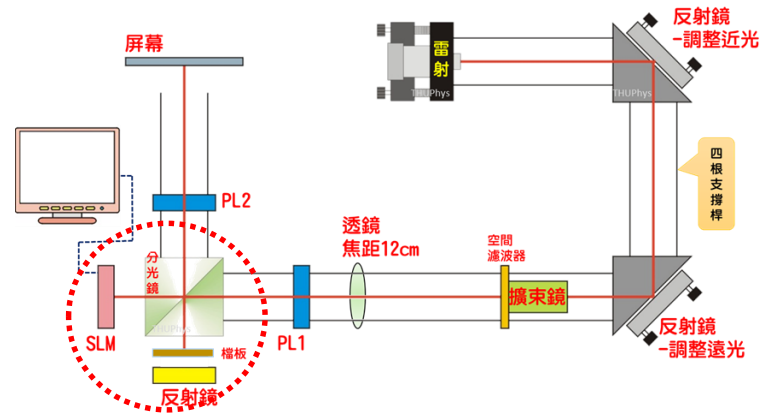
籠式系統



SLM實驗是
籠式系統

空間光調變 套裝儀器

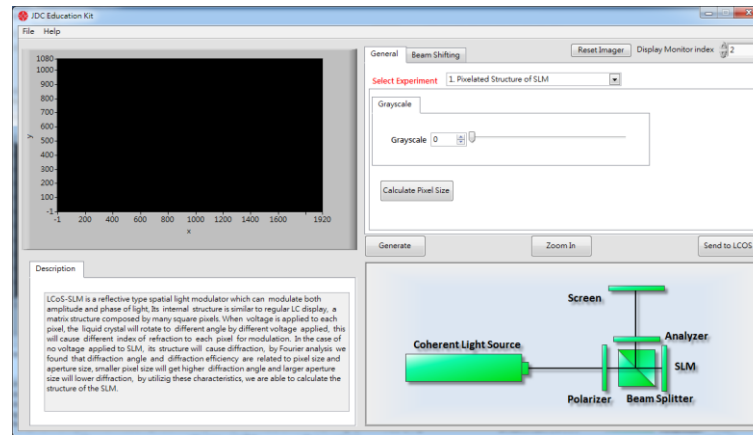
SLM 的
正面、側面與右側



圖一. EDK SLM 硬體

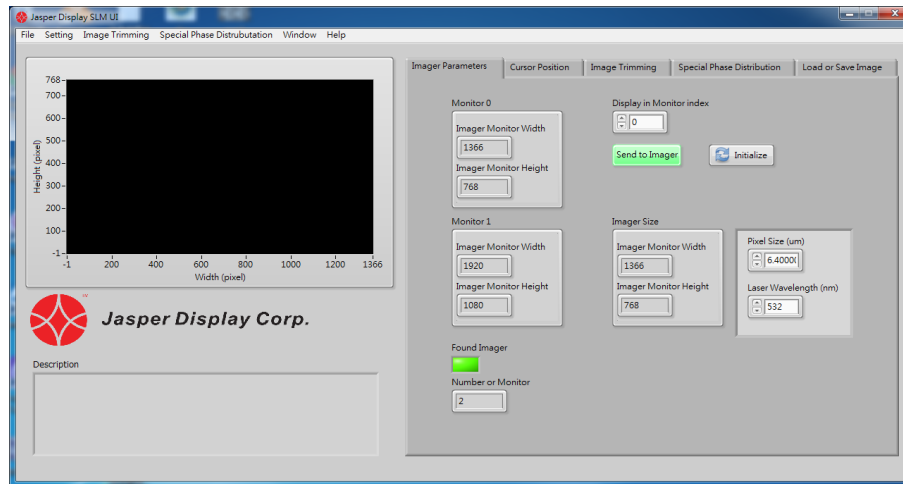
使用的軟體：

軟體1：『JDC EDK Kit』（教育套件軟體）



事先提醒：
兩套軟體的設定
有些不同

軟體2：『Jasper SLM Application』（應用軟體）



提醒：兩套軟體的ICON一樣

電腦的設定：

桌面按右鍵，點選『螢幕解析度』，多部顯示器(M)：設定為『**延伸這些顯示器**』

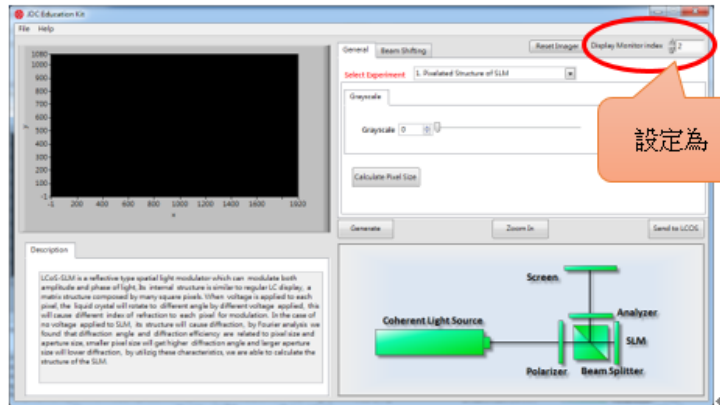
確定電腦有偵測到JDC裝置。



1-JDC EDK…空間光調變器SLM。

2-95NA……螢幕顯示器，目前該實驗使用的電腦所連接的顯示器。

開啟「JDC EDK Kit」軟體，「JDC EDK Kit」軟體會將主螢幕設定為 1，EDK 顯示設定為 2。在這邊我們需將「Display Monitor index」設定為「2」。如圖 14。
 (預設主螢幕為 1，延伸螢幕為 2。)



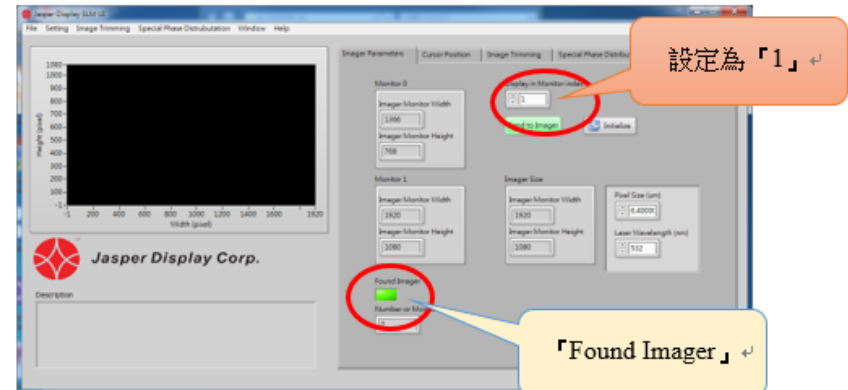
(圖 14) 需將「Display Monitor index」設定為「2」。

若是使用筆電連接 SLM
 先按『WIN+P』切換成延伸模式

- 軟體1：
 「JDC EDK Kit」 (教育套件軟體)
- 軟體2：
 「Jasper SLM Application」 (應用軟體)

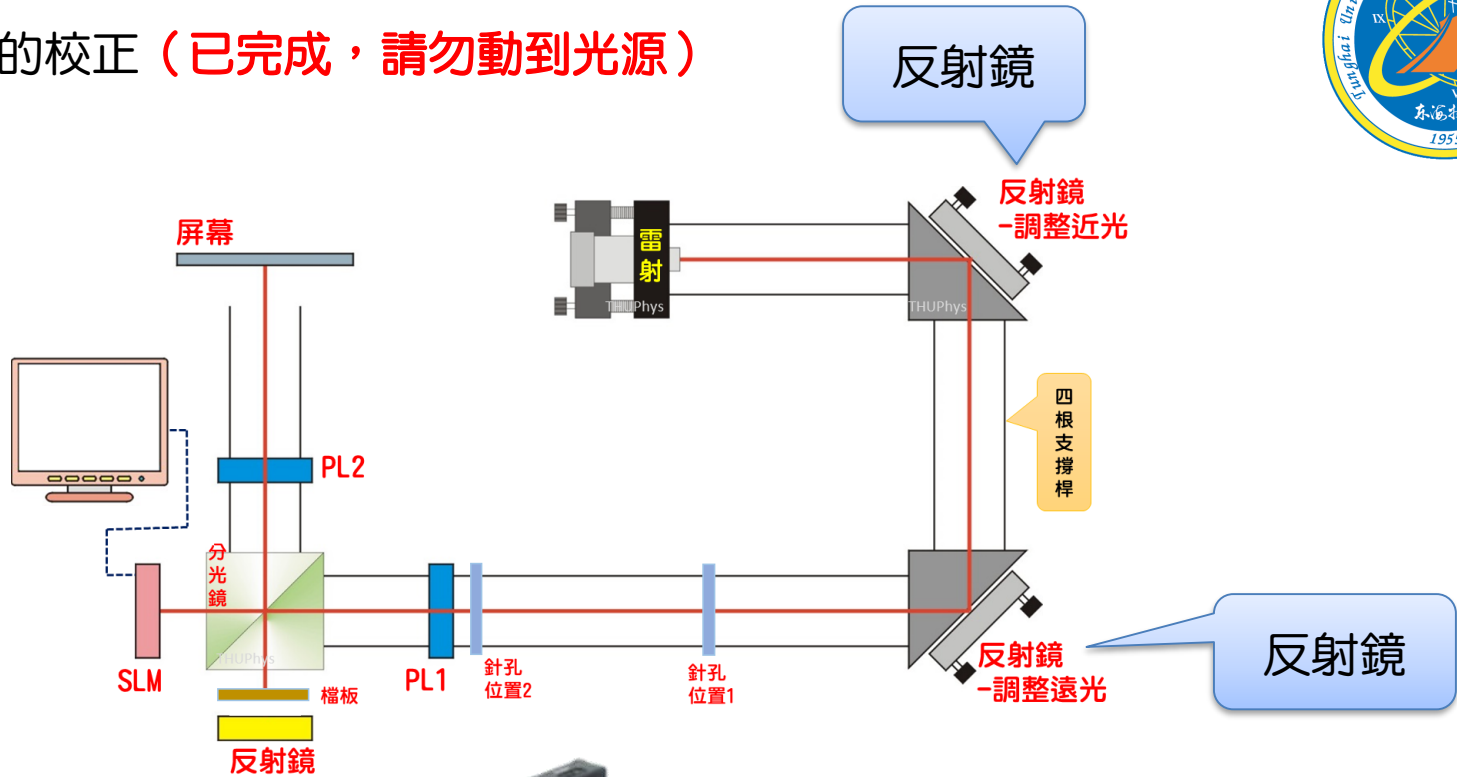
留意：兩套軟體的「Display Monitor index」設定不同

開啟「Jasper SLM Application」軟體，
 在「Jasper SLM Application」這套軟體中，「Display in monitor index」要設定為「1」。
 (預設主螢幕為 0，延伸螢幕為 1。)，如圖 15。
 留意：「Found Imager」圖示綠燈亮表示有偵測到 JDC 裝置。

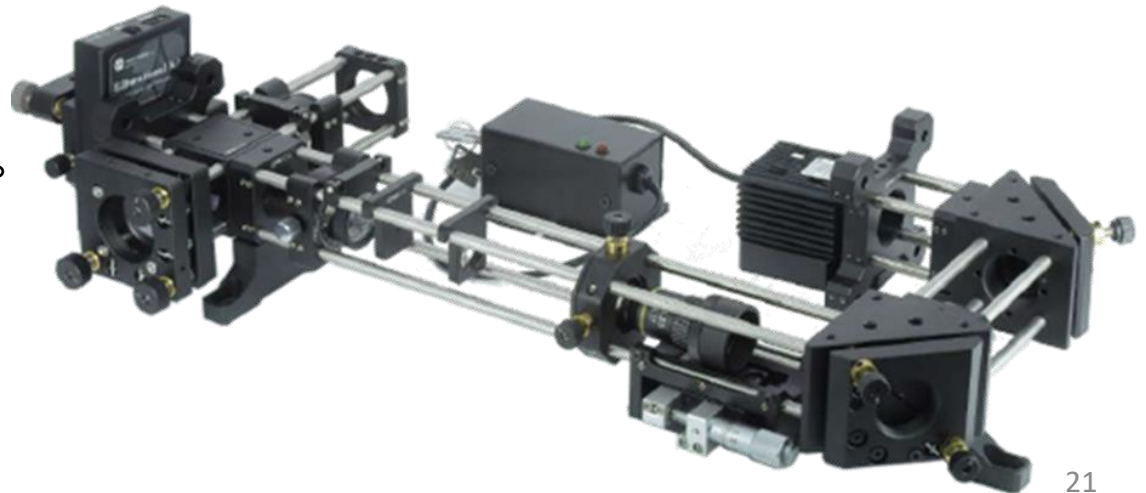


(圖 15) 需將「Display in Monitor index」設定為「1」。

(一) 光的校正 (已完成, 請勿動到光源)

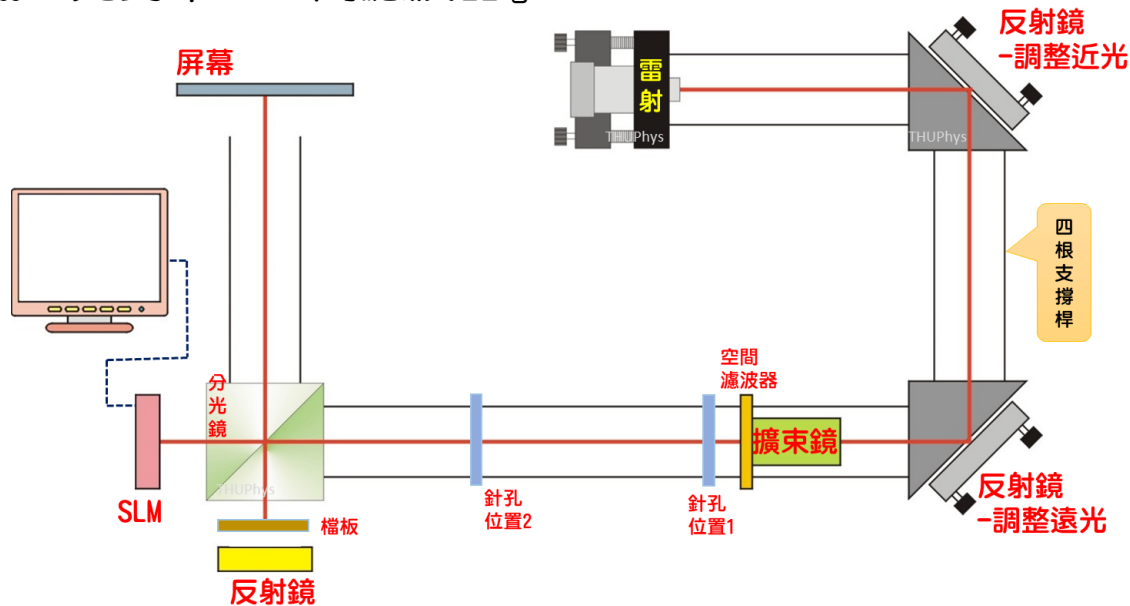


調整反射鏡使雷射光，
對準針孔擋板之中心，
確認光束在軌道支架中心線上。



(一) 光的校正 (已完成, 請勿動到光源)

放入擴束鏡、空間濾波器、微調雷射光路，
使得輸出光對準『空間濾波器』。



放入『針孔』調光。

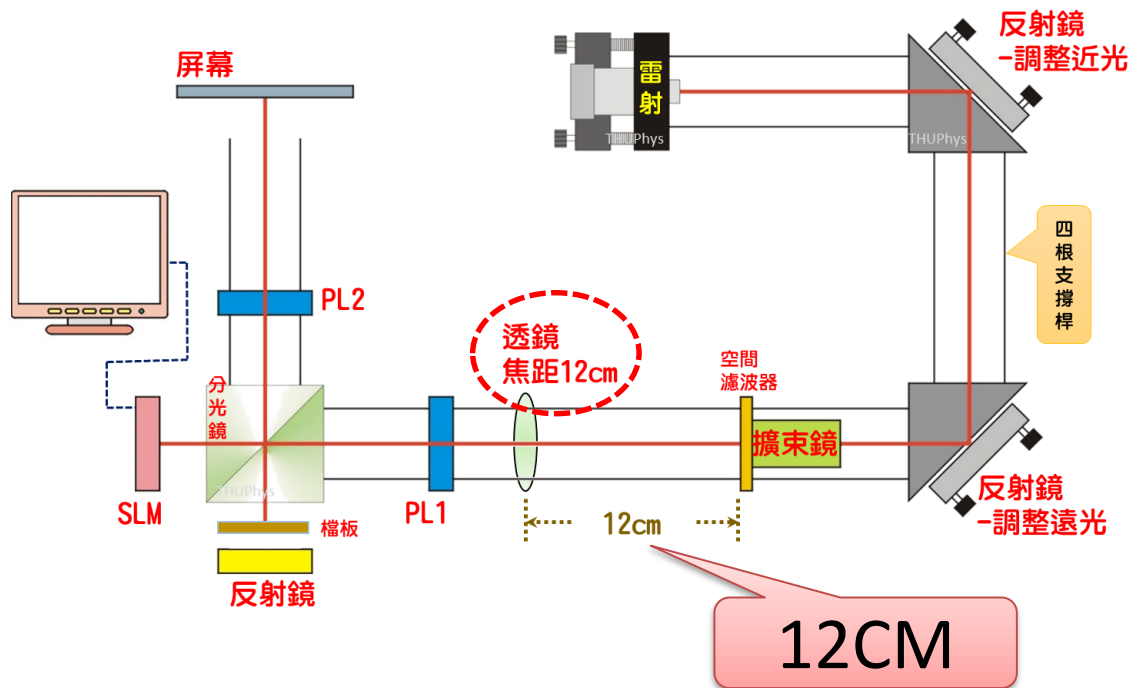
調整**近光**：將『針孔』靠近擴束鏡（位置1）調整『反射鏡-調整近光』。

調整**遠光**：將『針孔』靠近PL1（位置2），調整『反射鏡-調整遠光』。

移開『針孔』，確定輸出光束圓心在PL1中心。使擴束鏡中心線與雷射光重合。

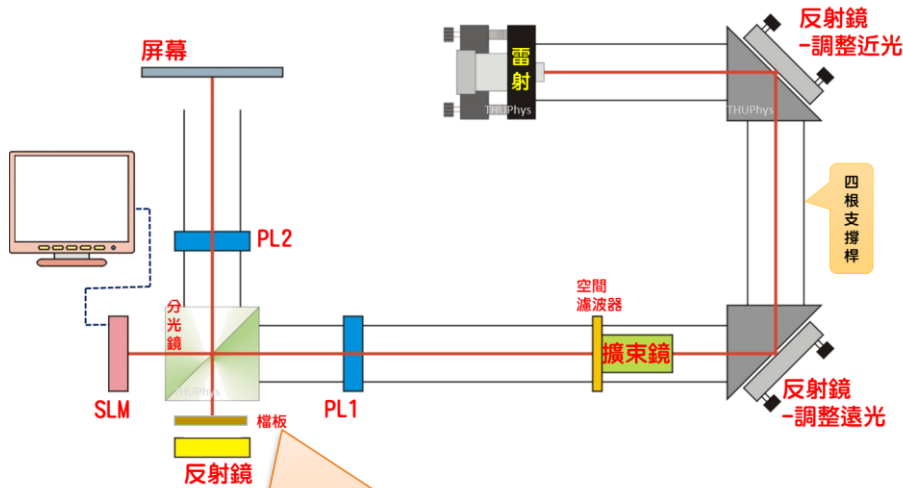
(一) 光的校正 (已完成, 請勿動到光源)

放入透鏡 (焦距12cm), 調整透鏡位置, 使得透鏡 (焦距12cm) 與空間濾波器距離約12cm。此動作的目的是要讓輸出光為平行光。



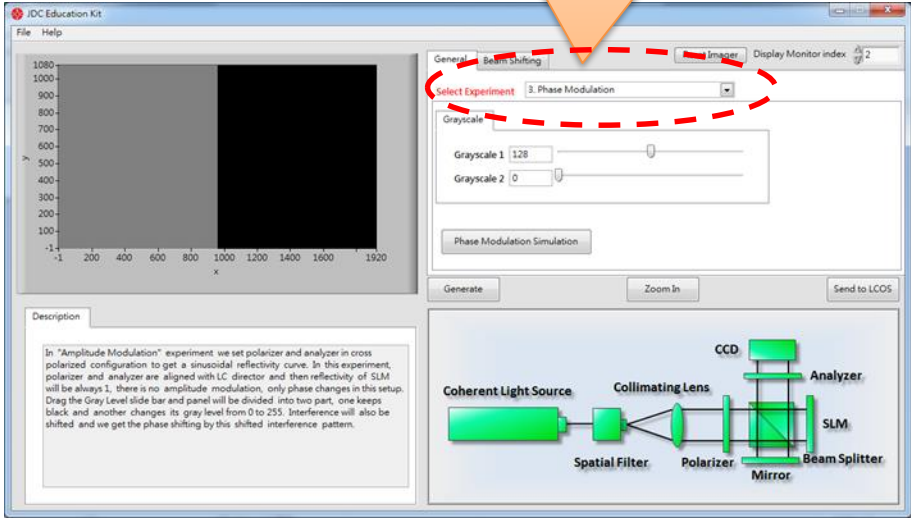
(二) 相位調變

(2A) 確認PL1與液晶長軸的關係 (平行或垂直)



在反射鏡前方放入『擋板』，擋住反射鏡反射回來的光。

在『Select Experiment』選擇『3-Phase Modulator』

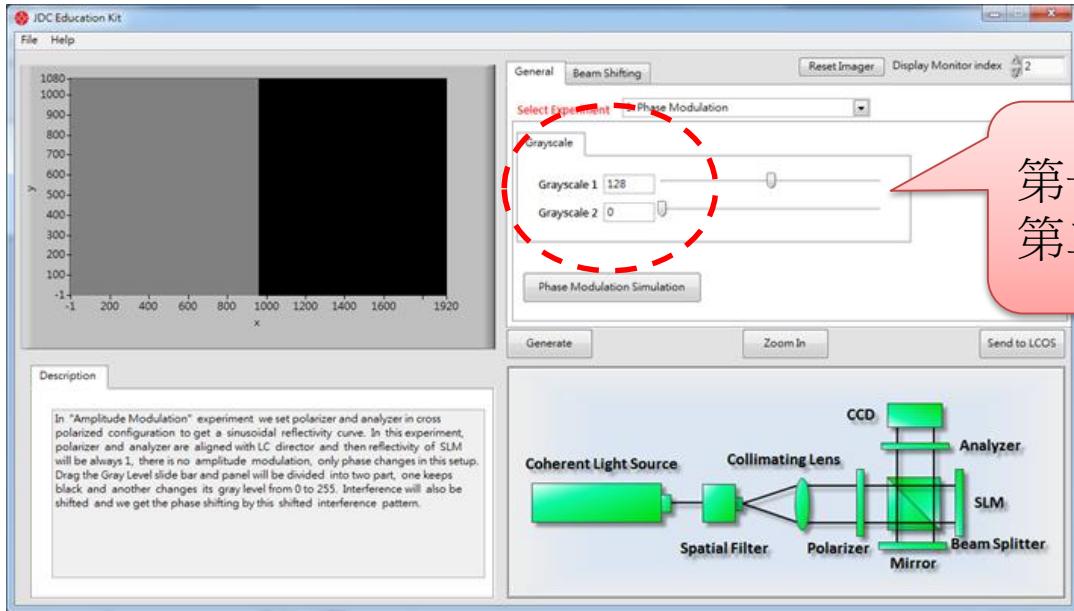


灰階 (Grayscale) 設定範圍：0-255 ◀

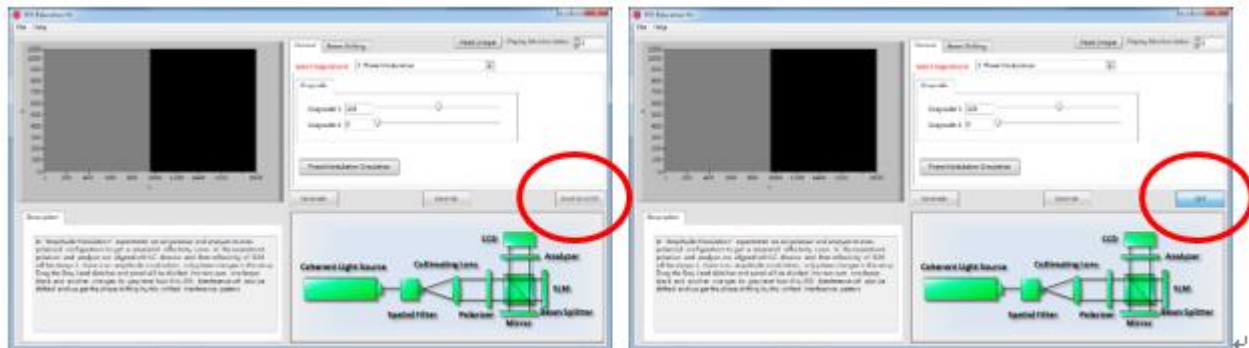
灰階 ◀	0 ◀	128 ◀	255 ◀
相位差 ◀	0 ◀	π ◀	2π ◀
顯示 ◀	全暗 ◀	灰階 ◀	全亮 ◀

這邊的灰階設定 (0-255) 是指SLM使光線產生 0 到 2π 的相位差。這邊的『相位差』，指的是平行液晶長軸的偏振光與平行短軸的偏振光之間的相位差。

(二) 相位調變
 (2A) 確認PL1與液晶長軸的關係 (平行或垂直)



第一項 (Grayscale 1) 設定 128
 第二項 (Grayscale 2) 設定 0

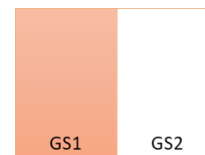


(圖 22 左) 按「Send to LCOS」傳送影像。(圖 22 右) 按「OFF」停止影像傳送。

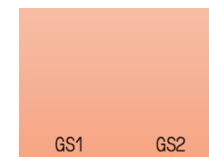
(二) 相位調變

(2A) 確認PL1與液晶長軸的關係（平行或垂直）

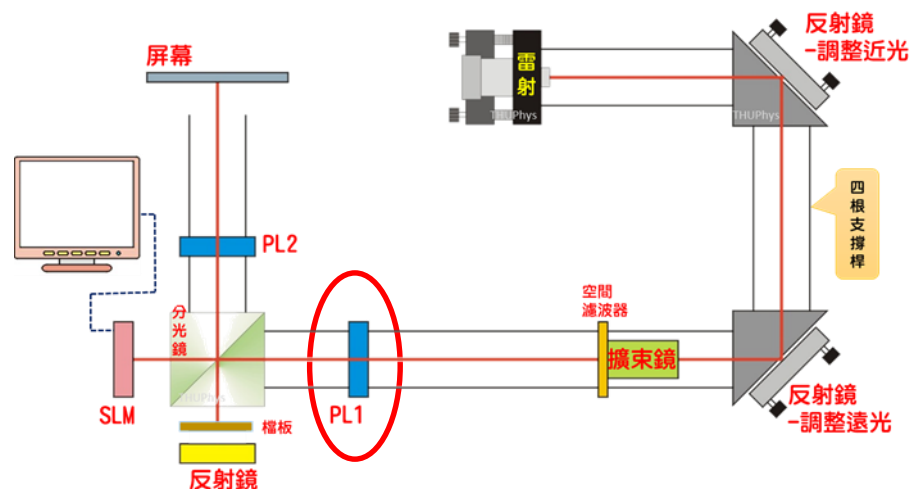
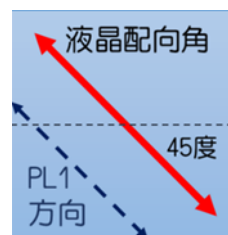
前一個動作完成後，此時屏幕上兩邊的亮度不一樣。



旋轉PL1 可以看到屏幕兩邊的亮度隨著改變，直到屏幕上兩邊的亮度一樣，



此時 PL1//液晶的長軸或短軸，
則 SLM 只會使光產生相位差（即光程差），
不會使光的偏振方向改變。

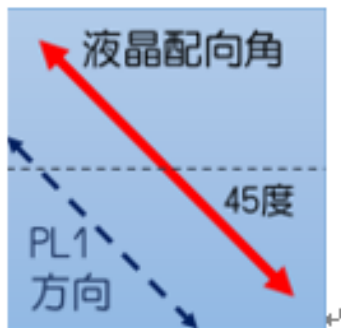


(二) 相位調變

(2A) 確認PL1與液晶長軸的關係 (平行或垂直)

補充：入射光偏振 與 液晶配向角 的關係

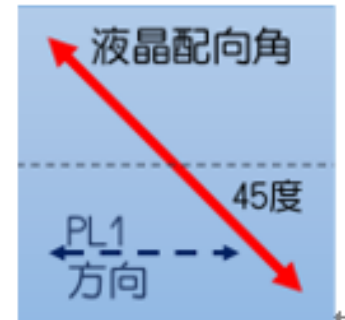
PL1//液晶配向角



輸入 (in) 的光是線偏振 = ⊕

輸出 (out) 的光是線偏振 = ⊕

PL1 與液晶配向角夾 45 度角



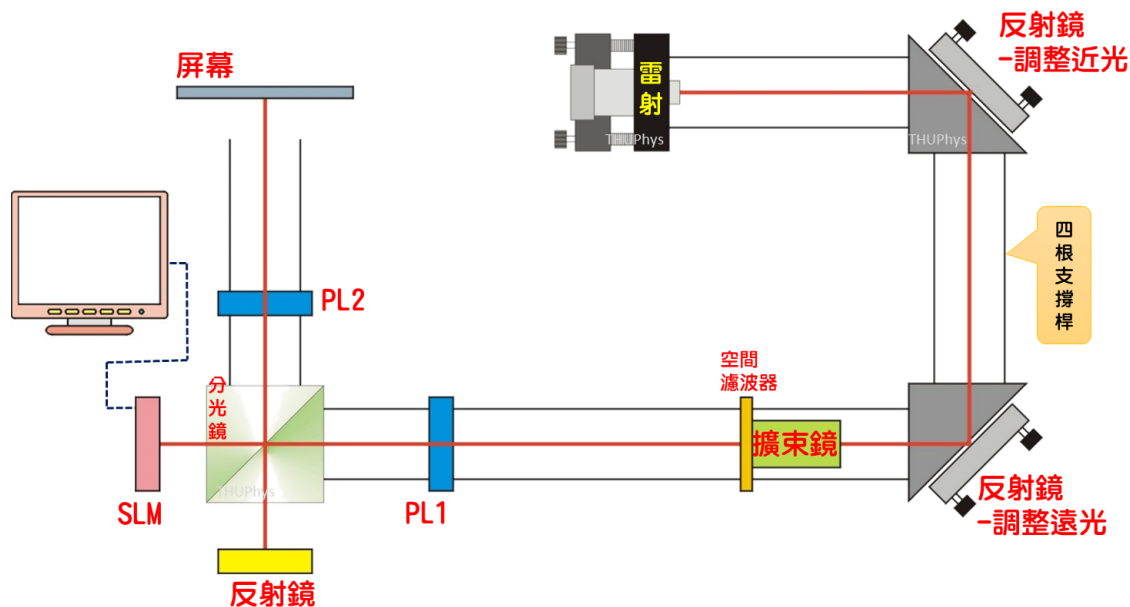
輸入 (in) 的光是線偏振 = ⊕

輸出 (out) 的光，橢圓、圓或線偏振 = ⊕

(二) 相位調變

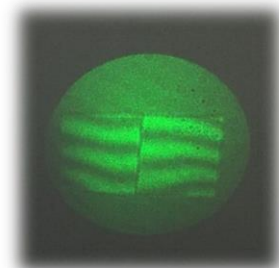
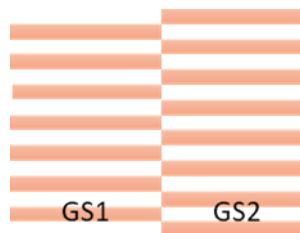
(2B) 確認PL1與液晶的配向角(即是液晶長軸)的關係。

拿掉反射鏡前方的『**檔板**』，調整反射鏡角度，調出**等厚干涉條紋**。

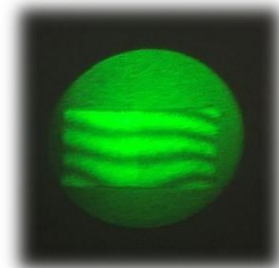
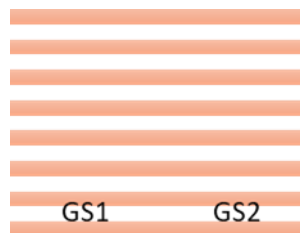


旋轉PL1

PL1//液晶配向角時



PL1⊥液晶配向角



(三) 用SLM進行空間光調變相位的應用

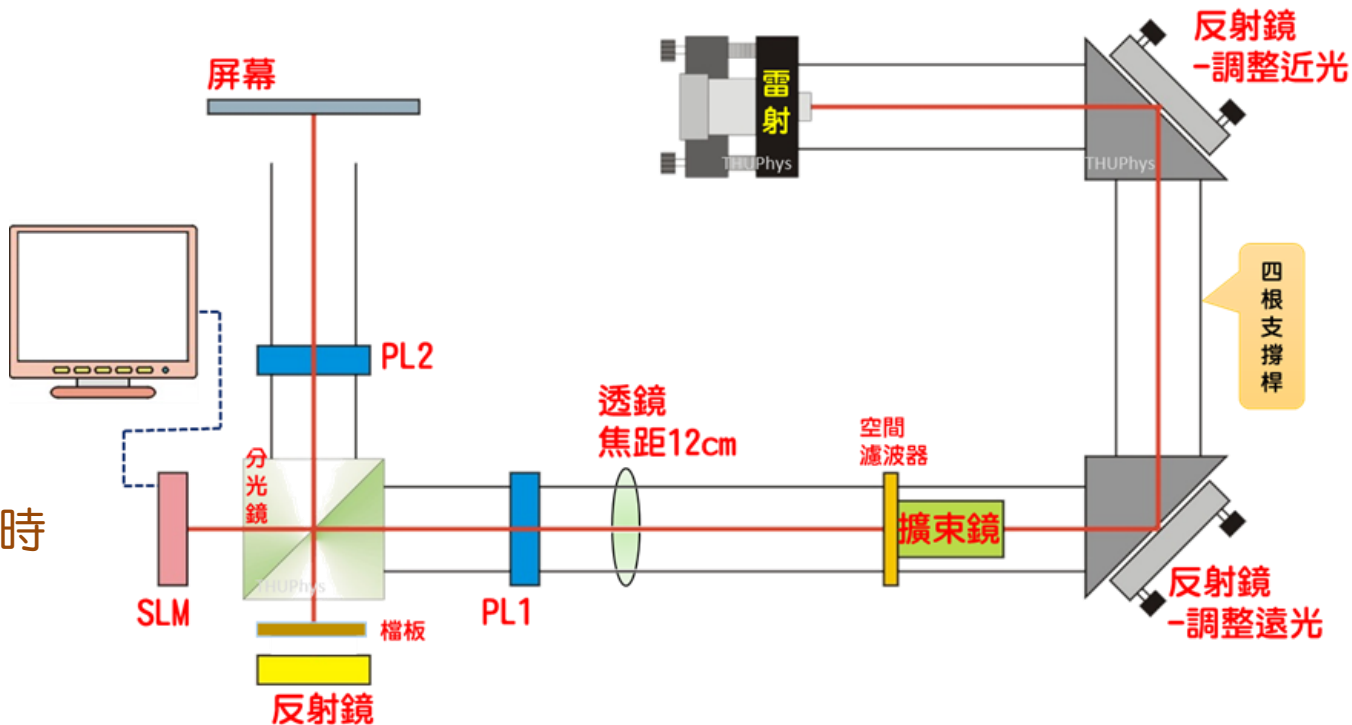
先確認

PL1//液晶配向角

PL1 // PL2

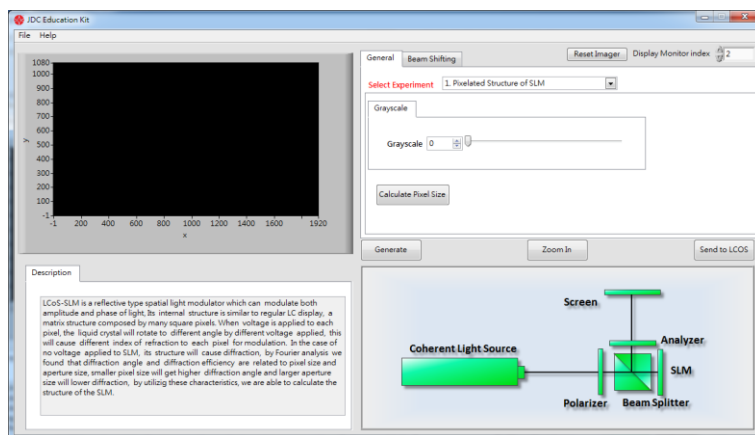
放入『檔板』與『焦距12cm的透鏡』

前一步驟先確定
PL1//液晶配向角時

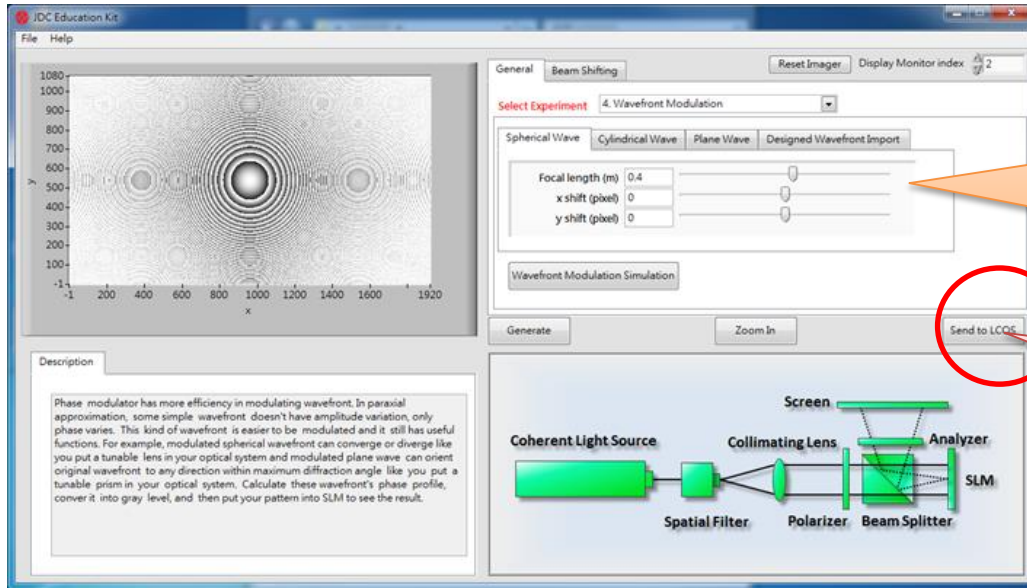


(三) 用SLM進行空間光調變相位的應用 (3A) Fresnel Lens (菲涅耳透鏡)

軟體1：『JDC EDK Kit』（教育套件軟體）



(三) 用SLM進行空間光調變相位的應用 (3A) Fresnel Lens (菲涅耳透鏡)

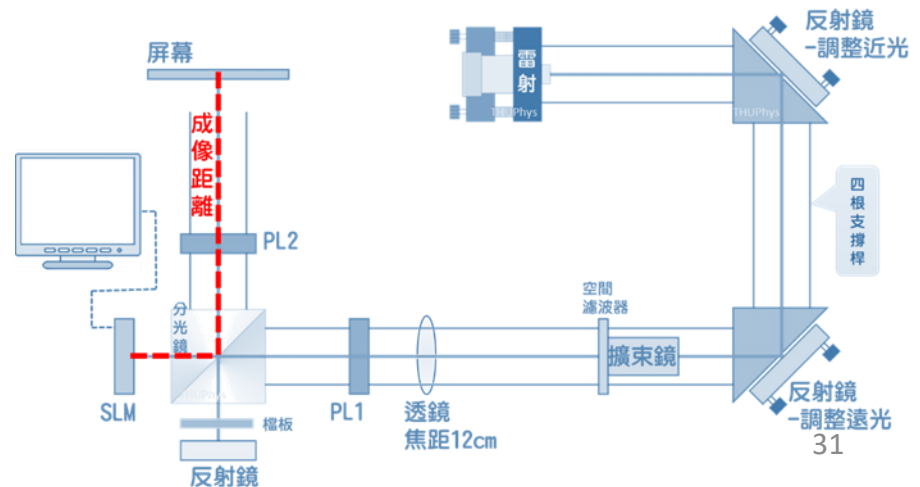


(建議Focal length設定在 0.2-0.3 m之間)
(成像距離)

『Send to LCOS』，
輸出影像至SLM。

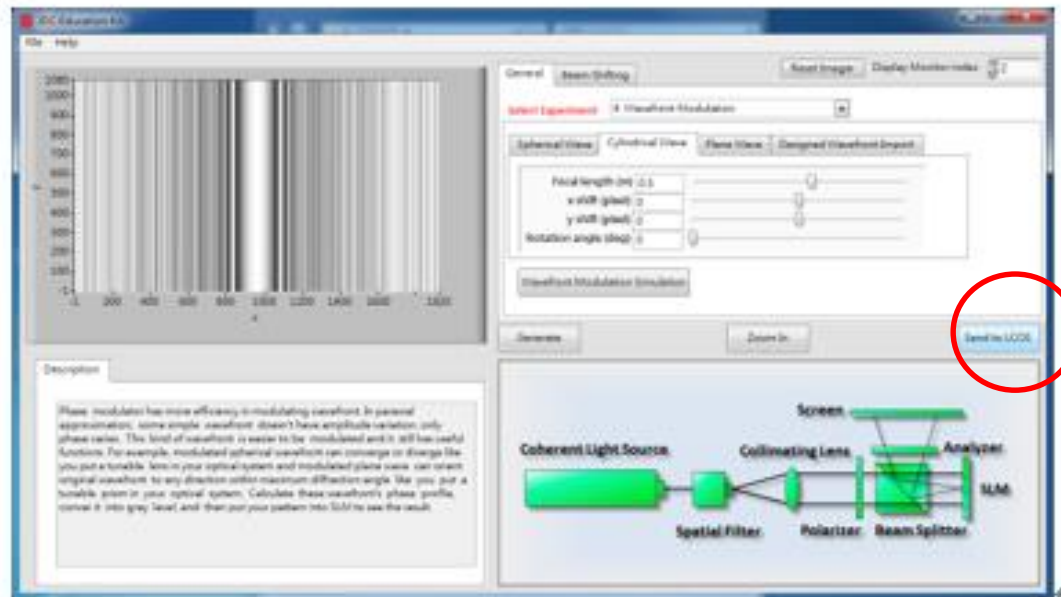
『Select Experiment』
選擇『4-Wavefront Modulator』

選擇『Spherical Wave』(球面波)，觀察
畫面上的輸出影像是Fresnel lens。



(三) 用SLM進行空間光調變相位的應用
 (3A) Fresnel Lens (菲涅耳透鏡)

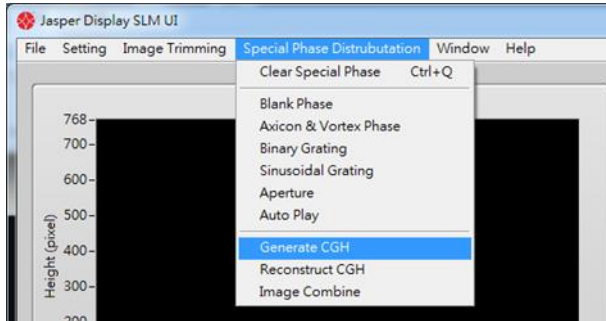
改用「Cylindrical wave」(圓柱波)，如圖 33，重複測三次。(建議 Focal length 設定在 0.2-0.3 m 之間) ←



(圖 33) 選擇「Cylindrical wave」(圓柱波) ←

(三) 用SLM進行空間光調變相位的應用
 (3B) 傅立葉轉換

製作傅氏轉換圖



本程式輸入影像必須是邊長相同的正方形影像，如果是長方形的影像，本程式會以長邊當作正方形的邊長畫圖。

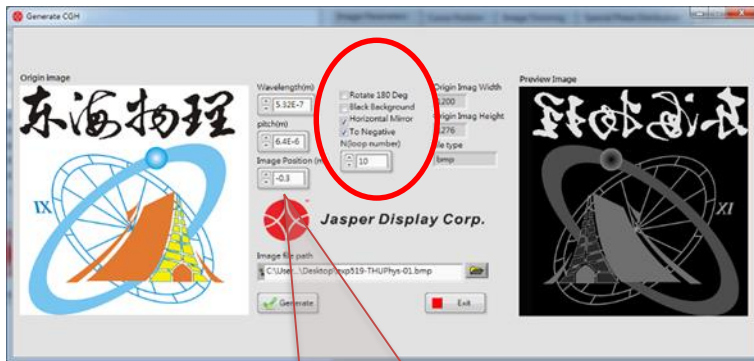
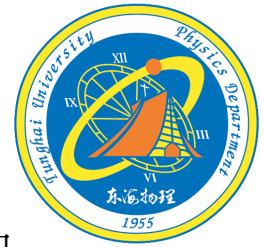
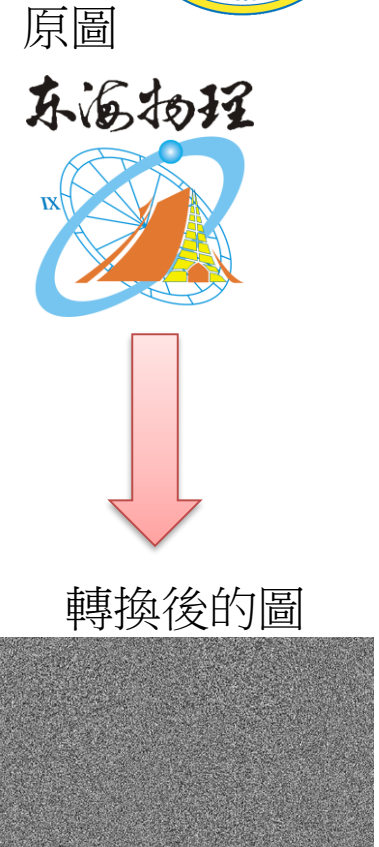
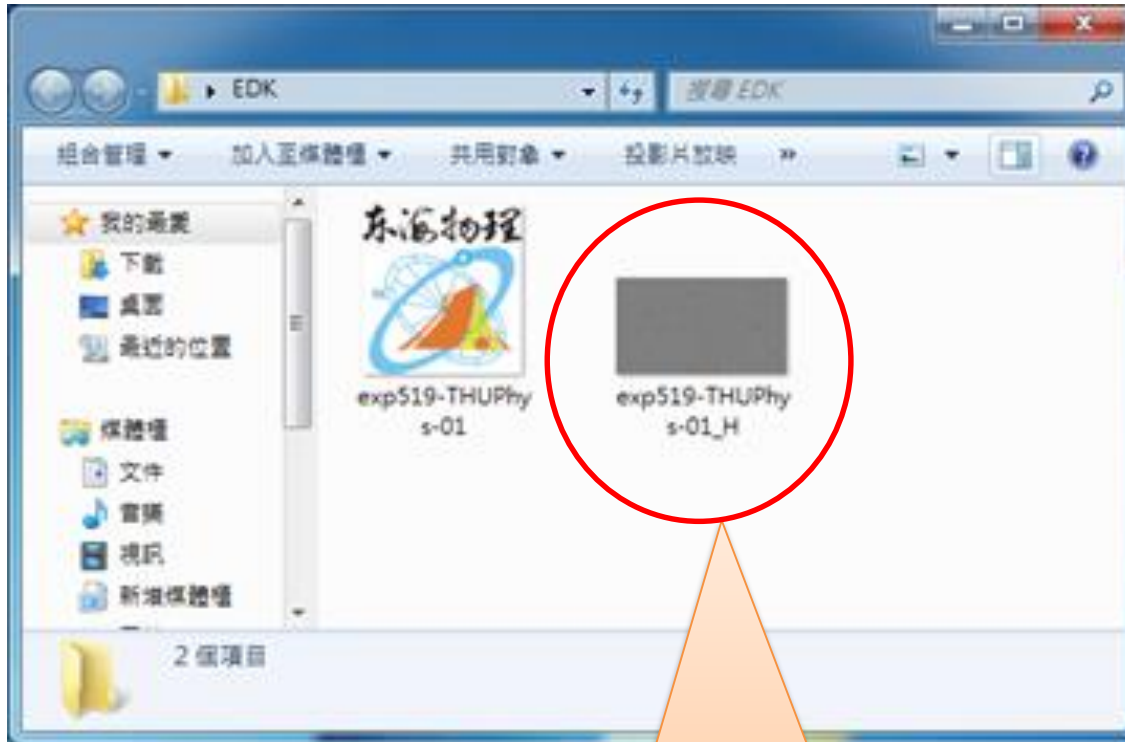


Image Position = - 0.3
 (負0.3)

<input checked="" type="checkbox"/> Rotation 180 Degree↔	將圖片上下顛倒。↔
<input checked="" type="checkbox"/> Block Background↔	將非正方形圖片空白部分塗黑。↔
<input checked="" type="checkbox"/> Horizontal Mirror↔	將圖片左右相反。↔
<input checked="" type="checkbox"/> To Negative↔	將圖片反白。(此項目務必點選)↔

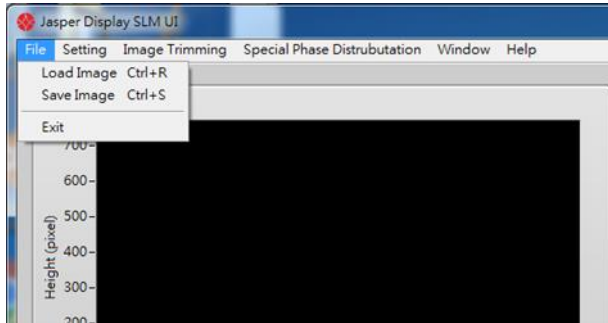


(三) 用SLM進行空間光調變相位的應用
(3B) 傅立葉轉換



轉換後的圖檔名稱會是『原始檔案名稱__H.bmp』。

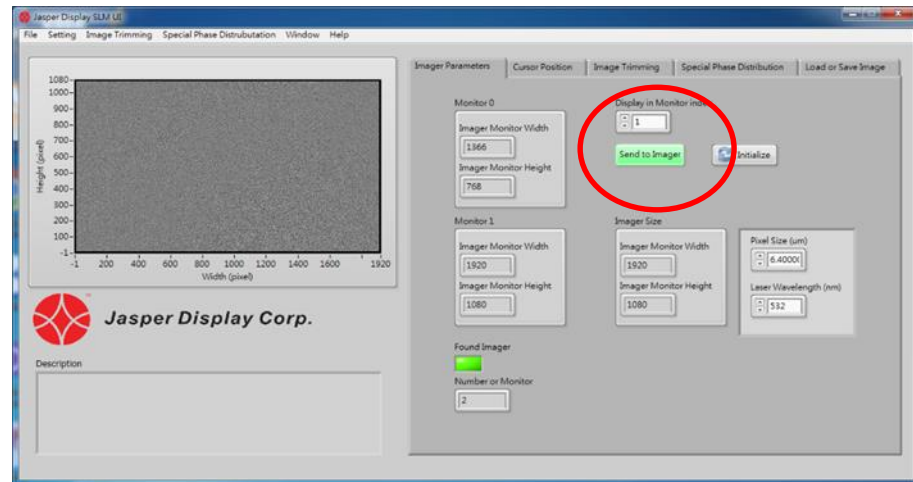
(三) 用SLM進行空間光調變相位的應用
 (3B) 傅立葉轉換



在『Jasper SLM Application』主畫面中，按上方『File』→『Load Image』將轉換完成的傅氏圖匯入。

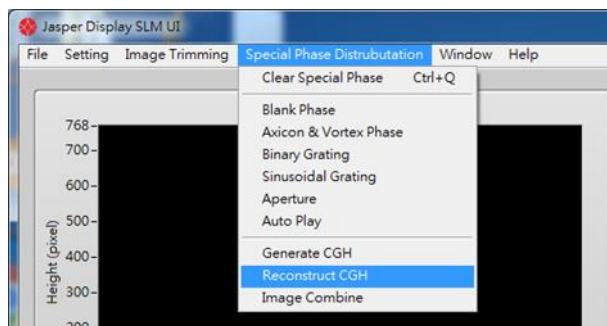


『Display in Monitor index』點選『1』。
 點選『Send to Imager』，將影像送至Imager。
 調整屏幕位置在0.3m位置（成像距離為0.3m），觀看屏幕上的影像，拍照記錄。

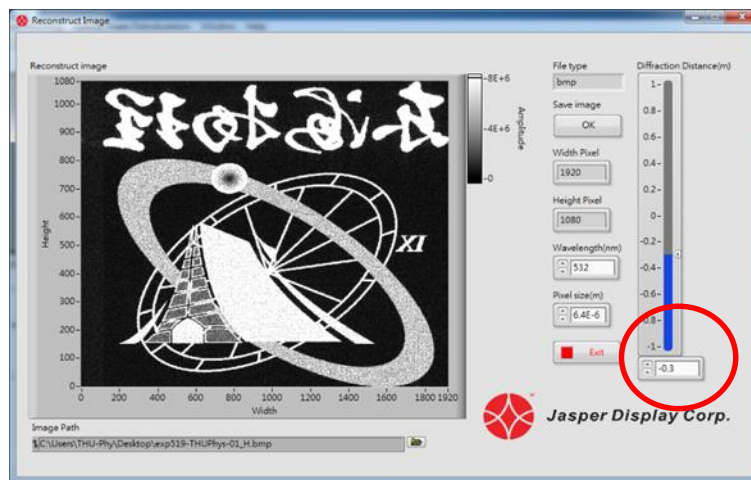


(三) 用SLM進行空間光調變相位的應用
 (3B) 傅立葉轉換

點選上方的『Special Phase Distribution』
 『Reconstruct CGH』可重建影像。

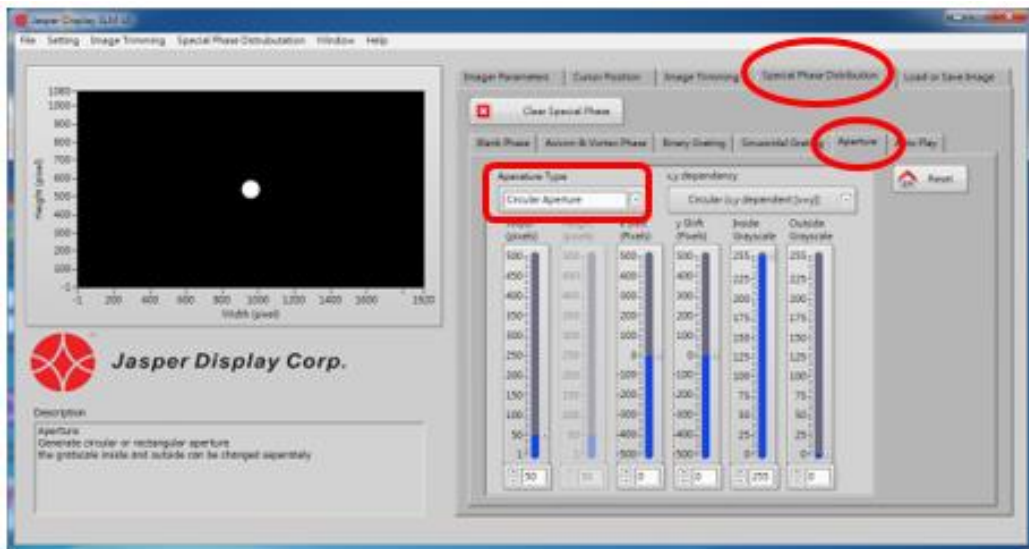


(Diffraction Distance(m)要設定為0.3)

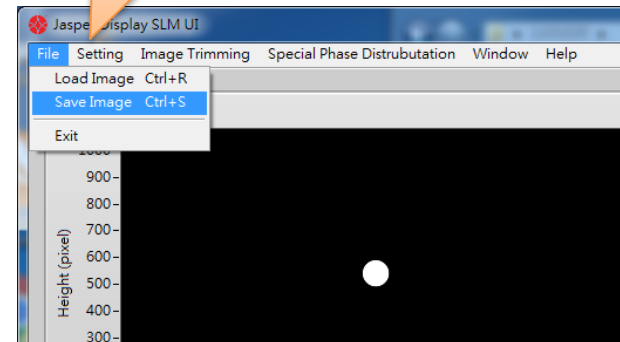


(三) 用SLM進行空間光調變相位的應用
 (3B) 傅立葉轉換

利用『Jasper SLM Application』軟體的『Special Phase Distribution』→『Aperture』，
 『Aperture Type』選取『Circular Aperture』，
 設定Width(pixels)約為20-40，
 『Inside Grayscale』設定為255，
 『Outside Grayscale』設定為0。
 再按左上方『File』→『Save Image』，
 儲存一個白色圓點的圖片檔案，再利用此圖片產生CGH，重複做傅立葉轉換。
 (備註：1 pixel=6.4um)。



存圖



(四) 振幅調變

1、將 PL1 轉 45 度，此時 PL1 與液晶配向角夾 45 度角，如圖 47。

↙



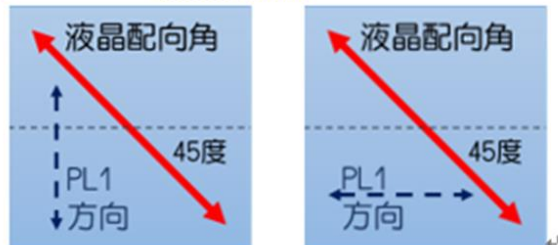
(圖 47) PL1 與液晶配向角夾 45 度角，左右兩種情況皆可。

↙

2、同時要旋轉 PL2，使得 $PL2 \perp PL1$ 。

3、記錄此時 PL1 刻度 = $18 + 45 = 63$ 。 PL2 刻度 = $205 + 45 = 250$ 。

PL1 與液晶配向角夾 45 度角



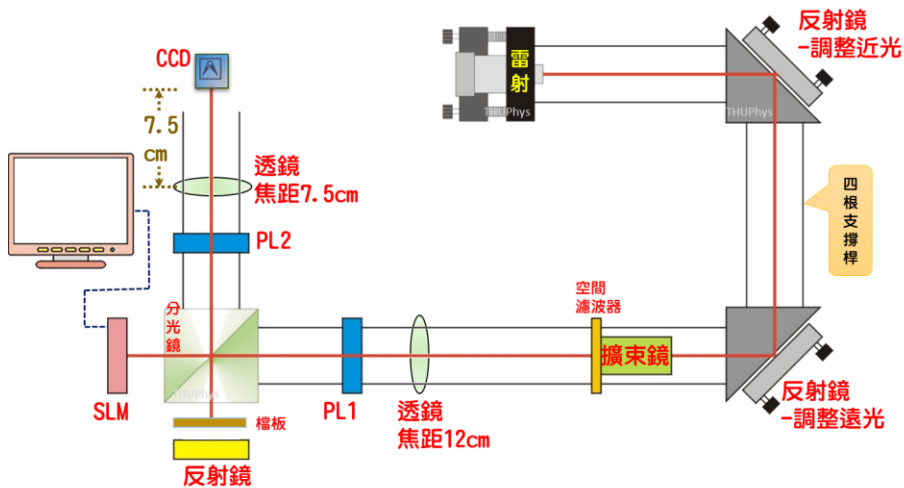
輸入 (in) 的光是線偏振。

輸出 (out) 的光，橢圓、圓或線偏振。

(四) 振幅調變
(4A) 單狹縫繞射

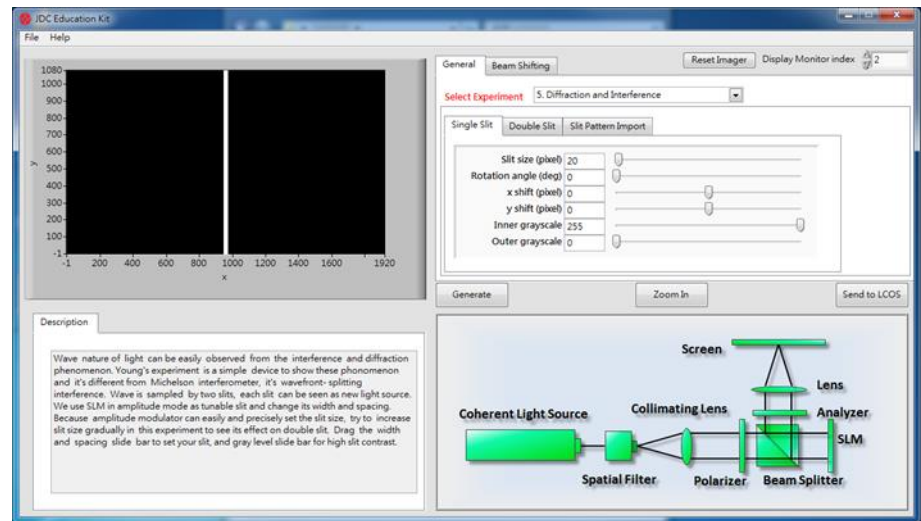
先確認

PL1與液晶配向角夾45度角
PL1 ⊥ PL2。



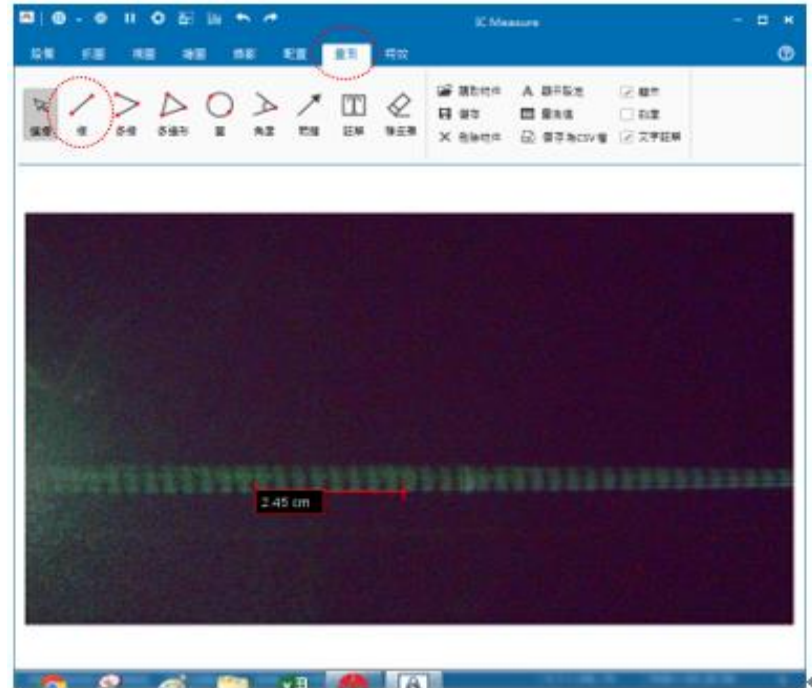
實驗室
使用的CCD鏡頭

開啟EDK軟體 (JDC EDK Kit) ,
將『Display Monitor index』選擇2。
軟體設定：『Select Experiment』,
選擇『5-Diffraction and interference』→
『Single Slit』。
Slit size(pixel)：設定為20-50 pixel



(四) 振幅調變
(4A) 單狹縫繞射

利用『IC Measure』的『量測』功能，
測量繞射寬度



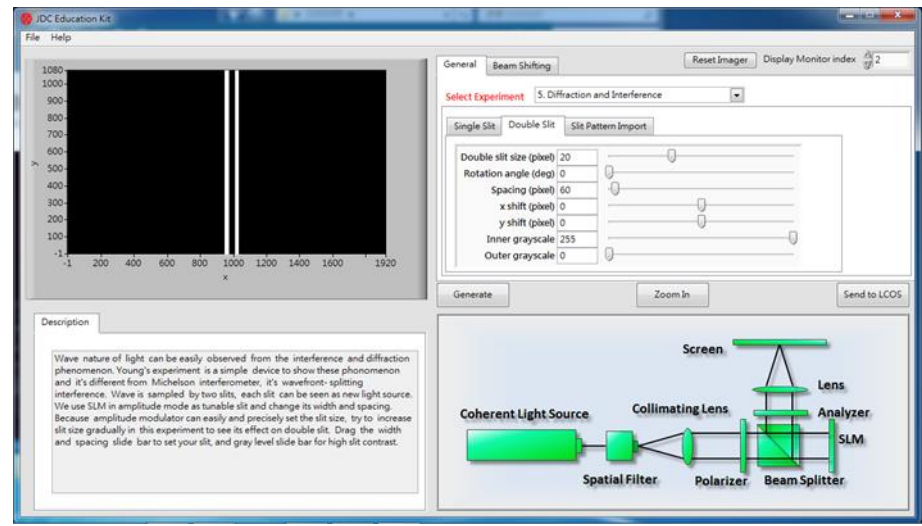
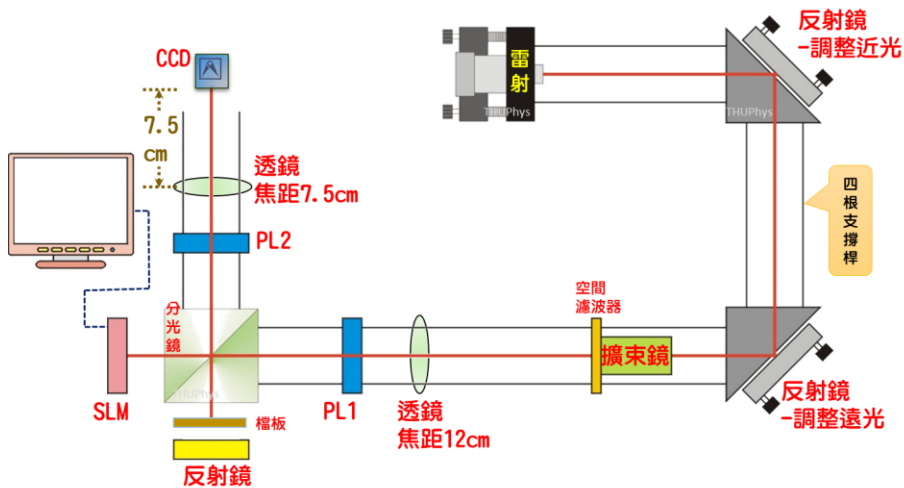
補充：關於單狹縫繞射， $\Delta y = \frac{2D\lambda}{d}$ ，是繞射條紋寬度， d 是狹縫寬度。所以

$d \times \Delta y = 2D\lambda$ ，本實驗使用綠光雷射，波長 532nm，**固定攝像機位置不移動**，因此
 $d \times \Delta y = 2D\lambda$ 為定值，比較上表是否符合理論值？

(四) 振幅調變
(4B) 雙狹縫干涉

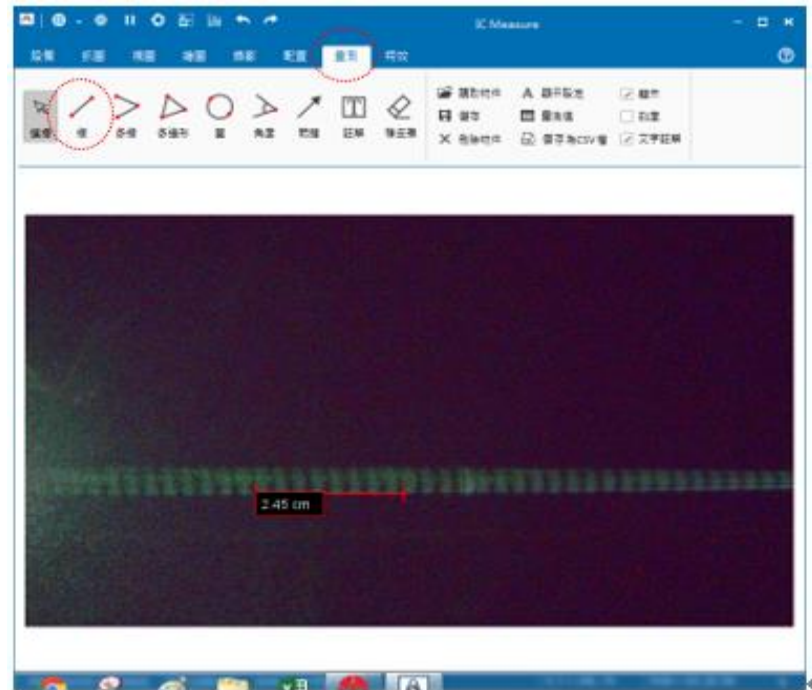
先確認

PL1與液晶配向角夾45度角
PL1 ⊥ PL2。



(四) 振幅調變
(4B) 雙狹縫干涉

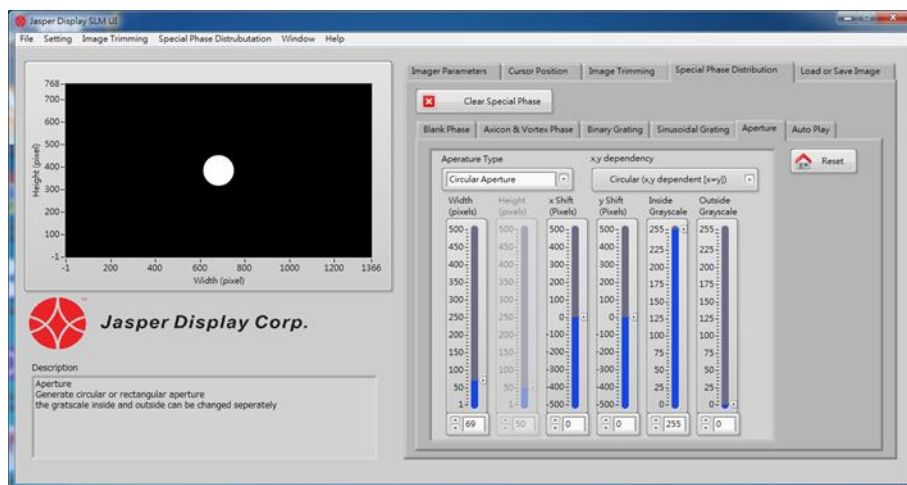
利用『IC Measure』的『量測』功能，
測量繞射寬度



關於雙狹縫繞射， $\Delta y = \frac{D\lambda}{d}$ ，所以 $d \times \Delta y = D\lambda$ ，比較上表是否符合？

(四) 振幅調變

(4C) 圓孔繞射

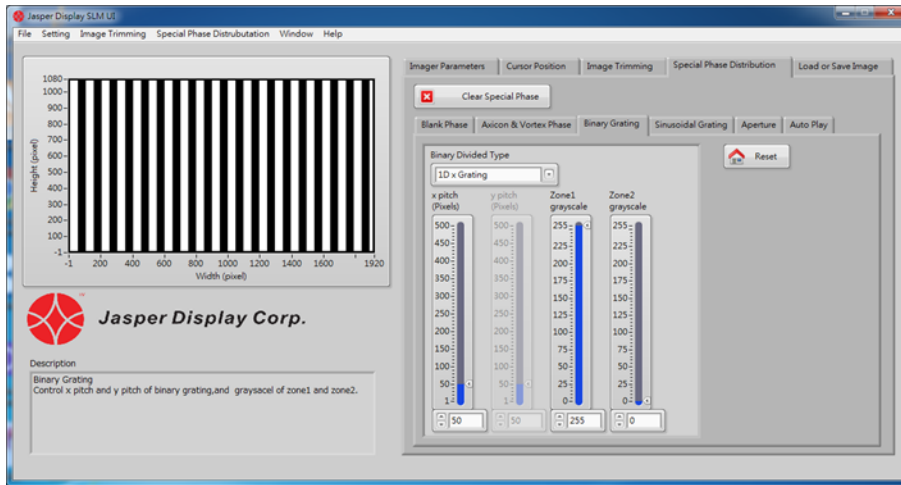


(4C) 圓孔繞射：

- 1、開啟「Jasper SLM Application」軟體。「Display in Monitor index」設定為「1」。
- 2、軟體設定：選擇「Special Phase Distribution」→「Aperture」，「Aperture Type」→「Circular Aperture」，如圖 52。設定圓孔 width (大小) (約 20-50 pixels)。「Inside Grayscale」設定為 128，「Outside Grayscale」設定為 0。
- 3、到「Imager Parameters」中按「Send to Imager」輸出影像到 SLM。
- 4、改變圓孔 width (大小) (範圍在 30-50 pixels)。
- 5、調整攝像機擺放的位置，利用攝像機接收繞射影像，螢幕顯示輸出條紋，量測繞射寬度，存檔。
- 6、改變圓孔 width (大小)，觀察輸出影像的變化，計算並記錄孔徑×繞射寬度的大小。
- 7、改變三個不同孔徑(pixels)，並利用「IC Measure」的「量測」功能，測量繞射寬度，計算孔徑 × 干涉寬度，完成表格 6。

(四) 振幅調變

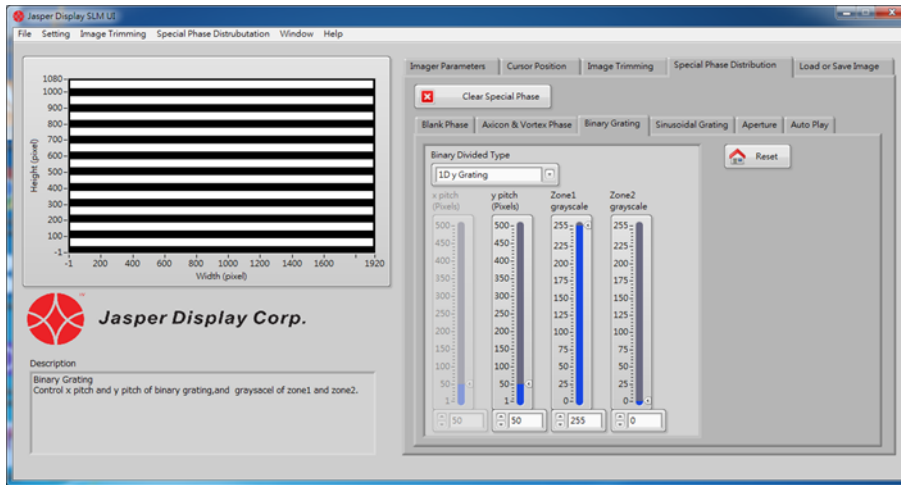
(4C) 直條紋光柵



軟體設定：選擇「Special Phase Distribution」， \Rightarrow 「Binary Grating」，「Binary Divided Type」 \Rightarrow 「1D x Grating」，如圖 53。「Zone1 Grayscale」設定為 128，「Zone2 Grayscale」設定為 0。

改變 x pitch (Pixels) (10pixels 以下)，利用「IC Measure」的「量測」功能，量測並記錄繞射寬度的大小。

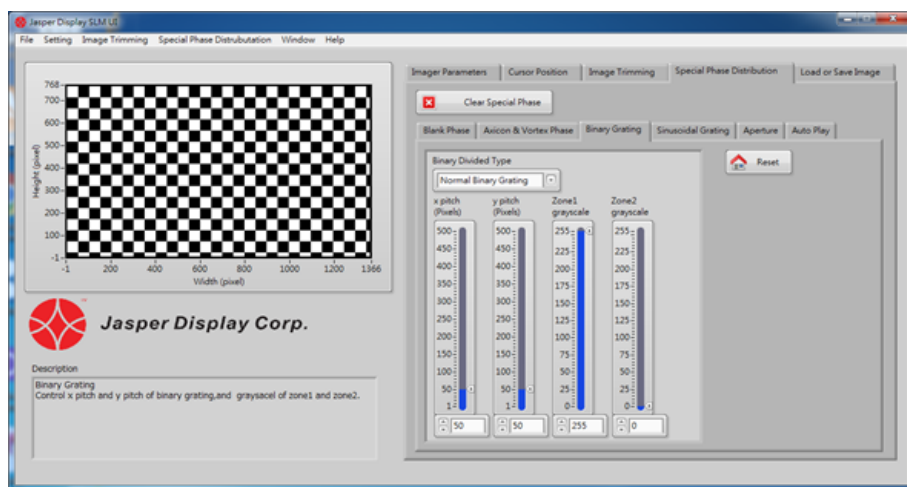
(四) 振幅調變
(4C) 橫條紋光柵



軟體設定：選擇「Special Phase Distribution」，☞「Binary Grating」，「Binary Divided Type」，☞「1D y Grating」，如圖 54。「Zone1 Grayscale」設定為 128，「Zone2 Grayscale」設定為 0。

改變 y pitch (Pixels) (10pixels 以下)，利用「IC Measure」的「量測」功能，量測並記錄繞射寬度的大小。

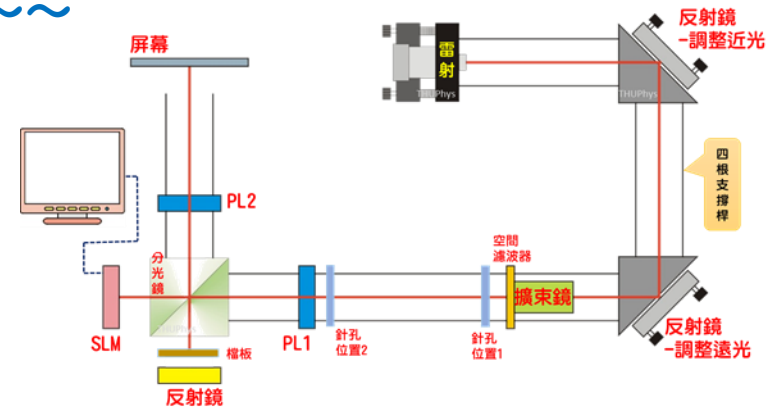
(五) 方格繞射 (進階項目，此步驟可不做)



- 1、開啟「Jasper SLM Application」軟體。「Display in Monitor index」設定為「1」。
- 2、軟體設定：選擇「Special Phase Distribution」⇒「Binary Grating」，「Binary Divided Type」⇒「Normal Binary Grating」，如圖 55。「Zone1 Grayscale」設定為 128，「Zone2 Grayscale」設定為 0。
- 3、改變 x 和 y 的大小 (pixels) (10pixels 以下)。
- 4、利用 CCD 接收雷射訊號，螢幕顯示輸出條紋。
- 5、改變其他設定，存圖，觀察並比較輸出影像的變化。
- 6、在「Imager Parameters」中，按「Close Imager」使按鈕成綠色，停止輸出影像至 SLM。

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應物系

電話：04-23590121*32100

網址：<http://physics.thu.edu.tw/>