

第二章 各種量測方法與討論

液晶參數的量測方法有很多種，主要量測原理是藉由液晶盒在兩個外加偏光片 (polarizer) 間的光學特性，來量測液晶的扭轉角及厚度；我們將收集、研究文獻中已有的量測反射式液晶盒厚度的方法做分類整理，並將其分為五大類，分別為旋轉液晶盒量測法、旋轉 /4 波片量測法、光譜儀量測法、相位補償量測法、及 Stoke 參數量測法，分別描述如下：

2.1、旋轉液晶盒量測法：[5,6,7]

由於反射式 TN - Cell 的反射率在 Cross-Polarizer 下和 input polarization angle 角有很強的相依(dependent)關係，其中 角為第一層液晶光軸和偏光片的夾角，旋轉液晶 Sample 可以求得反射率的最大值及最小值，而液晶盒的厚度又為反射率極值的參數，故可以利用測量反射率的極值反推以求得液晶盒的厚度。

在 cross-polarizer 下，且第一層液晶指向矢的方向和偏光片平行時，利用 2X2 Jones Matrix Calculus 可以得到反射式扭轉型線狀液晶的正射反射光強度為：

$$R = \left(\frac{\Gamma \sin X}{X} \right)^2 \left(\sin 2b \cos X - \frac{f}{X} \cos 2b \sin X \right)^2$$

若 R 對 b 做偏微分，則可以求得反射光最大時的 b_{\max} 及反射光最小時的 b_{\min} ，再利用實驗中旋轉液晶盒找到穿透率為極值時的 b 值，則可求得 cell gap 的值。

$$\frac{\partial R}{\partial b} = 0 \Rightarrow b_{\max} = \frac{\arctan\left(-\frac{X}{f \tan X}\right)}{2} ; \quad b_{\min} = \frac{\arctan\left(\frac{f \tan X}{X}\right)}{2}$$

其中 $X = \sqrt{f^2 + \frac{\Gamma^2}{4}}$ ， $f = 2 d n / \lambda$ ， Γ 為液晶扭轉角。

實驗裝置圖如圖 2.1 所示，使用 He-Ne 雷射為光源，波長為 632.8nm，雷射光會依序通過偏光片、Beam Splitter、反射式液晶樣品、再反射通過 Beam Splitter、檢光片、最後由光偵測器接收，其中偏光片和檢光片的光軸夾 90 度。

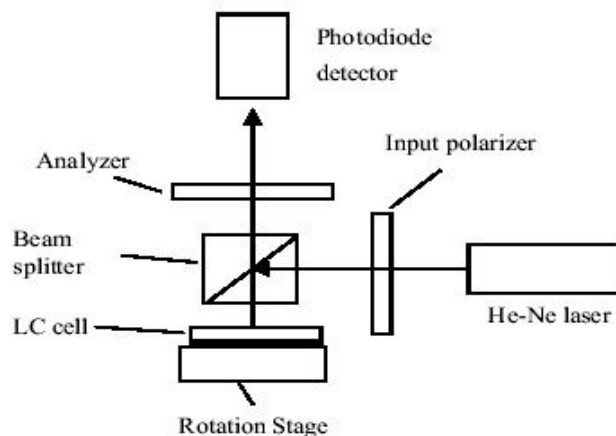


圖 2.1、實驗裝置圖

2.2、旋轉 1/4 波片量測法 [8]

模擬反射式 LCD 的光學狀態，以建立其資料庫，供以下量測步驟比對、取值，平均反射率 R 為 cell gap d 的函數，在以下模擬條件下，可得如圖 2.2 的模擬結果。

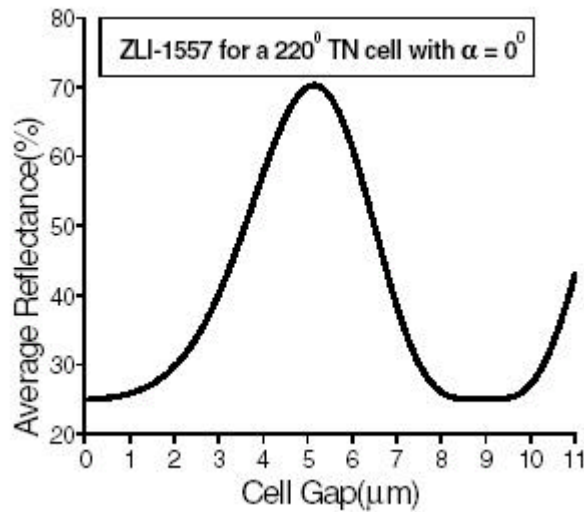


圖 2.2、平均反射率 R 對 cell gap

量測之架構如圖 2.3 所示，旋轉 1/4 片，每隔 0.5° 量一次反射率，因此在旋轉一圈 360° 後可得 720 組反射率值，將其作一平均，可得一平均反射率值。對照已建立之模擬曲線，即可得知其所對應的 cell gap 值。若發現其所量測出的平均反射率值對應多個 cell gap 值，則可將未平均前反射率對角度的量測曲線，與得到的多個 cell gap 值的未平均前反射率對角度的量測曲線做一比對，可得一最近似的曲線圖，其值即為 cell gap，如圖 2.4 所示。

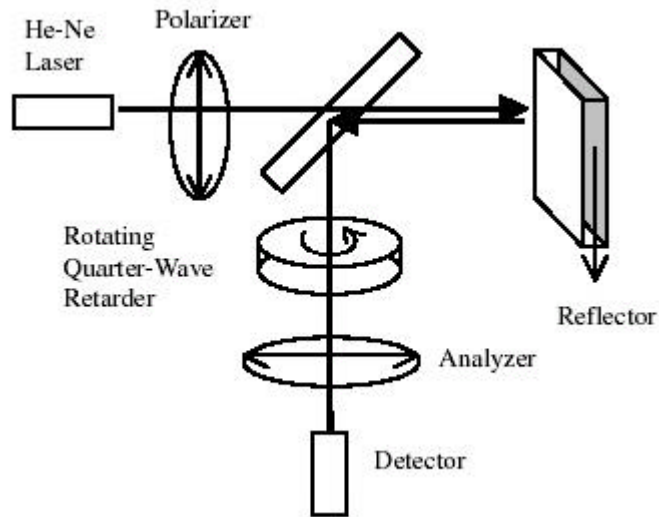


圖 2.3、實驗架構圖

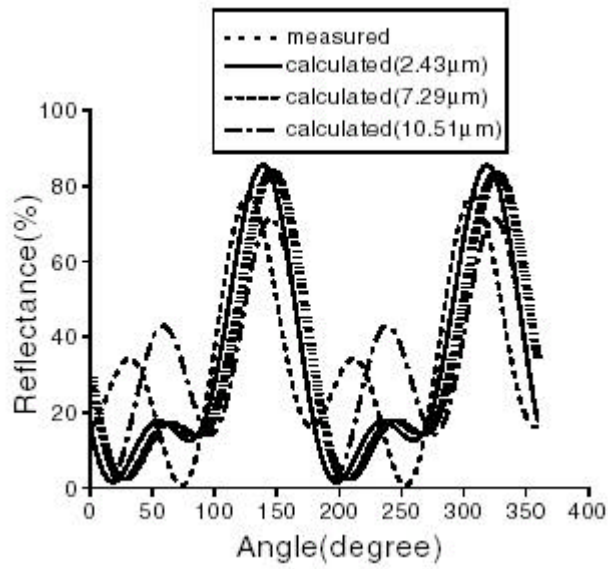


圖 2.4、未平均前反射率對角度的量測曲線比對

2.3、光譜儀量測法 [1,2]

根據 2X2 Jones Matrix 計算，一反射式液晶盒在 cross polarizer (利用 Polarizing Beam Splitter) 的情況下的 “normalize reflectance” 可以由以下計算所得：

$$R_{\perp} = |M|^2 = \left(\Gamma \frac{\sin X}{X} \right)^2 \left(\sin 2b \cos X - \frac{f}{X} \cos 2b \sin X \right)^2$$

其中 X 是第一層液晶和 polarizer 的夾角， b 是 twist angle，

$$\text{其中 } \Gamma = 2pd\Delta n / l \quad X = \sqrt{f^2 + (\Gamma/2)^2}$$

根據上式，若我們使 X 角等於 0 度或 ± 45 度的時候，我們可以得到兩個較為簡單的式子：

$$(a) \quad X = 0^\circ$$

$$R_{\perp,0} = \left(\Gamma f \frac{\sin^2 X}{X^2} \right)^2$$

$$(b) \quad X = \pm 45^\circ$$

$$R_{\perp,45} = \left(\Gamma f \frac{\sin 2X}{2X} \right)^2$$

以上兩式均是波長的函數，其中有兩個變數 f 和 X ，因此量測時，我們可以利用光譜儀掃描各個波長所對應到的反射率，然後再以 f 和 X 為變數，利用上述兩式來做 curve fitting，以求出 cell gap 和 twist angle. 實驗架構如圖 2.5 所示，其中 P，A，和 PBS 分別代表 Polarizer，Analyzer 和 Polarizing Beam Splitter，而光源則是使用白光，實驗結果如圖 2.6 所示。

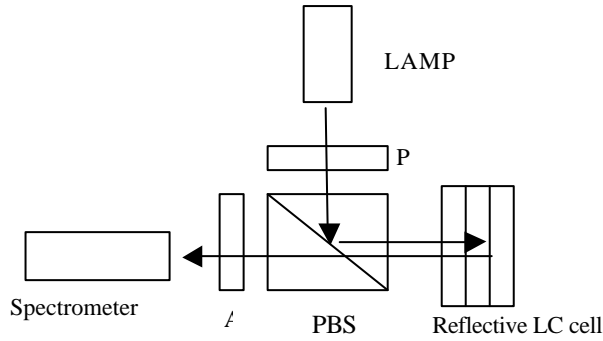


圖 2.5、光譜儀量測法實驗架構圖

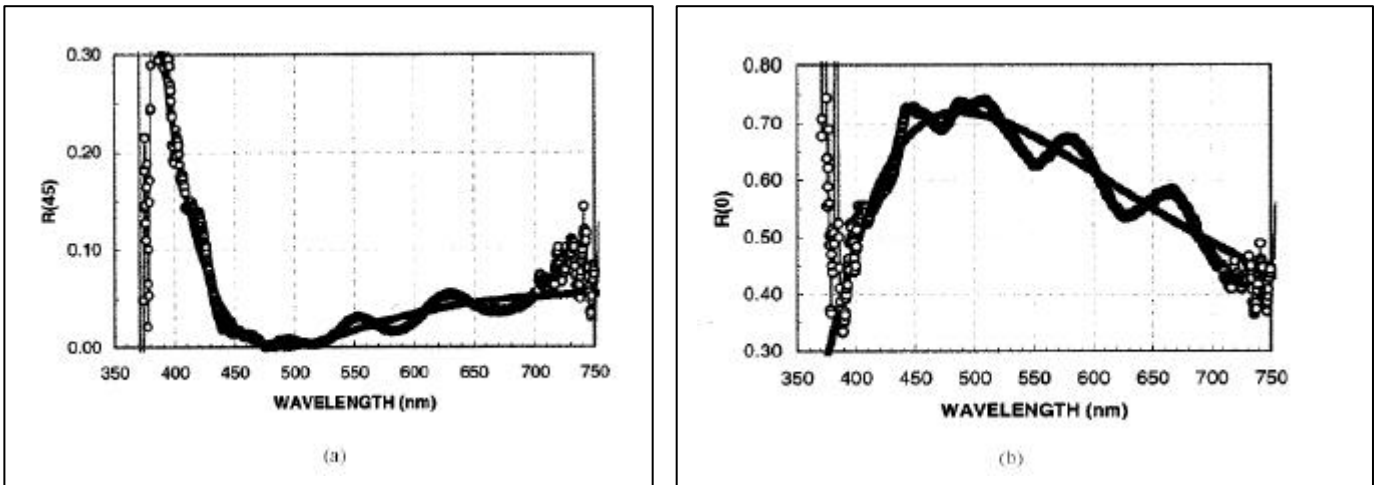


圖 2.6、實驗及 fitting 結果

在圖 2.6 中可以看到實驗測得的數據有上下震盪的現象，這是由於在上下基板之間所產生的多重反射與干涉效應，為了減小此一效應造成的影響，可以將兩式相除後，再來 fitting. 此時

$$R_{\perp,0} / R_{\perp,45} = \left(\frac{f}{X} \tan X \right)^2$$

結果如圖 2.7 所示。此外我們也可用一長波長光源來決定 f ，當 $d \gg \lambda$ 時， $X \ll \pi/2$ ， $X \sim \frac{2\pi d}{\lambda} \sin \theta$ ，所以上式變成：

$$R_{\perp,0} / R_{\perp,45} \sim \tan^2 f$$

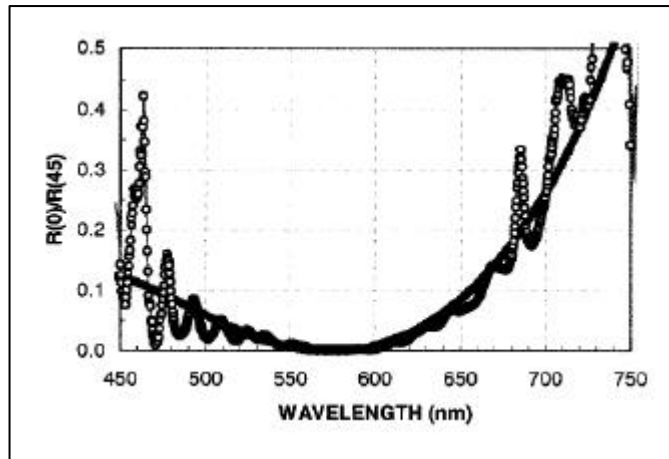


圖 2.7、 R_{θ}/R_{45} normalized 後的反射光強度

因此可以決定出 twist angle 的值，若使用的波長越大，則準確度越高，但一般玻璃會吸收波長 3 μm 以上的光，所以此法的精確度也受到限制。

2.4、Stoke 參數測量法 [3]

stokes parameters 量測法主要是以經過液晶樣品之反射光所對應的 stokes parameters 值來推算液晶扭轉角度及厚度。由於 stokes parameters 之數值可由不同偏光片夾角以及外加 1/4 板(quarter wave plate)下的反射光大小而得知，因此只要將液晶樣品放在適當位置，紀錄不同量測情況下所對應的反射光強度，由此強度計算 stokes parameters 的數值，即可進一步推算液晶扭轉角度與厚度。此量測方法雖然快速、簡便，但需要正確量測反射光強度的大小，因此偵測器的靈敏度、光源的穩定性以及量測系統的架設都會影響其精確度。Stokes parameters 量測反射式 cell parameters 大致可分成二類：

2.4.1、以單波長量測 2D-cell gap

量測方法可由穿透式改良得到，使用 CCD camera 可得到 2D 的 stokes parameters 分佈，透過 stokes parameters 與 cell parameters 的關係(由 Jones matrix 推得)可求得 2D-cell gap 分佈，然而其它的 cell parameters(θ , γ , δ)必須已知(由穿透式量測得知)

$$S_0 = (I_x + I_y)/(I_x + I_y) = 1,$$

$$S_1 = (I_x - I_y)/(I_x + I_y),$$

$$S_2 = [2I_{45^\circ} - (I_x + I_y)]/(I_x + I_y),$$

$$S_3 = -[2I_{q,45^\circ} - (I_x + I_y)]/(I_x + I_y).$$

其中， I_x 為 polarizer 與 analyzer 相互平行時的光強度。

I_y 為 polarizer 與 analyzer 相互垂直時的光強度。

I_{xy} 為 polarizer 與 analyzer 夾 45 度時的光強度。

I_{xyq} 為慢軸平行 x 軸的 quarter-wave plate 置於與 x 軸夾 45 度的 analyzer 前面。

實驗裝置圖如圖 2.8 所示：

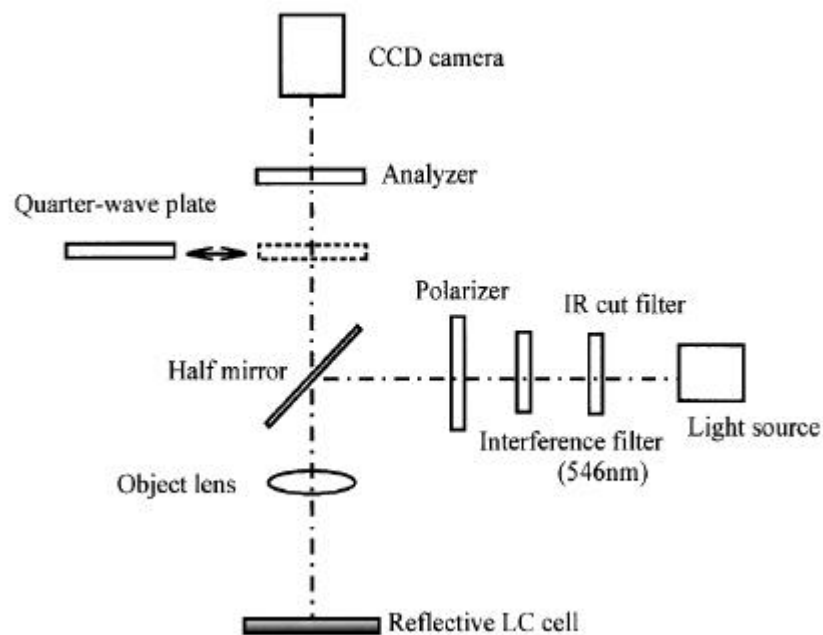


圖 2.8、光譜儀量測法

2.4.2、以雙波長量測 2D-cell gap 和 2D-twist angle

量測方法可由方法一改良得到，只是必須要把光源的波長做改變，包含 Interference filter 及 quarter wave plate 都要做變換，此外也須考慮折射率對波長的 dispersion，最後對於其它的 cell parameters (θ , ϕ) 仍須已知(由穿透式量測得知)。作者評估：當 stokes parameters 有 1% 的改變時，將有 $\pm 0.01\mu\text{m}$ 的 cell gap 誤差及 ± 0.3 degree 的 twist 誤差。

2.5、相位補償量測法 [4]

此種方法和旋轉樣品量測法類似，但會在待測樣品前置一相位補償 (phase compensator) 板，在 crossed polarizer 下，利用調整 phase compensator 以得到反射光強度零為時的相位，再代回公式求解；若用兩種不同波長的光源做實驗，則可同時得到厚度及扭轉角，其實驗架構圖如圖 2.9 所示：

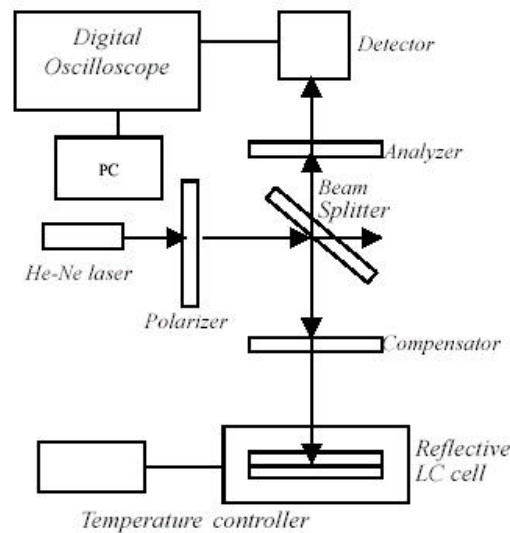


圖 2.9、相位補償量測法實驗架構圖

2.6、各種量測方法比較

上述各種同時量測液晶扭轉角度與厚度的方法，各有其量測上的限制與優缺點，茲將本研究討論比較後的心得列於表 2-1 以供參考。

| 量測方法 | 光譜橢圓儀 | SPM 量測法 | 相位補償法 | 旋轉液晶盒法 | 旋轉 $\lambda/4$ 波片法 |
|---------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 光源 | 白光光源 | 雷射 | 雷射 | 雷射 | 雷射 |
| 已知參數及條件 | 預傾角、 θ 角 | 預傾角、 θ 角 | 預傾角、 θ 角 | 預傾角、 θ 角、 扭轉角 | 預傾角、 θ 角、 扭轉角 |
| 量測參數 | 厚度、扭轉角 | 厚度、扭轉角 | 厚度、扭轉角 | 厚度 | 厚度 |
| 實驗元件 | Polarizer | Polarizer | Polarizer | Polarizer | Polarizer |
| | Rotate Motor | $\lambda/4$ Plate | Rotate Motor | Rotate Motor | Rotate Motor |
| | Spectrometer | Detector or CCD | compensator | Detector or CCD | $\lambda/4$ Plate |
| | Beam Splitter | Beam Splitter | Detector | Beam Splitter | Detector |
| | | | Beam Splitter | | Beam Splitter |
| 量測範圍 | $(\theta^2 + \theta^2/4) n$ | $(\theta^2 + \theta^2/4) n$ | $nd > 0.33(90^\circ TN)$ | $(\theta^2 + \theta^2/4) n$ | $(\theta^2 + \theta^2/4) n$ |
| 精確度 | 低 | 中等 | 中等 | 高 | 高 |
| 參考文獻 | [1,2] | [3] | [4] | [5,6,7] | [8] |
| 備註 | 受限於干涉及多重反射，實際上只能量厚度 | 需二個不同波長的光源，CCD 用於量測 2D Profile | 需二個不同波長的光源 | CCD 用於量測 2D Profile | |

表 2-1 各種液晶扭轉角度與厚度量測方法比較