

新型強度比率法應用於扭轉型液晶盒厚度量測

蘇立軒
成功大學機械系

羅裕龍
成功大學機械系
loyl@mail.ncku.edu.tw

摘要

本研究利用偏光旋轉調變器研發新的強度比率法架構來量測扭轉向列型液晶的液晶盒厚度，其中前兩種架構為液晶盒厚度的單點光學量測系統，第三種架構為液晶盒厚度的全場光學量測系統。偏光旋轉調變器是由兩片四分之波片以及電光調變器組成，而電光調變器是利用由訊號產生器提供的鋸齒波訊號作為驅動訊號。偏光旋轉調變器可替代機械式旋轉的偏振片，更快速且精確地調變偏振光的旋轉角度，因此我們可以達到更準確的量測結果以及有效縮短量測時間。在我們的全場光學量測系統中，利用電荷耦合元件(CCD)可以擷取到扭轉向列型液晶盒厚度的全場影像。與原來的強度比率法比較，這三種方法可以提供更快的偏光旋轉調變速度，更可靠的量測架構以及全場的光學檢測，對於液晶盒厚度檢測方法的準確度可以有效提升。

關鍵字：極化調變，電光調變器，扭轉向列型液晶，液晶盒厚度

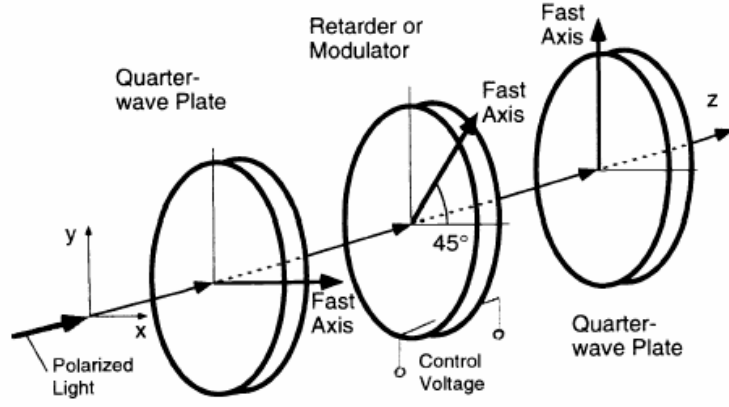
壹、前言

目前已經有許多方法被提出來量測液晶盒厚度[1-5]，首先是旋轉偏振片的方法[1]，以光譜量測為基礎理論，是目前主要的檢測方法，可作為簡單的液晶盒厚度量測方法，但是卻不適用於量測較薄的液晶盒厚度。而相位補償法[2]較為適用於量測較薄的液晶盒厚度，但是此方法需要用到兩種不同波長的光源來解決多重解的問題，並且需要經過重複的量測才能達到效果，因此不適合應用在自動化檢測設備。而第三種方法為旋轉四分之一波片法[3]，紀錄旋轉四分之一波片 360° 後得到的穿透率值，對照已建立之模擬曲線，即可知其所對應的 cell gap 值，此方法在量測 $1\mu\text{m}$ 至 $4\mu\text{m}$ 之間的液晶盒厚度時最靈敏，但此方法的缺點是量測速度不夠快。第四種方法為史拖克參數(Stokes parameter)量測法[4]，利用資訊較豐富的史拖克參數來解出液晶盒厚度，此量測方法較為精準，但是容易受外在光源影響而造成誤差。第五種方法為單波長光源的強度積分比率法(The single-wavelength Total Intensity Ratio Method, TIRM)[5]，使用 He-Ne 雷射作為光源，光源由偏振片的旋轉達到極化旋轉調變的效果，紀錄不同角度所對應到的光穿透強度，再以兩段分別不同角度範圍內之總穿透強度相除得到的穿透強度比率反推液晶盒厚度，此方法可以量測精準的液晶盒厚度，但是利用旋轉偏振片極化旋轉調變光源會造成量測時間太長。

本研究對強度積分比率法部分加以改良，利用電光調變器(Electro-Optic Modulator)[6]取代旋轉偏振片來達成極化旋轉調變的效果，亦因極化旋轉調變方法由機械式改成電子式，在訊號調變上能夠達到更快速且精確的效果，對於訊號擷取上能夠節省大量的時間，進一步達到即時量測的目的，而為了再進一步提高此技術的運用層面，將改用 CCD 為光接受器搭配可程式控制器(CPLD, Complex Programmable Logic Device)，並且利用影像處理的演算法來達到全場量測之目的，期望能對於液晶面板厚度做整面的監控。

貳、研究方法

我們提出應用電光調變器的強度比率法量測扭轉型液晶盒的厚度，原本的強度比例法[5]是利用步進馬達旋轉偏光鏡的方法，使光的偏振態隨著偏振片旋轉而達到極化調變的效果，但是此方法的極化調變速度受限於步進馬達旋轉速度，因此我們以偏光旋轉調變器取代旋轉步進馬達的調變方法，可以得到更快速而且更穩定的調變訊號。



圖一、偏光旋轉調變器架構[7]

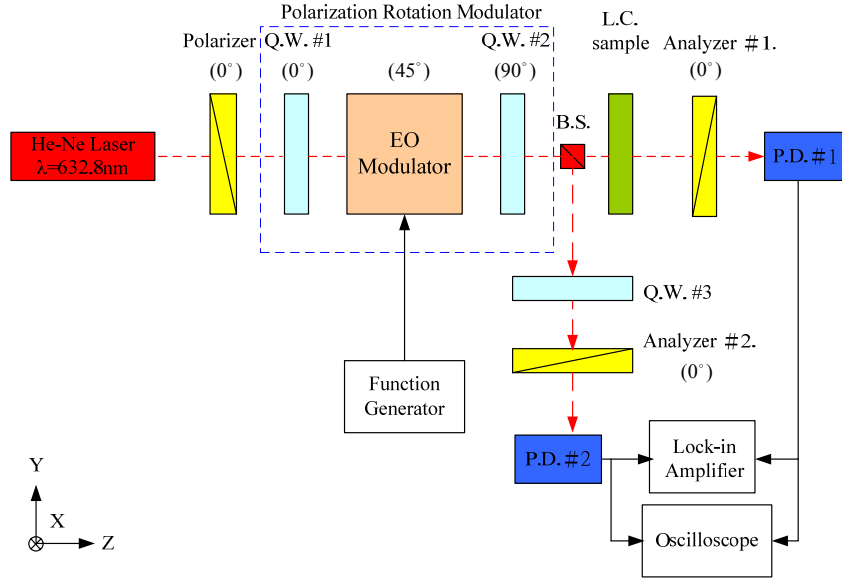
偏光旋轉調變器[7]是由兩片四分之波片以及相位延遲器組成如圖一所示，偏光旋轉調變器的效果由各個光學元件之間的相對主軸角度或方位角決定，光學旋轉器(optical rotator)之 Jones matrix 為

$$R = \begin{bmatrix} \cos\psi & \sin\psi \\ -\sin\psi & \cos\psi \end{bmatrix} \quad (1)$$

ψ 為偏振光的旋轉角度，。Jones [8] 指出，將一個線性相位延遲器擺在兩個角度正交的且方位角在 $\pm 45^\circ$ 的四分之波片之間，可以達到旋轉線性偏振光的效果，這個理論在 1995 年由 Ye[7] 以實驗證明，圖一的偏光旋轉調變器的 Jones matrix 可以由 R_m 來描述：

$$\begin{aligned} R_m &= \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{-i\frac{\pi}{4}} & 0 \\ 0 & e^{i\frac{\pi}{4}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\frac{\Gamma}{2} & -i\sin\frac{\Gamma}{2} \\ -i\sin\frac{\Gamma}{2} & \cos\frac{\Gamma}{2} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{-i\frac{\pi}{4}} & 0 \\ 0 & e^{i\frac{\pi}{4}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \cos\frac{\Gamma}{2} & \sin\frac{\Gamma}{2} \\ -\sin\frac{\Gamma}{2} & \cos\frac{\Gamma}{2} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2)$$

其中 i 為虛數單位符號， Γ 為相位延遲器或是調變器造成的相位延遲，相位延遲的定義為 $\Gamma = \frac{2\pi(\Delta n)d}{\lambda}$ ， Δn 相位延遲器或是調變器的雙折射率, d 為光程差， λ 為入射光源波長。如 Eq.2 所示，偏光旋轉調變器的旋轉角度為相位延遲器或是調變器的光程差的一半。我們使用電光調變器作為本系統的調變器，並利用由訊號產生器提供的鋸齒波訊號作為驅動訊號。



圖二 光學架構圖

量測架構如圖二所示，使用 He-Ne 雷射作為光源，而液晶樣品設置在偏光旋轉調變器的後面，利用感測器偵測調變過後的的光，再以兩段不同的調變時間內的光強度相除得到的強度比率反推 cell gap。此調變電場 E_1 為

$$E_1 = A(0^\circ) \cdot R(-\alpha) \cdot M_{TNLC}(\phi) \cdot R(\alpha) \cdot PR(\omega t) \cdot P(0^\circ) \cdot E_{in}$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} [M_{TNLC}(\phi)] \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} \cos(\frac{\omega t}{2}) & -\sin(\frac{\omega t}{2}) \\ \sin(\frac{\omega t}{2}) & \cos(\frac{\omega t}{2}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

其中 $P(0^\circ)$ 代表偏振片設為 0° 的 Jones matrix， $PR(\omega t)$ 為偏光旋轉調變器的 Jones matrix，如 Eq. (3) 所描述，電光調變器的驅動訊號頻率為 ω ， $R(\alpha)$ 和 $R(-\alpha)$ 為旋轉矩陣， α 為扭轉向列型液晶的方位角， $M_{TNLC}(\phi)$ 為扭轉向列型液晶的定義為[5]：

$$M_{TNLC}(\phi) = R(-\phi) \begin{bmatrix} \cos \beta - i \cdot \delta \cdot \frac{\sin \beta}{\beta} & \phi \cdot \frac{\sin \beta}{\beta} \\ -\phi \cdot \frac{\sin \beta}{\beta} & \cos \beta + i \cdot \delta \cdot \frac{\sin \beta}{\beta} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$R(\phi)$ 為旋轉矩陣

$$R(\phi) = \begin{pmatrix} \cos \phi & \sin \phi \\ -\sin \phi & \cos \phi \end{pmatrix} \quad (5)$$

其中 ϕ 為 液晶的扭轉角(twist angle)

$$\beta^2 = \delta^2 + \phi^2, \quad \delta = \frac{\pi d \Delta n}{\lambda} \quad (6)$$

$$\Delta n = \frac{n_e}{\sqrt{1 + W \sin^2 \theta}} - n_o, \quad W = \left(\frac{n_e}{n_o}\right)^2 - 1 \quad (7)$$

θ 為液晶的預傾角(pretilt angle)，由於液晶材料屬於雙折射材料， n_e 為液晶材料的非常折射率， n_o 為液晶材料的尋常折射率， d 為液晶 cell gap 的厚度。最後調變電場可表示為

$$E_1 = \left[\begin{array}{l} \frac{1}{2\beta} [(\beta + \phi) \cdot \cos(\frac{-\omega t}{2} - \phi + \beta) + (\beta - \phi) \cdot \cos(\frac{\omega t}{2} + \phi - \beta)] \\ \frac{-\alpha}{2\beta} [\sin(\frac{-\omega t}{2} + 2\alpha + \phi + \beta) + \sin(\frac{\omega t}{2} - 2\alpha - \phi + \beta)] \end{array} \right] \quad (8)$$

因此光強度可以表示成

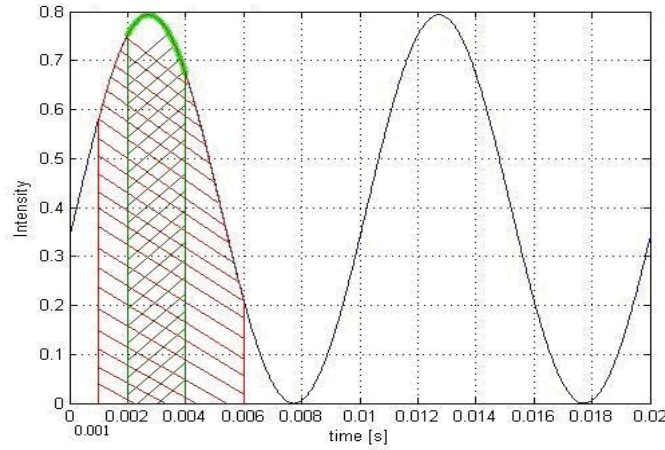
$$I_1 = |E_1|^2 \quad (9)$$

當使用偏光旋轉調變器後，量測到的強度會隨著調變信號而有週期性變化如圖三所示，在實驗過程中，光學元件以及液晶的玻璃基板與 ITO 層等材料會吸收部分的光強度，造成實驗所得到的穿透強度與模擬所得到的總穿透強度有誤差。

$$\int_{t_1}^{t_2} I_{\text{exp}} dt \neq \int_{t_1}^{t_2} T_{\text{cal}} dt \quad (10)$$

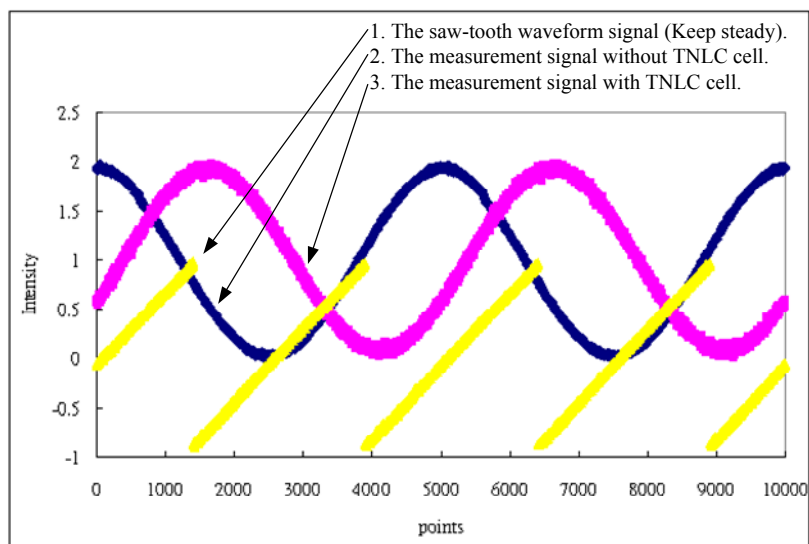
因此利用強度比率的概念，可以將材料的吸受影響降低，因此使用兩段不同時間範圍的總穿透率相除，得到一強度比率，實驗所得到的強度比率與模擬所得到的強度比率會較為接近。

$$\frac{\int_{t_3}^{t_4} T_{\text{exp}} dt}{\int_{t_1}^{t_2} T_{\text{exp}} dt} = \frac{\int_{t_3}^{t_4} T_{\text{cal}} dt}{\int_{t_1}^{t_2} T_{\text{cal}} dt} \quad (11)$$



圖三 調變光強變化圖與兩段積分區段，(0.002s to 0.004s)及(0.001s to 0.006s)。

我們以信號產生器提供的鋸齒波作為所接收到量測訊號的參考訊號，透過參考信號可以知道量測訊號的相對相位，得知量測信號的要積分的位置，如圖四所示

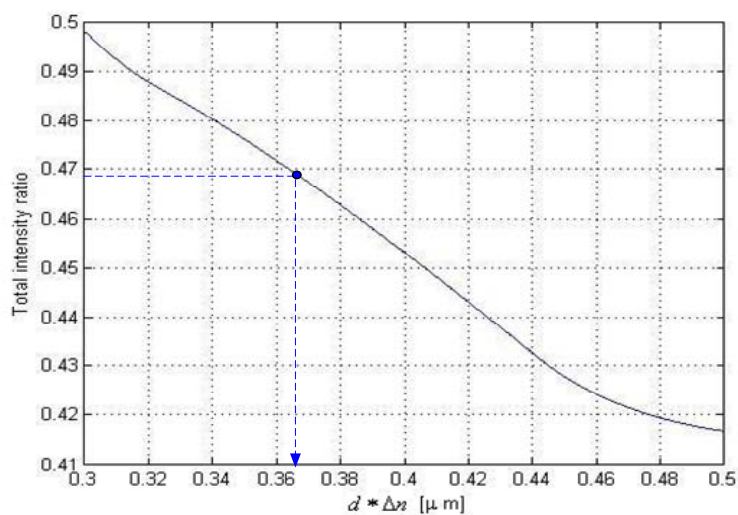


圖四 鋸齒波參考信號與量測的信號

我們所要積分的兩段時間分別為(0.002s to 0.004s) and (0.001s to 0.006s)，如圖九所示。接著將兩段時間的積分相除得到強度比率 R_t 。

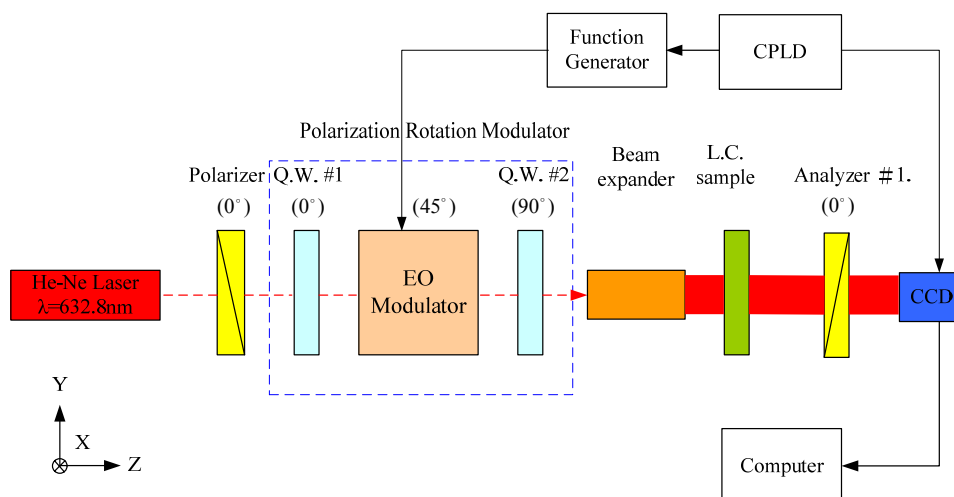
$$R_t = \frac{\int_{0.002}^{0.004} I_t dt}{\int_{0.001}^{0.006} I_t dt} = 0.4691 \quad (12)$$

將由量測數據求得的強度比率 R_t 帶入強度比率與液晶相位延遲的關係，如圖，在 Δn 值已知的情形下，即可求得液晶盒厚度 d



圖五 強度比率 R_t ，積分時間分別為(2ms to 4ms) and (1ms to 6ms)，與相位延遲 $d\Delta n$ 的關係圖

為了到全場量測厚度的目的，我們將光偵測器改換成 CCD 並於系統中(如圖六所示)



圖六 光強比例液晶厚度全場量測架構圖

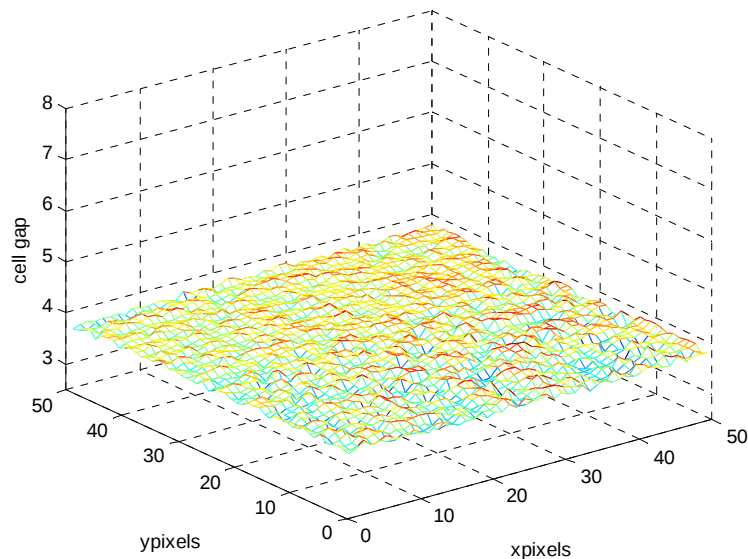
圖六中可看到，我們使用了可程式控制器(CPLD，Complex Programmable Logic Device)因為一般標準型 CCD 最高的觸發頻率為 30 Frames/Sec，而調變頻率為 1 kHz，因此需藉由外在的電控架構部份來克服受限的取樣頻率。因此在實驗架構中加上 CPLD(高複雜度可程式控制器，內建 2 MHz 的石英震盪器)同時於不同腳位輸出 1 kHz 及 10Hz 的頻率，其中 10 Hz 用來外部觸發 CCD，如此一來即可克服 CCD 最高 30 Frames/Sec 的受限；而 CPLD 輸出 1 kHz 到信號產生器，並調整信號產生器接受 external clock 模式，此時信號產生器的 Clock 來自 CPLD 並且輸出 1kHz 的鋸齒波給電光調變器進行調變機制，此步驟主要是確保觸發 CCD 的信號與電光調變器的信號能夠同源(同相位)。在影像處理演算法中，我們須將調變信號週期 $0 \sim \frac{T}{4}$ 、 $\frac{T}{4} \sim \frac{2T}{4}$ 做積分，若調變週期為 $\frac{1}{1000}$ sec，則 CCD 的曝光時間需選擇 $\frac{1}{4000}$ sec，並且再將觸發 CCD 的 clock 經過 Phase Shifter 移相 90° 分別做積分，如此即得到兩張影像強度，後續的影像處理演算法就以此二張強度來做計算。

參、研究結果

本實驗所使用的液晶樣品為扭轉角 90° ，預傾角 4° ， Δn 值為 0.099，液晶盒厚度為 $3.7 \mu\text{m}$ 的向列扭轉型液晶盒。經過六次量測，量測結果如 Table 1 所示，由量測結果可以看出本方法的量測誤差控制在 $\pm 0.0178 \mu\text{m}$ ，具有很好的可靠度與穩定性。而全場量測之結果如圖七所示。

表二 光強度比例量測厚度結果

量測次數	1	2	3	4	5	6	平均值
量測厚度 (微米)	3.7354	3.6848	3.7232	3.7273	3.6990	3.7253	3.7158 $\pm$ 0.0178



圖七 全場厚度量測結果

肆、結論與建議

利用偏光旋轉調變器可替代機械式旋轉的偏振片，更快速且精確地調變偏振光的旋轉角度，因此我們可以達到更準確的量測結果以及有效縮短量測時間。與原來的強度比率法比較，本方法可以提供更快的偏光旋轉調變速度，更可靠的量測架構，對於液晶盒厚度檢測方法的準確度可以有效提升，此架構更能成功的量測全場的扭轉型液晶盒厚度，相信此系統對於液晶參數的線上量測及特性分析會有極大的助益。

伍、參考文獻

- [1] S. T. Tang and H. S. Kwok (2001), "Transmissive liquid crystal cell parameters measurement by spectroscopic ellipsometry," *J. Appl. Phys.* 89 80-85.
- [2] A. Lien and H. Takano (1991), "Cell gap measurement of filled twisted nematic liquid crystal displays by a phase compensation method," *J. Appl. Phys.* 69 1304-1309.
- [3] S. H. Lee, W. S. Park, T. H. Yoon, G. D. Lee and J. C. Kim (2002), "Low-Cell-Gap Measurement by Rotation of a Wave Retarder," *Jpn. J. Appl. Phys.* 41 379-383.
- [4] Ying Zhou, Zhan He, Susumu Sato (1997), "A Novel Method for Determining the Cell Thickness and Twist Angle of a Twisted Nematic Cell by Stokes Parameter Measurement," *Jpn. J. Appl. Phys.* 36 2760-2764.
- [5] J. S. Gwag, K. H. Park, G. D. Lee, T. H. Yoon and J. C. Kim (2004), "Simple Cell Gap Measurement Method for Twisted-Nematic Liquid Crystal Cells," *Jpn. J. Appl. Phys.* 43 L30-L32.
- [6] Y. L. Lo and T. C. Yu (2003), "Optical polarimeter for the absolute measurement of rotation angles using an EO modulator," *OPT Proceeding II FH3-2*, 577-579.
- [7] Ye, C. (1995), "Construction of an optical rotator using quarter-wave plates and an optical retarder," *Optical Engineering*, Vol. 34, pp. 3031-3035.
- [8] Jones, R.C. (1941), "A new calculus for the treatment of optical system," *J. Opt. Soc. Am.*, Vol. 31, 500-503.