

液晶相位延遲量測方法評估

陳怡菁、陳彥良、徐祥瀚、藍玉屏
工業技術研究院 量測技術發展中心
Yu-PingLan@itri.org.tw

壹、摘要

相位延遲(phase retardation)是計算液晶層厚度(cell gap)的重要參數。本研究係利用常見的旋轉偏振量測法和共光程外差干涉術，量測具有雙折射性質的扭轉向列型液晶層和四分之一波片產生的相位延遲量，針對此兩種完全不同的量測方法進行分析評估並比較量測結果。結果顯示，無論是液晶層或是波片兩種方法得到的量測值差異不大分別為 3.37 nm 和 2.07 nm。旋轉偏振量測法針對液晶層和波片的量測重覆性分別為 0.03 nm 和 0.02 nm，重現性為 0.15 nm 和 0.44 nm；共光程外差干涉術針對液晶層和波片量測的重覆性為 2.37 nm 和 0.8 nm，重現性為 2.61 nm 和 1.59 nm。二者對於波片的量測平均值分別為 157.99 nm 和 160.06 nm 與理論值相近，皆落在誤差範圍內。此外，本研究並分析雙折射率偏差量對液晶層厚度計算的影響，實驗證明雙折射率偏差量的變化率和液晶層厚度 d 的變化率成線性關係，對於雙折射率差值為 0.0868 液晶層厚度為 4.34 μm 的液晶，雙折射率差值每增加 0.12 % 則量測到的液晶層厚度將減少 0.11 %。

貳、前言

液晶層厚度(cell gap)是影響液晶顯示器顯示品質的重要參數，研發階段精確的 cell gap 量測以及在製程上的控制和改善非常重要，一般而言，誤差希望能控制在 0.1~0.2 μm 內。文獻上發表關於 cell gap 的量測方法很多，包括相位補償[1]、旋轉波片或偏振片[2]、光譜[3]及外差干涉法[4]等，嚴格來說，這些方法並非直接量出 cell gap，而是量測光通過液晶盒產生的相位延遲量(phase retardation)。由於液晶材料的雙折射特性，光在通過液晶分子時會產生相位延遲，此相位延遲量為液晶雙折射係數與 cell gap 的乘積，一般 cell gap 的量測方法是根據已知液晶材料的雙折射率差值，藉由量到的相位延遲量計算得到，因此，相位延遲量測的準確與否直接影響 cell gap 的準確性。本研究係針對兩種完全不同的液晶相位延遲量測方法：旋轉偏振量測法和共光程外差干涉術進行分析評估。旋轉偏振量測法是目前市售 cell gap 量測機台普遍使用的量測方法；而外差干涉術因具有快速反應、排除雜訊與克服訊號飄移等優點，已被廣泛的應用在各種量測應用上。我們利用這二種完全不同的量測方式量測穿透式向列扭轉型(TN)液晶層和四分之一波片($\lambda/4$ waveplate)的相位延遲量，並以四分之一波片的理論值做為參考值，評估比較量測結果的差異及準確性。結果顯示，針對 TN 液晶層相位延遲量測差值為 3.37 nm，而 $\lambda/4$ 波片的量測差值為 2.07 nm，二者得到的量測值差異不大。比較 $\lambda/4$ 波片的量測值與理論值，旋轉偏振量測法和共光程外差干涉術 5 次量測平均值分別為 157.99 nm 和 160.06 nm，皆落在理論值 (158.20 ± 2.11) nm 範圍內。此外，由於 cell gap 是利用相位延遲量除以已知液晶材料的雙折射率差值而得，因此本研究並分析雙折射率偏差量對液晶層厚度計算的影響，實驗證明雙折射率偏差量的變化率和液晶層厚度 d 的變化率成線性關係，對於雙折射率差值為 0.0868 厚度為 4.34 μm 的液晶，雙折射率差值每增加 0.12 %，則量測到的液晶層厚度將減少 0.11 %。以 25 $^{\circ}\text{C}$ 為參考溫度推算當溫度變化 1 $^{\circ}\text{C}$ 時， Δn 值改變約 1 %，量測到的液晶層厚度差值約為 1 % 即 0.04 μm 。

叁、研究方法

一、旋轉偏振量測法

此為常見之液晶相位延遲量測方法，市面上所流通之液晶相位延遲量測機台多半採用這種方式，其基本架構如圖 1 所示。將待測物 S 置於偏振片 P 和檢偏振片 A 之間，穿透光強度會隨著偏振片或檢偏振片的旋轉而改變，在分析旋轉角度與穿透光強度的關係之後便可得到待測液晶或四分之一波片

的相位延遲量，對液晶盒來說更可進一步得到液晶層的厚度。本研究係採用商品化量測設備，光源為鹵素燈，光譜範圍為 400~800 nm。

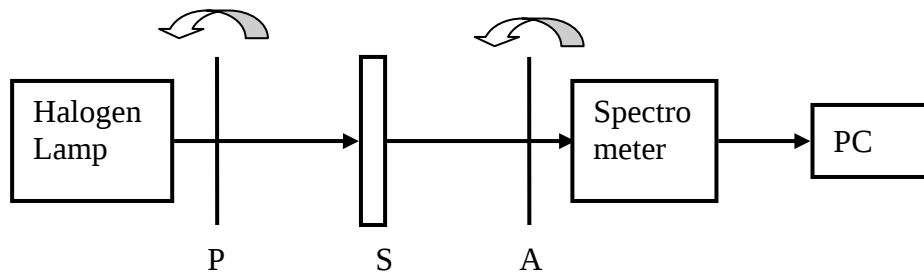


圖 1、旋轉偏振量測架構示意圖

二、共光程外差干涉術

外差干涉術是用來改善傳統干涉儀量測缺點的一種方法，具有快速反應、排除雜訊與克服訊號飄移等優點。典型的外差干涉術[5]是指將兩個具有不同頻率的波前互相干涉的技術，將待測的參數引進光的相位之中，再利用鎖相技術將相位解析出來。本研究自行架設之共光程外差干涉系統架構如圖 2 所示。利用一氬氖雷射光 LS ($\lambda=632.8\text{ nm}$) 通過一 45° 之偏光板 P，再通過一電光調制器 EO，且使訊號產生器產生鋸齒波形，並由放大器輸入至電光調制器作為驅動電壓，此時水平偏光與垂直偏光之間則會有一個角頻差 ω ，此頻差大小即等於鋸齒波頻率。外差光源的光束經分光鏡 BS 反射的部份通過穿透軸在 45° 檢偏板 AN_r 之後，由偵測器 D_r 接收，另一穿透分光鏡的光線，通過具有雙折射率之待測物與穿透軸在 45° 檢偏板 AN_t 後，由另一偵測器 D_t 接收，利用數據擷取系統 DAQ 對兩訊號頻道做同步擷取，並配合電腦 PC 之解析，以 MATLAB 程式進行弦波擬合並做相位比較後，即可得到此相位延遲值。

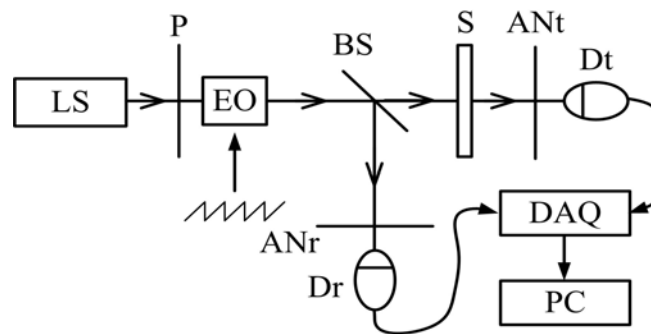


圖 2、共光程外差干涉系統架構圖

肆、研究成果

利用上述兩種量測方法分別對 TN 液晶層(雙折射率 Δn 值為 0.0868)和 $\lambda/4$ 波片進行相位延遲的量測。旋轉偏振法使用的量測光束直徑大小為 5 mm，共光程外差干涉法使用之雷射光束直徑約 3 mm，皆採單點量測，量測點盡量接近待測物的中心位置，量測環境溫度皆控制在 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ 。單點位置重複進行 10 次量測，每一待測物並在不同的時間進行重現性的量測，共進行 5 次。量測結果顯示，旋轉偏振法對於 TN 液晶層和 $\lambda/4$ 波片的短期量測重覆性分別為 0.03 nm 和 0.02 nm，重現性為 0.15 nm 和 0.44 nm；共光程外差干涉術對於液晶層和波片量測的重覆性分別為 2.37 nm 和 0.8 nm，重現性為 2.61 nm 和 1.59 nm。針對 $\lambda/4$ 波片和 TN 液晶層進行 5 次不同時間量測結果如圖 3 和圖 4 所示，其中橫座標表量測次數，縱座標為相位延遲量，圖中黑點標示為旋轉偏振法量測結果，共光程外差干涉法量測

結果以星號表示。比較 5 次不同時間量測的平均值，旋轉偏振法和共光程外差干涉術液晶層量測平均值分別為 372.47 nm 和 375.84 nm，二者差值為 3.37 nm；波片量測平均值為 157.99 nm 和 160.06 nm，差值為 2.07 nm，皆落在 $\lambda/4$ 波片理論值(158.20 nm@ $\lambda=632.8$ nm)的誤差範圍 ± 2.11 nm($\lambda/300$)內。由於共光程外差干涉術使用單一雷射波長，因此統一採用波長為 632.8 nm 時的相位延遲值做比較，量測結果如表 1 所列。

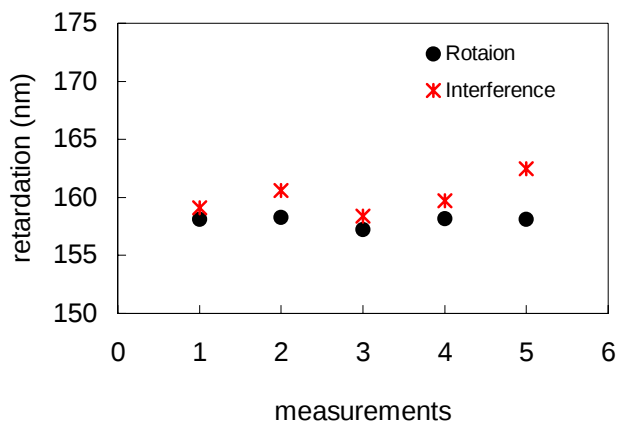


圖 3、 $\lambda/4$ 波片量測結果

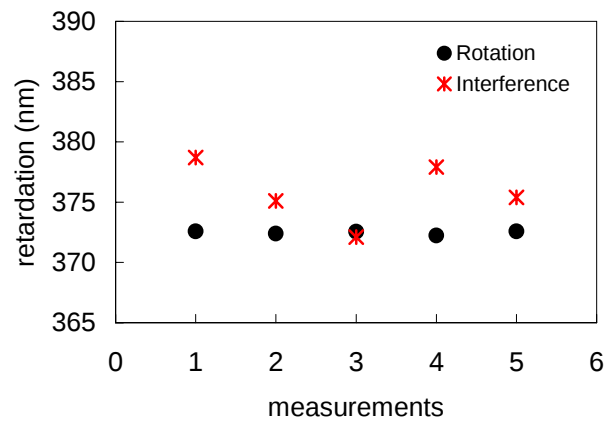


圖 4、TN 液晶層量測結果

表 1、量測結果比較

單位：nm

待測物 量測方式	$\lambda/4$ 波片				TN 液晶層			
	10 次短期重覆量測		5 次不同時間量測		10 次短期重覆量測		5 次不同時間量測	
	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差
旋轉偏振法	158.08	0.02	157.99	0.44	372.89	0.03	372.47	0.15
共光程外差干涉術	156.22	0.80	160.06	1.59	374.92	2.37	375.84	2.61

由於一般市售 cell gap 量測機台多使用旋轉偏振術，雙折射率 Δn 值必須是一已知值，理論上推導 Δn 值的變化率和液晶層厚度 d 的變化率成線性關係，即 $\delta(\Delta n)/\Delta n=\delta d/d$ 。實驗上我們利用商品化 cell gap 量測設備，改變 Δn 輸入值觀察量測結果的變化。如圖 5 所示， Δn 值每增加 0.12 %則量測到的液晶層厚度減少 0.11 %， Δn 值的變化率相對於液晶層厚度 d 的變化率成線性變化，線性相關性達 0.99，符合理論上的推算。

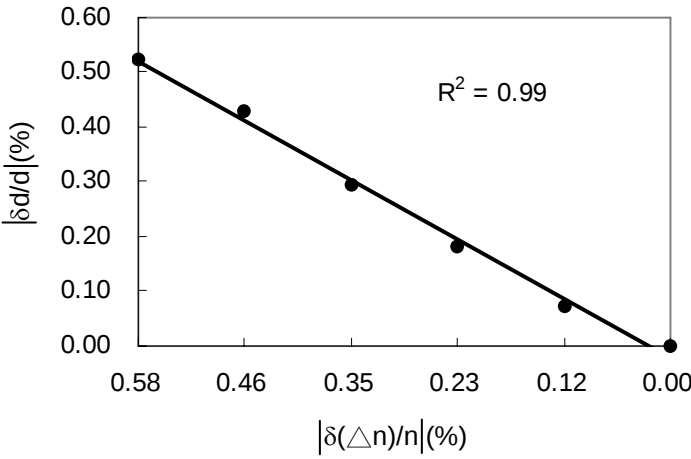


圖 5、雙折射率 Δn 值的變化率對液晶層厚度 d 的變化率之影響

一般液晶材料廠所提供之折射率值至小數第四位，估計有 ± 0.0005 的誤差，由此推算，對於雙折射率為0.0868，厚度4.34 μm 的TN液晶層，造成cell gap值誤差量約為0.02 μm 。此外，液晶的折射率亦會隨著溫度的變化而改變，且非線性變化。由於液晶材料廠所給的折射率值大多以溫度25 $^{\circ}\text{C}$ 為基準，然而實際進行操作時的環境溫度不一定會在25 $^{\circ}\text{C}$ 。以25 $^{\circ}\text{C}$ 為基準推算我們所使用的向列型液晶，當溫度變化1 $^{\circ}\text{C}$ 時， Δn 值改變約1%，量測到的液晶層厚度差值約為1%即0.04 μm 。

伍、結論與建議

本研究利用旋轉偏振量測法和共光程外差干涉術兩種完全不同的量測方法，量測具有雙折射性質的TN液晶層和 $\lambda/4$ 波片產生的相位延遲量，量測結果顯示，旋轉偏振法對於TN液晶層和 $\lambda/4$ 波片的短期量測重覆性為0.03 nm和0.02 nm，重現性為0.15 nm和0.44 nm；共光程外差干涉術對於液晶層和波片量測的重覆性分別為2.37 nm和0.8 nm，重現性為2.61 nm和1.59 nm。旋轉偏振量測法得到的量測值較共光程外差干涉術得到的量測值穩定許多，這是由於旋轉偏振量測係使用商品化量測設備，機構較自行組裝的共光程外差干涉量測系統穩定。比較量測平均值則兩種方法差異不大，針對液晶層和波片兩方法量測平均值的差值分別為2.03 nm和1.86 nm，其中二者對於波片相位延遲的量測值皆落在理論值的誤差範圍內。

此外，實驗證實由溫度或量測誤差所造成液晶雙折射 Δn 值變化，其相對變化率 $\delta(\Delta n)/\Delta n$ 與cell gap值的變化率 $(\delta d/d)$ 呈線性關係，與理論相符合。以 Δn 值在25 $^{\circ}\text{C}$ 時為0.0868的液晶來說，當量測環境溫度差異1 $^{\circ}\text{C}$ 時， Δn 差異值約1%，造成液晶層厚度量值1%的差異。因此建議購買液晶材料時，請供應商提供接近量測環境溫度值的液晶雙折射率值，且量測環境的溫度亦需做控制。

陸、參考文獻

- [1] Lien, A. and Takano, H. (1991). Cell gap measurement of filled twisted nematic liquid crystal displays by a phase compensation method. *J. Appl. Phys.*, 69(3), 1304-1309.
- [2] Gwag, J. S., Park, K.-H., Lee, G.-D., Yoon, T.-H., and Kim, J. C. (2004). Simple cell gap measurement method for twisted-nematic liquid crystal cells. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 43(1A/B), L30-L32.
- [3]. Chae, J. S. and Moon, S. G. (2004). Cell parameter measurement of a twisted-nematic liquid crystal cell by the spectroscopic method. *J. Appl. Phys.*, 95(7), 3250-3254.
- [4]. Tsai, C.-C. et al. (2005). Determination of optical parameters of liquid crystal by phase-sensitive optical heterodyne interferometric ellipsometry. *Appl. Opt.*, 44(35), 7509-7514.
- [5]. Sirohi, R. S. and Kothiyal, M. P. (1992). *Optical Components, Systems, Measurement Techniques*, Marcel Dekker, Inc., New York, 219-246.