量測扭轉型液晶盒厚度之外差式影像偏光干涉儀

尤崇智 成功大學機械系 N1893104@mail.ncku.edu.tw 羅裕龍 成功大學機械系 loyl@mail.ncku.edu.tw

摘要

本研究發展出一相位型影像偏光外差干涉儀來量測扭轉型液晶盒的二維厚度分布。與以往文獻不同的是,我們首先使用光學外差干涉訊號的二維相位分佈,求出扭轉型液晶盒的厚度。藉由光學外差 共路徑干涉的量測架構,可降低環境擾動對於訊號的影響,並改善訊噪比(signal-to-noise ratio);實驗 結果證實了此方法用於量測扭轉型液晶盒全場厚度的可行性。

關鍵字:外差干涉、相位量測、向列型液晶、二維厚度量測

壹、前言

近幾年來,液晶顯示器由於輕、簿、省電、低輻射...等優點大量的應用在電子產品,並已逐漸取 代傳統的映像管顯示器。在扭轉型液晶顯示器裡,液晶盒的厚度、扭轉角、預傾角等光學參數均關係 著顯示器的品質[1],而液晶盒的厚度對於顯示器的反應時間更有舉足輕重的影響,因此,在顯示器 的製程上,對於液晶盒厚度的控制需要準確的掌控。在過去數年中,已有多樣技術被提出來量測液晶 的厚度[2-6]。在使用單一波長光源的技術中,旋轉波片法[2]用於量測1µm 至4µm之間的液晶盒厚 度時最靈敏,單波長的光強度比例法(total intensity ratio method, TIRM)亦用於量測液晶厚度[3]。而像 是相位補償法[4]、光譜橢偏術[5]以及光譜式 TIRM 等使用多波長光源之量測方式亦陸續被發表。此 外,藉由量測穿透光或反射光的 Stokes 參數來反求液晶盒參數的方法也被廣泛的使用[1,7-8]。

以上的方法均使用在液晶參數的單點量測。在二維的液晶參數量測技術中,Nishioka 等人[9]提 出了名為「先進反射分析法」(advanced reflection analysis, AREA)的方式來達到二維液晶厚度量測; Kawamura 等人[10,11]則提出利用量測二維 Stokes 參數分佈來算出液晶盒二維厚度分佈的方法,這些 全場量測的方法均需藉由分析光強度的變化來求得液晶盒厚度。在本研究中,我們以扭轉型向列液晶 為樣本,使用一全場偏光調變外差干涉儀得到一外差訊號,與以往文獻不同的是,我們利用可程式控 制器(CPLD, Complex Programmable Logic Device)作為 CCD 之外部同步觸發源,並且於一個調變週 期內擷取三張積分影像,藉此求出外差干涉訊號之相位分佈,進而得到待測液晶盒之厚度分佈。實驗 的結果驗證了此方法的可行性,本研究的優點為利用外差干涉儀的架構可增進訊號之訊噪比,且量測 外差干涉訊號之相位而非分析之光強度變化,可以減少因為環境光強擾動所造成的誤差。

貳、研究方法

傳統干涉術是利用分光鏡將光分成參考及測試兩道光,使這兩道光走不同的路徑,在將之結合 起來,藉由干涉條紋的分佈情形將待測訊息給擷取出來。而共路徑外差干涉術則是利用調變器調變光 源將待測訊號埋入相位或振幅中,輸入至鎖相放大器進行訊號處理,擷取相位訊號再進行分析。因為 待測訊號是埋入相位中且參考光與信號光為共路徑所以相較傳統的條紋解析法有更容易解析、及時處 理及精確等優點。

若雨光波之電場分別表示成

 $E_1 = A_1 \exp[i(\omega_1 t)] \tag{1}$

 $E_2 = A_2 \exp[i(\omega_2 t + \delta)] \qquad (2)$

其中 A_1 、 A_2 為振幅, ω_1 、 ω_2 為角頻率, δ 為兩光波之光程差所造成的相位差,將兩道光電場互相疊加後,由於I(t)光強度大小正比於E(t)電場振幅的絕對值平方,即

 $I(t) \propto |E_1 + E_2|^2 \propto A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2[\cos(\Delta\omega + \delta)] = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1I_2}\cos(\Delta\omega + \delta)$ (3)

所以外差干涉訊號就如上面所述有兩個頻率(或波長)稍有不同的光波根據重疊原現疊加後的干 涉現象。所要解析的訊號頻率為拍頻,且要量測的相差被載入訊號的相位中,故只需將此訊號經電子

1

電路處理(如相位計、鎖相放大器)即可解出相位差 δ 。

我們所使用的共路徑外差干涉相位量測系統如圖 1 所示,其中偏光旋轉調變器包含一電光調變 器,及兩片與電光調變器各夾之±45°之1/4 波片,該偏光調變器可用於調變線性偏極光使其作等角速 度旋轉[12];訊號產生器產生一角頻率為 a 之鋸齒波用以驅動電光調變器,波長 632.8 nm 之氦氖雷射 為此系統之光源,在此我們使用擴束器來將單點量測擴展成二維量測,上述入射光源依序經過偏振 片、偏光調變器、擴束器、液晶樣本以及檢偏片,接著至 CCD 上接受其光訊號。入射光經過量測系 統後,由 CCD 所接受到的光訊號其電場可由瓊斯矩陣表示成



(6)

 $\Gamma = 2\pi d \Lambda n / \lambda$

*φ*為液晶樣本之扭轉角, Γ為液晶層之相位差,d 是液晶層之厚度,Δn 是液晶材料之雙折射率, 而α為入射液晶導軸方位角,ωt 為電光調變器所造成的相位延遲。



圖 1:相位式偏光調變液晶盒二維厚度量測系統架構圖

所得之光強 $I \propto E \cdot E^*$ 之數學形式十分複雜,經簡化可表示成[13]

 $I = I_{DC} + K\sin(\omega t + \sigma) \quad (7)$

由式(7)可看出最後所接受到之光訊號為一外差干涉訊號,其中包含了直流項 I_{DC} 與調變項 $K\sin(\omega t + \sigma)$,其調變項之角頻率與電光調變器之驅動頻率相同。

由所推出之原始光強訊號與簡化過程中,我們發現該訊號調變項中之相位 σ 可表達成液晶參數 (α, ϕ, d) 之函數。圖二為當 $\alpha \land \phi$ 以及 Δn 分別為45°,90°以及 0.0875 時所計算出來的相位與厚度之 關係。由圖二可知,當外差訊號之相位 σ 得到後,便可得到其所對應之液晶厚度。而為了得到二維外 差訊號相位影像分佈,在此我們使用三圖區間積分法(three-frame integrating-bucket method) [14]。



當使用 CCD 為光接受器作全場量測時,區間積分法(integrating-bucket method) [15]是一簡單且有

力的技術;當將空間域考慮後,式(7)的干涉訊號可表示成

 $I(x, y, t) = I_{DC}(x, y) + K(x, y)\sin(\omega t + \sigma(x, y))$ (8)

接著如圖三所示,我們可將周期時變訊號 I(x, y, t) 在一個週期內等依序分成四個積分區間,由於 CCD 本身即為一積分器,可將其接受到之光強度積分,實驗時只需將 CCD 之曝光時間設定為調變訊 號週期的四分之一即可;其所得到之積分影像訊號依序可表示為

$$S_{1} = \int_{0}^{T/4} I(x, y, t) dt = \frac{T}{4} I_{dc} + \frac{K}{\omega} \sin \sigma + \frac{K}{\omega} \cos \sigma$$

$$S_{2} = \int_{T/4}^{2T/4} I(x, y, t) dt = \frac{T}{4} I_{dc} + \frac{K}{\omega} \cos \sigma - \frac{K}{\omega} \sin \sigma$$

$$S_{3} = \int_{2T/4}^{3T/4} I(x, y, t) dt = \frac{T}{4} I_{dc} - \frac{K}{\omega} \sin \sigma - \frac{K}{\omega} \cos \sigma$$

$$S_{4} = \int_{3T/4}^{T} I(x, y, t) dt = \frac{T}{4} I_{dc} - \frac{K}{\omega} \cos \sigma + \frac{K}{\omega} \sin \sigma$$
(9)



3

式(9)中的前三張區間影像可使用以下之方法求得訊號之相位值σ [14]

$$S_{1} - S_{2} = 2\frac{K}{\omega}\sin\sigma$$

$$S_{2} - S_{3} = 2\frac{K}{\omega}\cos\sigma$$

$$\sigma = \tan^{-1}\left(\frac{S_{1} - S_{2}}{S_{2} - S_{3}}\right)$$
(10)
(11)

由式(11)我們可以得到訊號之二維相位分佈,進而求得液晶盒之厚度分佈。在實驗架構中,我們使用了可程式控制器(CPLD,Complex Programmable Logic Device)提供 CCD 外部觸發訊號[14],因為 實驗中所使用 CCD 最高的觸發頻率為每秒 30 Frames,而我們所使用的調變頻率為 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 同時於不同腳位輸出 1 kHz 及 10Hz 的頻率之同步訊號,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 1 kHz 之訊號則輸入至訊號產生器,並調整信號產生器接受 external clock 模式, 此時訊號產生器的 Clock 來自 CPLD 並且輸出 1 kHz 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)。圖四為各元件間之訊號介面示意 圖,其中 CCD(JAI, CV-A11)的曝光時間設為調變週期的四分之一(0.25ms)用以擷取影像 S_1 、 $S_2 Q S_3$ 。 首先,觸發訊號設定於擷取前四分之一週期之影像 S_1 ,接著使用 Bits controller 將觸發訊號的相位延 遲 $\pi/2 及 \pi$,分別用以擷取影像 $S_2 Q S_3$,而電腦則經由 IMAQ 卡及 RS232 介面控制 CCD 之各項參 數。



圖四:CCD與CPLD間之電子訊號示意圖

參、研究結果

實驗中所使用的液晶樣本有二,樣本 A 的扭轉角為90°,液晶層厚度為 4.2 微米,預傾角為 3.4 度;雙折射率 Δn 為 0.0857。樣本 B 的扭轉角為90°,液晶層厚度為 3.65 微米,預傾角為 4 度;雙折 射率 Δn 為 0.099。而產波器經由放大器輸入 1Hz 的鋸齒波訊號給電光調變器,並且在放入液晶樣本之 前,利用調整電光調變器的 DC bias 值以及鎖相放大器,將電光調變器所引起的初始相位差消除掉。 校正後接著將液晶樣本以 $\alpha = 45°$ 置入系統中。

圖五(a)及(b)分別為樣本 A、B 的量測結果。樣本 A 的所量測到的平均厚度為 4.14µm,其結果 與設計值 4.20µm 接近,而樣本 B 的所量測到的平均厚度為 3.60µm,其液晶盒厚度設計值 3.65µm; 而樣本 A、B 全場量測的標準差則分別為 0.018µm 及 0.016µm。實驗結果驗證了量測外差訊號的全 場相位分佈來得到扭轉型液晶盒厚度的可行性。此架構的的主要誤差來源可能為實驗架構中各光學元 件及待測樣本間光軸角度的誤差,因此,若將各元件之角度調整的更準確,則可以得到更準確之量測 值。此外,誤差來源亦有可能為 CCD 本身的噪點以及量化誤差所導致[16],這些誤差可藉由累積多 次的量測(擷取影像)來降低[17];因此,在實驗中所取得的 S₁、S₂及 S₃之每張數據均是由在兩秒內經 10Hz 觸發訊號拍攝到之 20 張影像所平均得來。





肆、結論與建議

本研究所發展出之相位型外差偏光影像儀可準確量測以扭轉向型液晶為樣本時的二維厚度分 布。此系統結合了光學外差干涉術以及使用區間積分影像演算法,因此擁有對於相位偵測的高靈敏 度,以及二維相位分析的能力;所偵測到之調變後光強訊號可簡化成弦波形式(外差訊號),十分適於 相位解析的量測技術。而本研究的架構也利用此特性,藉由擷取外差訊號之相位值而非分析光強變 化,可有效的減少由於環境擾動以及光學元件對於光強度的吸收所造成的強度變化所引起的誤差,因 此本架構可以避免傳統強度分析方法的所造成的缺點,進而增進實驗的準確度及穩定性;本研究所提 出的新方法提供了一簡單及具有高準確度的架構來量測液晶的全場厚度分布。

伍、參考文獻

- Y. Zhou, Z. He, and S. Sato (1997), "A novel method determining the cell thickness and twist angle of a twisted nematic cell by Stokes parameter measurement," *Jpn. J. Appl. Phys.* 36, 2760–2764.
- [2] S. H. Lee, W. S. Park, G. D. Lee, K. Y. Han, T. H. Yoon, and J. C. Kim (2002), "Low-Cell-Gap Measurement by Rotation of a Wave Retarder," *Jpn. J. Appl. Phys.*, *Part 1* 41, 379.
- [3] 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., Part* 2 43, L30.
- [4] 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.
- [5] S. T. Tang and H. S. Kwok (2001), "Transmissive liquid crystal cell parameters measurement by spectroscopic ellipsometry," *J. Appl. Phys.* 89, 80.
- [6] J. S. Gwag, S. H. Lee, K. Y. Han, J. C. Kim, and T. H. Yoon (2002), "Novel Cell Gap Measurement Method for a Liquid Crystal Cell," *Jpn. J. Appl. Phys.*, Part 2 41, L79-L82.
- [7] Y. Zhou, Z. He, and S. Sato, "An improved stokes parameter method for determination of the cell thickness and twist angle of TNLC cell (1998)," *Jpn. J. Appl. Phys.* 37, 2567–2571.
- [8] V. Duran, J. Lancis, and E. Tajahuerce (2005), "Cell parameter determination of a twisted-nematic liquid crystal display by single-wavelength polarimetry," J. Appl. Phys. 97, 043101.
- [9] T. Nishioka, T. Satake, T. Kurata, and T. Maehara (2005), "Novel and practical gap measurement for reflective liquid crystal cells," *Jpn. J. Appl. Phys.* 44, 1101–1110.
- [10] M. Kawamura and S. Sato (2001), "Measurement of cell thickness distribution in reflective liquid crystal cells using a two-dimensional Stokes parameter method," *Jpn. J. Appl. Phys.* 40, L621-L624.
- [11] M. Kawamura, Y Goto, and S. Sato (2004), "Two-dimensional measurements of cell parameter distributions in

reflective liquid crystal displays by using multiple wavelengths Stokes parameters," J. Appl. Phys. 95, 4371-4375.

- [12] Y. L. Lo and T. C. Yu (2006), "A polarimetric glucose sensor using a liquid crystal polarization modulator driven by a sinusoidal signal," *Opt. Comm.* 259, 40-48.
- [13] T. C. Yu and Y. L. Lo (2007), "A novel heterodyne polarimeter for the multiple-parameter measurements of twisted nematic liquid crystal cell using a genetic algorithm approach," J. Lightwave Technol., 25, 946-951.
- [14] Y. L. Lo, H. W. Chih, C. Y. Yeh, and T. C. Yu (2006), "Full-field heterodyne polariscope with an image signal processing method for principal axis and phase retardation measurements," *Appl. Opt.* 45, 8006-8012.
- [15] K.D. Stumpf (1979), "Real-time interferometer," Optical Engineering 18, 648-653
- [16] C. P., Brophy (1990), "Effect of intensity error correlation on the computed phase of phase-shifting interferometry," J. Opt. Soc. Am. A. 7, 537-541.
- [17] A. Dubois (2001), "Phase-map measurements by interferometry with sinusoidal phase modulation and four integrating buckets," J. Opt. Soc. Am. A. 18, 1972-1979.