

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

子題一：向列液晶盒在交流驅動電場的閃爍現象研究

計畫編號：NSC 89-2112-M-009-046

執行期限：89年8月1日至90年7月31日

主持人：王淑霞 國立交通大學光電工程研究所

一、中文摘要

液晶材料的許多物理特性常和驅動電壓頻率有關。因此液晶顯示器上的許多特性，如臨界電壓、閃爍現象和反應速度都受交流驅動頻率的影響。特別是在被動驅動的液晶顯示器上，驅動頻率的大小不僅與消耗功率相關，更和光學閃爍的產生有極大的關係。

降低交流驅動頻率雖可使消耗功率下降，但相對地會在液晶中產生離子電荷效應，因而造成不必要的問題，如光學閃爍現象。本計劃藉由對90度扭轉向列液晶盒的研究，試圖找出液晶材料、外部驅動波形和呈現光學閃爍現象的關係。經由實驗和動態理論的進行，討論其在光學閃爍現象中所扮演的角色。

關鍵詞：閃爍、離子電荷、液晶分子軸向分佈

Abstract

Because many physical behaviors of liquid crystals (LC) are usually frequency dependent, the most properties of liquid crystal displays (LCDs), such as threshold voltage, flicker phenomenon and response time, are also influenced by the ac driving frequency. The ac driving frequency is an important key parameter in the passively addressed LCDs. It involves not only the power consumption, but also the appearance of optical flicker.

Although reducing the ac driving frequency can improve the power consumption, it will induce the ionic charge effect of liquid crystals and produce many problems such as optical flicker. This project will study the relationship between LC parameters, external applied waveforms and

flicker phenomenon by using 90°-TN LC cells. According to experiments and numerical simulation, we discuss the role of these parameters on the optical flicker phenomenon.

Keywords: flicker, ac driving, ionic charge, LC director orientation

二、緣由與目的

就基礎研究而言，本研究群已有數年對於液晶離子電荷效應的經驗，也初步建立了相關的分析模型，可陸續用於驗證相關現象研究所需的理論根據。液晶顯示器的特性評估除了視角、對比度和反應速度外，影像品質的穩定度亦是一項重要的考量因素。其中光學閃爍現象更是熱門的研究課題之一。

為了消除閃爍現象，液晶顯示器大都是利用交流驅動，並且交流驅動的頻率必須夠高，否則仍是會出現低頻的閃爍現象。但就顯示器的消耗功率觀點來看，頻率愈高消耗功率愈大。因此如何在光學閃爍現象和消耗功率之間最佳化是個重要的課題。本計劃以「向列液晶盒在交流驅動電場下的閃爍現象研究」為題進行研究，並且驗證我們動態理論模型的正確性和適用性。

三、結果與討論

由於閃爍現象是種人眼的感知行為，除了因人而易外，更與觀察的環境相關。為了能夠定量上去分析光學閃爍的大小，我們採用1961年Kelly的理論，定義閃爍程度為 $T_r = \Delta T / T_{ave}$ ，如圖一所示。接著定義人眼的閃爍臨界條件，我們在距離液晶盒30公分處觀察90度扭轉列液晶盒 Sample(A)(樣品條件如表二)，並且隔絕所

有外界雜散光的影響。針對不同的驅動頻率和外加偏壓下觀察樣品，可得到人眼的閃爍臨界條件並且歸納出四個區域(如圖二所示)。第一區域為 white state，第二和第四區域為無閃爍區域，第三區域為閃爍區。人眼的閃爍臨界條件上限與穿透率差及平均穿透率如表一所示。此外，我們亦利用光偵測器觀察液晶盒在不同外加頻率和電壓下的暫態光學現象。圖三為外加電壓為 2 volt 時，不同驅動頻率對光穿透率的影響。由於液晶盒中的離子運動與外加電壓的頻率有關，當外加電壓頻率愈高時，液晶盒中的離子會呈現原地震盪，對液晶盒中的電場分佈影響較小，液晶指向矢受電壓極性反轉的影響較小，因此穿透率的變動較小；反之當頻率愈低時，離子漂移的時間較長，液晶盒中的電位受到影響愈大，所以穿透率差就愈大。因此當外加電壓的頻率較低時，閃爍的程度會較為嚴重(如圖三)。

為了能夠知道 Sample(A)中的離子受到的外加頻率的影響，利用曲線擬合方法 (curve fitting)，計算不同電壓的光學穿透率與實驗結果相互擬合，我們得到液晶盒中的離子濃度和配向膜的離子捕捉率(如圖四)，其離子捕捉率和濃度分別為 0.002 m/sec 和 100 C/m^3 。我們使用電腦模擬配向膜的離子捕捉率對 Sample(A)的光學閃爍程度的影響，外加電壓的大小和頻率是 2 Volt 和 10Hz。結果如圖五所示，當配向膜的離子捕捉率愈大時，穿透率差便愈大，閃爍程度愈嚴重。這是因為當離子捕捉率愈大，雜質電荷愈容易被配向膜捕捉在其表面，當電壓極性反轉時，液晶所感受到的等效電壓會變大，使得液晶指向矢受到擾動而影響其光學穿透率。因此配向膜的離子捕捉率愈大，其閃爍程度便愈嚴重。

為了了解液晶盒中離子濃度對閃爍程度的影響，我們在 E7 液晶中額外加入不同濃度的 TBAI，以增加液晶盒的離子濃度，並且觀察閃爍程度和頻率的關係，各樣品的實驗條件如表二所示。由圖六和圖七的實驗結果可以得到 Sample(C)(其為 75Hz)

的最大閃爍臨界頻率會較 Sample(B)(其為 37Hz)的最大頻率高，即濃度愈高的樣品，其臨界頻率會越大。這是由於當液晶盒中的離子雜質數量變多，在電壓極性反轉時，由離子所額外貢獻的內部電場量變多，因此造成的閃爍程度便愈嚴重。依據我們之前所發展出來的離子模型，利用電腦數值模擬不同離子濃度液晶盒的閃爍程度，亦可以發現當離子濃度愈大時，光學的閃爍程度便愈嚴重，即絕對穿透率差會隨著離子濃度變大，但是平均穿透率卻沒有太大的變化(如圖八)。

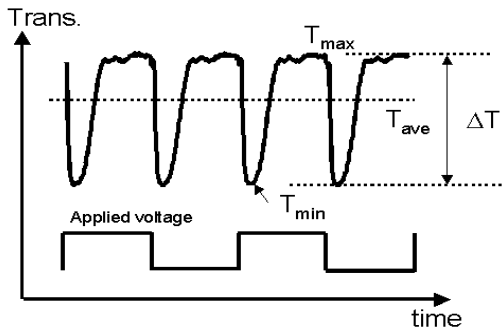
四、計畫成果自評

在本計畫中，我們分析了驅動頻率、液晶材料的特性和配向膜對光學閃爍程度的影響。低雜質離子的液晶料和低離子捕捉率的配向膜對閃爍程度的抑制有很大的幫助，若是能與驅動電壓的大小做最佳化，相信一定可以在消耗功率和閃爍程度的問題上找到一個最好的平衡點。

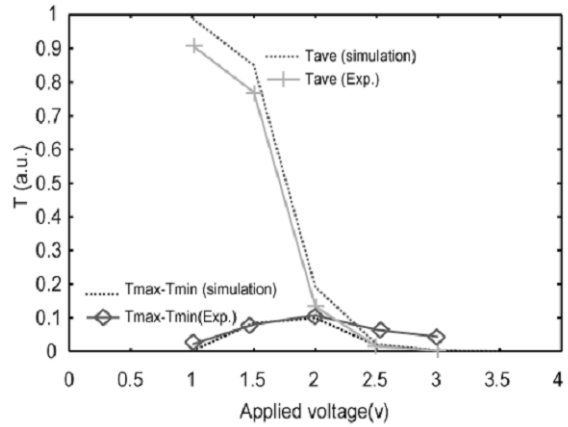
五、參考文獻

- [1] M. Oh-e et., Liquid Crystals, 17 p95-107 (1994)
- [2] S. Takahashi, J. Appl. Phys., 70(10), p5346-5350 (1991)
- [3] S. Palmer, Liquid Crystals, 24(4), p587-598 (1998)
- [4] A. Sawada, H. Saito, Y. Nakazono, and A. Manabe, SID 99 Digest, p190-193 (1999)
- [5] M. Yasui, et. Al, U. S. Patent 5, 784,039
- [6] H. Mada and K. Osajima, J. Appl. Phys., 60(9), p3111-3113 (1986)
- [7] H. Seiberle and M. Schadt, SID 92 Digest, p25-28 (1992)
- [8] F. M. Leslie, Quart. J. Mech. Appl. Math., 19, p19 (1958)
- [9] C. Gu and P. Yeh, J. Opt. Soc. Am. A, 10(5), p966-973 (1993)

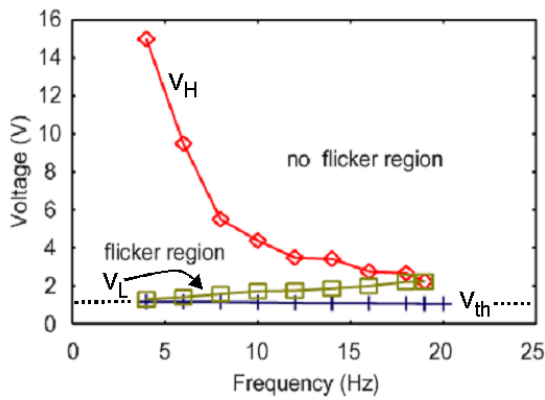
六、附圖和表格



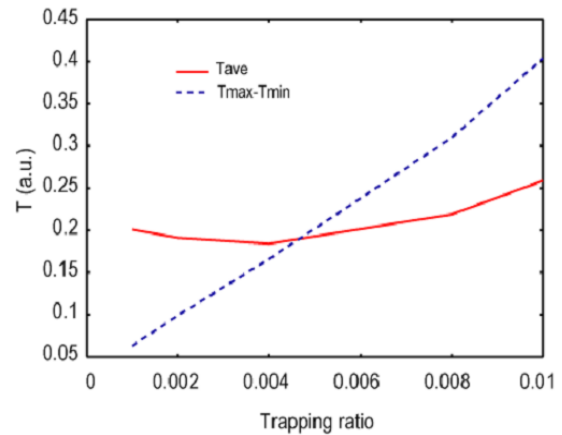
圖一：液晶盒的暫態光學穿透率隨電壓的變化， T_{max} 和 T_{min} 是最大和最小的光穿透率， T_{ave} 是穿透率的平均值， ΔT 是最大和最小的光穿透率的差。



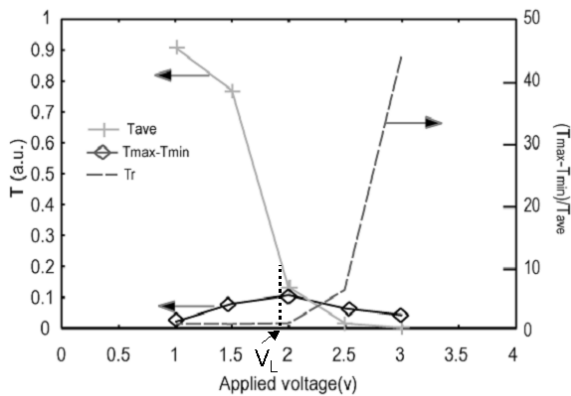
圖四：實驗和模擬在當外加驅動頻率為 10Hz 時，不同驅動電壓對光穿透率和閃爍程度的影響。藉由曲線擬合方法，可以得到液晶盒中的離子捕捉率和濃度分別為 0.002 m/sec 和 100C/m^3



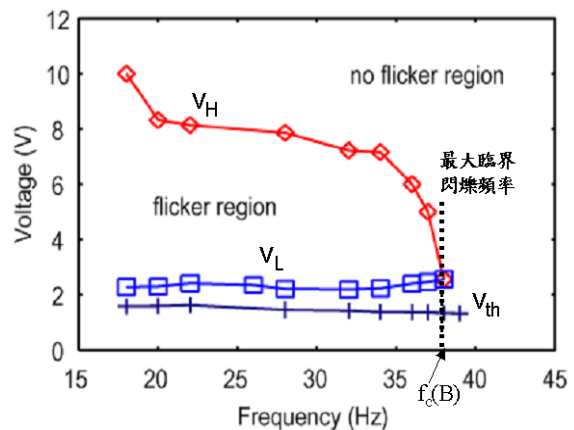
圖二：Sample(A)的閃爍臨界條件曲線。



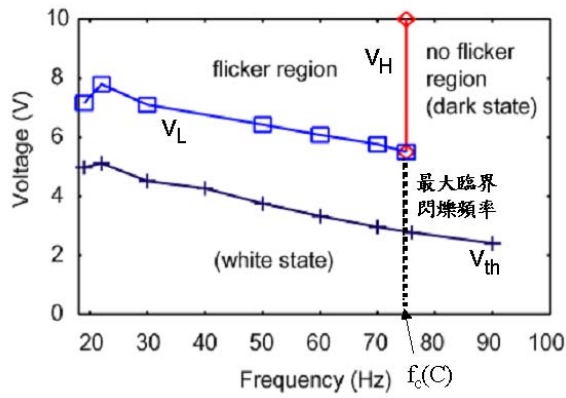
圖五：電腦模擬配向膜的離子捕捉率對液晶盒之光學閃爍程度的影響。



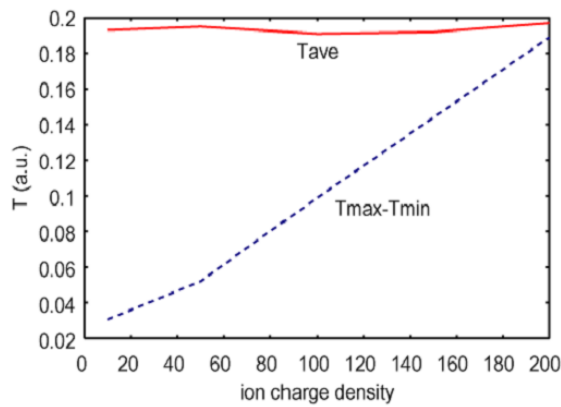
圖三：當外加驅動電壓為 2volt 時，不同驅動頻率對光穿透率和閃爍程度的影響。



圖六：實驗觀察之加入離子濃度為 0.05% 的液晶盒 Sample(B)所得之閃爍臨界條件曲線。



圖七：實驗觀察之加入離子濃度為 0.2% 的液晶盒 Sample(C) 所得之閃爍臨界條件曲線。



圖八：電腦模擬不同離子濃度的液晶盒之光學閃爍程度。

閃爍臨界條件上限點		所對應的量測	
Freq.(Hz)	V_H (v)	ΔT (%)	T_{ave} (%)
4	15	0.4	0
6	9.49	0.5	0
8	5.5	1	0.1
10	4.38	2	0.3
12	3.48	2.6	0.5
14	3.41	2.7	1
16	2.75	5.2	2.5
18	2.52	6.1	5

表一：閃爍臨界條件與絕對穿透差及平均穿透率對照表。

	LC mixture	Cell gap
Sample (A)	E7	8um
Sample (B)	E7 doped with 0.05% TBAI	
Sample (C)	E7 doped with 0.2%wt TBAI	
E7: $n_e=1.7464$, $n_o=1.5211$, $\epsilon_{ }=19.0$, $\epsilon_{\perp}=5.2$		

表二：不同液晶盒所含有 TBAI 之濃度表。

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

子題二：垂直配向液晶顯示器反應速度的改善研究

計畫編號：NSC 89-2112-M-009-046

執行期限：89年8月1日至90年7月31日

主持人：王淑霞 國立交通大學光電工程研究所

一、中文摘要

由於具有高對比度的特性，垂直配向的液晶顯示器已是目前主要採用的顯示模式之一，但是其暫態光學反應速度仍然無法達到液晶電視的需求。本研究工作是針對垂直配向液晶顯示器的動態響應特性為主要研究目標。在這個研究中，我們發現邊界條件(方位角和極角的差異)對垂直配向的光學暫態反應有非常大的影響。藉由數值模擬分析，我們也針對這問題的影響提出了改差的方法。

關鍵詞：液晶、暫態光學響應、流動、光學反躍

Abstract

Due to the high contrast ratio under the crossed-polarizer condition, the vertically-aligned liquid crystal displays (VA-LCDs) has become an attractive one of the most LCD modes. However, the transient optical response of VA-LCDs is not fast enough for the application of LCTV. In this proposal, we investigated the optical transient behaviors of VA-LCDs. We found that boundary conditions (including the deviation of the polar and azimuthal alignment) have a significant influence on the transient electro-optical response of VA-LCDs. According to the analysis of numerical simulation, we proposed a method to improve it.

Keywords: Liquid crystals, Transient optical response, Backflow effect and optical bounce

二、緣由與目的

近年來因為資訊數位化和電子商務的盛行，液晶顯示器為這些視訊產品提供了一個良好的人機介面。但若是應用在數位電視上，液晶顯示器的反應速度仍不夠達到播放多媒體影像的要求(60畫面/sec)，

也就是顯示器最少必須達到16msec的的反應速度。因此，為了改善反應速度，液晶顯示器的動態機制便是一個主要的關鍵技術。但是由於液晶動態機制的複雜性，傳統上，液晶的暫態光學反應研究大多著重於只考慮液晶的純轉動現象。然而，由於液晶分子的特殊性質，暫態光學性質不僅與液晶分子的流動特性相關外，更與液晶分子在基板上的配向條件(即是邊界條件)有著密不可分的關係。尤其是在垂直配向的液晶顯示器，邊界條件的影響更是較其他顯示器來得大。因此，研究邊界條件對垂直配向顯示器的暫態光學現象的影響是本計畫的重要目的。

三、結果與討論

在之前的計畫中，我們觀察到垂直配向液晶盒的暫態光電響應上會有一個光學反躍的現象，這是由於液晶分子方位角方向上的配向差異加上分子流動所造成的結果。然而，在此計畫中，我們於實驗上觀察到垂直液晶盒中的暫態光電現象有不同於之前的現象，有二個光學反躍的情形，並且液晶盒的驅動時間會較之前的情形長數十倍。(如圖一，上升時間約為1.2sec)如圖二所示，當以較低的電壓驅動時 $V=4.0V$ ，則這二個光學反躍的情形便不會出現。這現象大大的限制了垂直配向液晶顯示器的應用，而且從以往和現有的文獻研究，我們一直無法找到合理的理論來解釋這種具有二個光學反躍的成因。

利用我們撰寫的液晶動態模擬程式，我們成功地找到造成垂直配向液晶盒產生這種二個光學反躍現象的成因。在模擬上我們發現當液晶分子在上下基板的方位角和極角有些許的差異時(我們假設方位角和極角的差各為 0.1°)，由於液晶分子轉動

所造成的引流效應(backflow effect)，因為非對稱性的邊界條件會造成非對稱性的流速分佈，流速所引起的力矩會導致液晶分子形成扭轉態，當我們在模擬中除去這種配向上的差異時，即使引流效應仍然存在，實驗上所觀察到的雙光學反躍現象就不會出現。模擬的結果如圖三。因此，我們可以清楚地知道在垂直配向的液晶盒中，除了液晶的流動效應外，邊界效應對液晶的暫態電光現象有著非常大的影響。在以往的研究中，由於大都是考慮一個理想的邊界條件，即是在方位角和極角的配向均沒有任何差異，所以無法解釋這種雙光學反躍的現象。但是實際上方位角和極角即使只有 0.1 度的配向差異，引流效應仍會對液晶的暫態電光特性有很大的影響。因此，對於實際垂直配向的元件來說，除了液晶的流動現象必須考慮外，邊界條件亦是另一個不可忽略的重要因素。

此外，利用數值模擬，我們更進一步分析空間中液晶分子軸向隨時間的變化。由於液晶的方位角和極角不易表示分子軸向在空間中隨時間的變化。在這裡我們採用分子軸向在 xy 平面的投影分量，圖上曲線的每一點代表分子軸向在空間中的不同位置，其變化方向如圖上的箭頭所示(圖四)。由於邊界配向差異的影響，使得引流效應所形成的流速分佈不同於一般的情形。液晶的流動對分子軸向運動的影響可以分成二個部分。首先，當外加電壓一施加在液晶盒上時，由於非對稱極角分佈，使最先轉動的液晶分子會從液晶盒的中央偏離到極角較低的下層部分；這種非對稱的分子轉動現象會導致在摩擦方向形成非對稱的流速分佈，上層的液晶分子軸向受到流速所造成的力矩影響，分子軸向會朝相反的方向轉動，使得液晶分子的極角大於 90 度(5msec 曲線)。隨後，方位角的配向差異會產生垂直於摩擦方向的流速，這方向的速度梯度所形成的力矩會使得上下基板兩旁的分子軸向朝不同的方向扭轉出去，形成一個 360 度的扭轉態(10msec 曲線)。因為 0 度狀態的自由能較低，所以分子軸向會從扭轉態鬆弛回 0 度的狀態。由於液晶分子軸向從扭轉態變回 0 度的狀態

只能靠分子軸向本身的彈性回復力，所以液晶的暫態電光反應會較沒有差異時的情形變慢很多。這種現象會大大地限制垂直配向液晶顯示器在快速顯示元件的應用。此外，我們亦模擬了不同的極角差異對垂直配向液晶盒暫態電光反應的影響。發現在方位角差異 0.1 度時，極角度差異只要 0.02 度，雖然雙光學反躍現象沒有出現，但是便會對液晶盒的暫光電反應產生影響。(圖五)

由於液晶分子軸向的流動效應和邊界配向的差異(方位角和極角)耦合所造成的影響使得垂直配向液晶盒的反應速度變慢，因而限制其應用的範圍。根據電腦模擬分析，我們提出了改善因這種耦合作用使得反應速度變慢的方法。雖然這種由於液晶分子軸向的流動效應和邊界配向差異(方位角和極角)的耦合作用所造成的扭轉很類似扭轉型垂直配向液晶盒中的光學反躍現象，但是因為所形成的 360 度的扭轉角很大，只單靠提高液晶的扭轉彈性常數並沒有太大的幫助。(如圖六)由於液晶分子軸向的彈性扭轉力矩是和液晶分子的傾角成反比，傾角愈低扭轉的力矩愈大。因此，當角度愈低時，因流動效應和邊界配向的誤差耦合作用所造成的扭轉情形愈小。因此，採用較低的預傾角的垂直配向液晶盒會有較快的暫態電光反應。但因為降低預傾角亦會使得對比度下降，所以在反應速度和對比度之間的考慮必須作一最佳化。

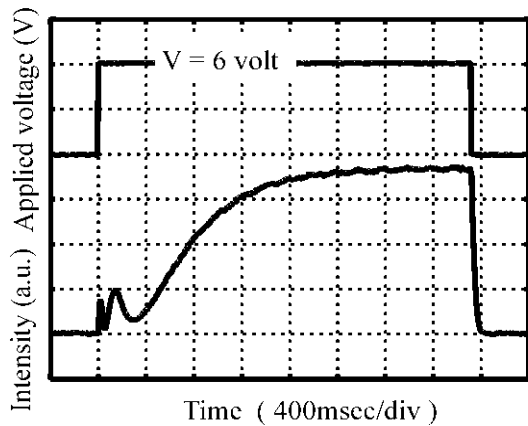
四、計畫成果自評

我們發現垂直配向的液晶盒的暫態電光反應不僅僅會受到液晶子分子軸向流動的影響，更與邊界的配向條件有著緊密地關係。這是以往文獻所沒有詳加考慮。藉由降低液晶分子軸向的預傾角可以有效地提高液晶的電光反應，我們相信在垂直配向的液晶顯示模式在 LCOS 應用中更提了一個重要的參考和注意。

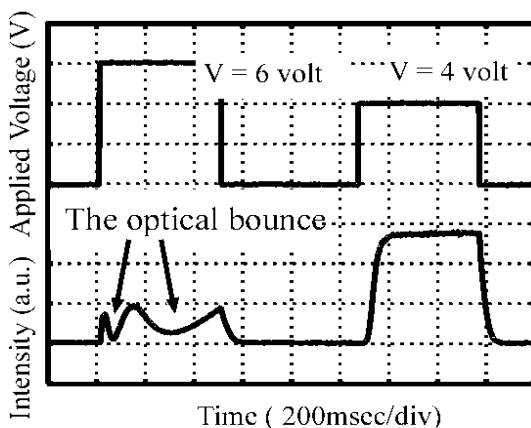
五、參考文獻

- [1] C. Z. van Doorn, J. Appl. Phys. **46**, 3738 (1975)
- [2] D. W. Berreman, J. Appl. Phys. **46**, 3746 (1975)
- [3] L. Y. Chen and S. H. Chen, Appl. Phys. Lett. **74**, 3779 (1999)
- [4] S. H. Chen and L. Y. Chen, Appl. Phys. Lett. **75**, 3941 (1999)
- [5] L. Y. Chen and S. H. Chen, Jpn. J. Appl. Phys. Vol.39, L368-L370 (2000)

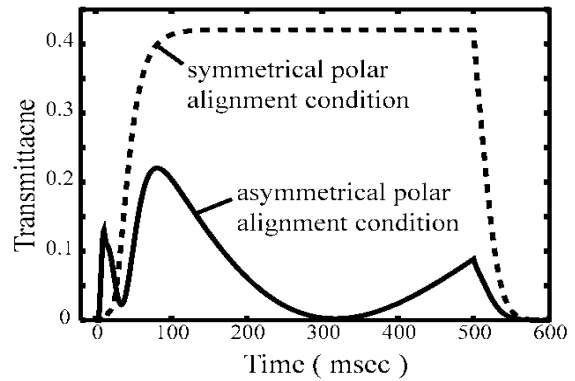
六、附圖



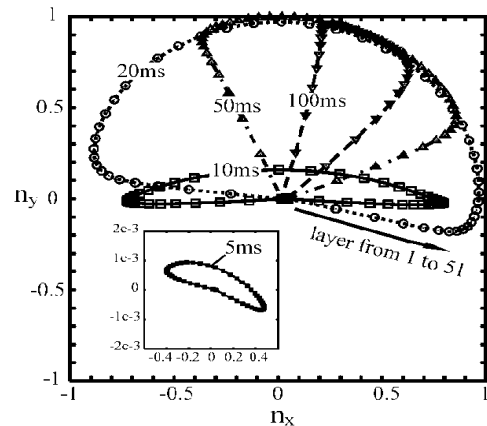
圖一：垂直配向液晶盒的暫態電光響應圖，可以觀察到在施加高電壓($V=6.0V$)時會出現雙光學反躍的現象。



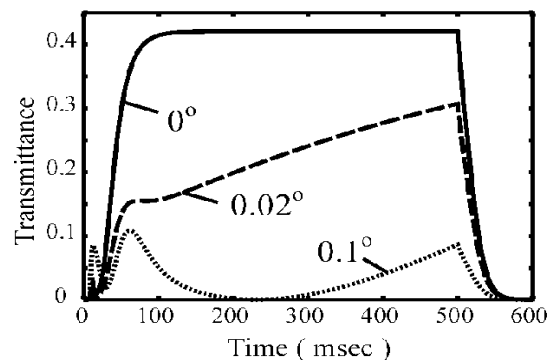
圖二：垂直配向液晶盒的暫態電光響應圖，可以觀察到在施加電壓($V=4.0V$)較低，雙光學反躍的現象便會消失。



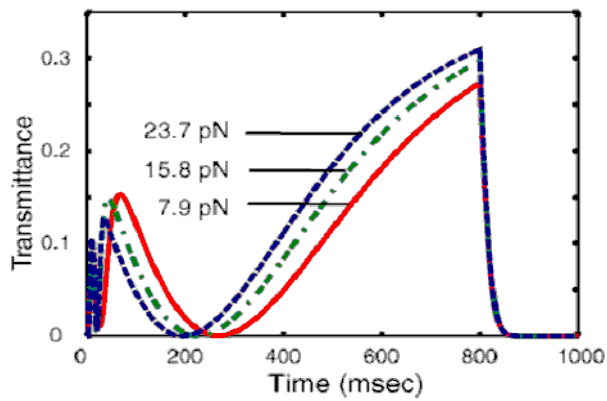
圖三：電腦模擬的暫態光學穿率曲線圖。在當方位角的差異為 0.1 度時，極角方向的情形分別為對稱型的極角邊界條件和非對稱型的極角邊界條件。可以看出雙光學反躍的現在只有在考慮非對稱的極角邊界條件時才會出現，在對稱型的情況下則不會出現。上面的模擬皆有考慮液晶的流動。



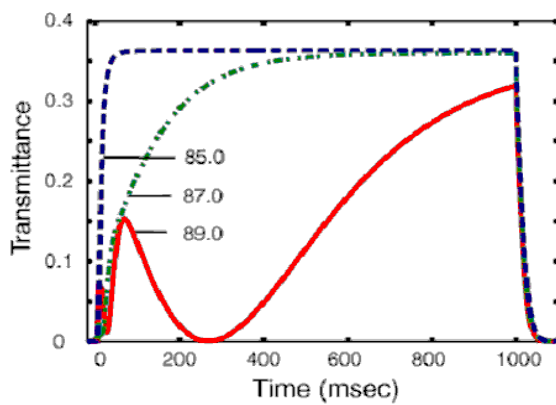
圖四：電腦模擬不同厚度的液晶分子軸向在x-y平面投影量隨時間的變化量。



圖五：當方位角的差異為 0.1 度時，電子模擬不同極化角的差異對垂直液晶盒暫態光電響應的影響。可以看出當極化角誤差為 0.02 度時，雖沒有明顯的雙光學反躍現象。可是極化角的誤差仍對反應速度有很大的影響。



圖六：不同液晶彈性常數 K_{22} 對應的暫態光電特性，可以發現改變 K_{22} 的大小對暫態光電特性並沒有太大的影響。



圖七：不同的液晶預傾角對應的暫態光電特性，可以發現較低的預傾角會有較快的光電響應，並且雙光學反躍的現象亦會消失。