

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

題目：高解析度顯示器液晶模態之動態特性研究

計畫編號：NSC 91-2112-M-009-025

執行期限：91 年 8 月 1 日至 92 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

一般液晶顯示器的設計為一綜合性的考量，例如應用於微型顯示器(Microdisplay)和投影顯示器中的反射 LCOS (Liquid Crystal on Silicon) 液晶面板，由於面板的尺寸較小且具有非常高的解析度，因此顯示器的畫素(pixel)面積變得非常小；為了產品的顯示特性-如光學顯示品質等，液晶面板的設計就有一定的規格。此外，液晶的動態反應速度對產品品質亦有影響，特別是在顯示動態影像時，因此當選擇的參數固定時，不同液晶顯示模態的動態行為亦不相同。本實驗室對液晶體動態特性研究已有基礎，在前面的三個國科會計畫(包括現在執行中的)，我們依據 ELP 液晶動態理論，對液晶體的動態與暫態行為有深入的探討及了解，在液晶體動態機制的研究成果已發表於 Appl. Phys. Lett. 等重要學術期刊，自己建立的模擬程式，正可以發揮作用，對台灣液晶顯示器領域做出貢獻。

在本計畫中，我們選擇幾種常用的液晶模態，針對高解析度的 LCOS 品質考量條件下，在不同的驅動方式下，探討不同液晶模態的基本動態特性。研究其動態行為的差異，以及其對顯示品質的影響，希望在不影響顯示品質的情形下，找影響光學反應速度的主要因素，進而改善這幾種液晶模態的動態光學反應速度。

關鍵詞：液晶，雙穩態，流動，動態響應

Abstract

The design of a liquid crystal display is an overall consideration. Such as a reflective LCOS (liquid crystal on silicon) panel used in micro-display and projector with high resolution and very small pixel size, the optical characteristics and the dynamic

response are very different to the common liquid crystal panel used in desktop, notebook, PDA and hand-held PC with larger pixel size. For the small pixel size, the electric field distribution in the LC layer is very critical dependent on the inner mechanical dimension. That causes the very different and complicated static and dynamic behavior of the liquid crystal molecular and thus influences the optical/image performance directly, especially in the moving pictures. We have studied the inside dynamic mechanism of liquid crystal devices and established a set of simulator base on the ELP hydrodynamic theory in our past three projects of National Science Council (including the proceeding project). The results have been published in some important Journals such as Appl. Phys. Lett. Our studies are helpful for the LCD field in Taiwan.

Base on our past studies, in this project we choose several important liquid crystal modes to study the influences of different inner mechanical structure on dynamic response and optical performance and find out the important factors of optical response. Furthermore, by using these studies we will improve the response and optical characteristics of these modes and design the best liquid crystal mode with fast response and good optical performance.

Keywords: liquid crystals, dynamic behaviors, flow effect, bistable

二、緣由與目的

在過去的三個國科會的計畫中，我們針對液晶體的動態特性做了深入的研究，從液晶體的流動與液晶分子軸向耦合作用的 ELP 理論著手，完成一維的模擬程式，

探討了液晶體流動對液晶軸向轉動的影響，再引申到光學反應速度的影響，也有實驗驗証，這種資源正好用來探討各種液晶模態的液晶動態行為和對特定顯示器需求的相關性，以便對目前台灣 LCD 業有所貢獻。現階段的主要研究課題在於液晶的動態機制及光學反應速度的改善。

我們選擇高解析度 LCOS LCD 為探討的對象，因為隨著時代的進步，對顯示畫面的尺寸和影像解析度要求也隨著提升，電腦顯示器的尺寸也由 15 吋到達 17 吋或更大的尺寸，30 吋的電視機也早成為一般的產品。為了追求更大更舒適的畫面和突破顯示尺寸的瓶頸，利用投影的方式來達成大尺寸的需求便孕育而生。隨著近幾年投影顯示技術的快速發展，更輕、更小、亮度更高投影機已經成為市場主流的投影系統。反射式的 LCOS 液晶面板由於具有較佳的開口率和光效率，以及易小型化等好處，且其製程可以採用半導體上標準的 CMOS 製程，易於達到系統整合，已是目前液晶投影系統的主流趨勢。

在 LCOS 的液晶投影機的系統中，大部份都是採用紅藍綠三片面板式的光機投影系統，但是由於三片面板的光機投影系統中的光學元件的價錢非常昂貴且設計複雜；然而，單片面板式的光機投影系統由於佔有價格上的優勢，目前已有許多廠商投入單片式光機投影系統的開發。由於單片式光機投影系統的彩色呈現是利用 color sequential 的顯示方式，液晶面板的光學反應速度必須較穿透式的面板快許多，一般的要求大約是 1ms 的反應速度。以目前的技術而言，只有採用強誘電性液晶(ferroelectric liquid crystals)材料的液晶模態的光學反應速度可以達到這個等級。但是由此種材料易受到溫度和外在應力而影響其排列，因此在製程技術上有還有待改進。而目前以向列型液晶(nematic liquid crystals)為主的顯示模態其光學反應速度仍不夠達到此應用的需求。

在本計畫中，我們探討下列四種不同顯示模態：(a) MTN 80° cell (b) Homogenous cell (c) Hybrid cell (d) VA cell。在不同的驅動方式：(1) Frame Inversion (2) Column Inversion (3) 2 Column Inversion (4) Dot

Inversion.下(如圖一)，各模態之動態行為及其靜態的影像品質特性。此外，由於畫素的間距大小會影響液晶樣品的邊際電場強弱，進而影響其顯示品質。因此，當畫素的大小固定在 12 μm 時，我們探討三種不同間距 0.5 μm 、0.7 μm 和 0.9 μm 的結果。

三、結果與討論

為了觀察不同顯示模態的動態行為，我們設計二種不同的量測架構。第一種是利用類比 CCD 來觀察各個液晶模態在不同的畫素間距下，由於不同驅動方式所顯示出來的動態光學特性變化(如圖二)。第二種的實驗架構是利用光偵測器來量測各個液晶模態在不同的畫素間距與驅動方式下的整體光學動態反應時間(如圖三)。

依照動態影像擷取裝置，我們觀察不同液晶模態在電壓施加與釋放時，液晶樣品畫素之光學圖樣的瞬間變化情形。由於 MTN 80° 和 VA 模態已有應用在投影機產品上，在此我們主要以這二者來討論。圖四到六是 MTN 80° 的樣品在 1 column、2 column 與 dot inversion 三種不同驅動方式的暫態光學圖樣變化。圖七到九是 VA 樣品的結果。在這些圖片中，有一些圖片會出現橫向的條紋，這是由於我們使用的是交錯式(interlaced)掃描的 CCD，而一個畫面由 2 個圖場(Field)所構成，這 2 個圖場曝光的時間並不相同，所以在光學變化劇烈之時間所拍攝的圖片便會出現這樣的結果，並不是液晶所造成的。

此外，我們亦量測不同模態在不同驅動方式不同畫素間距下所量得的整體光學反應速度，在這裡 frame inversion 僅量測 0.5 μm ，因其不受邊際電場影響，加上它在靜態特性中的優越表現，為了方便比較，看看是否它在動態特性上也一樣勝過其他驅動方式，所以在這裡將 frame inversion 的響應時間當成對照組。對於反應時間的定義我們是取開始外加電壓的瞬間至最高穿透率 90% (VA mode, normally black) 或 10% (other modes, normally white) 所經過的時間為上升時間(rising time)，下降時間(decay time)定義為外加電壓關閉的瞬間至最高穿透率 10% (VA mode，

normally black) 或 90% (other modes , normally white) 所經過的時間。表一是不同畫素間距的 MTN 80° 樣品在不同驅動方式所量測到的整體光學反應時間。表二是不同畫素間距的 homogeneous 樣品在不同驅動方式所量測到的整體光學反應時間。表三是不同畫素間距的 hybrid 樣品在不同驅動方式所量測到的整體光學反應時間。表四是不同畫素間距的 VA 樣品在不同驅動方式所量測到的整體光學反應時間。

根據擷取的圖片以及量測到之液晶響應時間的結果，加上模擬程式可以推測出液晶指向矢的演變行為。在 MTN 80° 模態中，我們可以看到在 rising time 的部分，2 column inversion 與 frame inversion 較為相近，而 column inversion 和 dot inversion 時間則略長一些，尤其是在 0.5 μm 間距時差距更為明顯。而在 decay time 的部分，2 column inversion 仍然與 frame inversion 相近，但是 column inversion 相較之下卻比較短，dot inversion 仍然跟 rising time 一樣是最長的。而同樣地，間距增加的話將使得反應時間變短。

再由動態圖形觀之，在畫素中央正常傾斜區和反傾斜區之間會出現的橫向扭轉結構，也就是在正交偏光顯微鏡下光學上所觀察到的亮線之處，隨著時間的增加，其反傾斜區域邊緣的液晶分子，將會逐漸響應正向電場的方向，而把此一橫向扭轉區域推擠，壓縮到靠近畫素間距之處，在模擬上我們也可以觀察到這個結果，這個反應雖然在時間上的演變是相當緩慢的，約 200~300 ms，但是在這個過程中其亮度的變化相當微小，所以整個液晶的響應時間並不會受到這個反應的影響。在 dot inversion 中，其畫素中央的明亮弧線形成的時間較久，這應該是使 dot inversion 韻應時間較其他 inversion 為久之緣故。

在 VA 模態中 rising time 的部分，frame inversion 最快速，僅需要不到 10ms 的時間，相較之下，Column inversion 和 dot inversion 就顯得很慢。而在 decay time 部分結果與 rising time 恰好相反。在間距造成的影響方面，於 2 column inversion 之中是隨著間距增加，反應時間增加，在 Column inversion 之中則是居中的 0.7 μm 反應時間

最短，並非最大的間距 0.9 μm 或者最小的間距 0.5 μm，這個地方有可能是因為其它參數影響造成，前面有提到由於不同間距位在樣品上不同的位置，所以某些參數可能會有變異，而影響反應速度最有可能的是液晶盒厚度 d，而在實際製作上在樣品不同的區域 d 有差異是常見的，加上反應時間與 d 平方相關，我們認為有可能是這個因素造成 0.7 μm 反應時間最短的原因。

再來由暫態圖形和模擬結果互相對照，可以發現樣品在施加電壓之後由暗態轉變到亮態有 2 個過程：第一個過程是液晶分子由垂直配向狀態轉變到平面排列狀態，第二個是液晶分子在平面上受到橫向電場作用而重新排列呈穩定狀態的過程，第二個過程其耗費的時間較長也主宰了 rising time 的大小，由於 2 column 和 column inversion 比 frame inversion 多出了第二個過程，所以反應時間自然緩慢許多。若是想要增加 rising time 的速度有一些做法，例如將液晶樣品預先偏壓在某個電壓準位，其使在電壓施加之前就已經經歷第二個過程，不過這種做法將會喪失一些對比度，或者是加入手徵性材料使第二個過程加快等等。

在 decay 的過程中，我們認為第一個過程是由平面排列狀態回復到垂直配向狀態，第二個過程是液晶分子在平面上轉回原來配向的方位角，由於主要的光學變化部分是由第一個過程所貢獻，所以第二個過程對液晶反應時間的影響反而消失了，造成 decay time 快速很多的原因所在。

綜合以上結果，我們發現除了在 MTN 80° 模態時，frame inversion 之整體反應速度(rising time+decay time)並無較其他種驅動方式快速許多之外，在其他的三個模態：homogeneous, hybrid 和 VA 之中，frame inversion 的整體速度仍然是較其他三種驅動方式為快。就模態而言，在 frame inversion 下，VA 模態反應速度最慢，但是也有 16ms 左右，若是只考慮其反應速度，四個模態均可應用於顯示器；但是 homogeneous 和 hybrid 的靜態影像品質則沒有 MTN80° 與 VA 來的好，雖然二者皆可以使用光學補償膜補償暗態漏光使其能應用於實際產品上，不過會增加成本支出。

而畫素間距的差異，在有邊際電場影響的情況下會使反應速度減少，但是在 VA 樣品中我並沒有量測到這種情形，在前面提到，由於實際的量測會引入由於樣品 d 不均勻所造成的差異，要更精確的量測的化，應當測量每一個量測點的厚度，找出相同或相近的 d 值處再來測反應速率才是，或者量測多點平均數據以降低誤差。

本研究計畫中，我們研究了 MTN80°、Homogenous、Hybrid 與 VA 四種模態在 frame、1-column、2-column 和 dot inversion 的驅動條件下之動態特性，並且討論不同畫素間距 0.5、0.7 和 0.9 μm 下，邊際電場對液晶動態行為的影響，其結果比較如表五和表六所示。

總而言之，在驅動方式上面，不管是何種模態，若要取得最佳的靜態和動態特性，frame inversion 是最佳的選擇，但是使用 frame inversion 會造成影像殘留或是閃爍等問題。而在模態方面，VA 擁有最佳的對比度，以及可以接受的反應速度，而 MTN 80° 雖然在對比度上不及 VA，但是也相當優良，而且在響應速度方面極為快速，2 者各擅勝場，在 homogeneous 和 hybrid 若使用補償膜補償暗態漏光則仍可應用於實際面上，不過會增加成本支出。在不同間距方面，在靜態方面影響很小，不過在於動態方面影響則較大，但是若是使用 frame inversion 則影響均很小。

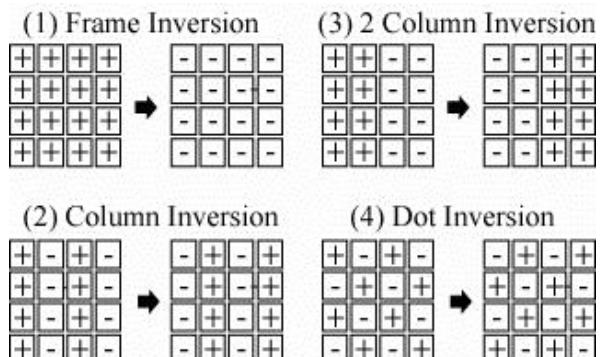
四、計畫結果自評

在本研究計畫，我們探討不同液晶模態在不同驅動方式下之液晶的動態行為，而畫素間距對其的影響亦一併討論。我們相信此研究結果在 LCOS 的應用上有很大的參考價值。此外，為了知道液晶模態的結構參數，我們亦建立一套量測方法來量測 LCOS 中液晶的預傾角 扭轉角與樣品厚度。

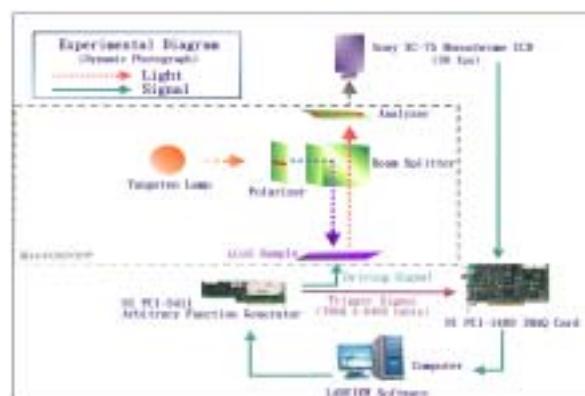
五、參考文獻

- [1] K.H. Yang and Minhua Lu, Display 1999 20, p.211
- [2] H. Kurogane, K. Doi, T. Nishihata, A. Honma, M. Furuya, S. Nakagaki, I. Takanashi, SID(1999) Digest, p.33
- [3] J. Grinberg, A. Jacobson, W. Bleha, L. Boswell, G. Mery, Opt. Engng 14 (1975) p.217
- [4] S. T. Wu, C. S. Wu, Appl. Phys. Lett. 68 (1996) p.1455
- [5] Shiyong Zhang, Minhua Lu, K. H. Yang, SID (2000) Digest p.898

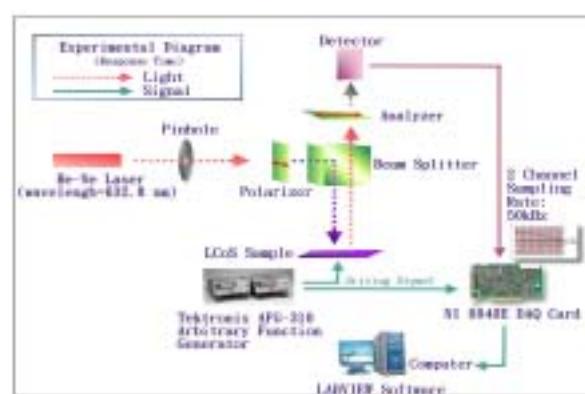
六、附圖



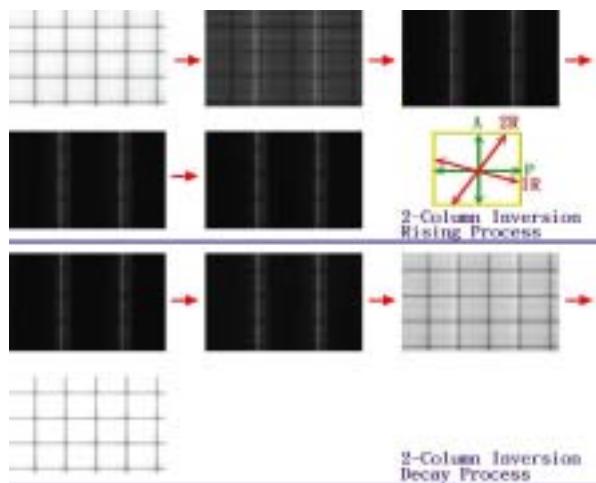
圖一、在垂直配向的液晶盒中，不同的極角配向下所對應該的液晶轉動方向和流速分佈圖。(a)對稱的極角配向。(b)非對稱的極角配向。



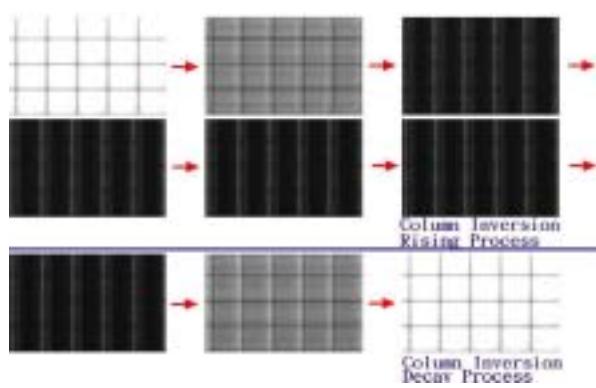
圖二、動態影像之觀察與量測的實驗架構。



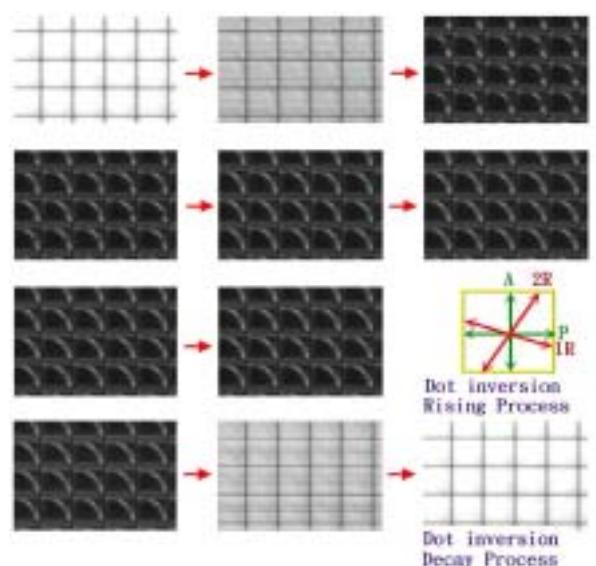
圖三、垂直配向多穩態液晶盒中，兩個狀態的液晶軸向在空間中的分佈情形。



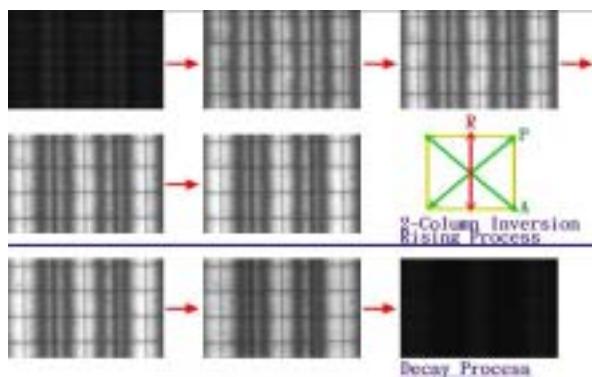
圖四、MTN 80°的暫態行為，驅動方式為 2 Column inversion。P 和 A 為偏光片方向，2 者夾 90 度，1R 和 2R 為上下基板配向方向，2 者夾 80 度，而 1R 和 P 夾 16 度。



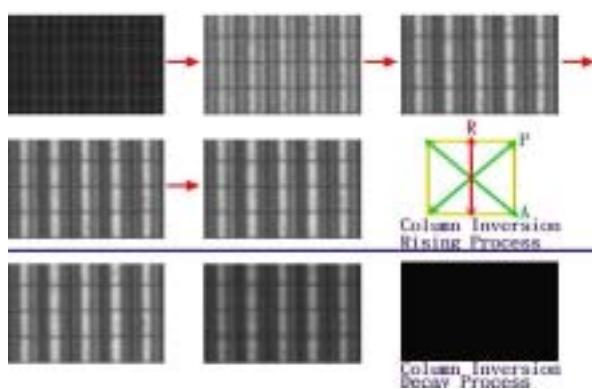
圖五、圖四、MTN 80°的暫態行為，驅動方式為 Column inversion。P 和 A 為偏光片方向，2 者夾 90 度，1R 和 2R 為上下基板配向方向，2 者夾 80 度，而 1R 和 P 夾 16 度。



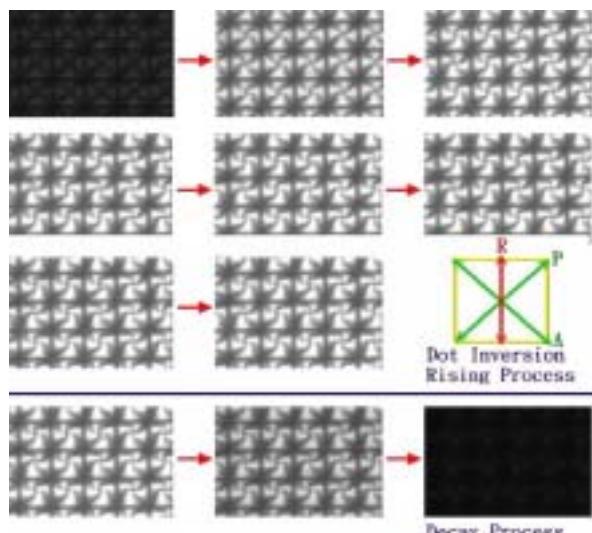
圖六、圖四、MTN 80°的暫態行為，驅動方式為 Dot inversion。P 和 A 為偏光片方向，2 者夾 90 度，1R 和 2R 為上下基板配向方向，2 者夾 80 度，而 1R 和 P 夾 16 度



圖七、VA 的暫態行為，驅動方式為 2 Column inversion。P 和 A 為偏光片方向，2 者夾 90 度，R 為上下基板配向方向而 R 和 P 夾 45 度。



圖八、VA 的暫態行為，驅動方式為 Column inversion。P 和 A 為偏光片方向，2 者夾 90 度，R 為上下基板配向方向而 R 和 P 夾 45 度。



圖九、VA 的暫態行為，驅動方式為 Dot inversion。P 和 A 為偏光片方向，2 者夾 90 度，R 為上下基板配向方向而 R 和 P 夾 45 度。

DM	Δd	T_r	T_f	T_r+T_f
Frame	0.5	2.36	4.60	6.96
	0.7	2.20	5.20	7.40
	0.9	2.22	5.22	7.44
2 column	0.5	3.20	4.64	7.84
	0.7	3.14	4.58	7.72
	0.9	3.54	4.42	7.96
1 column	0.5	5.10	4.46	9.56
	0.7	3.88	4.34	8.22
	0.9	3.72	4.32	8.04
Dot	0.5	5.52	4.88	10.40
	0.7	3.82	4.78	8.60
	0.9	3.54	4.26	7.80

表一 MTN 80°在不同驅動方式及不同畫素間距下之響應時間(單位:ms)(切換電壓 0V 到 4V)

DM	Δd	T_r	T_f	T_r+T_f
Frame	0.5	11.52	8.26	19.78
	0.7	11.46	8.34	19.8
	0.9	11.34	8.46	19.8
2 column	0.5	58.56	6.5	65.06
	0.7	57.98	6.52	64.5
	0.9	62.92	7.04	69.96
1 column	0.5	37.98	5.28	43.26
	0.7	31.34	4.96	36.3
	0.9	37.08	5.3	42.38

表四 VA 模態在不同驅動方式及不同畫素間距下之響應時間(單位:ms)(切換電壓 0V 到 5V)

DM	Δd	T_r	T_f	T_r+T_f
Frame	0.5	0.84	3.08	3.92
	0.7	0.82	3.20	4.02
	0.9	0.82	3.12	3.94
2 column	0.5	0.88	10.78	11.66
	0.7	0.84	6.00	6.84
	0.9	0.88	5.96	6.84
1 column	0.5	1.00	14.98	15.98
	0.7	0.98	14.76	15.74
	0.9	0.94	12.78	13.72
Dot	0.5	1.04	9.36	10.40
	0.7	1.02	5.64	6.66
	0.9	1.00	5.36	6.36

表二 Homogeneous 模態在不同驅動方式及不同畫素間距下之響應時間(單位:ms) (切換電壓 0V 到 10V)

DM	Δd	T_r	T_f	T_r+T_f
Frame	0.5	0.22	10.02	10.24
	0.7	0.24	10.28	10.52
	0.9	0.24	9.68	9.92
2 column	0.5	0.18	38.08	38.26
	0.7	0.18	30.40	30.58
	0.9	0.22	25.50	25.72
1 column	0.5	0.22	46.72	46.94
	0.7	0.24	38.12	38.36
	0.9	0.20	35.84	36.04
Dot	0.5	0.22	11.50	11.72
	0.7	0.20	11.40	11.60
	0.9	0.24	39.84	40.08

表三 Hybrid 模態在不同驅動方式及不同畫素間距下之響應時間(單位:ms)(切換電壓 0V 到 10V)

	MTN 80°		Homogeneous	
驅動方式	整體響應時間	畫素間距影響	整體響應時間	畫素間距影響
Frame Inversion	極快 , T_r+T_f 約 7ms	對響應時間幾乎無影響	快速 , T_r+T_f 約 4ms	幾乎無影響
2-Column Inversion	與 Frame Inversion 相當	對響應時間幾乎沒有影響	較 Frame Inversion 慢	響應時間隨畫素間距下降
Column Inversion	較 Frame Inversion 慢 , 但是在 0.9 μm 畫素間距則 2 者相當	響應時間隨畫素間距下降	為 4 種驅動方式中最慢者	響應時間隨畫素間距下降
Dot Inversion	較 Frame Inversion 慢 , 但是在 0.9 μm 畫素間距則 2 者相當	響應時間隨畫素間距下降	較 Frame Inversion 慢 , 與 2-Column Inversion 相當	響應時間隨畫素間距下降

表五 MTN 80° 與 homogeneous 實驗結果比較

	Hybrid		VA	
驅動方式	整體響應時間	畫素間距影響	整體響應時間	畫素間距影響
Frame Inversion	快速 , T_r+T_f 約 10ms	影響很小 , 間距越小響應速度略快。	普通 , T_r+T_f 約 20ms	幾乎無影響
2-Column Inversion	較 Frame Inversion 慢	響應時間隨畫素間距下降	較 Frame 和 Column Inversion 慢	畫素間距 0.7 μm 最佳 ,
Column Inversion	為 4 種驅動方式中最慢者	響應時間隨畫素間距下降	較 Frame Inversion 慢	畫素間距 0.7 μm 最佳 ,
Dot Inversion	較 Frame Inversion 慢 , 在畫素間距 0.9 μm 時較 2-Column Inversion 慢 , 其餘間距下較快	響應時間隨畫素間距上升(0.9 μm 異常應為樣品問題)	NA	NA

表六 Hybrid 與 VA 實驗結果比較