

國立交通大學

顯示科技研究所

碩士論文

快速反應液晶模式應用於反射式顯示技術之研究

Application of Fast Response Liquid Crystal Modes in
Reflective Display Technology



研究生：許智一

指導教授：陳皇銘 博士

中華民國九十九年八月

快速反應液晶模式應用於反射式顯示技術之研究

Application of Fast Response Liquid Crystal Modes in Reflective Display Technology

研 究 生：許智一

Student : Chih-I Hsu

指 導 教 授：陳皇銘 博士

Advisor : Huang-Ming Philip Chen

國 立 交 通 大 學

顯 示 科 技 研 究 所



A Thesis

Submitted to Display Institute

College of Electrical Engineering and Computer Engineering

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

In

Display Institute

August 2010

Hsinchu, Taiwan, Republic of China.

中 華 民 國 九 十 九 年 八 月

快速反應液晶模式應用於反射式顯示技術之研究

研究生：許智一

指導教授：陳皇銘 博士

國立交通大學顯示科技研究所

摘 要



近年來，投影顯示的市場需求急驟增加，反射式單晶矽液晶(LCOS)投影顯示擁有高解析度以及輕薄短小的外型，成為投影顯示技術的主要技術之一。然而 LCOS 在液晶顯示元件的使用上依然存在著一些問題，例如在動態畫面下的殘影以及影像模糊，造成此現象主要原因為液晶反應速度不夠快。快速液晶應用於反射式顯示技術不只可以解決殘影以及影像模糊問題，未來搭配場色序法的光源驅動，使投影顯示出的畫面有更佳的色彩飽和度，以及提高背光源的使用效率，勢必成為未來的主流技術。

在本論文中，研究三種不同的液晶模式應用於反射式技術：扭轉向列型液晶模式、光學補償彎曲液晶模式、表面穩定鐵電式液晶模式。反射式扭轉向列型液晶模式為利用低黏滯係數液晶材料並壓低液晶盒間隙厚度使其

快速反應，並尋找到扭轉角度、液晶材料 Δn 與反射率的最佳參數。反射式光學補償彎曲液晶模式則為利用液晶分子在彎曲態對稱的排列特性，使用混合配向液晶盒結構使光經由反射之後之路程如同光學補償彎曲液晶模式彎曲態，克服傳統 OCB 模式轉態時間以及驅動電壓的問題。反射式表面穩定鐵電式液晶模式使用配向層表面極性非對稱之方法，克服其水平山形袖章缺陷排列並探討反射率與液晶盒厚度關係。

此論文研究將三種液晶模式成功應用於反射式元件並且找到最佳的製程參數使其達到反應時間皆小於 3 ms 之快速反應，並實做表面穩定鐵電式液晶模式之 LCOS 元件。



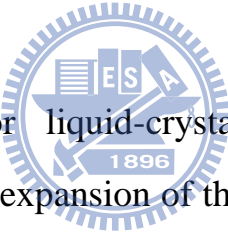
Application of Fast Response Liquid Crystal Modes in Reflective Display Technology

Student: Chih-I Hsu

Advisor: Dr. Huang-Ming Philip Chen

**Display Institute
National Chiao Tung University**

Abstract



Recently, the needs for liquid-crystal-on-silicon (LCOS) have been dramatically increased by the expansion of the projection display market. LCOS has the advantages of high resolution, light weight, and slim size. However, the motion blur issue, resulting from slow LC response, limits its potential for high quality display application. Fast switching LC modes were studied to solve the motion blur issue. With fast LC response less than 3 ms, the field sequential color (FSC) technique could be applied to improve the color gamut, and reduce power consumption.

In this thesis, three kinds of fast switching LC modes: twisted nematic (TN), optically compensated bend (OCB) and surface stabilized ferroelectric liquid crystal (SSFLC) were studied in the reflective display technology.

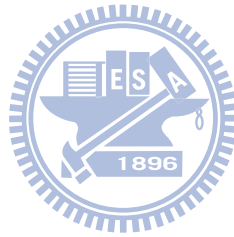
In reflective TN mode, low rotational viscosity LC material was utilized, and the cell gap was reduced to reduce LC response time. The parameters, such

as, twisted angle, optical anisotropy, and reflectance were optimized in this research.

Hybrid aligned nematic (HAN) cell was applied to solve the pre-transition time and critical operating voltage issues in the reflective OCB mode.

The horizontal chevron defect issue of half-V mode FLC device was suppressed by the asymmetrical surface polarity controlled hybrid alignment technique. The reflectance of the FLC device was optimized by cell gap.

The study solved the problems such as pre-transition time and alignment defect and discovered the best parameters of fabrication that it has fast response time less than 3 ms. Finally, LCOS device was fabricated in the use of SSFLC mode.



誌謝

在碩士兩年的研生活中，非常感謝我的指導教授陳皇銘老師，在研究上適時地給予學生建議並鼓勵學生勇於挑戰，不只教導我學到專業知識，更重要的是學習到了邏輯性的思考和解決問題的能力，讓我在碩士兩年之中獲益良多。

感謝實驗室的學長姐們，洪文、智弋、毓筠、丞富、宣穎的教導，使我更快融入研究所的環境與熟悉實驗室，並在我的研究中適時提出建議與指導。也感謝兩年來一同奮鬥的同學們，柏瑞、則賢、秀玉，在研究所的課業上一同討論並互相勉勵。再來感謝學弟妹們，家煌、毓翔、瑞然、鎮廷、思維、維康，在實驗室幫忙學長分擔一些實驗雜事和幫忙。也感謝助理們，珮宜、瑞伶、克瑜，在研究上與行政處理給予我幫助。有這些實驗室的成員們使得我碩士兩年的研究生涯充滿歡笑。

感謝禾鈺股份有限公司提供 LCOS 元件基板以供研究所需，以及培文、純聖、立仁在研究上的幫忙和意見的提供。

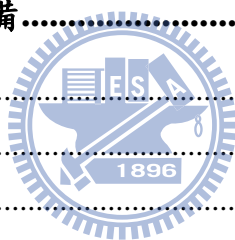
最後，在此感謝我的家人，總是給予我鼓勵以及精神上的支持，讓我順利完成碩士的學業，朝人生的下一個目標邁進。

目 錄

| | |
|------------------------|-----------|
| 中文摘要..... | i |
| 英文摘要..... | iii |
| 誌謝..... | v |
| 目錄..... | vi |
| 圖目錄..... | ix |
| 表目錄..... | xi |
| | |
| 第一章 序論..... | 1 |
| 1.1 液晶簡介..... | 1 |
| 1.2 液晶相..... | 1 |
| 1.2.1 向列型液晶..... | 2 |
| 1.2.2 層列型液晶..... | 3 |
| 1.2.3 膽固醇型液晶..... | 3 |
| 1.3 液晶光學..... | 4 |
| 1.3.1 光傳播方程式..... | 4 |
| 1.3.2 單光軸介質光學特性..... | 6 |
| 1.4 液晶顯示器工作原理..... | 7 |
| 1.5 液晶於光學上之應用..... | 7 |
| 1.6 反射式液晶顯示器..... | 9 |
| 1.7 LCOS 反射式投影技術..... | 9 |
| 1.8 場色序法..... | 12 |
| 1.9 研究動機..... | 12 |
| 1.10 論文架構..... | 13 |
| | |
| 第二章 快速液晶模式..... | 14 |
| 2.1 前言..... | 14 |



| | | |
|-------------------------------|---------------------|-----------|
| 2.2 | 扭轉向列型液晶模式..... | 15 |
| 2.2.1 | 工作原理..... | 15 |
| 2.2.2 | 反射式扭轉向列型液晶..... | 16 |
| 2.2.3 | 快速反應扭轉向列型液晶..... | 17 |
| 2.3 | 光學補償彎曲液晶模式..... | 18 |
| 2.3.1 | OCB Cell 結構..... | 18 |
| 2.3.2 | 相變化機制..... | 19 |
| 2.3.3 | 反射式光學補償彎曲液晶模式..... | 21 |
| 2.4 | 鐵電式液晶..... | 22 |
| 2.4.1 | 表面穩定鐵電式液晶..... | 23 |
| 2.4.2 | 鐵電式液晶於顯示器的研究發展..... | 24 |
| 2.4.3 | 水平山形袖章缺陷..... | 25 |
| 2.5 | 結論..... | 28 |
| 第三章 量測系統與製程設備..... | | 29 |
| 3.1 | 引言..... | 29 |
| 3.2 | 原子力顯微鏡..... | 29 |
| 3.3 | 光譜儀..... | 31 |
| 3.4 | 偏光顯微鏡..... | 34 |
| 3.5 | 雷射光學系統..... | 35 |
| 3.6 | 實驗製程設備..... | 38 |
| 第四章 實驗與結果分析..... | | 39 |
| 4.1 | 實驗製程..... | 39 |
| 4.1.1 | 清洗基板..... | 40 |
| 4.1.2 | 塗佈配向層..... | 40 |
| 4.1.3 | 研磨配向..... | 42 |
| 4.1.4 | 貼合液晶盒與注入液晶..... | 42 |
| 4.2 | 反射式扭轉向列型液晶模式..... | 43 |
| 4.2.1 | 液晶材料..... | 43 |
| 4.2.2 | 扭轉角度..... | 45 |
| 4.2.3 | 反射率對電壓關係..... | 46 |



| | | |
|-----------------------|---------------------|-----------|
| 4.2.4 | 液晶盒間隙厚度對反應時間關係..... | 48 |
| 4.2.5 | 實驗結果討論..... | 50 |
| 4.3 | 反射光學補償彎曲液晶模式..... | 51 |
| 4.3.1 | 液晶材料..... | 51 |
| 4.3.2 | 反射率對電壓關係..... | 52 |
| 4.3.3 | 液晶盒間隙厚度對反應時間關係..... | 53 |
| 4.3.4 | 實驗結果討論..... | 54 |
| 4.4 | 表面穩定鐵電式液晶模式..... | 55 |
| 4.4.1 | 液晶材料..... | 55 |
| 4.4.2 | 無缺陷排列..... | 56 |
| 4.4.3 | 反射率對電壓關係..... | 56 |
| 4.4.4 | 反應時間..... | 58 |
| 4.4.5 | 實驗結果討論..... | 59 |
| 4.5 | FLCOS 元件..... | 60 |
| 4.5.1 | 無缺陷排列..... | 61 |
| 4.5.2 | 反射率對電壓關係..... | 62 |
| 4.5.3 | 反應時間..... | 63 |
| 4.5.4 | 實驗結果討論..... | 63 |
| 第五章 結論..... | | 64 |
| 5.1 | 結論..... | 64 |
| 5.2 | 未來展望..... | 65 |
| Reference..... | | 66 |



圖目錄

| | | |
|--------|---|----|
| 圖 1.1 | 棒狀型液晶種類 (a)向列型液晶 (b)層列型液晶(SmA) (c)膽固醇型液晶..... | 2 |
| 圖 1.2 | 液晶相的溫度關係..... | 2 |
| 圖 1.3 | 偏振光相位延遲..... | 6 |
| 圖 1.4 | 鐵電式液晶光柵於不同驅動電壓下之液晶排列..... | 8 |
| 圖 1.5 | 鐵電式液晶微透鏡於不同偏光角度下之液晶排列..... | 8 |
| 圖 1.6 | LCOS cell 結構..... | 11 |
| 圖 1.7 | 三片式 LCOS 投影系統架構..... | 11 |
| 圖 1.8 | 場色序法驅動混色..... | 12 |
| 圖 2.1 | 扭轉向列型液晶顯示器工作原理..... | 15 |
| 圖 2.2 | 反射式扭轉向列型液晶結構反射示意圖..... | 17 |
| 圖 2.3 | OCB cell 結構..... | 18 |
| 圖 2.4 | 光學補償彎曲液晶模式於彎曲態中亮暗態示意圖..... | 18 |
| 圖 2.5 | 光學補償彎曲液晶模式分子流動示意圖..... | 19 |
| 圖 2.6 | 光學補償彎曲液晶模式轉態示意圖..... | 20 |
| 圖 2.7 | 斜展態轉換至彎曲態成核現象示意圖..... | 20 |
| 圖 2.8 | 光學補償彎曲液晶模式視角自我補償示意圖..... | 21 |
| 圖 2.9 | HAN Cell 結構與反射光路示意圖..... | 22 |
| 圖 2.10 | (a)smectic cone 示意圖 (b)鐵電式液晶螺旋結構示意圖(c)表面穩定鐵電式 液晶模態示意圖..... | 23 |
| 圖 2.11 | (a)在偏光顯微鏡下兩種排列結構(b)水平山形袖章缺陷排列示意圖..... | 25 |
| 圖 2.12 | 水平山形袖章缺陷結構示意圖..... | 26 |
| 圖 2.13 | 於偏光顯微鏡下(a)對稱配向 (b) 非對稱強弱配向 (c) 控制配向層表面極 性之非對稱配向下之液晶排列..... | 28 |
| 圖 2.14 | 2.4"試製鐵電式液晶面板(a)於偏光顯微鏡下之排列，(b)面板及驅動電路 (c)黑白畫面..... | 28 |
| 圖 3.1 | AFM 結構示意圖..... | 30 |
| 圖 3.2 | UV/Vis spectrophotometer Lambda 950..... | 31 |
| 圖 3.3 | 反射光示意圖..... | 32 |
| 圖 3.4 | 量測空液晶盒間隙的光譜圖..... | 35 |
| 圖 3.5 | POM Olympus BX51 裝置..... | 34 |
| 圖 3.6 | 雷射光學系統架構..... | 36 |
| 圖 3.7 | PBS 元件..... | 36 |
| 圖 3.8 | 穿透式 LC cell 量測方式..... | 37 |
| 圖 3.9 | 反射式 LCOS cell 量測方式..... | 37 |
| 圖 4.1 | 製程流程圖..... | 39 |

| | | |
|--------|--|----|
| 圖 4.2 | LCT-10-831 與 LCT-10-832 V-T curve..... | 43 |
| 圖 4.3 | (a) (b)LCT-10-831 與(c) (d)LCT-10-832 反應時間..... | 44 |
| 圖 4.4 | Twist angle 63° 、 90° V-R curve..... | 45 |
| 圖 4.5 | $1.3 \mu\text{m}$ TN 63° cell RGB V-R curve..... | 46 |
| 圖 4.6 | TN 60° cell $d\Delta n/\lambda$ 對反射率理論值..... | 47 |
| 圖 4.7 | cell gap 與反應時間關係..... | 48 |
| 圖 4.8 | Cell gap (a) (b) $0.7 \mu\text{m}$ (c) (d) $1.13 \mu\text{m}$ (e) (f) $1.24 \mu\text{m}$ 反應時間..... | 49 |
| 圖 4.9 | Cell gap (a) (b) $1.5 \mu\text{m}$ (c) (d) $2.3 \mu\text{m}$ 反應時間..... | 50 |
| 圖 4.10 | 反射式 OCB cell V-R curve..... | 52 |
| 圖 4.11 | 反應時間對 cell gap 關係圖..... | 53 |
| 圖 4.12 | 反射式 OCB cell (a) (b) $1.07 \mu\text{m}$ 、(c) (d) $1.66 \mu\text{m}$ 反應時間..... | 54 |
| 圖 4.13 | R3206-50 溫度與驅動特性..... | 55 |
| 圖 4.14 | 配向膜極性 (a)對稱(b)非對稱 FLC 排列 POM 圖..... | 56 |
| 圖 4.15 | cell gap 與出射光強度關係圖..... | 57 |
| 圖 4.16 | FLC V-R curve..... | 58 |
| 圖 4.17 | SSFLC $1.2 \mu\text{m}$ (a)on (b) off 反應時間..... | 58 |
| 圖 4.18 | (a)LCOS 元件(b)LCOS pixel..... | 60 |
| 圖 4.19 | 配向膜極性 (a)對稱(b)非對稱 FLCOS 排列 POM 圖..... | 61 |
| 圖 4.20 | FLC 與 FLCOS V-R curve..... | 62 |
| 圖 4.21 | FLCOS $1.4 \mu\text{m}$ (a)on (b) off 反應時間..... | 63 |



表目錄

| | | |
|-------|-----------------------------------|----|
| 表 4.1 | 配向層材料..... | 40 |
| 表 4.2 | 配向層旋轉塗佈參數..... | 41 |
| 表 4.3 | PVA 配向層旋轉塗佈參數..... | 41 |
| 表 4.4 | 基板摩擦配向參數..... | 42 |
| 表 4.5 | TN 液晶參數..... | 43 |
| 表 4.6 | LCT-10-831 和 LCT-10-832 驅動特性..... | 44 |
| 表 4.7 | 反射最大值參數..... | 46 |
| 表 4.8 | OCB 液晶材料參數..... | 51 |
| 表 4.9 | 反射式液晶模式比較..... | 64 |



第一章

序論

1.1 液晶簡介

西元 1888 年 Dr. F. Reinitzer 在實驗中發現液晶相(Liquid crystal phase)[1]，1890 年 O. Lehmann 將此類物質定名為“液晶”[2]，從此之後液晶便開始受到各種的研究。“液晶”顧名思義就是同時有著液體的流動特性和晶體的分子排列特性，依不同的分子排列可區分為不同的液晶相，也有不同的光學特性，通稱為“液晶相(mesophases)”。

由於液晶獨特的光學特性，近年來被研究應用於顯示器上，液晶顯示器有輕、薄、大尺寸等優點，相關的產品如筆記型電腦、液晶電視，電腦螢幕等已被大量地研究及開發，在顯示器市場占有極大的比重。本章將介紹各種液晶相的排列結構與性質。

1.2 液晶相

液晶相介於晶體和液體之間，也被稱為第四相或是液晶相(mesophase)，液晶在分子的結構並非是對稱的，最常見的結構為棒狀型液晶(Rod-liked liquid crystal)。棒狀型液晶通常會與周圍的液晶分子有著相同方向的排列，也可以藉由控制配向層配向方向控制液晶分子的排列，以凝集構造上的不同主要可區分為三種不同的排列種類——向列型(Nematic)、層列型(Smectic)和膽固醇型(Cholesteric)液晶，如圖 1.1。

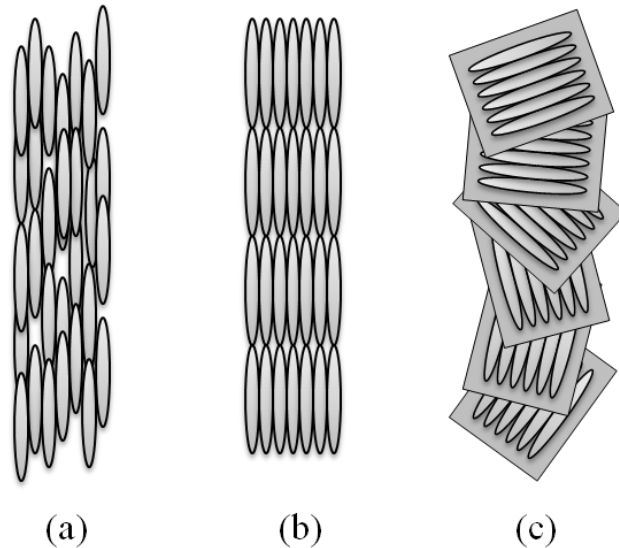


圖 1.1 棒狀型液晶種類 (a)向列型液晶 (b)層列型液晶(SmA) (c)膽固醇型液晶

液晶相也會受到溫度影響而改變，不同的液晶材料可能在升降溫的過程中會出現不同的液晶相，液晶相隨溫度出現的相對關係如圖1.2。

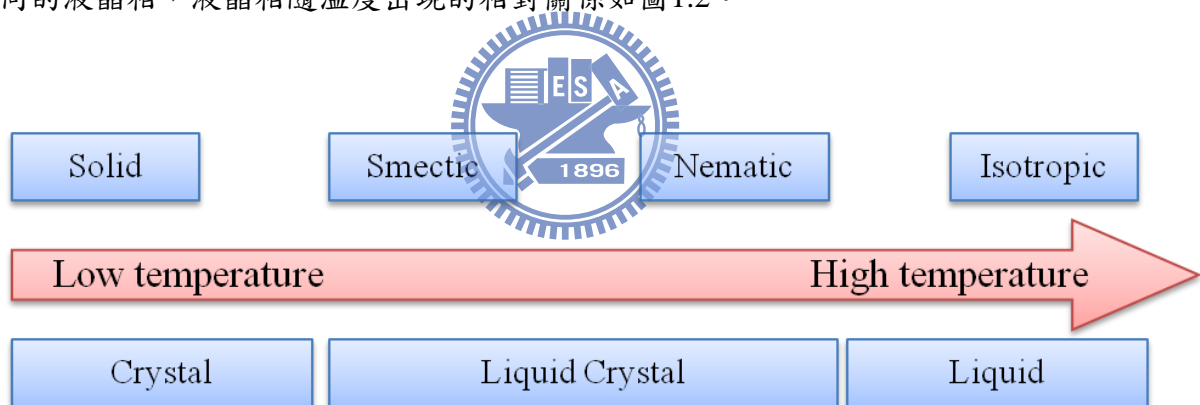


圖1.2 液晶相的溫度關係

當溫度超過澄清點(clearing point, T_{N-1})時，有方向性的液晶分子將變為等方向性(isotropic)，此時液晶變為透明且無方向性排列。

1.2.1 向列型液晶

向列型液晶(nematic)分子在長軸的方向保持平行排列，但沒有層列型液晶的的層狀排列，分子在長軸方向較容易自由運動，分子間的作用力也較小，所以黏滯係數較低，

在各種液晶相中最接近液態，有高反應速度，是在液晶相中最早被應用於液晶電視、顯示器等相關領域 [3,4]，也是使用最廣泛的液晶相。

向列型液晶的指向秩序參數(order parameter)可以由 eq.1-1 計算

$$S = \left\langle \frac{3}{2} \cos^2 \theta - \frac{1}{2} \right\rangle \quad (\text{eq. 1-1})$$

其中 θ 是每個液晶分子對配向方向的偏差角度。

當 $S=0$ 和 $S=1$ 時代表排列分子排列有等方向性，通常液晶分子排列約在 $0.5 < S < 0.7$ 之間。

1.2.2 層列型液晶

層列型液晶(smectic)育有二度空間的層狀規則排列，分子朝向同一方向排列同時也並列為層，各層相互堆疊形成層狀結構。此類液晶由各層分子排列情形又可分為 A~L 等十二種以上不同的層列型液晶，由發現次序先後命名，例如：SmA、SmB 等。層列型液晶由於有較高的黏滯性和較低的反應速度，所以較少使用於顯示器方面。

1.2.3 膽固醇型液晶

膽固醇型液晶(cholesteric)是由多層向列型液晶堆疊而成，屬於向列型液晶的一種，可由向列型液晶加入旋光劑形成，又可稱為旋光性的向列型液晶(chiral nematic)，分子排列為螺旋平面狀，平面上的分子朝向同一方向排列，而不同的平面分子長軸方向漸次相差一角度，當分子軸方向旋轉 360° 時的分子層厚度稱為螺距(pitch)。螺距的長度會受外界因素而改變，例如：電場或是溫度變化，而產生不同波長的選擇性反射，較常應用於電子書或是溫度感測器。

1.3 液晶光學

光線穿過液晶會產生如折射、干涉、衍射和偏極化等效應。光屬於電磁波的一種，不同的波長對於這些效應影響程度不同，而光也會根據不同的波長而有不同的顏色。本節將討論單一波長的平面入射光的光學效應。

1.3.1 光傳播方程式

由馬克斯威爾方程式(Maxwell equation)可以推導出波方程式：

$$\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{E}) + \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = -\mu_0 \frac{\partial^2 \vec{P}}{\partial t^2} - \mu_0 \frac{\partial \vec{J}}{\partial t} \quad (\text{eq. 1-2})$$

三維的平面波在單一介電常數的物質中傳遞時， $\vec{P} = \epsilon_0 \chi \vec{E}$ 且 $\vec{J} = 0$ 。則

$$\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{E}) + \frac{n^2}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \quad (\text{eq. 1-3})$$

折射率為 $v = \frac{c}{n} \rightarrow n \equiv \sqrt{\mu\epsilon}$

由 eq. 1-3，可得波方程式：

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{A} \cos[\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r} + \delta] \quad (\text{eq. 1-4})$$

由於光波為橫波，定義光的偏極化方向同電場方向，往 z 方向傳遞，則平面波的電場振幅方向平行 x-y 平面。

可改寫 eq. 1-4 為

$$\begin{aligned} E_x &= A_x \cos(\omega t - kz + \delta_x) \\ E_y &= A_y \cos(\omega t - kz + \delta_y) \end{aligned} \quad (\text{eq. 1-5})$$

其中 A_x 、 A_y 為電場振幅大小， δ_x 、 δ_y 為個別電場的相位。

令 $z=0$ ，簡化 eq. 1-5 得

$$E_x = A_x \cos(\omega t + \delta_x)$$

$$E_y = A_y \cos(\omega t + \delta_y) \quad (\text{eq. 1-6})$$

定義 $\delta = \delta_y - \delta_x$

若 $\delta = 0$ or π ，則

$$E_y = \frac{A_y}{A_x} E_x \quad \text{or} \quad E_y = -\frac{A_y}{A_x} E_x \quad (\text{eq. 1-7})$$

由 eq. 1-7，光的電場振幅方向為 $\frac{E_y}{E_x}$ ，稱為線性偏振光。

利用正規化瓊斯矩陣(Normalized Jones Vector)描述此線性偏振光：

$$J = \frac{1}{\sqrt{A_x^2 + A_y^2}} \begin{pmatrix} A_x e^{i\delta_x} \\ A_y e^{i\delta_y} \end{pmatrix} \quad (\text{eq. 1-8})$$

當 x 與 y 軸電場相位相同或相差 180° 時 ($\delta = 0$ or π)，令 x 軸起始相位角 ψ ，則

$$J_\psi = \begin{pmatrix} \cos \psi \\ \sin \psi \end{pmatrix} \quad (\text{eq. 1-9})$$

和

$$J_\psi * J_{\psi + \frac{\pi}{2}} = 0 \quad (\text{eq. 1-10})$$

所以兩向量正交，當 $\psi=0$ 時

$$J_x = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \text{and} \quad J_y = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (\text{eq. 1-11})$$

分別表示 x 方向偏極化和 y 方向偏極化

1.3.2 單光軸介質光學特性

大部分的液晶顯示器都是使用向列型液晶，可以將液晶層視為單光軸晶體來考慮光學在液晶層中的影響。在單光軸晶體中可以分為三個不同方向的折射率 n_x 、 n_y 、 n_z 。

當 (1) $n_x=n_y=n_o$ ，稱為尋常光折射率(ordinary index)。

(2) $n_z=n_e$ ，稱為非尋常光折射率(extraordinary index)。

定義 $n_e > n_o$ 時，稱為光學正型液晶， $n_e < n_o$ 稱為光學負型液晶，向列型液晶和層列型液晶大多屬於光學正型，而膽固醇液晶大多為光學負型液晶。

光在單光軸介質中傳播可分為兩種傳播模式，一種是尋常光波(ordinary wave)，另一個是非尋常光波(extraordinary wave)，兩種傳遞波的折射率如下：

$$\text{O wave : } n = n_o \quad (\text{eq. 1-12})$$

$$\text{E wave : } \frac{1}{n(\theta)^2} = \frac{\cos^2\theta}{n_o^2} + \frac{\sin^2\theta}{n_e^2} \quad (\text{eq. 1-13})$$

其中 θ 為光傳播方向與z軸(光軸)夾角。

當偏振光入射單光軸介質，這兩方向的光分量會遇到不同的折射率而有不同的傳播速率，當光通過介質之後，這兩個分量就會產生相位差而使得偏振方向產生變化，這就是液晶控制偏振光方向的基本原理，如圖 1.3，假設 x 軸方向折射率為 n_o ，y 軸方向折射率為 n_e ，令入射光偏振方向為 p ，則偏振光可分解為 p_x 、 p_y 分別代表 x 方向和 y 方向分量，當原本同相位的兩分量光通過不同的折射率之後，由於光傳播速率不同造成出射介質時兩分量產生相位差而使偏振方向改變。

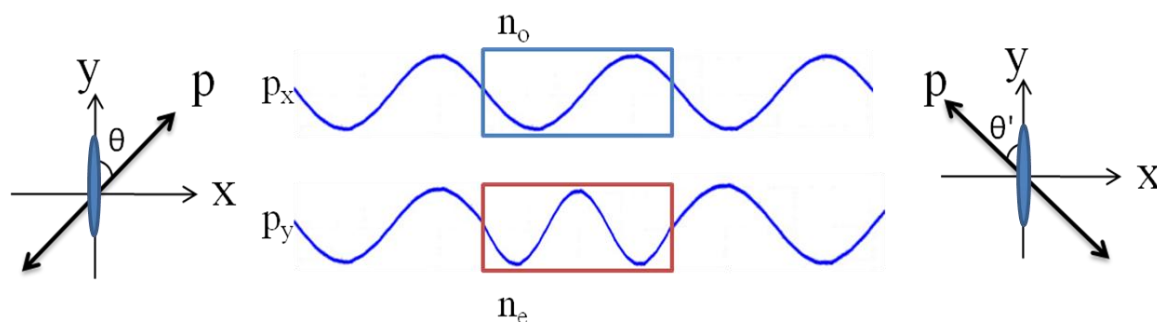


圖 1.3 偏振光相位延遲

1.4 液晶顯示器工作原理

穿透式液晶顯示器是由液晶面板與背光源所組成，背光源提供整個顯示器的光量；反射式液晶顯示器則是反射外界環境光當作光源，可去除背光模組降低成本和功率消耗，由於需要較強的環境光才能呈現更清晰的影像，一般較常用於可攜式的戶外顯示產品上。

液晶分子有雙折射率特性，入射偏振光使其產生相位延遲，再利用控制電場大小改變液晶排列造成相位延遲量改變，即為液晶顯示器的工作原理。液晶顯示器可分為平常白(normally white)與平常黑(normally black)兩種，兩者的顯示差異在於 normally white 為初始亮態，當加電壓後轉為暗態，如 TN 模式、OCB 模式，而 normally black 為初始暗態，加電壓後轉為亮態，例如 FLC 模式。對比度是由最亮光強除以最暗光強，所以一般而言 normally white 對比度會優於 normally black。



1.5 液晶於光學上之應用

液晶材料的應用不只於液晶顯示器，實際上由於液晶材料有雙折射率的特性及可隨電場控制而調變之特性，其可應用的範圍十分的廣大，而其中快速液晶更因快速反應的特性，可於光電元件的應用上，達到光電訊號傳輸上的快速響應。

快速液晶的其中一個應用是「光柵元件」，光柵在一般的光學使用上用於繞射分光的濾波效果等，可是一般光柵不可開關的特性限制了在光電訊號上的使用，而利用液晶相位光柵可隨電場開關與快速反應，隨著訊號源的開關產生繞射分光達成訊號的切換、傳播與過濾。液晶光柵的使用原理是利用相同間隔的電極給予上下電場，在光柵的前後兩端放置相互垂直的偏振片，當未加電場時入射光會被上下的偏振片擋住，此時無光通過為暗態，而外加電場時，電極部分的液晶受到電場影響而偏轉，所以入射光可通過有驅動的部分，無驅動部分仍為暗態，這時亮暗相間產生液晶相位光柵，造成繞射分光的濾波效果。而在鐵電式液晶光柵的研究，目前最佳的研究發表中，其一階繞射效益最高

為 16% (理想值為 40.5%)，其液晶光柵在不同的驅動電壓下之排列如圖 1.4 所示[5]。若能達到理想值，液晶光柵除了分光效果外更能改變其光線之偏振方向。

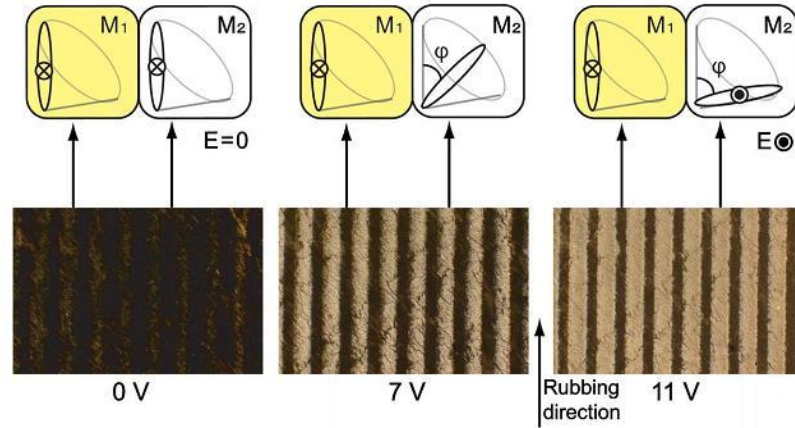


圖 1.4 鐵電式液晶光柵於不同驅動電壓下之液晶排列[6]

微透鏡陣列(microlens arrays)是由許多的微透鏡以相同的週期間隔排列成二微的陣列，可使用於光束整形、多重成像、噴印技術等許多方面，除了常用的向列型液晶(nematic LC)，亦可利用鐵電式液晶來製作成微透鏡陣列[7]，由液晶快速反應和隨電場驅動的特性，可以改變微透鏡的焦距並快速切換，使得在光學系統上的應用層面更加廣闊。

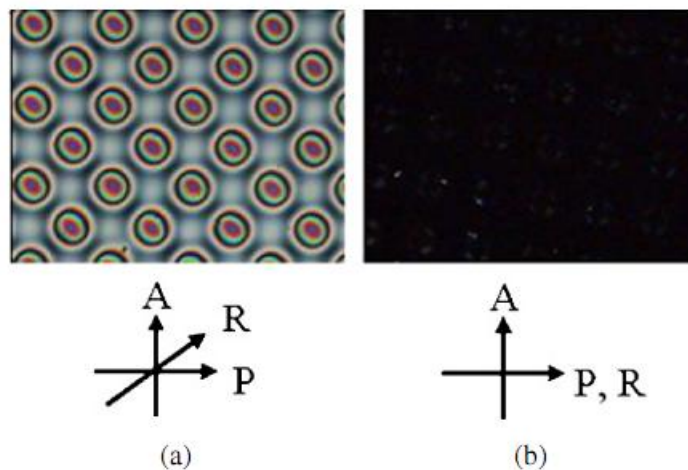


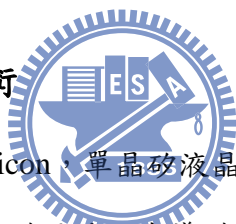
圖 1.5 鐵電式液晶微透鏡於不同偏光角度下之液晶排列[8]

1.6 反射式液晶顯示器

反射式液晶顯示器結構可以分為兩種，第一種為直視型，由人眼直接觀看液晶面板，入射光角度約為 30° ，使用的光源為外來環境光，例如太陽光，可以省去背光模組以降低成本，適用於行動電話、PDA 等行動裝置；第二種為投影型，利用內建光源垂直入射液晶面板再以原光路反射投影出畫面。

快速液晶研究的一個重點是利用發光二極體(LED)光源配合場色序法可以達到更佳的色彩飽和度和效果，然而直視型反射式顯示器是利用環境光做為光源，無法利用場色序法分別顯示三色光，故快速液晶在直視型反射式顯示器上發展有限。所以快速液晶應用在反射式顯示器上的發展重點就在於反射式投影技術。

1.7 LCOS 反射式投影技術



LCOS (Liquid Crystal On Silicon，單晶矽液晶顯示技術)投影技術整合半導體和液晶製程的技術，在矽晶圓上長電晶體再透過半導體製程製作電路(CMOS)，再將電晶體磨平後鍍上一層鋁做成反射鏡形成 CMOS 電路基板，與玻璃基板組成 LCOS cell 再灌入液晶並進行封裝測試。圖 1.6 為 LCOS cell 結構。

LCOS 投影系統採用反射式結構，在光機架構上分為單片式和三片式兩種；三片式 LCOS 技術原理為光源先經過雙色鏡分拆成藍光和黃光，黃光再由另一片雙色鏡分為紅光和綠光，這分離的三色光再分別打到三片 LCOS 面板，如同 LCD 投影技術讓每片 LCOS 面板專門負責單一色彩，而三色光在進入 LCOS 面板前會先經過偏極化分光鏡 (Polarization Beam Splitter, PBS)，使原本屬於 S 偏極化的光線入射到面板，由於 S 極化光無法穿透 PBS 就會被反射到 LCOS 面板，而 S 極化光透過液晶層控制反射之後會把 S 極化光轉為 P 極化光，即可通過 PBS 至稜鏡組合三色光投射成像，如圖 1.7。單片式 LCOS 則是以快速旋轉的色輪將白光依序形成紅、綠、藍光，配合快速驅動液晶產生分色影像分別投射，經由人眼視覺暫留特性而產生彩色畫面。

LCOS 投影技術優點

(1) 高解析

由於 LCOS 下基板是使用單晶矽，有良好的電子移動率，且單晶矽可形成較細的線路，在製程上與 LCD 投影和 DLP 投影技術相比，相同面積下 LCOS 更容易做出更多的畫素而得到高解析的影像。

(2) 高開口率

LCOS 電路做在矽基板上，不像 LCD 需要擺放 TFT 元件空間而損失出射光，每個畫素之間の間格也可以做的更小，達到更好的開口率。

(3) 低面板製程成本

LCOS 製程整合了半導體和液晶面板製程，兩種製程技術都已十分成熟。

(4) 體積小

單片式 LCOS 在體積上優於 LCD 三片式，未來若配合 LED 光源則體積可以再縮更小，對於往可攜式投影設備發展有不錯的競爭優勢。

(5) 技術專利

相較於 LCD、DLP 面板技術專利掌握在國際大廠，由於 LCOS 技術尚處於起步階段，台灣業者在此技術上切入會有機會擺脫 LCD、DLP 技術受制於國際大廠的情形。



LCOS 投影技術缺點

(1) 液晶面板品質要求高

單片式 LCOS 需要快速切換色彩顯示，所以對於液晶面板的反應速度要求更快速，勢必要使用快速反應的液晶模式。而投影系統會將液晶排列缺陷放大，所以對於面板的品質要求也更高。

(2) 對比不佳

相較於 DLP 技術暗態全暗，LCOS 使用液晶做為顯示面板，在暗態時會有液晶漏光情形形成對比度不佳。

(3) 產能不足

因為尚未有主導廠商，故 LCOS 技術尚未統一規格，所以在零件供貨上並不穩定，造成量產產能不足的情形。

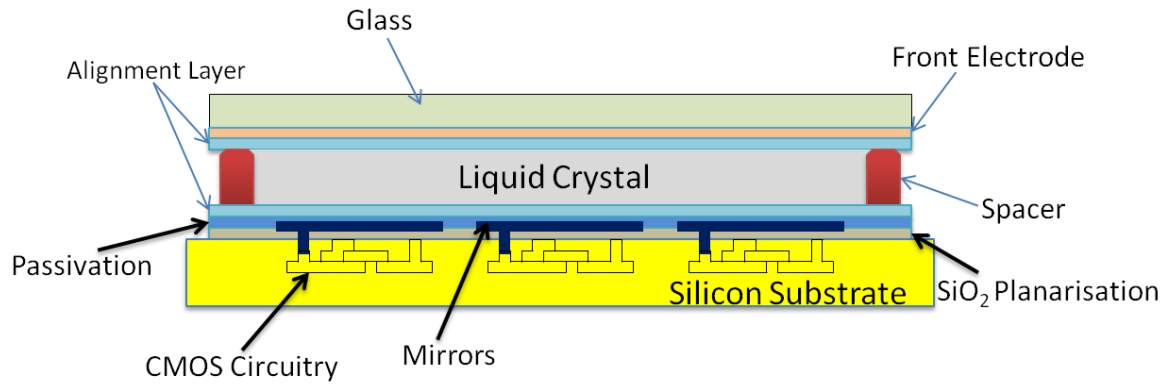


圖 1.6 LCOS cell 結構

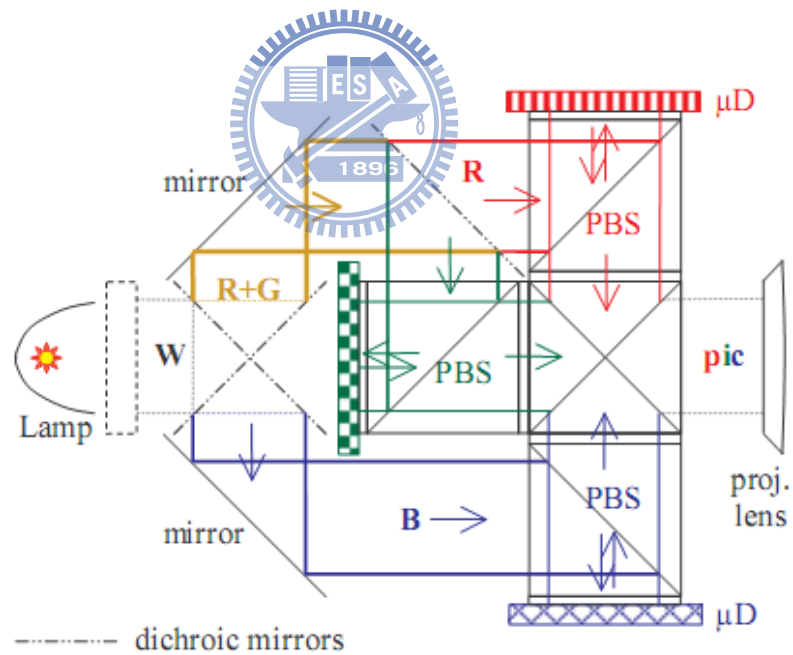


圖 1.7 三片式 LCOS 投影系統架構[9]

1.8 場色序法

場色序法顯示技術(Field Sequential Color)為一種不需使用彩色濾光片的背光源驅動技術，背光源利用時序輪流顯示紅、綠、藍等畫面，藉由人眼視覺暫留而混色的方法得到全彩的影像，如圖1.8。由於不需使用彩色濾光片，所以提高了三倍的背光利用率，可降低顯示器的功率消耗並降低成本。使用三原色紅、綠、藍LED光源，提升了影像色彩飽和度。

但由於需要輪流顯示三原色，所以驅動畫面更新率至少要為180 Hz以上，也就是說液晶的反應時間至少要小於5 ms，而傳統的TN模式液晶顯示速度過慢，所以研究快速液晶變成為此技術應用的重點。

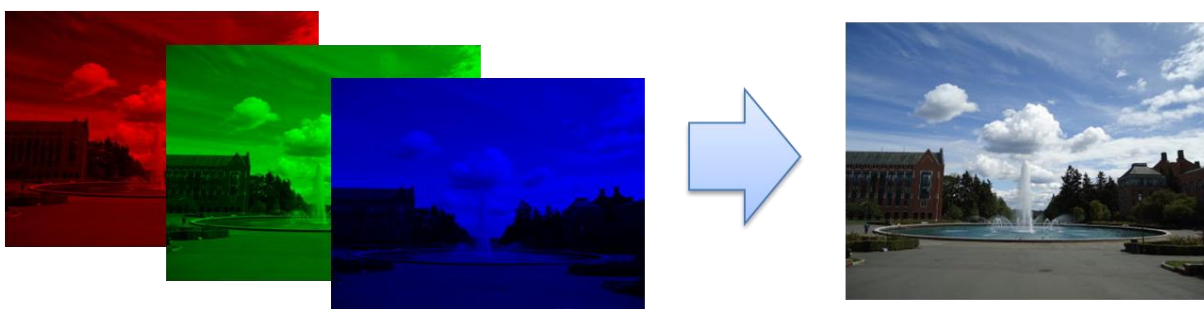


圖 1.8 場色序法驅動混色

1.9 研究動機

近幾年的液晶顯示研究，搭配場色序法的光源驅動方式能夠擁有夠好的顯色特性並且能降低顯示器的功率消耗，然而會受限於液晶的反應速度過慢產生色分離的情形，所以研究快速液晶模式就是本實驗室的發展重點之一。

近幾年而液晶的應用層面越來越廣，例如、膽固醇液晶電子書、液晶透鏡、或是液晶光柵等應用，而 LCOS 的顯示器技術就是反射式的液晶應用之一。知名科技網站 EE Times 將微型投影列為 2010 年十大熱門科技應用產品之一，即可知微型投影未來在市場上的前景是十分被看好的。由投影技術逐漸往微型投影的發展來看，使用場色序法驅動可以降低功率消耗、縮小光機體積、達到更好的色彩度，勢必成為未來液晶投影技術的主流，在此時快速液晶應用於反射式的顯示技術就是很重要的研究，所以此論文將研究三種不同的快速液晶模式應用於反射式顯示技術。

1.10 論文架構

此研究論文章節的架構上，第一章為液晶相關介紹以及液晶顯示器的工作原理。第二章會介紹此篇論文研究所使用到的三種不同的快速液晶模式並說明實驗理論。第三章將介紹各種量測系統以及製程設備。第四章說明各種快速液晶模式液晶盒的製程步驟和實驗的量測分析結果。第五章為實驗總結以及未來展望。



第二章

快速反應液晶模式

2.1 前言

近幾年對顯示器於影像品質要求越來越高，新型的液晶顯示模式、背光模組和驅動電路上已有很大的改進，而隨著環保意識提升，對於液晶顯示器的發展也逐漸往低功率研究。LCD 之結構中，背光源在通過彩色濾波片、偏光片等模組後，整體背光使用率低於 5%。其中，當光源通過彩色濾波片時，只有 30% 光線可以通過，是能量損失最多的部分。對於背光源能量的浪費，各大 TFT-LCD 面板廠開始計畫以低功率高亮度的 LED 取代 CCFL，並研究利用場色序法技術來取代彩色濾波片，而傳統扭轉向列型液晶(Twist nematic)之反應速度過慢(約 20 毫秒以上)，所以需要開發研究新的快速液晶顯示模式來實現此技術。

而 LCOS 微投影技術由於是可攜式裝置，更需要小體積以及低功率，所以需研究反射式快速液晶顯示模式，本章將說明此論文研究的三種快速響應液晶模式：快速反應扭轉向列型液晶(Fast switching twist nematic, Fast TN)、光學補償彎曲液晶模式(Optically Compensated Bend Mode, OCB)、表面穩定鐵電式液晶 (Surface Stabilized Ferroelectric Liquid Crystal, SSFLC)。

2.2 扭轉向列型液晶模式

扭轉向列型液晶模式(Twist Nematic LC mode)從 60 年代便開始應用在液晶顯示元件，是目前最為常見的液晶顯示模式之一，上下基板配向方向相互垂直，使液晶在液晶盒內旋轉 90 度，故稱為扭轉向列型液晶。

2.2.1 工作原理

扭轉向列型液晶顯示器工作原理：光源先入射一偏振片成為偏振光，通過液晶層之後產生相位延遲使偏振光方向改變，可通過與第一片偏振片光軸相互垂直的偏振片，此時光可通過為亮態；當給予液晶層電壓後，液晶分子受到電場影響而產生排列的改變，此時入射的偏振光無相位延遲產生，而無法出射第二片偏振片，此時為暗態，如圖 2.1。

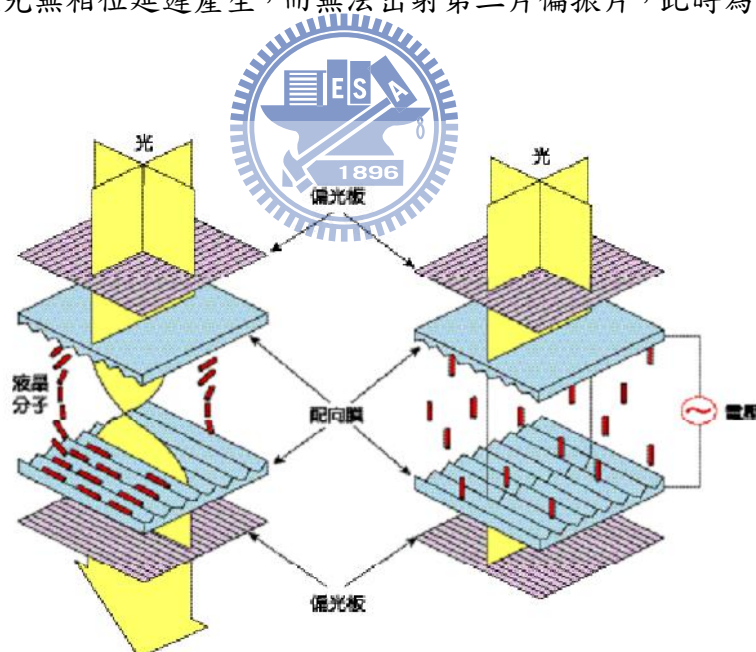


圖 2.1 扭轉向列型液晶顯示器工作原理[10]

2.2.2 反射式扭轉向列型液晶

反射式扭轉向列型液晶當光反射時如同穿透第二個不同扭轉方向的 TN 液晶盒，如圖 2.2 所示，反射光可由 Jones matrix 表示[11]：

$$N = [\cos \beta \quad \sin \beta] \begin{bmatrix} \cos X - i \frac{\Gamma \sin X}{2X} & -\frac{\sin X}{X} \\ \frac{\sin X}{X} & \cos X + i \frac{\Gamma \sin X}{2X} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos X - i \frac{\Gamma \sin X}{2X} & \frac{\sin X}{X} \\ -\frac{\sin X}{X} & \cos X + i \frac{\Gamma \sin X}{2X} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\sin \beta \\ \cos \beta \end{bmatrix} \quad (\text{eq. 2-1})$$

其中 $X = \sqrt{2 + \left(\frac{\Gamma}{2}\right)^2}$ 、 $\Gamma = \frac{2\pi d \Delta n}{\lambda}$ 、為上下液晶層的扭轉角度、 β 為入射偏振光與入射面液晶層配向方向夾角

由 eq. 2-1 經過計算整理可得

$$N = i \left(\Gamma \frac{\sin X}{X} \right) (\sin 2\beta \cos X - \frac{1}{X} \cos 2\beta \sin X) \quad (\text{eq. 2-2})$$

正規化反射率為

$$R_{\perp} = |N|^2 = \left(\Gamma \frac{\sin X}{X} \right)^2 (\sin 2\beta \cos X - \frac{1}{X} \cos 2\beta \sin X)^2 \quad (\text{eq. 2-3})$$

由 eq. 2-3，令 $\beta = 0$ 可得

$$\text{當 } = \frac{\sqrt{2}\pi}{4} \text{ (約 } 63.6^\circ) \text{ 且 } \frac{d\Delta n}{\lambda} = \frac{\sqrt{2}}{4} \text{ 時}$$

反射率 $R_{\perp} = 1$ 為最大值

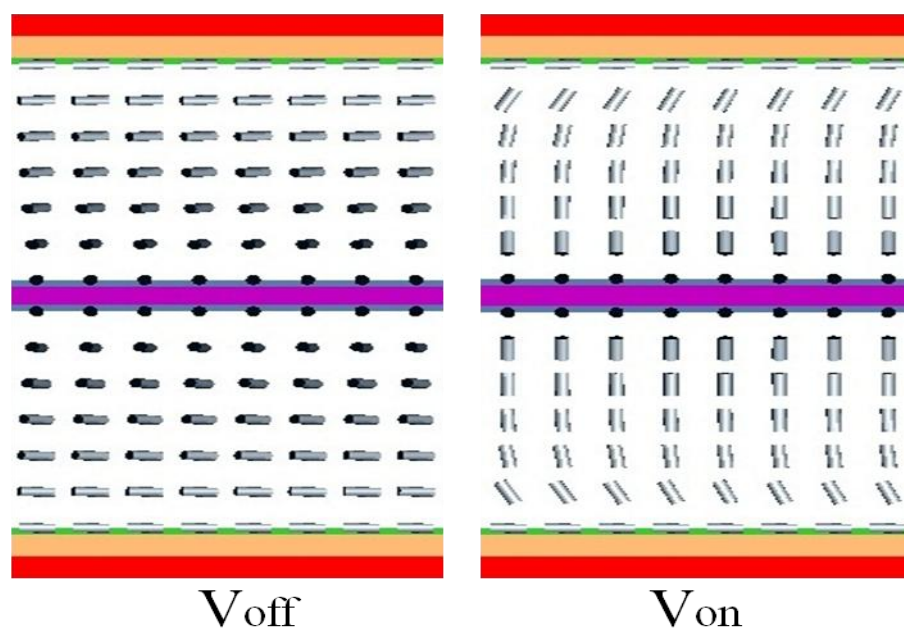


圖 2.2 反射式扭轉向列型液晶結構反射示意圖

2.2.3 快速反應扭轉向列型液晶

傳統扭轉向列型液晶反應速率約 20 毫秒以上，而欲使用場色序法的液晶速率需求為小於 3 毫秒，差異甚大。由於在此論文研究中使用反射式顯示機制，所以光在液晶層中的路程為兩倍於穿透式顯示機制，可以控制液晶盒間隙大小為穿透式的二分之一，大幅降低液晶層厚度，再搭配使用低旋轉黏滯係數(Rotational Viscosity < 100 mPa sec)的向列型液晶，可以達到小於 3 毫秒的反射式扭轉向列型液晶模式。

2.3 光學補償彎曲液晶模式

1983 年 Dr. Philip J. Bos 所提出 π cell 的結構，其名稱代表液晶分子相位延遲為 180° (π)，也有人以其分子排列如同一橫躺的希臘字母 π ，來解釋 π cell。1993 年 Dr. Uchida 利用相同的結構，加上雙光軸之補償膜 (Biaxial Retardation Film)，降低液晶盒間隙與低角度視角之漏光，提出光學補償彎曲液晶模式 (Optically Compensated Bend, OCB Mode)，是目前最廣為人知的快速反應向列型 (nematic) 液晶模式。

2.3.1 OCB Cell 結構

圖 2.3 為 OCB cell 結構，兩片相互垂直的偏振片分別在液晶盒玻璃外側，上層和下層的配向層配向方向同向，配向方向則與偏振片光軸夾 45° 度角。一般而言，預傾角約 $6\sim 14^\circ$ 。

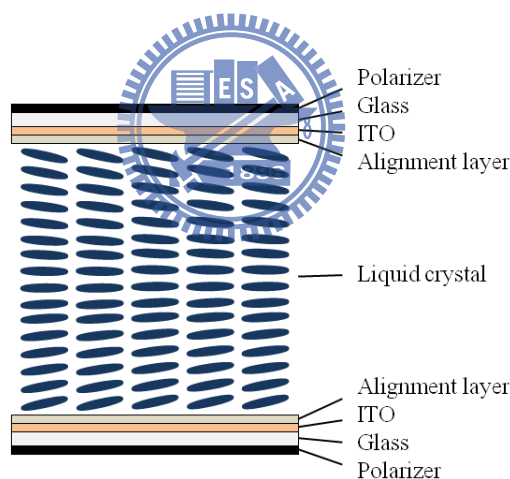


圖 2.3 OCB cell 結構

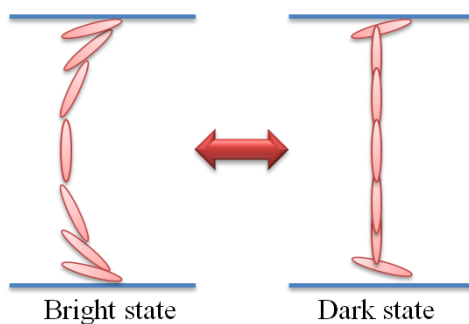


圖 2.4 光學補償彎曲液晶模式於彎曲態中亮暗態示意圖

光學補償彎曲液晶模式之亮暗態操作於彎曲態(Bend mode)如圖 2.4 所示。在相互垂直的偏振片下，液晶分子於彎曲態中為亮態，而當所加電壓大於飽和電壓($V_{sat.}$)時液晶分子將垂直排列，此時光通過液晶分子無相位延遲而形成暗態。在光學補償彎曲液晶模式，在亮暗態的驅動時，液晶分子會順著同方向的流力而轉動，如圖 2.5，所以與 TN 型液晶模式相比，有著較快的反應速度，約 3~10 毫秒。

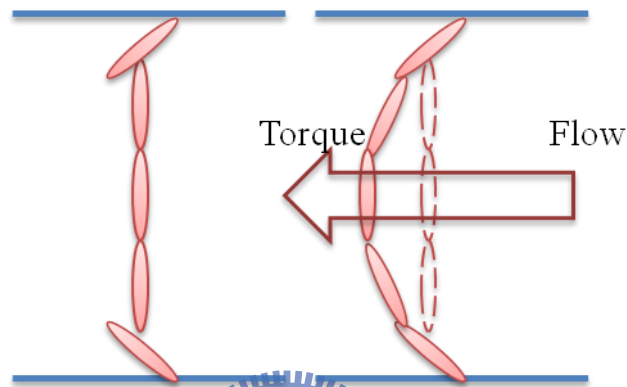


圖 2.5 光學補償彎曲液晶模式分子流動示意圖

2.3.2 相變化機制

光學補償彎曲液晶模式的操作必須在彎曲態，但光學補償彎曲液晶模式之初始狀態並非彎曲態。在未加電壓時，液晶分子排列為能階較低之斜展態(splay state)，如圖 2.6。當外加一個大於臨界電壓(V_c)的跨壓後，液晶分子會受到電場影響而移動，形成不對稱的情形，稱為非對稱斜展態(Asymmetric Splay)，若持續加電壓，液晶分子會傾向排列於彎曲態。由斜展態轉換至彎曲態時需要經過成核現象(Nucleation)，如圖 2.7。當液晶分子有部分轉為彎曲態時會變成轉態核心，周圍的液晶分子就會順著轉態核心轉為彎曲態，直到全部液晶分子都轉為彎曲態，此轉態過程所需時間較長(幾分鐘至數十分鐘)，而且必須用極大的電壓(約 20V)才能轉態完全，是光學補償彎曲液晶模式需要改善的一大重點。

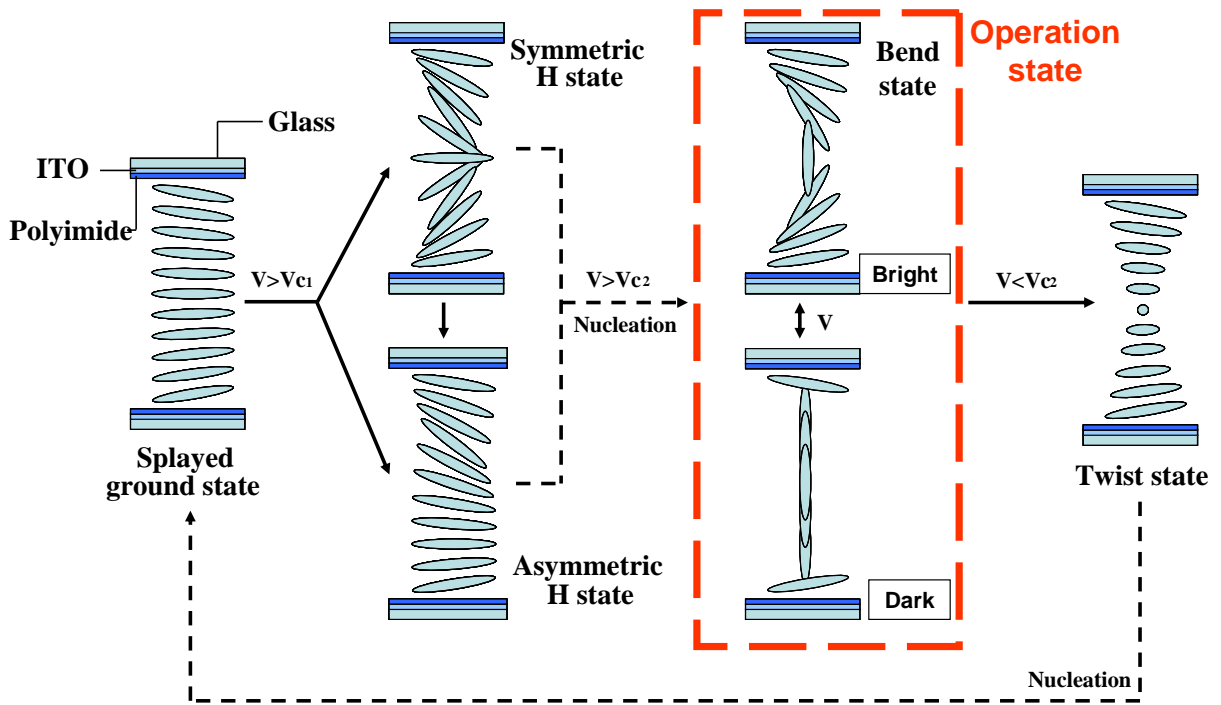


圖 2.6 光學補償彎曲液晶模式轉態示意圖[12]

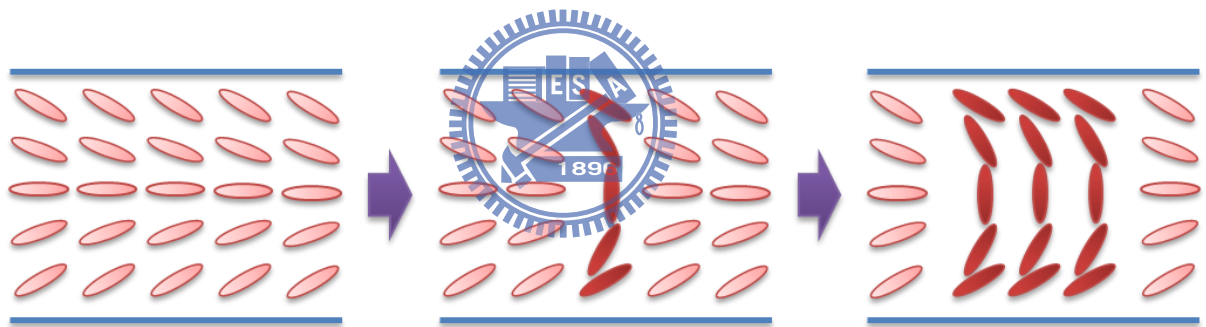


圖 2.7 斜展態轉換至彎曲態成核現象示意圖

光學補償彎曲液晶模式在彎曲態時液晶分子為對稱結構。上下玻璃基板表面的液晶分子平行排列，內層的液晶分子則在一個平面上彎曲排列，在此對稱結構中，液晶分子能自我補償各視角的漏光，如圖 2.8。而再加上光學補償膜後，此模式能克服視角受到液晶分子傾斜造成光學特性變化的影響，因此光學補償彎曲液晶模式有廣視角的優點。

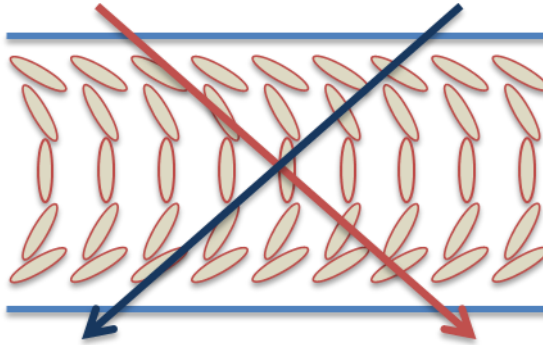


圖 2.8 光學補償彎曲液晶模式視角自我補償示意圖

2.3.3 反射式光學補償彎曲液晶模式

OCB 模式液晶排列結構為上下對稱於中心平面，所以應用於反射式顯示時，可以將中心位置上放置反射式鏡面，當光源入射再遇到反射鏡反射，光所走過之路徑相當於一個完整的 OCB 模式，此結構被稱為混合排列向列型液晶(Hybrid Aligned Nematic Cell, HAN Cell)或是反射式光學補償彎曲液晶(Reflective OCB Cell, R-OCB Cell) ，如圖 2.9。此結構由於一開始就如同 OCB 模式之彎曲態，所以不需要轉態的臨界電壓 V_c 和時間，在加上液晶膜厚為一般 OCB 結構的一半，所以有更低的操作電壓和反應速度。

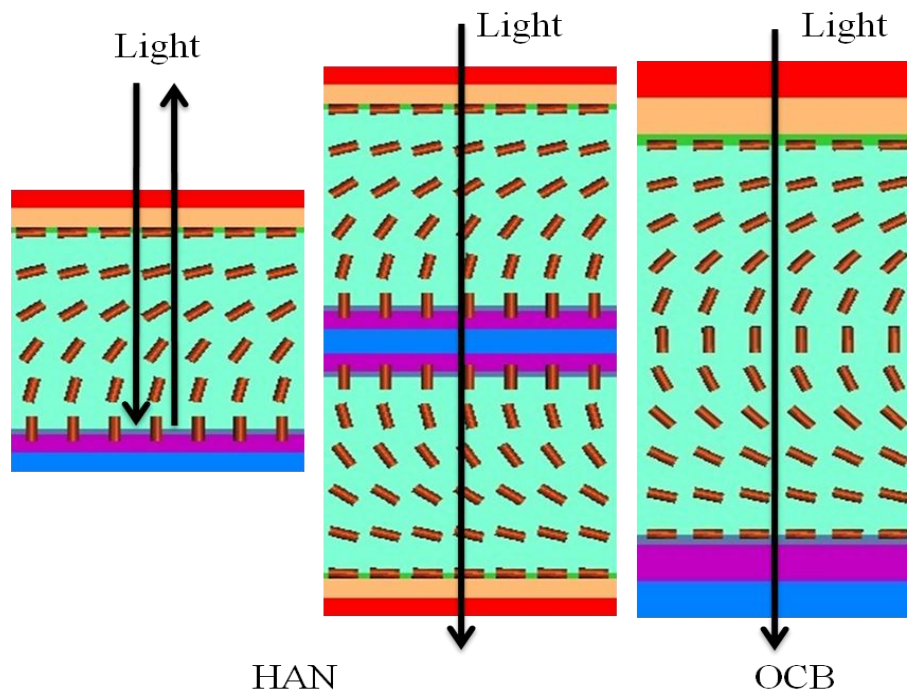
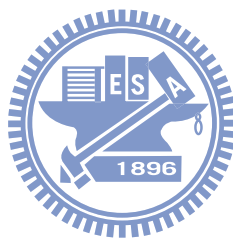


圖 2.9 HAN Cell 結構與反射光路示意圖



2.4 鐵電式液晶

於晶體結構中，如正負電荷中心產生偏離，此時分子具有永久的偶極矩(permanent dipole)。在規則的排列結構下，微觀的偶極矩將形成較大的自發極化值，如其極化方向可以經由外加電場改變，且在除去電場時不會消失，此物質即具有鐵電性(Ferroelectricity)。

鐵電式液晶(ferroelectric liquid crystal)的發現始於西元 1974，物理學家 R. B. Meyer 在研究液晶的結構時提出一個假設，他認為摻雜旋光基團的 smectic C 液晶所形成的 SmC*液晶相在不對稱的結構下每個分子將產生偶極，當分子偶極指向同一方向時的極化場稱為自發性極化(spontaneous polarization)。初期對於鐵電式液晶的研究中著重於探討其對掌性(chirality) 與極性(polarity)之關係。在 smectic C 液晶態，液晶分子以 smectic

layer 為分界形成層狀排列，並於 smectic layer 法線方向(k)傾斜 θ 角，方位角 ϕ ，如圖 2.10(a)。添加對掌性分子後，鐵電式液晶(chiral smectic C phase)為扭轉的 smectic C 結構，而液晶分子扭轉 360 度的距離稱之為螺距(pitch)，如圖 2.10(b)。由於鐵電式液晶分子結構本身的不對稱性，其對掌中心(chiral center)與偶極(dipoles)之間因偶合作用產生極化場，此自發性極化場之極化方向垂直於傾斜角。自發性極化場的大小將影響鐵電式液晶的光電響應，反應速度等特性[13]。直到西元 1980 年，鐵電式液晶材料開始有顯示器的研究與討論[14]。

2.4.1 表面穩定鐵電式液晶

若鐵電式液晶之螺距長度遠大於液晶盒之間隙，藉由將其限制在間隙小於 $2\mu\text{m}$ 的液晶盒內，原本鐵電式液晶分子的扭轉結構將被抑制，且液晶分子將順著配向方向排列，稱之為表面穩定鐵電式液晶(surface-stabilized ferroelectric liquid crystal)如圖 2.10(c)。鐵電式液晶材料與向列型液晶材料在驅動上的不同處為：鐵電式液晶於驅動時其自發性極化方向將順著電場方向運動在同一平面偏轉，而向列型液晶為分子長軸方向將順著電場方向轉動。

鐵電式液晶元件最大的優點就是極快的反應速度，1 毫秒以下的反應速度足足比傳統 TN 型顯示器快了十倍以上，並因其於平面上的運動，和 IPS(in-plane switching)技術相同，擁有廣視角的優點。再者，由於配向膜與液晶分子間的錨定能(anchoring energy)以及自發性極化的影響，鐵電式液晶將穩定於亮態或暗態，即使將外加電場移除，此現象稱之為雙穩態(bistability)。此雙穩態之特性提供鐵電式液晶於靜態顯示器的應用如 e-paper，電子看板等，由於只需在改變畫面時驅動而擁有省電的優勢。

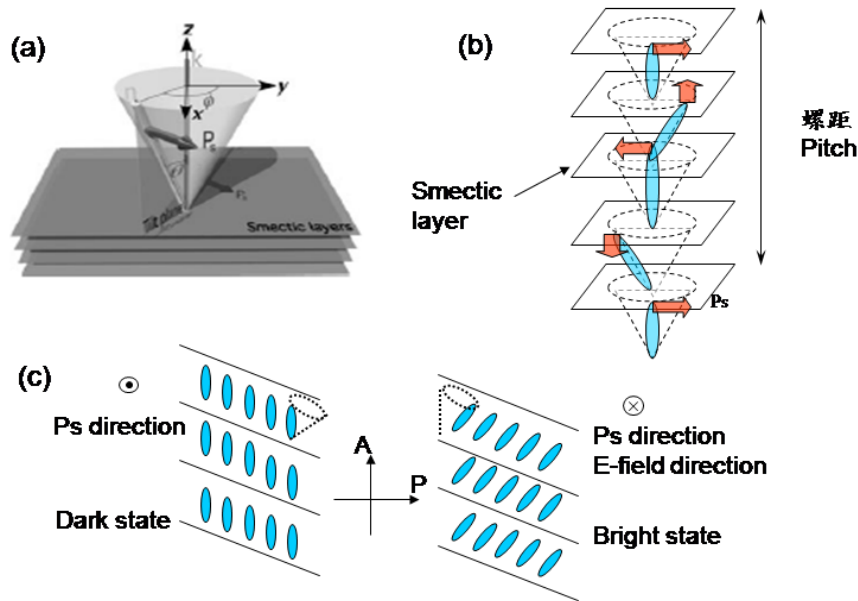


圖 2.10 (a)smectic cone 示意圖[15](b)鐵電式液晶螺旋結構示意圖(c)表面穩定鐵電式液晶模態示意圖



2.4.2 鐵電式液晶於顯示器的研究發展

鐵電式液晶材料於顯示器的應用在過去的研究中有兩個主要的問題，缺乏連續的灰階，以及難有良好的液晶排列。此缺點嚴重影響到液晶元件的解析度及對比度。在發展初期以空間及時序方法(spatial and temporal dither techniques)可達到個位數的灰階能力，但此方法犧牲了解析度並需降低驅動頻率。藉由驅動電壓大小之差異，在表面穩定鐵電式液晶元件中產生不同程度的微結構(micro-domain)的方法可由液晶材料得到本質上的灰階。然而，此方法的灰階數目是有限的，且其所施加電壓大小之邊界條件並不穩定，不易控制其灰階表現。雖然記憶效應可由改變配向層厚度及鐵電式液晶之自發性極化值大小而降低[16]，其電壓-穿透率之表現也會因為磁滯現象產生“W型”響應，使之不易由電壓值來控制灰階表現。經由特殊電路設計，平衡錨定能，及特殊配向膜處理等方法[17,18,19]可得無磁滯曲線之連續灰階表現。

除了雙穩態之表面穩定液晶模式，其它鐵電式液晶模式，如扭轉型鐵電式液晶模式 (twist FLC Mode)[20]，螺旋形變鐵電式液晶模式(Deformed Helix FLC Mode)，半 V 型鐵電式液晶模式(H-V FLC Mode)等模式是以改變光軸方向而達到連續灰階能力[21,22]。其中，不同於有 $SmA-SmC^*$ (chiral smectic A-chiral smectic C)相變化之雙穩態表面穩定鐵電式液晶材料，H-V FLC 之相變化少了 SmA 液晶材為 N^*-SmC^* (chiral nematic-chiral smectic C)。此材料因為其特殊的驅動特性可應用於 TFT-LCD，其相關特性已在研究中證實[23]。

2.4.3 水平山形袖章缺陷

然而 H-V FLC 材料於液晶排列上仍有缺陷存在，在降溫的過程中，H-V FLC 由 N^* 液晶相轉變成 SmC^* 液晶相時，液晶分子雖然順著配向處理的方向排列，卻因層列層 (smectic layer)排列方向之不同，使得液晶分子有兩個極性方向之排列，因而產生兩種排列區塊[24]，名為水平山形袖章缺陷(horizontal chevron defect)，如圖 2.11。而受限於排列缺陷所造成低之對比度的問題，H-V FLC 一直無法應用於顯示器技術。

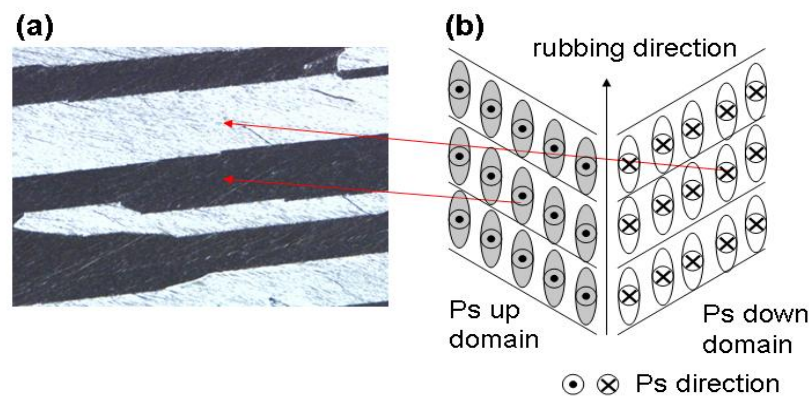


圖 2.11 (a)在偏光顯微鏡下兩種排列結構(b)水平山形袖章缺陷排列示意圖[25]

為了改善此排列缺陷，早期提出的改善方法為在 N^*-SmC^* 相變化過程中外加直流偏壓使液晶分子因電場影響而朝同一方向排列[26]。但此法除了增加製程的複雜，亦會在液晶盒中造成離子累積，影響驅動特性。於是在不使用外加電場的條件下，從液晶配向技術著手改善來研究改善排列問題成為另一個研究課題。

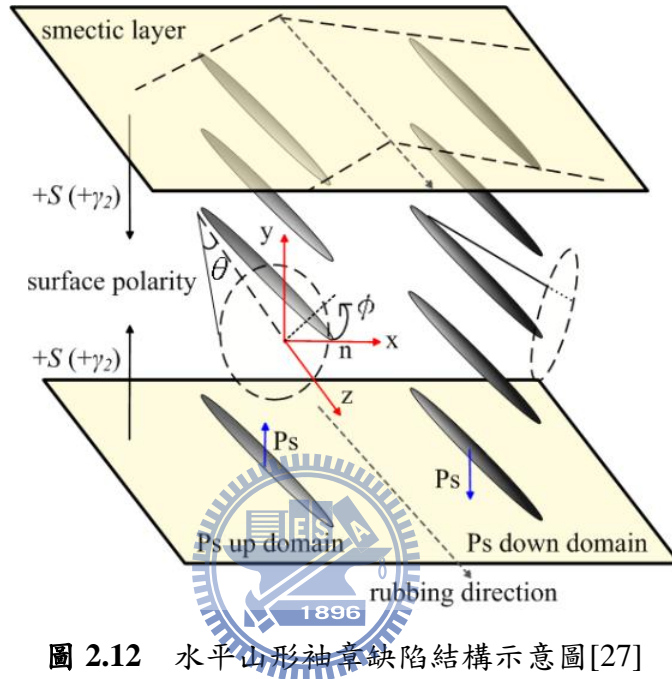


圖 2.12 水平山形袖章缺陷結構示意圖[27]

於 H-V FLC 元件之水平山形袖章缺陷可藉由液晶能量的角度加以解釋，並研究利用表面處理消除排列缺陷的可行性[27]。如圖 2.12，對於有水平山形袖章缺陷的鐵電式液晶而言，其排列可以分為 P_s 指向上的 P_s up domain 及指向下的 P_s down domain。此兩種排列的液晶元件總能量可由 eq. 2-4 表達，其中 θ 與 ϕ 分別為 cone angle 及 azimuthal angle， K_2 、 K_3 為液晶彈性係數，而 γ_1 與 γ_2 分別為 non-polar 及 polar surface interaction coefficients。其表面能量為上基板(t)及下基板(b)的總合。鐵電式液晶元件總自由能為液晶彈性能、非極性表面能量及極性表面能量的總合。在相同的液晶配向方向下， P_s up domain 及 P_s down domain 因相同的分子排列方向而有相同的液晶彈性能，且它們有相同的非極性表面能量，兩個 domain 唯一有機會產生能量的差異於極性表面能量項。在傳統對稱的配向處理下，上下基板採用相同的配向材料及配向方法，於是上下基板有相

同的 γ_2 ，即 $\gamma_2^{(t)} = \gamma_2^{(b)}$ ，於是公式 1 中的最後一項，極性表面能量將相消為零，如此，Ps up domain 及 Ps down domain 擁有相同的總自由能。換言之，此兩種 domain 皆會出現於 H-V FLC 元件中。如果能設法使兩種 domain 的能量產生大小的差異，則液晶分子會傾向於排列於能量較低的狀態進而得到單一種排列 domain。依公式，唯一能讓液晶產生能量差異的為極性表面能量項，此項能量不能為零，即 $(\gamma_2^{(t)} - \gamma_2^{(b)})$ 不能為零。於此，依公式有兩種可能：第一種為結合強與弱配向方法，使 $\gamma_2^{(t)}$ 與 $\gamma_2^{(b)}$ 的值有明顯的大小差異。第二種為控制配向層之表面極性，上下基板分別使用極性相反的配向層材料，則極性表面能量項可改寫為 $(\gamma_2^{(t)} + \gamma_2^{(b)}) \cos \phi$ ，因而產生極大的能量差異。

$$F = \frac{2\pi^2 d}{p^2} \sin^2 \theta (K_2 \sin^2 \theta + K_3 \cos^2 \theta) + \sin^2 \theta (\gamma_1^{(t)} \sin^2 \phi + \gamma_1^{(b)} \sin^2 \phi) \mp (\gamma_2^{(t)} \cos \phi - \gamma_2^{(b)} \cos \phi)$$

LC elastic free energy denisty
Sign for Ps up and Ps down molecules

Non-polar surface energy per unit area
Polar surface energy per unit area

eq. 2-4 Ps up domain 及 Ps down domain 之總自由能。

針對方法一，在實驗室研究中提出了結合強弱配向之複合式配向液晶盒，其配向方法為研磨配向(rubbing alignment)與電漿配向(plasma alignment)，而其極化錨定能(polar anchoring energy)大小分別 10^{-3} 及 10^{-5} J/cm²。於偏光顯微鏡中觀察其液晶排列可發現，原本的水平山形袖章缺陷，如圖 2.13(a)，可由強弱配向之複合式配向液晶盒除去，圖 2.13(b)[28]。由方法二，研究中使用表面極性相反的配向層材料，PI 及 PVA，以配向層表面極性來控制鐵電式液晶之自發性極化方面，同樣地去除了鐵電式液晶元件之排列缺陷，如圖 2.13(c)，其元件對比度可由原本 68:1 由特殊配向處理提高至 780:1。利用控制表面極性之配向技術，配合使用低驅動電壓鐵電式液晶材料，已有 2.4 吋之試製面板產出，如圖 2.14 所示[29]。在試製面板中使用非對稱配向技術可得良好的液晶排列，如圖

2.14(a), 此試製面板直接套用 VA 液晶模式之驅動電路, 其驅動電場為 60 Hz, 5 V 方波。

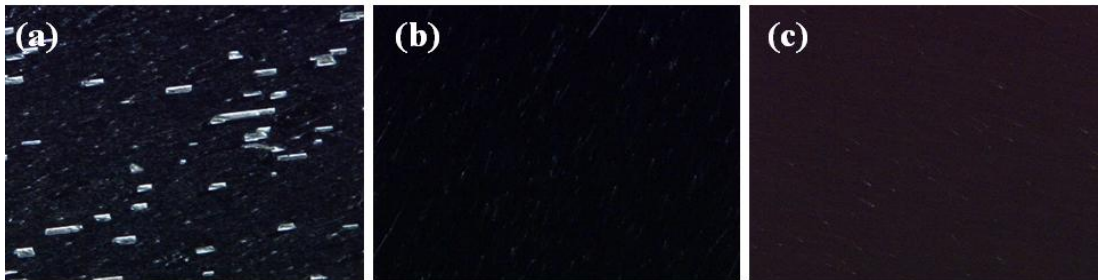


圖 2.13 於偏光顯微鏡下(a)對稱配向 (b) 非對稱強弱配向 (c) 控制配向層表面極性之非對稱配向下之液晶排列[28]

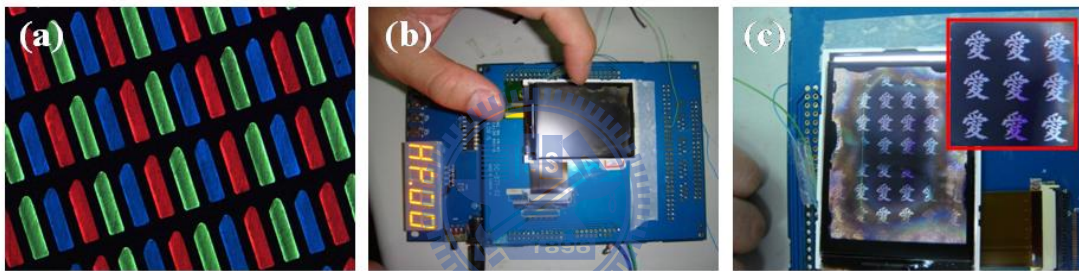


圖 2.14 2.4”試製鐵電式液晶面板[28](a)於偏光顯微鏡下之排列, (b)面板及驅動電路, (c)黑白畫面[29]

2.5 結論

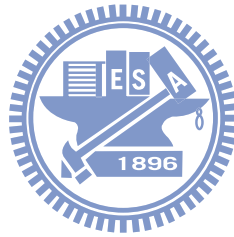
本章說明了此論文所研究的三種不同的快速液晶模式理論和依據, 快速液晶模式快速反應的優點提供了新世代液晶顯示技術的應用。當畫面的切換頻率可由原本 60 Hz 提升至三倍以上, 液晶顯示器裡的彩色濾光片(color filter)或彩色光輪(color wheel)可由紅、綠、藍三原色的 LED 分別快速開關, 在快速的切換畫面下, 人眼會自動疊合所看到的三色畫面而感受到一個彩色的畫面, 此技術即為場色序法(field sequential color), 此顯示器結構可替換彩色濾波片, 達到高解析度、高色彩和高透光率, 同時也可以提高背光使用效率和降低不必要的能量損耗。

第三章

量測系統與製程設備

3.1 引言

本章節將介紹研究需要使用到的各種量測系統以及製程設備，先了解量測系統的原理以及架構，可以更有效地找出研究時的問題點，以及有利研究數據的分析與了解。此研究所利用到的儀器有量測配向膜表面平坦度的原子力顯微鏡(AFM)，以及觀測液晶排列情形的偏光顯微鏡(POM)，還有量測液晶盒驅動反應的雷射系統，以及光譜儀等各種機密儀器。



3.2 原子力顯微鏡

原子力顯微鏡(Atomic force microscope, AFM)是由 Binnig 等人於 1986 年所發明的，具有原子級解像能力，導體以及非導體材料表面皆可以量測，並能在真空、氣體或液體環境中操作。AFM 之探針是由懸臂樑及針尖所組成，針尖尖端直徑介於 20 至 100nm 之間。主要原理是藉由針尖與試片間的原子作用力，使懸臂樑產生微細位移，以測得表面結構形狀，其中最常用的距離控制方式為光束偏折技術。圖 3.1 為 AFM 結構示意圖。

AFM 操作模式可區分為接觸式 (contact mode)、非接觸式 (non-contact mode) 及間歇接觸式 (或稱為輕敲式, intermittent contact or tapping mode) 三大類。

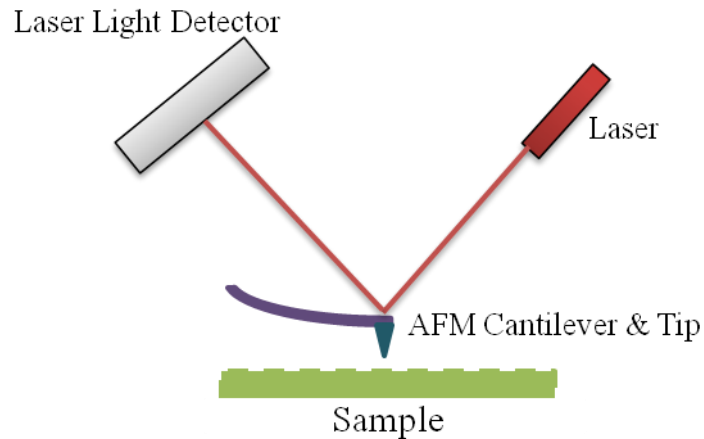


圖 3.1 AFM 結構示意圖

(1) 接觸式 (contact mode) :

探針與樣品間的作用力(原子間的排斥力)很小，但由於探針與樣本是物理接觸來呈現樣品表面影像，過大的作用力會損壞樣品，但由於較大的作用力也會得到較佳的解析度，如何選擇適當的作用力以得到最佳的畫面就顯得十分重要，由於原子的排斥力對於距離十分敏感，所以較容易得到原子尺度的解析度。



(2) 非接觸式 (non-contact mode) :

非接觸式 AFM 是為了改善接觸式 AFM 容易損壞樣本表面的缺點而被發展出來。原理為利用原子間長距離的吸引力(凡得瓦力)來感測，因為探針與樣本表面沒有接觸，故不會有損壞樣本的問題，不過凡德瓦力對於距離的變化很小，所以還需要使用調變技術來增強訊號。

(3) 間歇接觸式 (intermittent contact mode) :

由非接觸式 AFM 改良而來，拉近探針與樣本表面距離並增大振幅，使探針在振盪至波谷時與樣本表面接觸，由於樣本表面高低起伏，所以探針接觸樣本時會有震幅改變，而得到表面影像。對於較硬的表面量測可能會造成探針受損，甚至留下殘餘物。

在此論文研究裡，原子力顯微鏡主要用來量測配向膜之膜厚以及配向膜在基板上之表面平坦度。

3.3 光譜儀

液晶盒的間隙會影響到液晶驅動反應的特性，所以當要注入液晶到液晶盒之前，需要先量測液晶盒的間隙大小是否達到要求。本實驗室利用光譜儀 UV/Vis spectrophotometer Lambda 950 from Perkin Elmer 量測液晶盒間隙，量測原理與方法如下述說明。

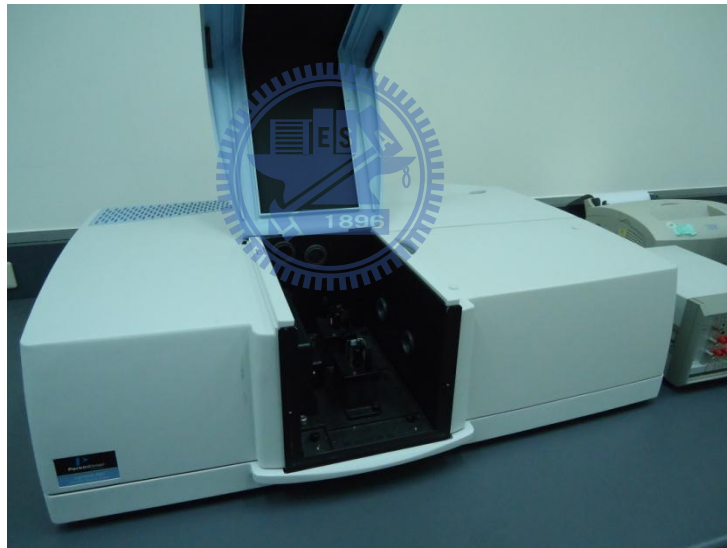


圖 3.2 UV/Vis spectrophotometer Lambda 950

UV/Vis spectrophotometer Lambda 950 裝置如圖 3.2，量測範圍可從紫外光、可見光到紅外光(波長 150 nm 到 3000 nm)，可以選擇量測穿透值、反射值、和吸收值。

量測液晶盒間隙的原理為量測光在液晶盒中來回反射所造成的干涉值計算而來，如圖 3.3 所示。定義 R_1 為上基板的反射係數， R_2 為下基板的反射係數，假設入射光強度為 $I = \cos \omega t$ 且兩基板表面皆無吸收，則總反射光為

$$R = R_1 \cos \omega t + \sum_{k=1}^{\infty} R_1^{k-1} R_2^k (1 - R_1)^2 \cos \omega(t - kt_0) \quad (\text{eq. 3-1})$$

其中 $\omega = 2\pi c n_{gap}^{1/2} / \lambda$ 、 $t_0 = 2d_{gap} n_{gap}^{1/2} / c$ ， c 為光在真空中的速率， λ 為入射光波長， d_{gap} 為兩基板間距， n_{gap} 為兩基板之間的折射率。

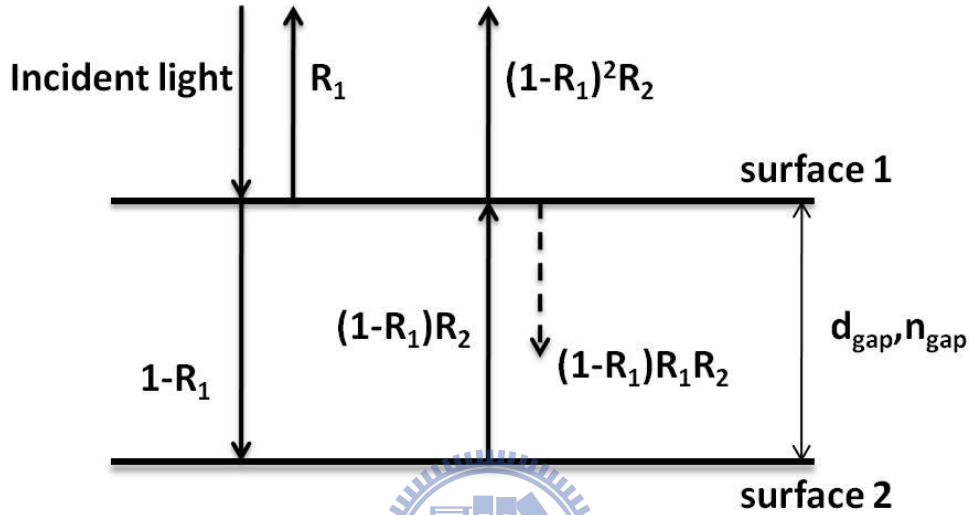


圖 3.3 反射光示意圖

在 eq.3-1 中，因為反射係數 R_1 和 R_2 小於 1，所以 $k > 1$ 的 cosine 項值遠小於 $k=1$ ，可以將其忽略改寫為

$$R = R_1 \cos \omega t + (1 - R_1)^2 R_2 \cos\left(\omega t - \frac{4\pi n_{gap} d_{gap}}{\lambda}\right) \quad (\text{eq. 3-2})$$

反射光的光強度為

$$|R(\lambda)|^2 = R_1^2 + [(1 - R_1)^2 R_2]^2 + 2R_1(1 - R_1)^2 R_2 \times \cos(4\pi n_{gap} d_{gap} / \lambda) \quad (\text{eq. 3-3})$$

假設兩入射光波長 $\lambda = \lambda_1$ 和 $\lambda = \lambda_2$ ，可使 eq.3-3 式中 $\cos(4\pi n_{gap} d_{gap} / \lambda) = \pm 1$ ，則

$$2n_{gap}d_{gap} = k_1\lambda_1/2 \quad (\text{eq. 3-4})$$

$$2n_{gap}d_{gap} = k_2\lambda_2/2 \quad (\text{eq. 3-5})$$

其中 k_1 和 k_2 為自然數。

假設 $\lambda_1 > \lambda_2$ ，令 $k_2 = k_1 + x$ ，其中 x 為自然數，則

$$n_{gap}d_{gap} = \frac{x\lambda_1\lambda_2}{4(\lambda_1 - \lambda_2)} \quad (\text{eq. 3-6})$$

x 值代表 $|R(\lambda)|^2$ 中 λ_1 和 λ_2 兩波長間的波峰與波谷個數和+1。

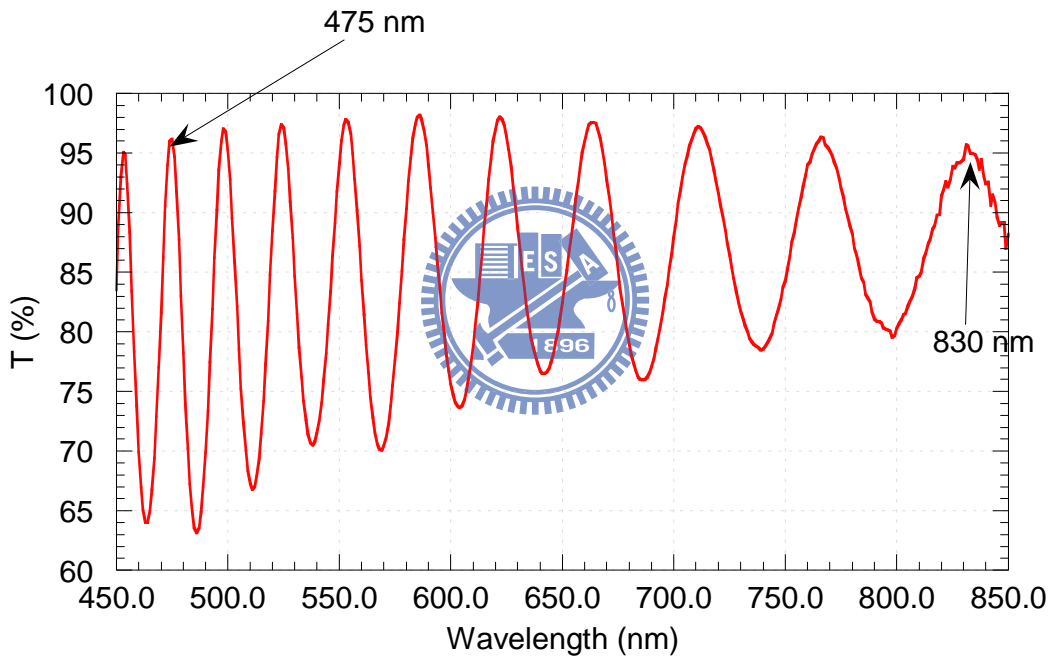


圖 3.4 量測空液晶盒間隙的光譜圖，cell gap 利用 eq.3-6 計算。

$$n_{gap}d_{gap} = \frac{x\lambda_1\lambda_2}{4(\lambda_1 - \lambda_2)} = \frac{18 \times 830 \times 475}{4 \times (830 - 475)} = 5\mu\text{m}$$

3.4 偏光顯微鏡

偏光顯微鏡(polarized optical microscope, POM)的用途為觀測液晶排列和亮暗態時的變化情形，裝置如圖 3.5。

儀器的構造有：

- (1) 光源：光源分為上下兩光源，上光源用於反射式樣品，下光源用於穿透式樣品。
- (2) 前後偏振片：光入射第一片偏振片使為偏振光，穿過(反射)LC cell 之後再通過第二片偏振片，由於液晶相位延遲的差異而可得不同亮度影像。
- (3) 目鏡：儀器裝設有 10X 目鏡和攝影鏡頭，影像可用肉眼直接觀察或是經由電腦擷取畫面。
- (4) 物鏡：物鏡有 10X、20X、50X、100X 四種倍率，搭配 10X 目鏡可分別得 100X、200X、500X 和 1000X 四種放大倍率影像。
- (5) 載物台：放置樣品，可以調整高度使鏡頭對焦，先用粗調找到樣品影像，再用微調調整畫面至清晰。



圖 3.5 POM Olympus BX51 裝置

3.5 雷射光學系統

液晶盒的電壓-穿透度曲線(V-T curve)和反應速率(response time)在研究中利用雷射光學系統來量測，系統架構如圖3.6。

系統組成裝置如下：

- (1) 波形產生器(waveform generator)：負責供應液晶盒電壓，儀器有八組電壓輸出頭，最大輸出電壓為100 V，最小的電壓訊號時間間格為200 ns，可利用電腦程式設定任意波形輸出，型號為WFG500 from FLC Electronics AB。
- (2) 雷射光源(laser source)：為紅、綠、藍三種雷射光源，波長分別為633 nm、550 nm、432 nm。
- (3) 光偵測器(photodetector)：偵測通過液晶盒的雷射光強度變化，再將訊號強度送至數位電表。
- (4) 數位電表(multimeter)：接收光偵測器的訊號得到直流電壓強度變化，可得知雷射光經過液晶盒的光強度變化情形。
- (5) 示波器(oscilloscope)：接收通過液晶盒光強度變化和輸入電壓圖形，判讀液晶盒驅動的反應速率。
- (6) 電腦(PC)：控制波形產生器的驅動和輸入電壓圖形、有連接各裝置的系統軟體，可以得到液晶盒的V-T curve。
- (7) 偏振片(polarizer、analyzer)：第一片偏振片使入射光源變為偏振光，第二片偏振片則限制入射光偵測器的偏振光方向。
- (8) 偏極化分光鏡(polarization beam splitter, PBS)：LCOS反射系統專用的特殊光學元件，當入射光方向為P極化可透光，方向為S極化則反射，如圖3.7。

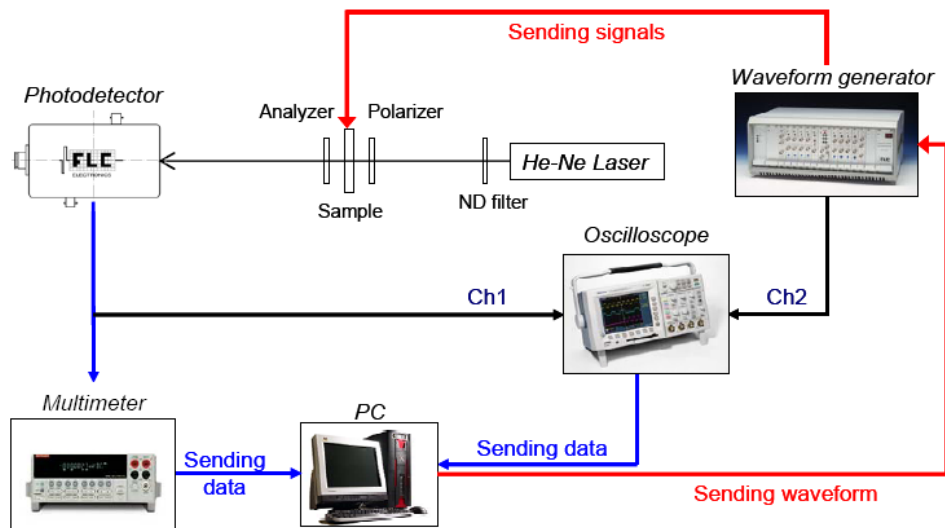


圖 3.6 雷射光學系統架構

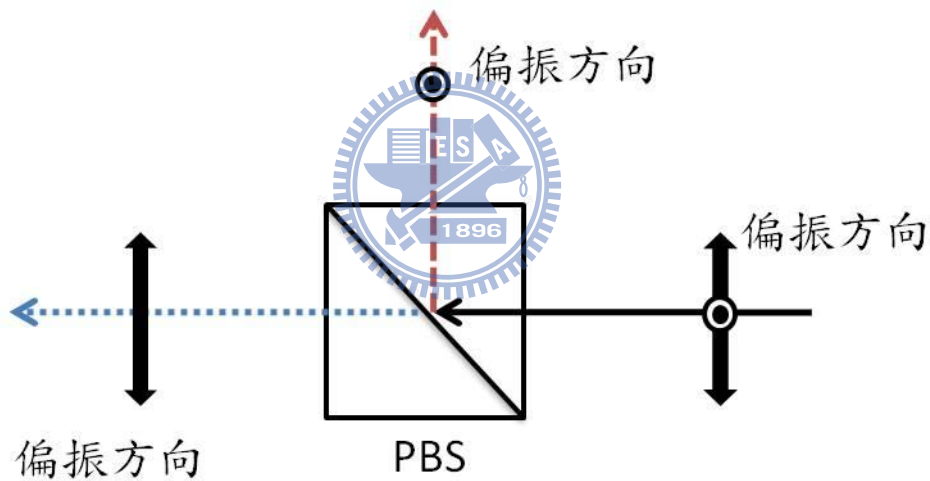


圖3.7 PBS 元件

穿透式雷射系統量測

待量測的液晶盒放置於兩相互垂直的偏振片 (polarizer、analyzer) 之間，如圖3.8。由波形產生器輸出電壓至液晶盒，再由光偵測器接收光強度變化即可得 V-T curve。

反射式雷射系統量測

入射雷射光原先經過偏振片轉為偏振光，再經由偏極化分光鏡 PBS 將光導入 LCOS cell，

由波形產生器輸出電壓至 LCOS cell，而光通過液晶層之後會產生相位延遲造成偏振光偏振方向改變，先反射回 PBS 再反射至光偵測器，由光偵測器接收光強度變化即可得 V-T curve，如圖 3.9。

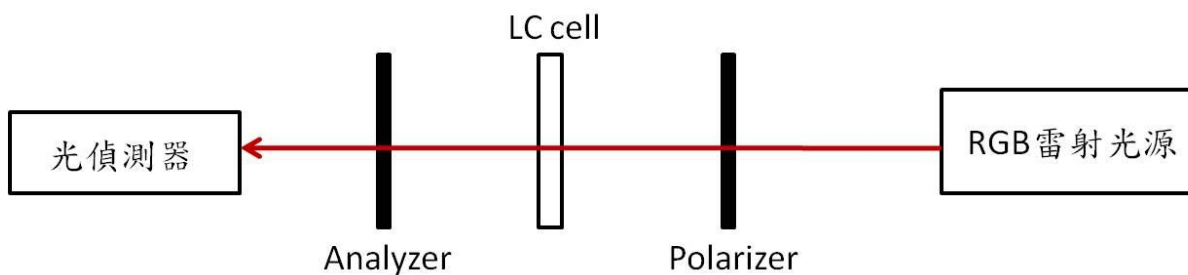


圖 3.8 穿透式 LC cell 量測方式

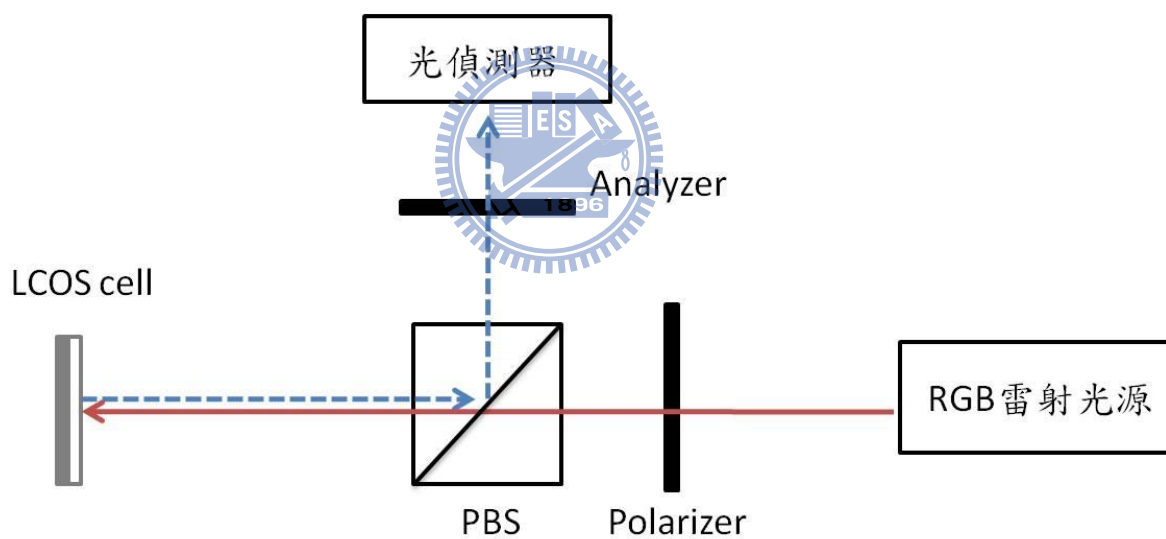


圖 3.9 反射式 LCOS cell 量測方式

3.6 實驗製程設備

1. 定位式玻璃切割機

利用高壓氣體控制切割頭上下作用，裝設有 CCD 鏡頭可定位玻璃上之圖案位置切割。

2. Wet Bench

無塵室 Class 100 級濕式工作台，在工作檯內清洗基板。

3. 超音波振盪器

清洗基板後再利用超音波振盪器快速振盪，將附著在基板上之殘餘雜質去除。

4. Hot plane

加熱平台，可加熱烤乾基板，並有旋轉攪拌子功能使調配溶液混合均勻。

5. UV-ozone

利用 UV 與 Ozone 反應產生大量具有強大氧化能力的自由基，將基板上的有機物雜質分解去除。



6. 旋轉塗佈機

將基板置於轉軸中心以抽氣方式吸附，基板上方滴上配向層溶液材料，利用旋轉離心力甩去多餘的溶液並將溶液均勻塗佈在基板上形成薄膜，預轉控制成膜均勻性，快轉則決定膜厚。

7. 配向研磨機

利用絨布快速旋轉在配向層上研磨，給予配向層應力作用使其對液晶有配向效果。

8. Hot stage

可以將液晶盒放入控溫盒內，設定加熱溫度及升降溫速度，負責控制液晶退火溫度與速率。

第四章

實驗與結果分析

4.1 實驗製程

使用之基板分別為銦錫氧化物(Indium Tin Oxide, ITO)玻璃基板和利用熱蒸鍍機在玻璃上鍍鋁之基板，上基板電極為 ITO，下基板直接利用鋁直接當做反射層和電極，鋁膜厚為 100 nm。實驗之標準步驟如圖 4.1 所示。



圖 4.1 製程流程圖

4.1.1 清洗基板

- 步驟一 將基板先浸泡在丙酮溶液之中，放入超音波震盪器震盪 30 分鐘，再以水沖洗 5 分鐘確保無丙酮殘留。
- 步驟二 使用清潔劑(detergent)用手搓洗兩分鐘至表面水膜不易破裂，再放入超音波震盪器以水震盪 30 分鐘。
- 步驟三 用氮氣槍將基板吹乾，放置於 hot plane 上加熱 110°C 一小時，使基板無水氣殘留。
- 步驟四 清洗好之玻璃即可拿去鍍鋁製作下基板，或是直接可塗佈配向層。

4.1.2 塗佈配向層

本研究共利用三種不同的配向層材料：FLC PI、VA PI、PVA，如表 4.1。

表 4.1 配向層材料

| | |
|-------------------|--|
| FLC PI Solvent | PIA-X201-G01 NBC-311 |
| VA PI Solvent | PIA-X660-01X NBG-776 |
| PVA | Polyvinyl Alcohol (Mw = 13,000~23,000) |

- 步驟一 調配配向層溶液，將 PI 與溶劑(solvent)以 1:1 濃度均勻混合；PVA 溶液以 PVA 粉末 2.5 wt% 加水溶解。
- 步驟二 將清洗乾淨的基板放入 UV-ozone 30 分鐘，去除表面殘留有機物，並使表面呈現親水性，更易於塗佈配向材料。
- 步驟三 用旋轉塗佈機將配向層溶液均勻塗佈於基板上，旋轉塗佈參數列於表 4.2、表 4.3。
- 步驟四 將塗佈 PI 之基板放置於 hot plane 上加熱 220°C 一小時、塗佈 PVA 之基板放置

於 hot plane 上加熱 110°C 一小時烤乾。

表 4.2 PI 配向層旋轉塗佈參數

| | Speed(rpm) | Time(sec) |
|--|------------|-----------|
| Solvent-Waiting | 0 | 0 |
| Solvent-1 st spin | 800 | 20 |
| Solvent-2 nd spin | 5000 | 40 |
| Polyimide mixture solution-Waiting | 0 | 30 |
| Polyimide mixture solution -1 st spin | 800 | 20 |
| Polyimide mixture solution -2 nd spin | 5000 | 40 |



表 4.3 PVA 配向層旋轉塗佈參數

| | Speed(rpm) | Time(sec) |
|------------------------------------|------------|-----------|
| Water-Waiting | 0 | 0 |
| Water-1 st spin | 800 | 10 |
| Water-2 nd spin | 5000 | 20 |
| PVA solution-Waiting | 0 | 30 |
| PVA solution -1 st spin | 500 | 20 |
| PVA solution -2 nd spin | 2000 | 40 |

4.1.3 研磨配向

以摩擦配向機(Rubbing machine)摩擦配向層，以達到配向效果，配向參數如表 4.4

表 4.4 基板摩擦配向參數

| | |
|------------------------|-----|
| Pile impression (mm) | 0.2 |
| Rotation speed (rpm) | 500 |
| Advancing speed (mm/s) | 7.3 |

4.1.4 貼合液晶盒與注入液晶

使用 1 μm 間隙物均勻混合 UV 膠，滴於基板左右兩端，再將兩片基板貼合按壓使液晶盒間隙厚度均勻。利用光譜儀量測 cell gap 厚度，再將液晶滴於基板交界處使其利用毛細現象自然吸入填滿液晶盒間隙。

已注入液晶之液晶盒再 hot stage 控制降溫速率退火，使液晶排列整齊。在兩側基板 ITO、Al 端焊上電線即可量測。

4.2 反射式扭轉向列型液晶模式

上下基板使用 FLC PI 做為配向膜。上下層配向方向扭轉特定角，使其液晶分子排列成為扭轉向列型液晶模式。

4.2.1 液晶材料

此 TN Mode 研究將利用低扭轉黏滯係數(<100 mPa sec)向列型液晶希望達到反應時間($\tau_{on} + \tau_{off}$)小於 3 ms 之快速反應，故先選擇測試 LCT-10-831 和 LCT-10-832 兩組液晶，液晶參數如表 4.5。

表 4.5 TN 液晶參數

| Physical Properties | | LCT-10-831 | LCT-10-832 |
|-----------------------|------------------|------------|------------|
| Clearing Point | T_c | 75.5 °C | 74.5 °C |
| Optical Anisotropy | Δn | 0.1000 | 0.1011 |
| Dielectric Anisotropy | $\Delta\epsilon$ | 10.2 | 5.1 |
| Rotational Viscosity | γ | 67 mPas | 62 mPas |

兩者液晶材料差異只有介電係數分別為 10.2、5.1，黏滯係數均小於 100 mPa sec。

先製作兩個穿透式 TN cell (twist angle 90°)，分別注入 LCT-10-831 與 LCT-10-832，量測

電壓對穿透率曲線(V-T curve)與反應時間(response time)，結果如圖 4.2、圖 4.3。

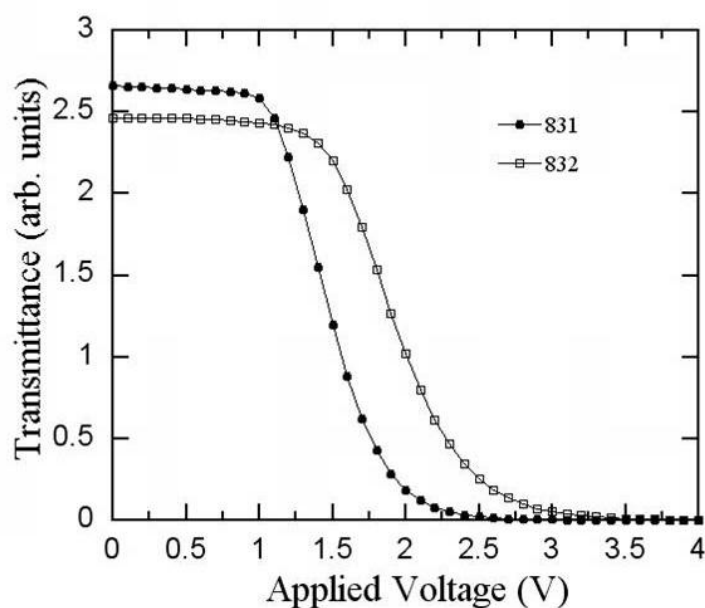


圖 4.2 LCT-10-831 與 LCT-10-832 V-T curve

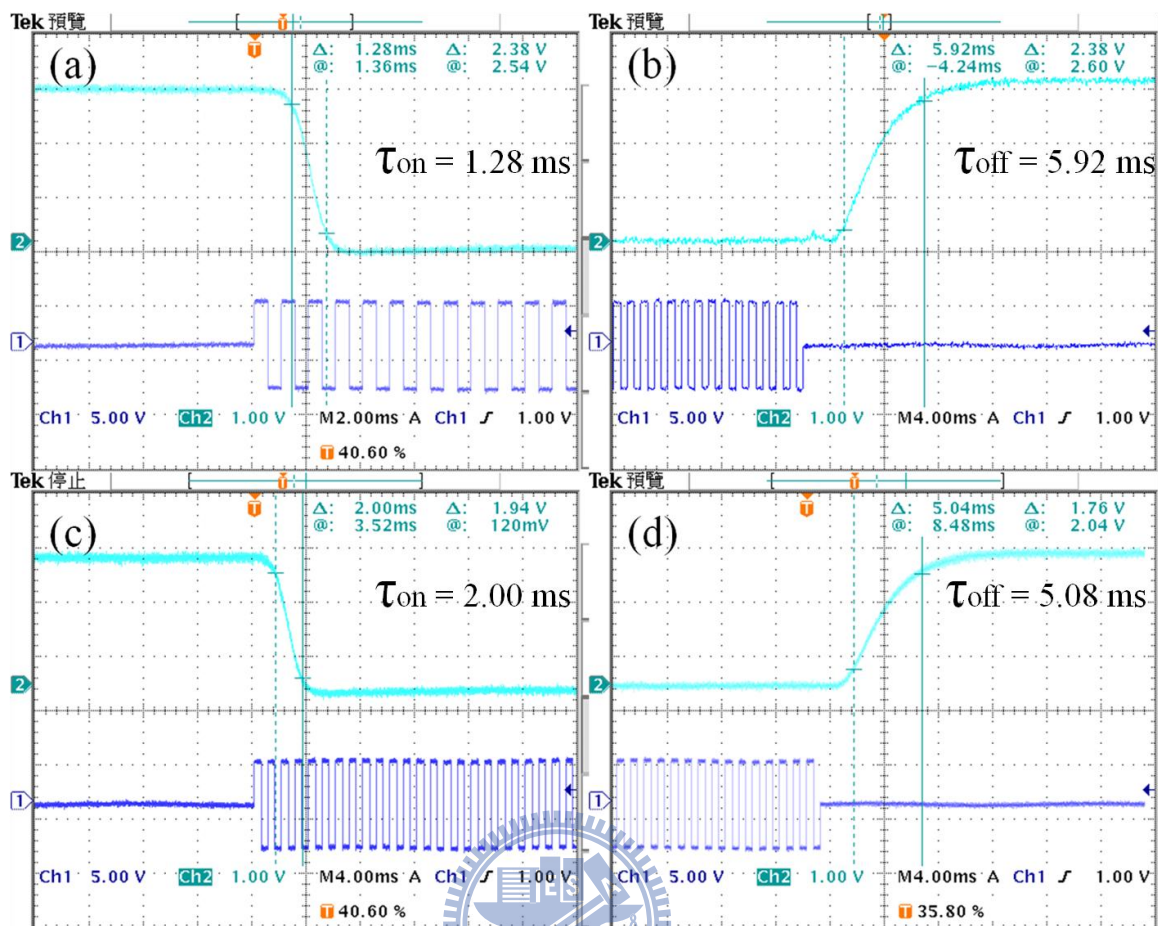


圖 4.3 (a) (b)LCT-10-831 與(c) (d)LCT-10-832 反應時間

表 4.6 LCT-10-831 和 LCT-10-832 驅動特性

| LC | Cell gap | Vth | Vsat | τ_{on} | τ_{off} | Response time |
|------------|--------------------|-------|-------|-------------|--------------|---------------|
| LCT-10-831 | 3.62 μm | 1.1 V | 2.7 V | 1.28 ms | 5.92 ms | 7.2 ms |
| LCT-10-832 | 3.70 μm | 1.6 V | 3.5 V | 2.00 ms | 5.04 ms | 7.0 ms |

由於兩種液晶材料差異只有 $\Delta\epsilon$ 值大小，由表 4.6 可知兩者的反應時間($\tau_{on} + \tau_{off}$) 皆為 7 ms 左右，表示 $\Delta\epsilon$ 值只影響這兩種液晶的驅動電壓 Vth 和飽和電壓 Vsat 大小，而對於液晶反應時間影響不大，所以後續的反射式扭轉向列型液晶模式將使用驅動電壓和飽和電壓較低的 LCT-10-831 液晶。

4.2.2 扭轉角度

由 eq.2-3 可知，當入射偏振光與第一層液晶排列方向夾角 $\beta=0^\circ$ 時，兩側液晶扭轉角度(twist angle) $\phi = \frac{\sqrt{2}\pi}{4}$ (約 63.6°) 時有最大反射值。實做兩個 cell gap 皆為 $1.3 \mu\text{m}$ 之反射式 TN 液晶盒，扭轉角度分別為 63° 與 90° ，使用綠光雷射(波長為 550 nm)量測電壓對反射率曲線(V-R curve)，實驗結果如圖 4.4。

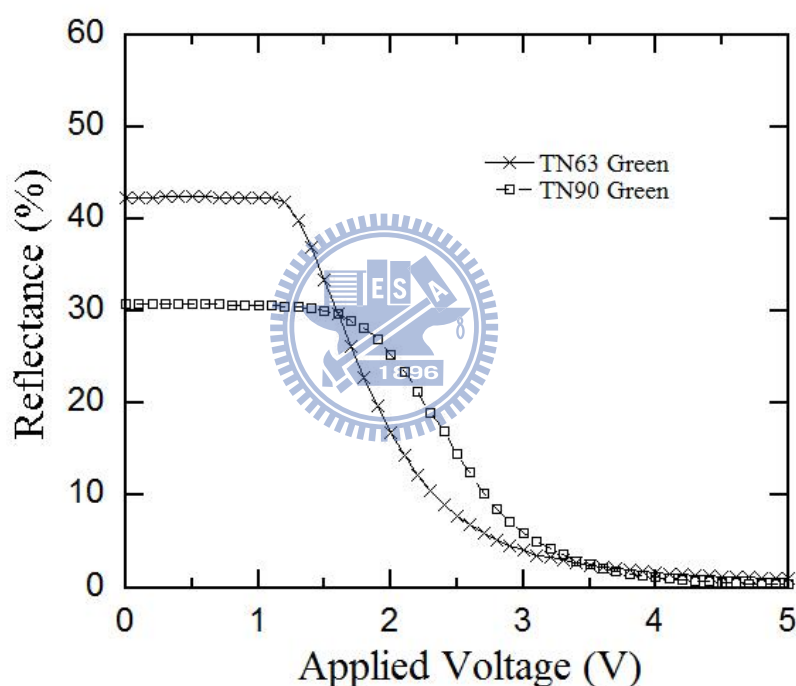


圖 4.4 Twist angle 63° 、 90° V-R curve

由結果可看到，同樣 cell gap 的液晶盒，twist angle 63° 反射率比 twist angle 90° 高大約 12%；由於液晶分子在未加電壓時的扭轉角度不同，在加電壓之後液晶分子的扭轉角與方向也就不相同，故有不同的相位延遲，所以在 V-R curve 的表現上，twist angle 會影響到驅動時曲率的不同。實驗結果與理論符合。

4.2.3 反射率對電壓關係

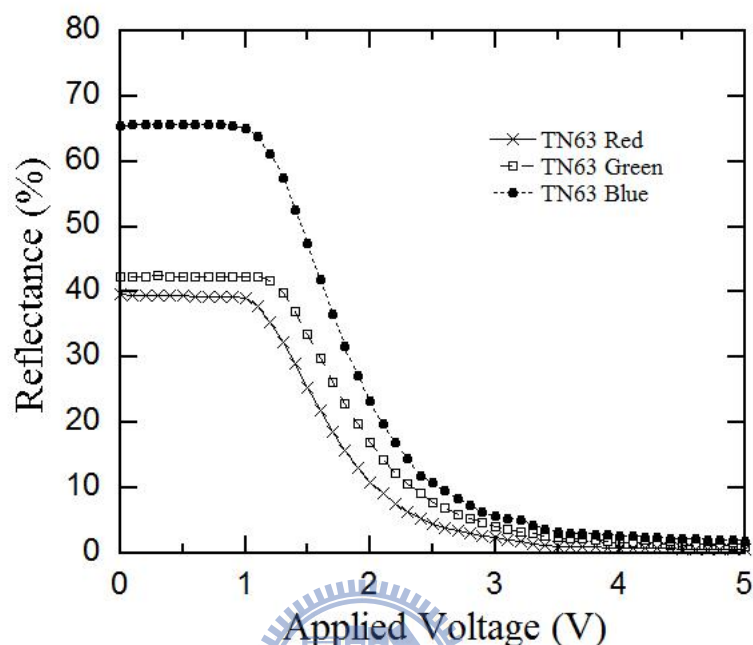


圖 4.5 1.3 μm TN63 cell RGB V-R curve

圖 4.5 為扭轉角度 63° ，cell gap 1.3 μm ，TN cell 反射率對電壓關係圖，其中使用紅、綠、藍三種雷射光源，波長分別為 633 nm、550 nm、432 nm。由於反射率與 $d\Delta n/\lambda$ 有關，可看出液晶盒對三種不同波長有不同的反射率，使用紅、綠、藍三色光源 $d\Delta n/\lambda$ 分別為 0.205、0.236、0.301，對照理論值如圖 4.6，可得到理論反射率分別約為 60%、68%、90%，由於理論值並未考慮液晶層和反射層的吸收和能量損耗，所以實驗所得之反射率符合理論值。

| 表 4.7 反射最大值參數 | | |
|---|--|--|
| $\beta = 0^\circ$ | $\beta = 15^\circ$ | $\beta = 30^\circ$ |
| $d\Delta n/\lambda = 0.35$ | $d\Delta n/\lambda = 0.5$ | $d\Delta n/\lambda = 0.62$ |
| (1) $d = 1 \mu\text{m}$, $\Delta n \sim 0.2$ | (1) $d = 1 \mu\text{m}$, $\Delta n \sim 0.275$ | (1) $d = 1 \mu\text{m}$, $\Delta n \sim 0.341$ |
| (2) $\Delta n \sim 0.1$, $d = 2 \mu\text{m}$ | (2) $\Delta n \sim 0.1$, $d = 2.75 \mu\text{m}$ | (2) $\Delta n \sim 0.1$, $d = 3.41 \mu\text{m}$ |

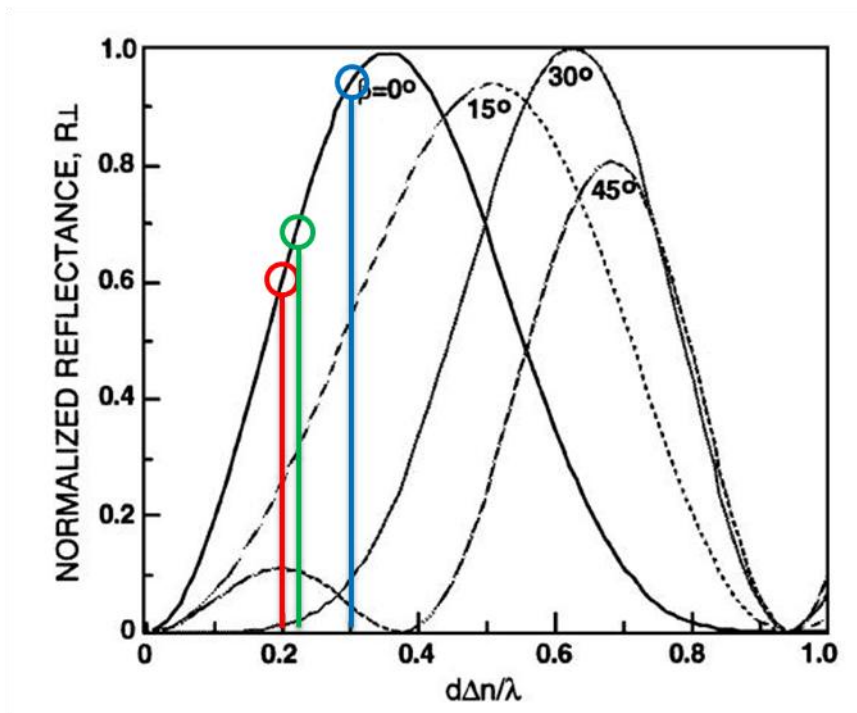
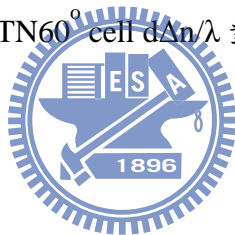


圖 4.6 TN60° cell $d\Delta n/\lambda$ 對反射率理論值



由理論值考慮綠光(550 nm)反射率最大值，可以調整液晶盒 cell gap 厚度，或是選擇不同 Δn 的液晶材料；而反射率除了與 $d\Delta n/\lambda$ 有關以外，也與入射偏振光與第一層液晶排列方向夾角 β 相關，考慮 $\beta = 0^\circ$ 、 15° 、 30° 時反射率最大參數，若液晶 $\Delta n \sim 0.1$ 則 cell gap 分別為 $2 \mu\text{m}$ 、 $2.75 \mu\text{m}$ 、 $3.41 \mu\text{m}$ ；cell gap 大小會影響到反應速率的快慢，若固定 cell gap 為 $1 \mu\text{m}$ ，則所需使用液晶材料 Δn 分別為 0.2、0.275、0.341，如表 4.7，由於高 Δn 液晶材料較不易取得，所以下節將固定液晶 $\Delta n \sim 0.1$ 並對反應時間以及 cell gap 厚度關係做量測分析。

4.2.4 液晶盒間隙厚度對反應時間關係

本節將針對 cell gap 厚度對反應時間的關係做實驗分析，分別製作 cell gap $0.7\ \mu\text{m}$ 、 $1.13\ \mu\text{m}$ 、 $1.24\ \mu\text{m}$ 、 $1.5\ \mu\text{m}$ 、 $2.3\ \mu\text{m}$ 之 TN 液晶盒，反應時間的實驗結果如圖 4.7、圖 4.8、圖 4.9，可由關係推估 cell gap 約 $2\ \mu\text{m}$ 即可得到反應時間 $3\ \text{ms}$ 的快速驅動，而此時也將有最大的反射值；若希望反應時間小於 $1\ \text{ms}$ ，可控制 cell gap 約在 $1\ \mu\text{m}$ ，但是會降低反射率。

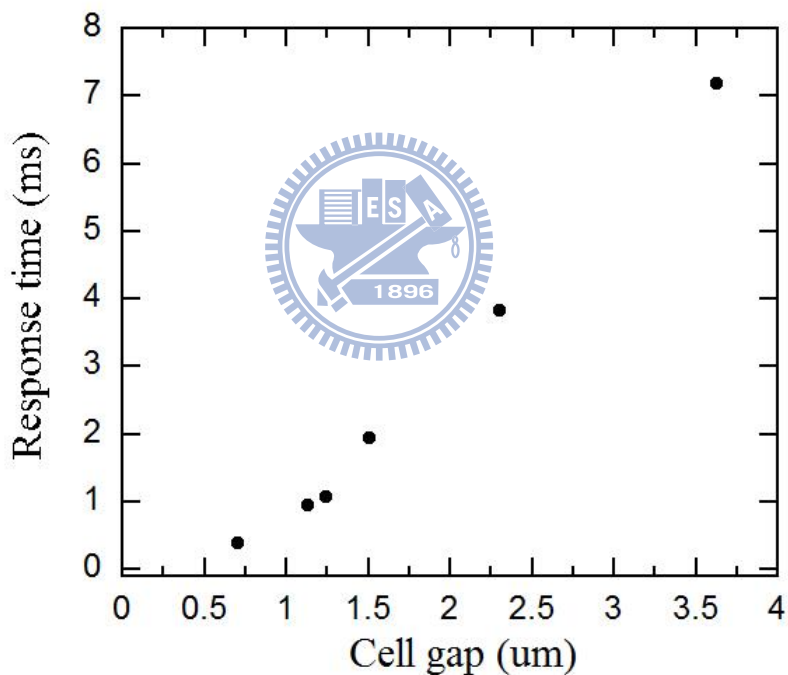


圖 4.7 cell gap 與反應時間關係

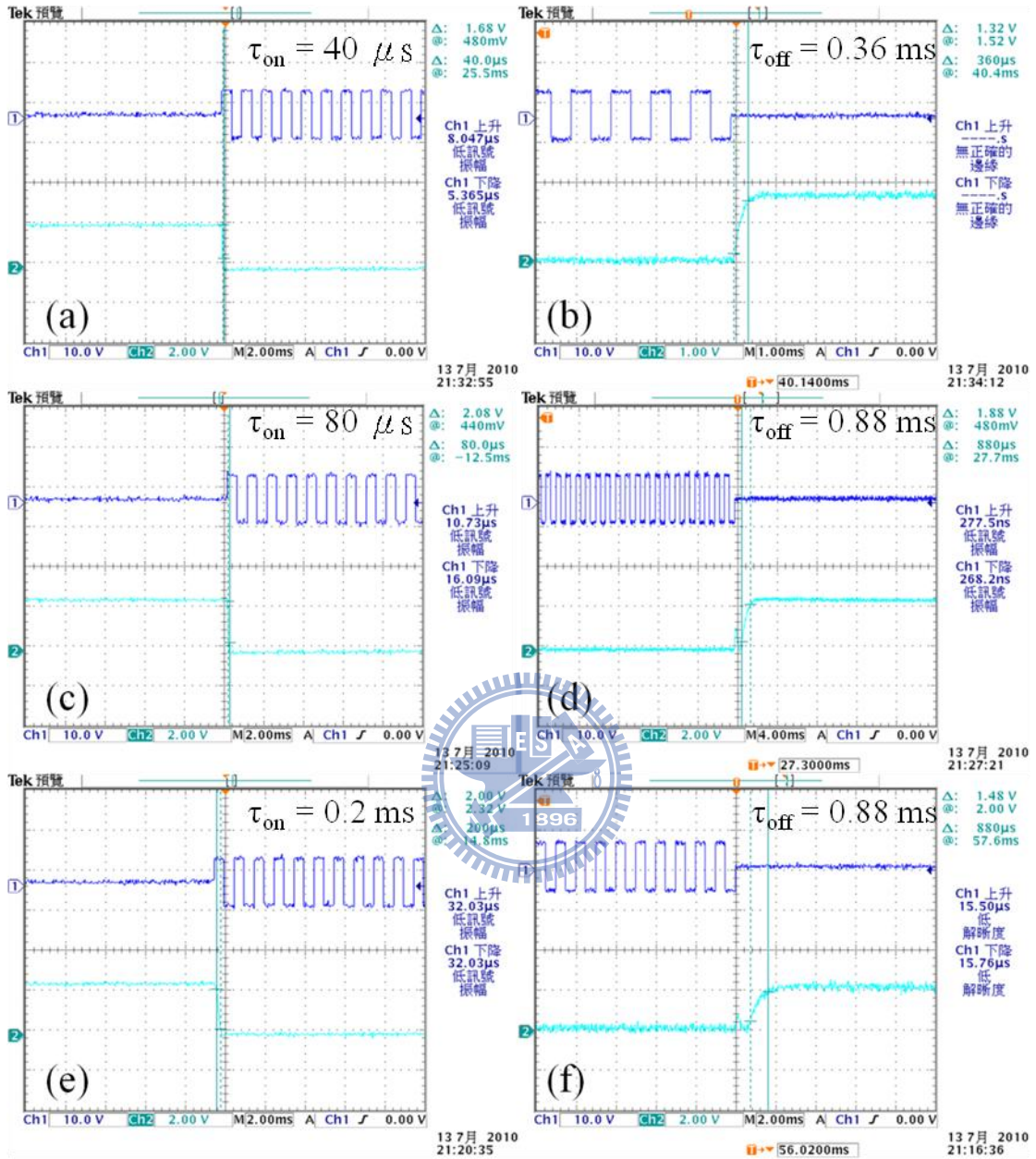


圖 4.8 Cell gap (a) (b)0.7 μm (c) (d)1.13 μm (e) (f)1.24 μm 反應時間

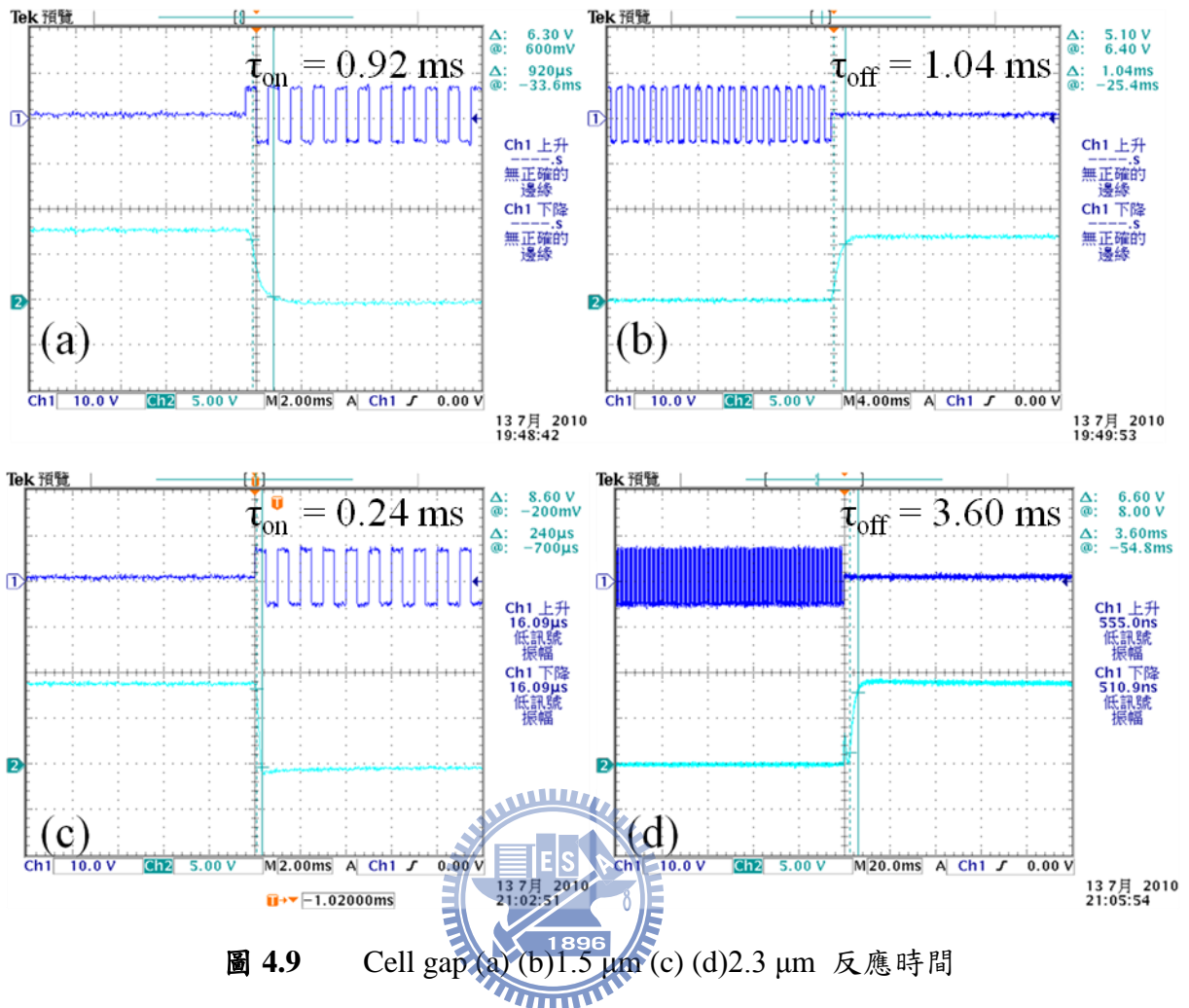


圖 4.9 Cell gap (a) (b)1.5 μm (c) (d)2.3 μm 反應時間

4.2.5 實驗結果討論

TN 模式使用於投影型反射式元件上時，由於光線是垂直入射面板再垂直反射出來，不需考慮視角問題，所以 TN 模式視角不佳的缺點在實際應用上便不會有太大的問題，故此研究重點著重於如何達到最佳反射率與最佳的反應速率。

從研究的結果來看，在 $\beta = 0^\circ$ ， $d\Delta n/\lambda = 0.35$ 會有最佳的反射率，而若同時想要得到最佳的反應速率，如何搭配液晶材料 Δn 並控制液晶盒厚度以達到高反射率與最佳反應速率是未來使用快速扭轉向列液晶模式的重點。而在此研究中使用低旋轉黏滯係數的液晶材料 LCT-10-831，使液晶盒厚度小於 $2\mu\text{m}$ 即可成功的達到反應時間小於 3ms 的反射式 TN 模式快速反應。

4.3 反射式光學補償彎曲液晶模式

玻璃基板使用 FLC PI 做為配向層，鍍鋁基板則使用 VA PI 做為配向層，使液晶分子排列形成 HAN cell 結構，達成反射式 OCB 模式。

4.3.1 液晶材料

R-OCB 模式所使用液晶為 ZCE-5096XX (from Chisso)，液晶參數如表 4.8。

表 4.8 OCB 液晶材料參數

| Sample | ZCE-5096XX | |
|---------------------------------------|------------------------------|-------|
| $T_{N \rightarrow C[S]}$ | <-20 °C | |
| $T_{N \rightarrow I}$ | 95.5 °C | |
| Viscosity η (at 20°C) | 46.7 mPa · s | |
| Optical anisotropy (at 25°C 589nm) | Δn | 0.158 |
| | n_e | 1.662 |
| | n_o | 1.504 |
| Dielectric anisotropy (at 25°C) | $\Delta \epsilon$ | 10.0 |
| | $\epsilon_{ }$ | 14.1 |
| | ϵ_{\perp} | 4.1 |
| Specific resistivity ρ (at 25°C) | >1.5*10 ¹⁴ Ω · cm | |
| K_{11} | 9.8 dyne | |
| K_{22} | 5.8 dyne | |
| K_{33} | 11.8 dyne | |
| γ_1 | 178 mPas | |

4.3.2 反射率對電壓關係

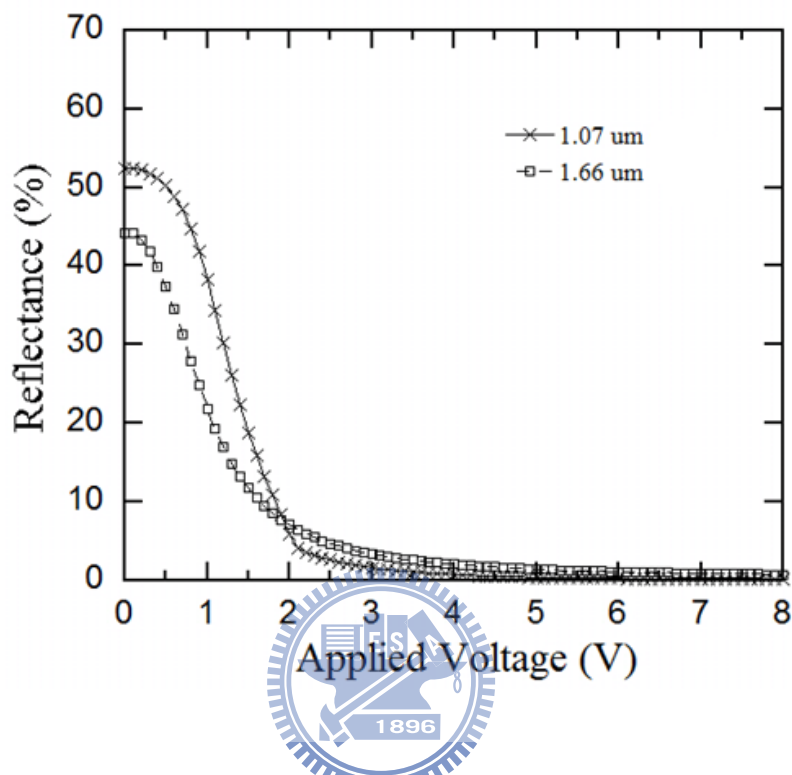


圖 4.10 反射式 OCB cell V-R curve

由於反射式 OCB 模式 HAN cell 的排列初始態即如同 OCB 模式的工作態(bend state)，所以由 V-R curve 可以看到反射式 OCB 模式並不需要轉態，也就不會有轉態電壓 V_c 。實做 1.07 μm 、1.66 μm 反射式 OCB cell 電壓對反射率關係圖如圖 4.10。OCB 在使用上最大的問題為需要轉態電壓和轉態時間，而應用在反射式顯示技術上，HAN cell 的結構即可克服這兩個問題。成功的達成無需轉態的反射式 OCB 模式。

4.3.3 液晶盒間隙厚度對反應時間關係

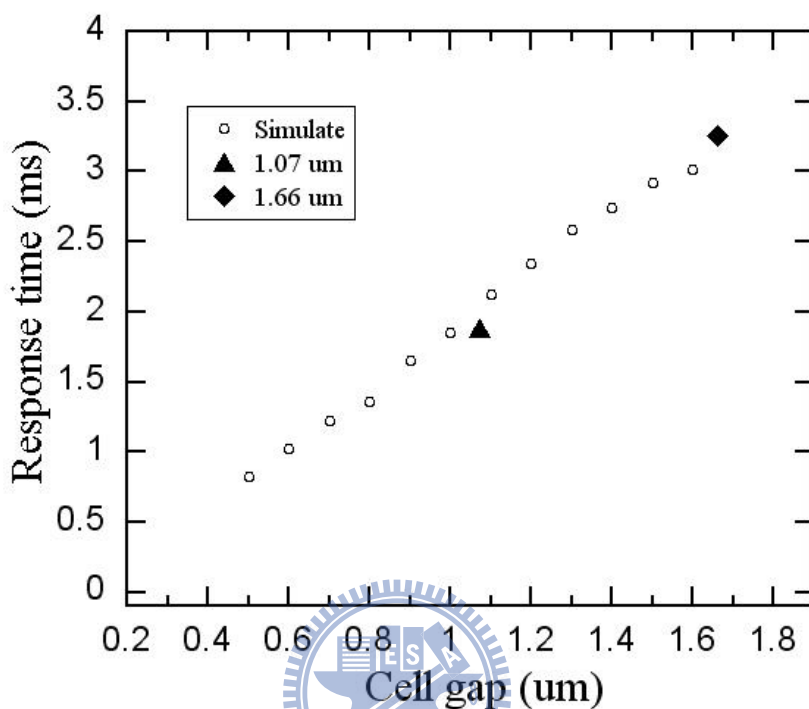


圖 4.11 反應時間對 cell gap 關係圖

實做 $1.07\ \mu\text{m}$ 、 $1.66\ \mu\text{m}$ 反射式 OCB cell 反應時間分別為 $1.88\ \text{ms}$ 、 $3.26\ \text{ms}$ ，如圖 4.12。配合液晶模擬軟體 Techwiz 模擬反射式 OCB cell 反應時間對 cell gap 關係如圖 4.11。實做 cell 反應時間大致符合模擬結果，由模擬結果的趨勢可以推估當 cell gap 厚度低於 $1.6\ \mu\text{m}$ 即可達到反應時間小於 $3\ \text{ms}$ 的快速反應。

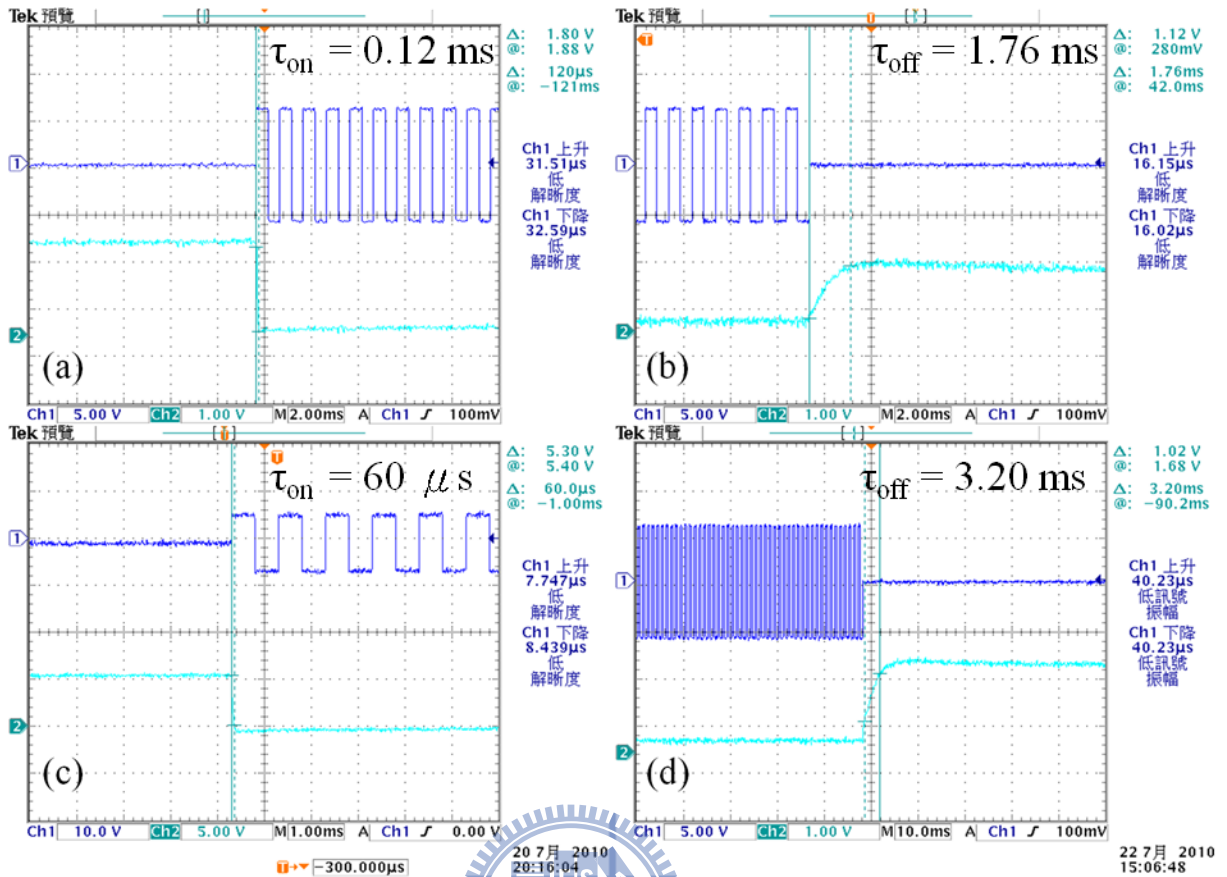


圖 4.12 反射式 OCB cell (a) (b) 1.07 μm 、(c) (d) 1.66 μm 反應時間

4.3.4 實驗結果討論

傳統 OCB 模式在使用於顯示器元件上最大的問題便是其成核現象的轉態過程費時過長，所以便有許多的研究針對如何克服轉態時間過長，本實驗室也有提出過利用 RM 補償膜以及使用奈米粒子的方式解決轉態問題。

此研究利用 HAN cell 的結構，成功的達到無須轉態的反射式 OCB 模式，並且克服傳統使用高預傾角造成相位延遲不足的缺點，並利用模擬軟體得到 cell gap 與反應時間的趨勢，在研究中所使用的液晶材料 ZCE-5096XX，控制 cell gap 小於 1.6 μm ，即可得到反應時間小於 3ms 的快速反應。

4.4 表面穩定鐵電式液晶模式

此模式研究利用非對稱極性的配向層來達到無缺陷反射的 SSFLC 模式，使用 PI 與 PVA 兩種相反極性的配向層，以達到無缺陷排列的反射式 SSFLC 模式。

4.4.1 液晶材料

所使用的液晶材料為 Half-V mode FLC 材料 R3206-50 (I-108.7 N*-75.7 SmC*-24.8 C)， $P_s=9 \text{ nC/cm}^2$ ，cone angle 為 46° ， $\Delta n=0.19$ 。選用此液晶的原因為鐵電式液晶容易受到溫度的影響而改變其驅動特性，而混合 R3206 host 和 R3206 得到 R3206-50，可以在在 30~60 度一般顯示器的工作溫度區間擁有穩定的驅動特性，如圖 4.13。

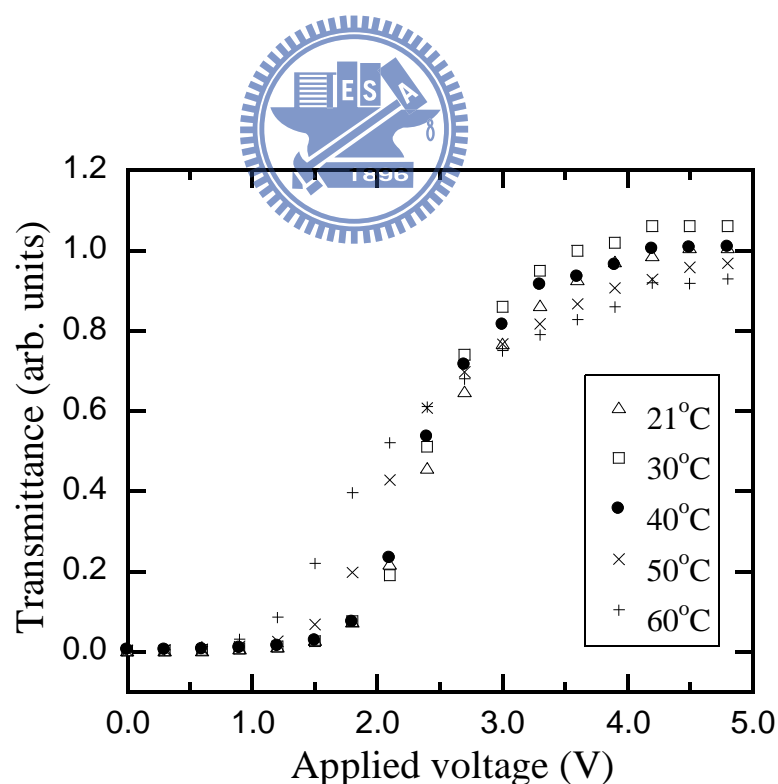


圖 4.13 R3206-50 溫度與驅動特性[25]

4.4.2 無缺陷排列(POM)

先測試配向層極性對稱與非對稱液晶排列差異，分別製作對稱結構(PI- PI)與非對稱結構(PI-PVA)兩種 SSFLC 模式液晶盒並灌入液晶，排列結果在偏光顯微鏡下觀察如圖 4.14。可以明顯地看出對稱結構排列的排列缺陷(two domains)，而非對稱結構則可以得到很好的排列(one domain)，證實配向層極性非對稱可以有效改善 FLC 的排列缺陷，將利用非對稱配向極性結構來進行後續研究。

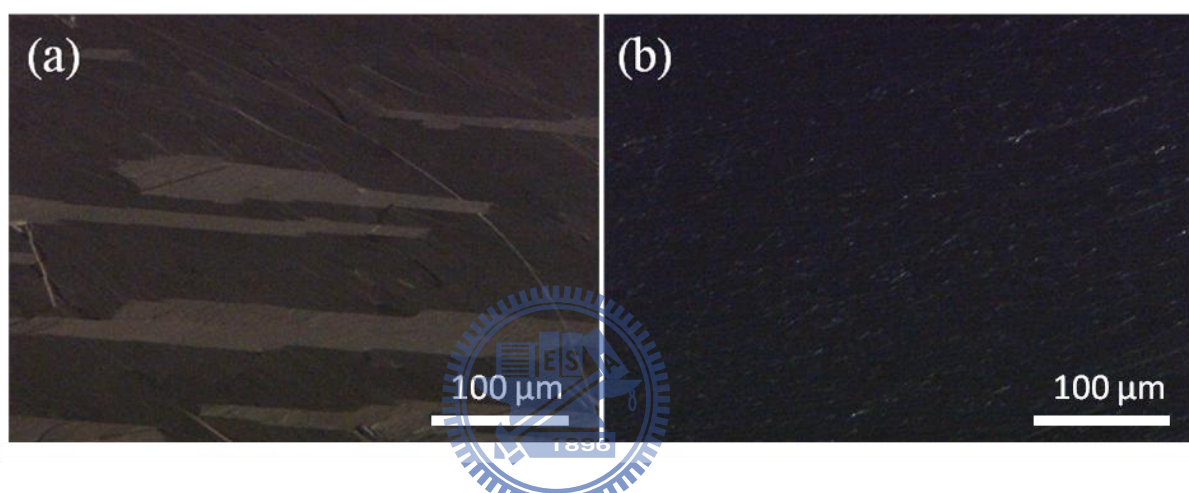


圖 4.14 配向膜極性 (a)對稱(b)非對稱 FLC 排列 POM 圖

4.4.3 反射率對電壓關係

對平行排列的液晶而言，出射光強度為

$$I = \frac{1}{2} E^2 (\sin 2\theta)^2 \left[\sin \frac{1}{2} \left(\frac{2\pi \Delta n d}{\lambda} \right) \right]^2 \quad (\text{eq. 4-1})$$

θ 為液晶排列方向與入射偏振光夾角，當 $\theta=0$ 或 $\pi/2$ 時，出射光 $I=0$ 。

由 eq.4-1 可以推得 cell gap 與出射光強度關係圖如圖 4.15。

不考慮入射光強度，令出射光強度為最大值，

$$\text{則 } \theta=45^\circ \text{ 且 } \sin \frac{1}{2} \left(\frac{2\pi \Delta n d}{\lambda} \right) = 1 \quad (\text{eq. 4-2})$$

即
$$\frac{1}{2} \left(\frac{2\pi\Delta nd}{\lambda} \right) = \frac{\pi}{2} + N\pi, N \text{ 為整數。} \quad (\text{eq. 4-3})$$

以綠光雷射 $\lambda=550 \text{ nm}$ ，最大反射時之 cell gap 為 $1.4 \mu\text{m}$ 、 $4.3 \mu\text{m}$...等。

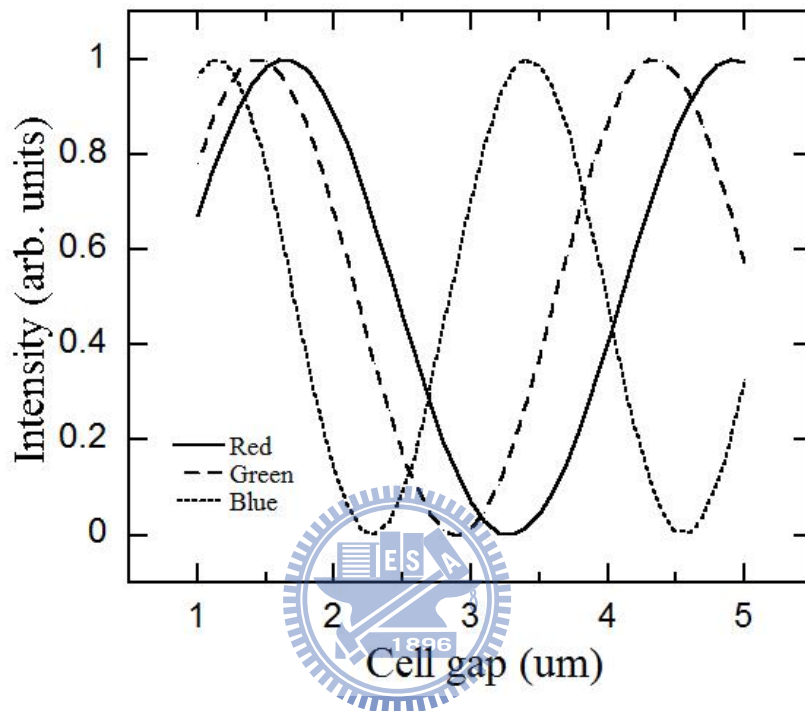


圖 4.15 cell gap 與出射光強度關係圖

圖 4.16 為實做 $1.2 \mu\text{m}$ 反射式非對稱極性鐵電式液晶盒的電壓對反射率關係圖， V_{th} 約為 3.8 V ， V_{sat} 約為 10V 。由於反射式 SSFLC 液晶盒 $1.2 \mu\text{m}$ 光通過路徑長度相當於穿透式 $2.4 \mu\text{m}$ ，對照公式所推導出來之光強度關係圖，紅光反射較強，藍光最弱，由於理論值並不考慮液晶和反射層的光強度損耗，故其出射光強度關係相對關係仍符合理論值。若想要同時得到最佳的紅、綠、藍出光強度，則可控制 cell gap 約在 $1.4 \mu\text{m}$ ，反射式 cell gap 則約 $0.7 \mu\text{m}$ 。

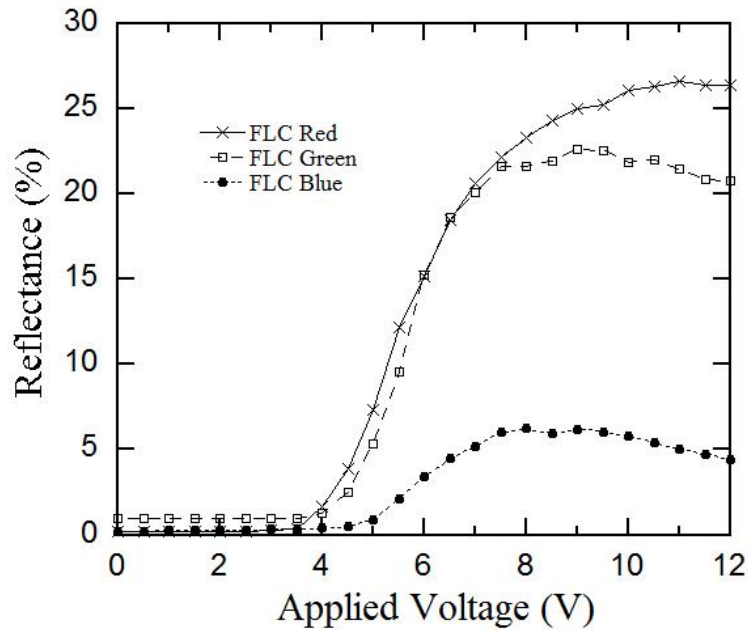


圖 4.16 FLC V-R curve



4.4.4 反應時間

鐵電式液晶之驅動原理與向列型液晶不同，為自發偶極矩會順著電場的方向在 cone 上做轉動，一般而言反應速率遠快於向列型液晶。實做 $1.2\ \mu\text{m}$ 反射式表面穩定鐵電式液晶盒，以階梯式交流電電壓 10V 方式驅動，其反應時間約為 1.1 ms。

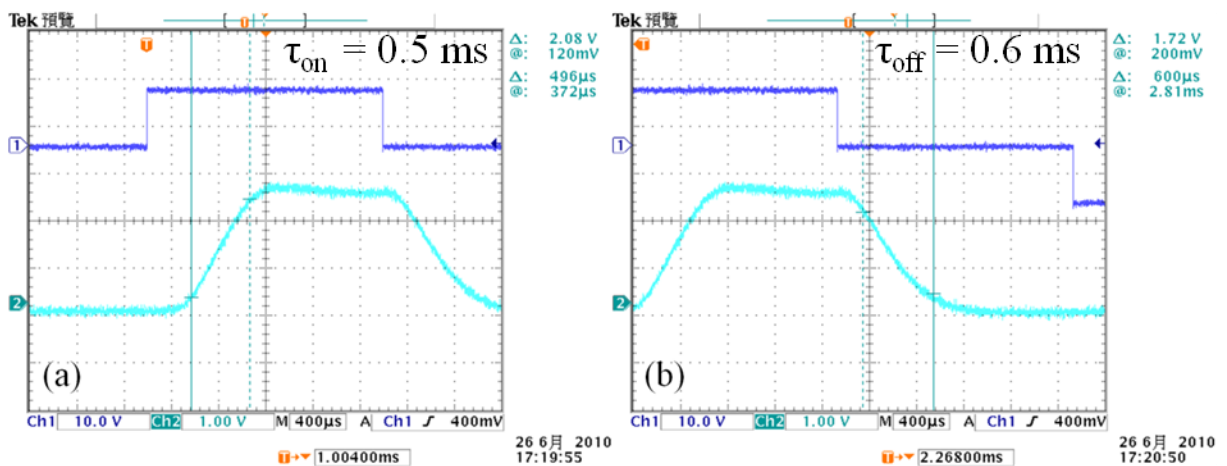


圖 4.17 SSFLC $1.2\ \mu\text{m}$ (a) on (b) off 反應時間

4.4.5 實驗結果討論

鐵電式液晶利用自發偶極矩隨著電場方向轉動形成亮暗態的變化，有著快速反應的特性，而最大的問題為在排列上所產生的水平山形袖章缺陷。在研究中利用表面極性非對稱的配向，成功的達到無缺陷排列的反射式 SSFLC 模式。並從公式中推得紅、綠、藍三色光的反射率與 cell gap 的相對關係。

此研究所使用的液晶材料 R3206-50，在一般顯示器的工作溫度區間有著穩定的驅動特性，當使用於反射式 SSFLC 模式時，cell gap 控制在約 0.7 μm 可以同時得到紅、綠、藍三色皆有最佳反射率。實做 1.2 μm 反射式 SSFLC 液晶盒有反應時間為 1.1 ms 的快速反應。

然而研究中所使用的 PVA 配向材料易受水氣影響，並非一個很好的配向層材料，未來尋找更適合與 PI 搭配之配向層材料為後續的研究課題。



4.5 FLCOS 元件

在前幾節研究中已將三種液晶模式應用於反射式元件，其中 SSFLC 模式擁有最佳的反應速率，而市面上 LCOS 元件使用 nematic 液晶材料較為常見，並已有不少的文獻和研究資料，所以後續的研究將使用 smectic 的液晶材料，並利用反射式 SSFLC 模式，進一步實做於 LCOS 元件，觀察分析其 LCOS 元件結構是否會影響 SSFLC 排列和驅動特性。

SSFLC 模式應用於 LCOS 元件同樣使用配向層極性非對稱之原理以達到無缺線排列，試製 LCOS 元件。在 CMOS 基板側塗佈 PVA，玻璃基板塗佈 FLC PI，cell gap 厚度約為 $1.4\ \mu\text{m}$ 。圖 4.18(a)(b)為實做之 LCOS 元件與 pixel 照，LCOS 元件之 pixel 大小約為 $8*8\ \mu\text{m}$ ，pixel gap 為 $0.5\ \mu\text{m}$ ，pixel gap 為凹槽深約 $30\ \text{nm}$ 。

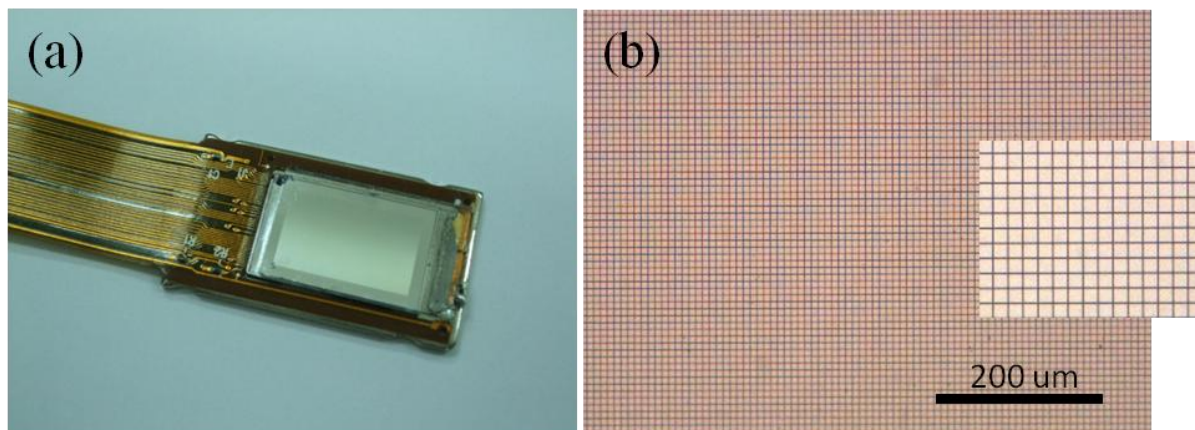


圖 4.18 (a)LCOS 元件 (b)LCOS pixel

4.5.1 無缺陷排列

由於 pixel gap 為凹槽式，所以先測試配向層極性對稱與非對稱液晶排列於 LCOS 元件效果是否會受到凹槽影響其排列，分別製作對稱結構(PI-PI)與非對稱結構(PI-PVA)兩種 SSFLC 模式 LCOS 液晶盒並灌入液晶，排列結果在偏光顯微鏡下觀察如圖 4.19。如同 FLC 反射式元件，FLCOS 同樣可以看出對稱結構排列的排列缺陷，而非對稱結構則可以得到很好的排列，證實配向層極性非對稱在 LCOS 元件內仍可以有效改善 FLC 的排列缺陷，將利用非對稱配向極性(PI-PVA)結構來進行後續研究。

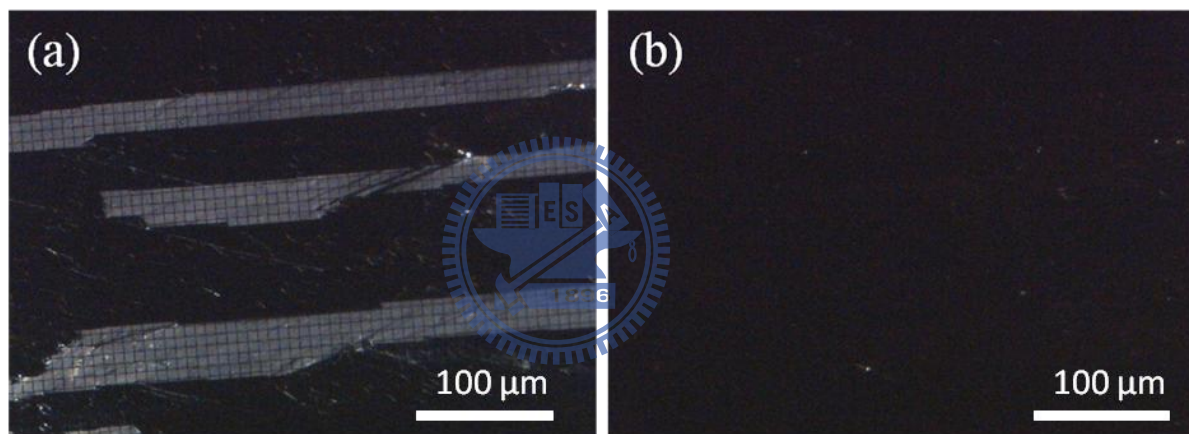


圖 4.19 配向膜極性 (a)對稱(b)非對稱 FLCOS 排列 POM 圖

4.5.2 反射率對電壓關係

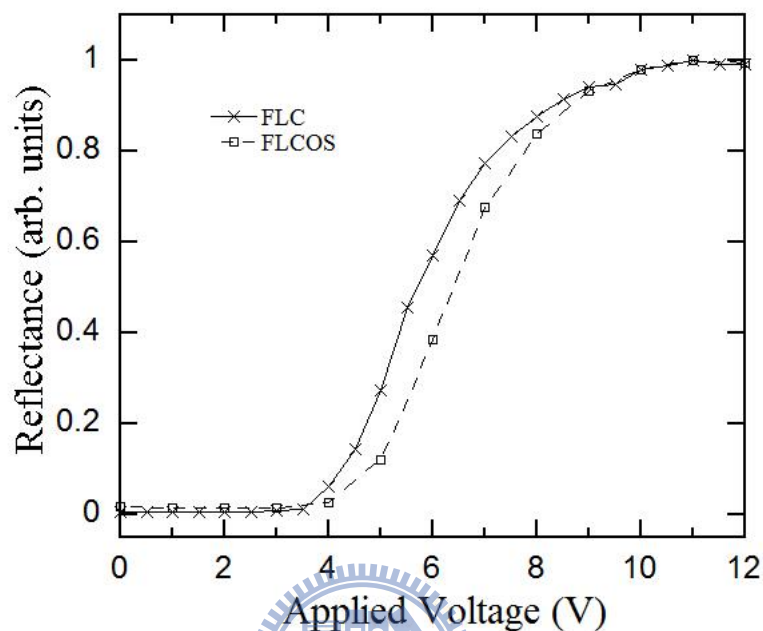


圖 4.20 FLC 與 FLCOS V-R curve

若不考慮 cell gap 影響造成的反射光強度變化，FLC 反射式元件與 FLCOS 元件電壓對反射率關係如圖 4.20，對比兩曲線驅動電壓 V_{th} 為 3.8 V，飽和電壓 V_{sat} 為 10 V，兩者於電壓驅動特性上仍保有一致性，表示將 FLC 元件非對稱極性之方法應用於 FLCOS 同樣可以得到不錯的效果並且有相同驅動特性。

4.5.3 反應時間

上節實做之 $1.2\ \mu\text{m}$ 反射式表面穩定鐵電式液晶盒，其反應時間約為 $1.1\ \text{ms}$ ，而將其應用於 LCOS 元件時， $1.4\ \mu\text{m}$ 之 FLCOS 元件反應時間約為 $1.48\ \text{ms}$ ，如圖 4.21，同樣也有快速反應的特性。

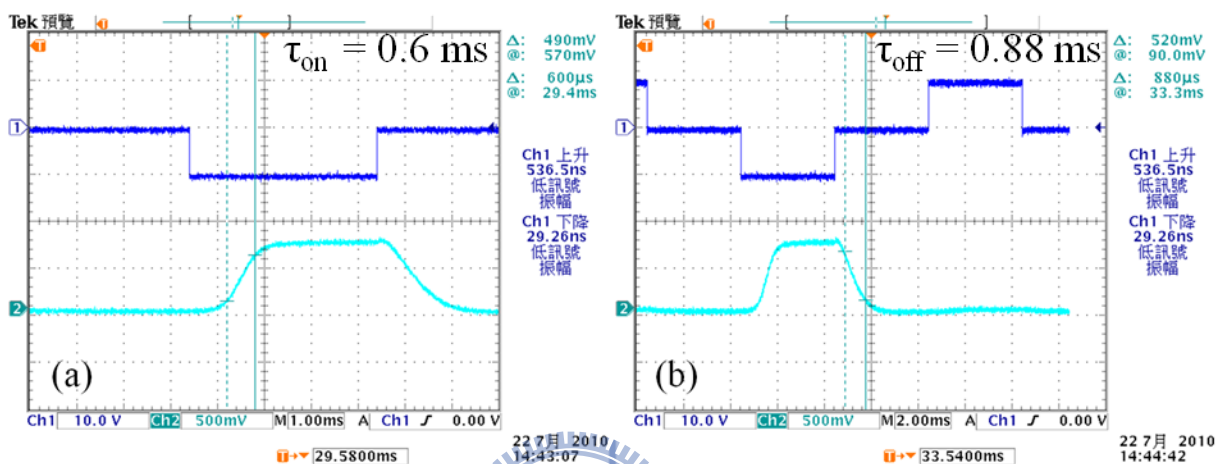


圖 4.21 FLCOS $1.4\ \mu\text{m}$ (a) on (b) off 反應時間

4.5.4 實驗結果討論

表面穩定鐵電式液晶模式對於配向層表面平坦度要求遠高於一般向列型液晶，而 LCOS 元件由於是使用於投影機，每個 pixel 極小，若稍有排列上的缺陷，顯示投影出畫面時便會將缺陷放大幾百倍，所以最重要研究的便是達到無缺陷的排列。

由實驗的結果，使用非對稱極性配向層的方法應用於 LCOS 元件上時，LCOS 元件凹槽式 pixel gap 並不會影響到鐵電式液晶的排列，可以同樣得到無缺陷的良好排列，而驅動特性與反射式 SSFLC 相符，並且擁有快速反應的特性。此研究成功將 SSFLC 模式應用於 LCOS 元件。

第五章

結論

5.1 結論

實驗結果成功的將三種不同的液晶模式(TN、OCB、SSFLC)應用於反射式顯示元件上，並且皆成功的達到反應時間小於 3 ms 的快速反應，而三種模式有不同的優缺點和特點，列出如表 4.9。

表 4.9 反射式液晶模式比較

| 液晶模式 | TN | OCB | SSFLC |
|------|-------|-----|-------|
| 視角 | 小 | 大 | 大 |
| 驅動電壓 | 1.1 V | 0 V | 3.8 V |
| 飽和電壓 | 4 V | 4V | 10 V |
| 亮暗模式 | NW | NW | NB |
| 對比 | 高 | 中 | 低 |
| 反應速度 | 快 | 快 | 最快 |

以視角的部分來討論，雖然 TN 模式的視角最差，然而用於投影型的反射式顯示元件時，入射光與出射光為垂直進出面板，所以 OCB 和 SSFLC 廣視角的優勢不如正向視角對比度的重要，在此要求下，TN 模式的正向對比度則是最佳的。傳統穿透式 OCB 模

式由於需要 7° 左右的預傾角會造成相位延遲較不足，所以其正向對比較差，而當利用 HAN cell 結構時，便可以使用較低預傾角配向，比穿透式 OCB 模式多了較低傾角的液晶相位延遲量，所以反射式 OCB 模式之對比度較穿透式 OCB 模式高。而 SSFLC 模式雖然利用表面非極性方式配向可以去除排列上的缺陷，克服暗態漏光的缺點而大幅提升其對比度，然而由於他是屬於 normally black 的液晶模式，先天上的暗態受限使得對比度較 TN 模式和 OCB 模式差，雖然其對比度較差，不過卻也有最佳的液晶反應速率。

在此研究中，由於這三種的快速液晶模式理論和工作機制原理皆不相同，針對各種模式的不同的特性作研究並應用於反射式顯示技術。反射式 TN 模式利用低黏滯係數液晶材料並壓低液晶盒間隙厚度使其快速反應，尋找到扭轉角度、液晶材料 Δn 與反射率的最佳參數。反射式 OCB 模式其彎曲態對稱的特性、反射式顯示鏡向反射的特點，使用 HAN cell 結構使光經由反射之後之路程如同 OCB 模式彎曲態，克服傳統 OCB 模式轉態時間以及轉態電壓的缺點。反射式 SSFLC 模式利用配向層表面極性非對稱之方法，克服其水平山形袖章缺陷排列並應用於 FLCOS 元件。此論文研究將三種液晶模式成功應用於反射式元件並且找到最佳的製程參數使其達到反應時間皆小於 3 ms 之快速反應。

4.2 未來展望

光源場色序法驅動方式勢必為未來反射式投影顯示技術之主流，所以不同快速液晶的研究仍是未來發展之重點。對此研究中所使用到的三種反射式快速液晶模式而言，反射式 TN 模式如何選擇液晶材料，對於其反應速率與反射率的影響仍需更進一步研究。反射式 OCB 模式由於應用於投影顯示，投影顯示為正向入射反射，所以 OCB 模式優點之一的廣視角就不再是優勢，其正向對比較差則有待於利用補償膜技術克服。反射式 FLC 利用 PVA 與 PI 達到無缺陷排列，然而 PVA 並非很好的配向層材料，易受水氣影響其特性，所以未來尋找更適合與 FLC PI 搭配之配向材料為其中一個課題。

Reference

- [1] F. Reinitzer, Monatsh., "Beiträge zur Kenntniss des Cholesterins" *Chem.* **9**, 421 (1888).
- [2] O. Lehmann, "Über fließende Krystalle," *Z. Physik. Chem.* **4**, 462 (1889).
- [3] P. J. Bos, J. A. Rahma, and J. W. Doane, "A low-threshold-voltage polymer network TN device" *Society for Info. Disp. Symp. Digest Tech.* **24**, 887 (1993).
- [4] Y. Tanaka, Y. Taniguchi, T. Sasaki, A. Takeda, Y. Koibe, and K. Okamoto, "A new design to improve performance and simplify the manufacturing process of high-quality MVA TFT-LCD panels" *Society for Info. Disp. Symp. Digest*, 206 (1999).
- [5] S. Matsumoto, M. Goto, S. Choi, Y. Takanishi, K. Ishikawa, H. Takezoe, G. Kawamura, I. Nishiyama, and H. Takada, "Phase grating using a ferroelectric liquid-crystal mixture with a photocurable liquid crystal" *J. Appl. Phys.* **99**, 113709 (2006).
- [6] S. Matsumoto, M. Goto, S. Choi, Y. Takanishi, K. Ishikawa, H. Takezoe, G. Kawamura, I. Nishiyama, and H. Takada, "Phase grating using a ferroelectric liquid-crystal mixture with a photocurable liquid crystal" *J. Appl. Phys.* **99**, 113709 (2006).
- [7] Y. Lee, K. Lee, Y. Chio, and J. Kim, "Fast Bistable Microlens Arrays Based on a Birefringent Layer and Ferroelectric Liquid Crystals" *Jpn. J. Appl. Phys.* **47**, 6343 (2008).
- [8] Y. Lee, K. Lee, Y. Chio, and J. Kim, "Fast Bistable Microlens Arrays Based on a Birefringent Layer and Ferroelectric Liquid Crystals" *Jpn. J. Appl. Phys.* **47**, 6343 (2008).
- [9] J. V. D. Steen, "Design of LCOS Microdisplay Backplane for Projection Applications." (2005).
- [10] 黃素真 "液晶顯示器" *科學發展* 2002 年 1 月, 349 期 p.30~p.37.
- [11] S. T. Wu and C. S. Wu, "Bisector Effect on the Twisted-Nematic Cells" *Jpn. J. Appl. Phys.* **47**, 1497 (1998).

- [12]C. T. Lee, S. F. Chen, and Huang-Ming Philip Chen, “Nanostructure Structure Effect on Transition in Pi-cells” *IDMC’07*, pp.78-80 (2007).
- [13]J. W. Goodby, R. Blinc, N. A. Clark, S. T. Lagerwall, et al., “Ferroelectric Liquid Crystal Principles, Properties and Applications” Gordon and Breach Science.
- [14]N. A. Clark, S. T. Lagerwall, “Submicrosecond bistable electro–optic switching in liquid crystals” *Appl. Phys. Lett.*, **36**, 899 (1980).
- [15]J. P. F. Lagerwall, F. Giesselmann, “Current Topics in Smectic Liquid Crystal Research” *Chem. Phys. Chem.*, **7**, 20 (2006).
- [16]K. H. Yang and T. C. Chieu, “Dominant Factors Influence the Bistability of Surface-Stabilized Ferroelectric Liquid Crystal Devices” *Jpn. J. Appl. Phys.* **28**, L1599 (1989).
- [17]S. Y. Tzeng, T. Y. Lin, R. H. Huang, J. J. Wu, and S. L. Wu, “Thresholdless, hysteresis-free, V-shaped, electro-optical switching for a ferroelectric liquid crystal cell” *Phys. Rev. E*, **70**, 011712 (2004).
- [18]M. Copic, J. E. MacLennan, and N. A. Clark, “Structure and dynamics of ferroelectric liquid crystal cells exhibiting thresholdless switching” *Phys. Rev. E*, **65**, 021708 (2002).
- [19]V. Manjuladevi, Y. P. Panarin, and J. K. Vij, “Experimental study for the conditions of analog switching in ferroelectric liquid crystal cells” *Appl. Phys. Lett.*, **91**, 052911-1 (2007).
- [20]J. S. Patel, “Ferroelectric liquid crystal modulator using twisted smectic structure” *Appl. Phys. Lett.*, **60**, 280 (1992).
- [21]J. Funfschilling and M. Schadt, “Fast responding and highly multiplexible distorted helix ferroelectric liquid–crystal displays” *J. Appl. Phys.*, **66**, 3877 (1989).
- [22]Y. Asao, T. Togano, M. Terada, T. Moriyama, S. Nakamura and J. Iba, “Novel Ferroelectric Liquid Crystal Mode for Active Matrix Liquid Crystal Display Using Cholesteric–Chiral Smectic C Phase Transition Material” *Jpn. J. Appl. Phys.*, **38**, 5977

(1999).

- [23] T. Hatano, K. Yamamoto, H. Takezoe and A. Fukuda, "Alignment Controls and Switching Characteristics in a Ferroelectric Liquid Crystal with the Phase Sequence of $N^*-S_C^*$ " *Jpn. J. Appl. Phys.*, **25**, 1762 (1986).
- [24] T. Hatano, K. Yamamoto, H. Takezoe and A. Fukuda, "Alignment Controls and Switching Characteristics in a Ferroelectric Liquid Crystal with the Phase Sequence of $N^*-S_C^*$ " *Jpn. J. Appl. Phys.*, **25**, 1762 (1986).
- [25] C. W. Lin, C. I. Hsu, and H. M. Philip Chen, "Surface Polarity Controlled Horizontal Chevron Defect Free Surface Stabilized Ferroelectric Liquid Crystal Devices" *SID 2009 Digest*, 1003 (2009).
- [26] J. S. Patel and J. W. Goodby, "Alignment of liquid crystals which exhibit cholesteric to smectic C^* phase transitions" *J. Appl. Phys.*, **59**(7), 2355 (1986).
- [27] H. M. Philip Chen and C. W. Lin, "Free alignment defect, low driving voltage of half-V ferroelectric liquid crystal device" *Appl. Phys. Lett.*, **95**, 083501, (2009).
- [28] C. W. Lin, C. Y. Hsu, and H. M. Philip Chen, "Plasma Alignment Technology For Liquid Crystal Devices" *IDMC 2009*, (2009).
- [29] C. W. Lin, C. I. Hsu, C. H. Liao and H. M. Philip Chen, "Horizontal Chevron Defect Free Half-V Mode Ferroelectric Liquid Crystal Devices Based on Asymmetrical Hybrid Alignment Techniques" *SID 2010 Digest*, 391 (2010).