

國立交通大學

光電工程研究所

碩士論文

反射式垂直排列液晶顯示器之特性研究

Study on the Properties of Reflective Vertical-Alignment

Liquid Crystal Displays



研究生：蕭舒展

指導教授：王淑霞

中華民國九十二年六月

反射式垂直排列液晶顯示器之特性研究

Study on the Properties of Reflective Vertical-Alignment

Liquid Crystal Displays

研究生：蕭舒展

Student : Shu-Chan Hsiao

指導教授：王淑霞

Advisor : Shu-Hsia Chen

國立交通大學光電工程研究所

碩士論文

A Thesis

Submitted to Institute of Electro-Optical Engineering
College of Electrical Engineering and Computer Science

National Chiao Tung University

In Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Master

In

Electro-Optical Engineering

June 2003

中華民國九十二年六月

反射式垂直排列液晶顯示器之特性研究

研究生：蕭舒展

指導教授：王淑霞 老師

國立交通大學光電工程研究所

摘 要

液晶盒參數對於液晶顯示器的光學特性有很大的影響，而目前的文獻中並沒有準確量測反射式垂直排列液晶盒厚度及預傾角的方法。在本篇論文中我們藉由量測液晶層的相位差，經由理論分析可同時得到反射式垂直排列液晶盒的厚度及預傾角。另一方面我們也藉由模擬及實驗上的觀察探討邊際電場在不同畫素大小及畫素間距下對於反射率及對比度的影響。

Study on the Properties of Reflective Vertical-Alignment Liquid Crystal Displays

Student : Shu-Chan Hsiao

Advisor : Shu-Hsia Chen

**Institute of Electro-Optical Engineering
National Chiao Tung University**

Abstract

The optical properties of LCDs are sensitive to the structural parameters of liquid crystal cells. At present, there is no accurate method for the cell gap and pretilt angle measurements of reflective vertical-alignment liquid crystal displays. In this thesis, we proposed a new method to determine both the cell gap and pretilt angle of reflective VA-LCDs simultaneously from phase retardation measurement. On the other hand, we investigate the influences of fringing field effects on the reflectance and the contrast ratio with different pixel sizes and pixel gaps via simulations and experimental observations.

誌謝

時間過的真快轉眼間已經來交大兩年了，很幸運的進入液晶實驗室這個大家庭，讓我兩年的碩士生涯不僅充實了知識也充滿了歡笑，現在即將畢業投入工作心裡有些不捨而也有些興奮的將進入另一個新環境。

感謝指導教授王淑霞老師，老師不論在課業上的教導、研究上的指導及為人處事上的諄諄教誨都讓我受益良多。感謝梁寶芝學姊在繁忙的教職工作中抽空指導我的碩士論文。感謝大師兄、勇哥、寬哥、秋蓮學姊、芝珊學姊、雄哥、范姜學長及姚博同學，還有政嵘、揚宜、信全、庭瑞、朝旭、英豪學長們，謝謝你們兩年來在學業上的指導及生活上的照顧，尤其是謝志勇學長不但要忙著自己的研究還要幫忙我們這些學弟們作研究上的指導和討論。感謝寬哥與范姜在吹風時給我的支持及鼓勵。感謝實驗室的同學建宏、德源及世郁在研究上的相互幫助，還有品發學弟、美琪學妹的協助。

感謝我的父母，謝謝你們這些年來的默默付出，讓我能夠順利取得碩士學位。感謝在我求學生涯各階段的同學、好朋友們，謝謝你們讓我在求學過程更順利。

目 錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
第一章 緒言.....	1
第二章 量測原理.....	3
2-1 相位差量測原理.....	3
2-2 厚度量測原理.....	5
2-3 預傾角量測原理.....	10
第三章 實驗.....	13
3-1 樣品的製作.....	13
3-2 實驗儀器的架設.....	16
3-3 量測步驟及注意事項.....	18
第四章 量測結果與討論.....	19
4-1 厚度及預傾角量測結果.....	19
4-2 厚度對反應速度的影響.....	22
4-3 討論.....	24
4-3-1 預傾角對厚度的影響.....	24

4-3-2 討論不同區間所外差出的厚度及誤差.....	25
4-3-3 評估預傾角的誤差.....	26
4-3-4 分光鏡的影響.....	28
4-3-5 液晶光軸與偏光片夾角有一小角度誤差的影響....	29
第五章 邊際電場對於反射率及對比度的影響.....	31
5-1 模擬不同畫素間距及畫素大小.....	31
5-1-1 畫素為亮暗相間.....	31
5-1-2 畫素全為亮.....	36
5-1-3 畫素全為暗.....	37
5-2 實驗觀察結果.....	38
第六章 結論與展望.....	42
參考文獻.....	44

一、緒言

一般來說物質可以大略分成三態，固態、液態、氣態，而液晶是介於固態及液態間的第四態。如果物質的結構上具有三維空間分子位置的長程序，那我們就稱它為晶體，但如果某一結構其有序性比晶體程度低，但又具有比各向同性液體高的有序性，那麼我們稱這種材料叫液晶。從液晶分子排列的有序性可區分為線狀液晶 (Nematic phase)、層狀液晶 (Smectic phase) 及柱狀液晶 (Columnar phase)。

近幾年來，液晶顯示器(LCD)由於其輕、薄、省電、低輻射...等優點大量的應用在電子產品，並且有逐漸取代傳統 CRT 的趨勢。而在液晶顯示器上，液晶層的厚度及液晶分子的預傾角對於顯示器的各項光電特性有很大的影響，例如：反應速度、起始電壓(V_{th})、操作電壓(Operating Voltage)、光穿透率，對比度等，因此準確的量測液晶層的厚度及預傾角，對於液晶顯示器的設計及製作會有很大的幫助。

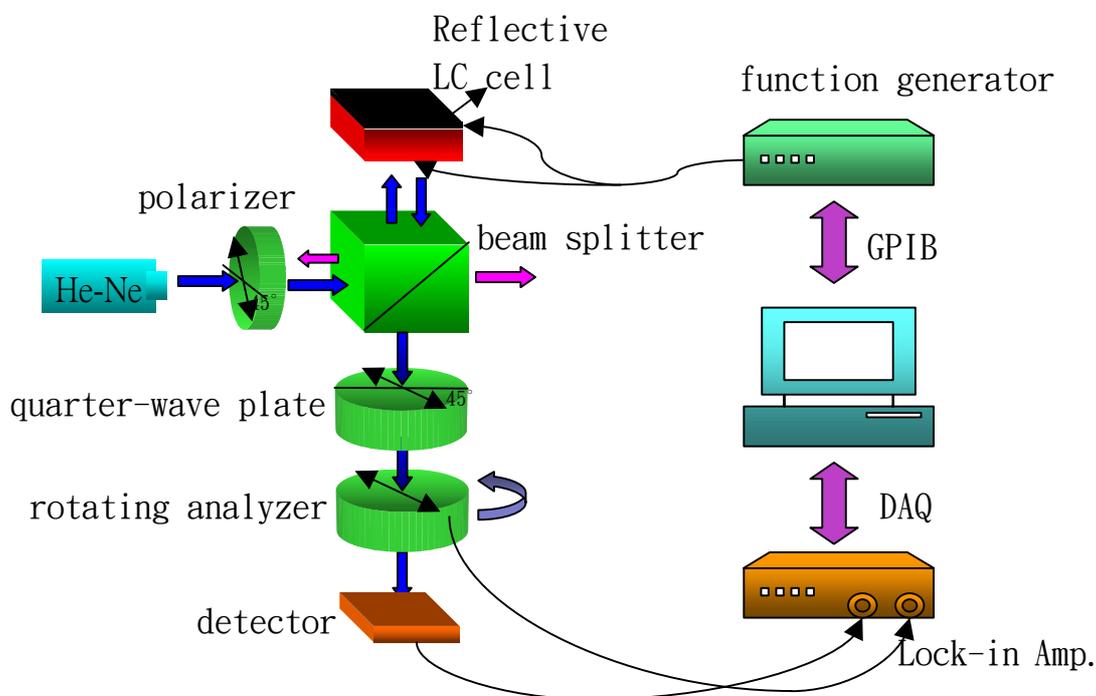
反射式液晶顯示器也被廣泛地應用在各方面，例如：手機、PDA、還有背投影電視的 LCOS(Liquid Crystal on Silicon)...等。然而至目前為止對於反射式液晶層厚度的量測方法，大部分都是針對水平配向之扭轉型線狀液晶盒(TN-mode)，對於垂直排列液晶盒(VA-mode)尚無很準確的量法。目前國內業者雖也有購買量測反射式

液晶層厚度之儀器，但其主要還是量測 TN-mode。至於量測反射式 VA-mode 之液晶層厚度，常以頻譜干涉法(Interferometric Method) 來量測，而這種方法必須要使用昂貴的頻譜分析儀，並把液晶層看成一均勻的介電層，利用不同波長在各個介電層中因 Fabry-Perot 所產生的干涉圖形，再利用擬合的方法擬合出液晶層的厚度，這種方法忽略了液晶層中液晶分子的排列分布及液晶分子的預傾角，而且其準確性是必須先知道每層介電層(PI、Glass.....等)的厚度 d 及其折射率 n [1]。

在本篇論文中我們採取直接量測液晶層的相位差隨電壓的變化曲線來反推液晶層的厚度，並且可同時得出液晶分子的預傾角，而藉由量測出的厚度及預傾角可以更深入的了解其他特性。而論文的另一部分我們也對於垂直排列應用在 LCOS 上時，邊際電場在不同畫素大小及間距下對於反射率及對比度的影響作了些探討。

二、量測原理

2-1、相位差量測原理



圖(2-1)

圖(2-1)為本實驗相位差的量測系統架構，氦氖雷射經過線性偏極片，其極化方向與水平面夾 45 度角，經過 beam splitter 分光後垂直打入反射式液晶盒(其中液晶分子軸向與水平面平行)，由反射式液晶盒反射出來的橢圓偏振光經過 beam splitter 後，再經過四分之一波片(其光軸與水平面夾 45 度角)將其轉換成線性偏振光，其線性偏振方向為原橢圓偏振光的長軸方向，最後進入光偵測器。

由 Jones calculus 可得其反射率 $R = \left| J_a \times J_{\lambda/4} \times J_{LC} \times \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} \right|^2$

$$= \left| \begin{bmatrix} \cos^2 \psi & \sin \psi \cos \psi \\ \sin \psi \cos \psi & \sin^2 \psi \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & -i \\ -i & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{-i\Gamma} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \right|^2$$


 旋轉檢偏片


 $\frac{\lambda}{4}$ 波片


 液晶層

其中 $\psi = \omega t$ ， ω 為檢偏片轉動的角頻率

$$\Gamma = \int_0^d \frac{4\pi \times \Delta n(z) \times dz}{\lambda} \quad , \quad \Gamma : \text{液晶層的相位差}$$

$$\Delta n(z) = \frac{n_e}{\sqrt{1 + p \sin^2 \alpha(z)}} - n_o \quad , \quad p = \left(\frac{n_e}{n_o} \right)^2 - 1$$

n_e, n_o 分別為非尋常光及尋常光的折射率， α 為液晶的傾角

$$R = \frac{1}{2} [1 + \sin(2\omega t + \Gamma)]$$

因此當光通過旋轉檢偏片後，光偵測器會產生一正弦波，其頻率為 2 倍檢偏片的轉動角頻率，最後將從旋轉檢偏片輸出的參考訊號 (2ω) 及光偵測器所產生的正弦波訊號輸入 Lock-in-amplifier，直接讀出兩訊號的相位差。

所以實驗上我們在未放入反射式液晶盒前先將相位差歸零，再放入液晶盒，則此時 Lock-in-amplifier 所讀到的相位差即為液晶盒所造成的相位差。[2]

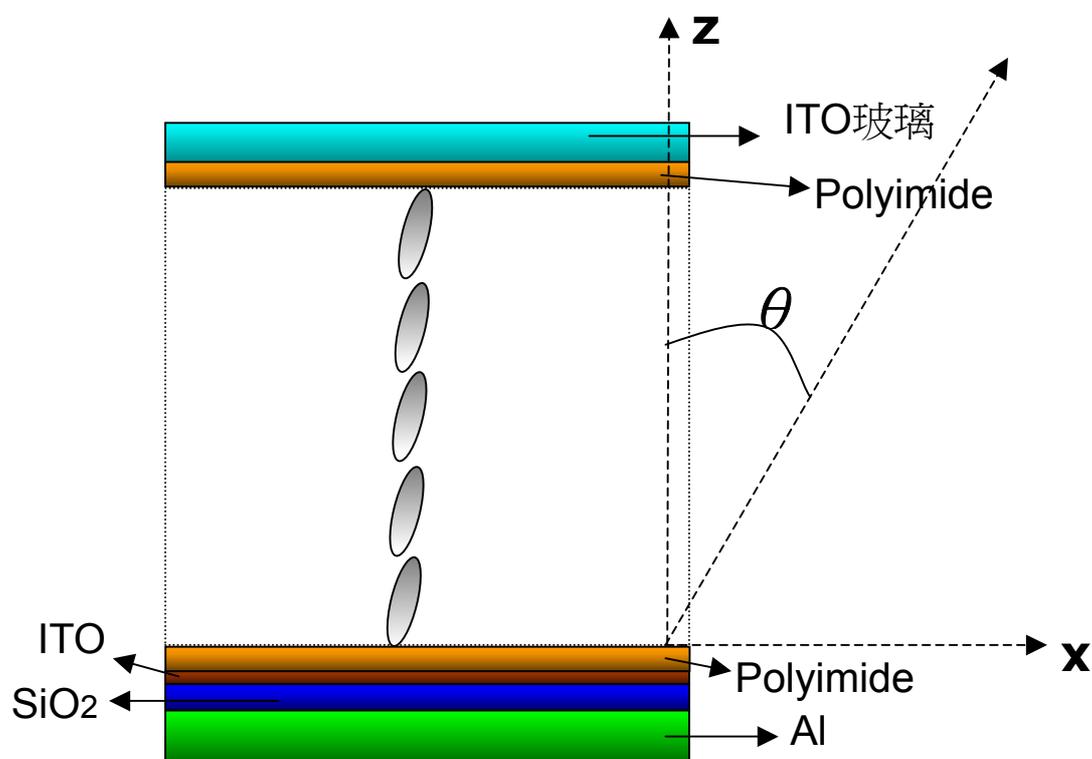
2-2、厚度量測原理

由 F. C. Frank 於西元 1958 年所提出的連續體彈性形變理論，

自由能密度可表示成：

$$F_{el} = \frac{1}{2} \{ k_{11} (\nabla \cdot n)^2 + k_{22} (n \cdot \nabla \times n)^2 + k_{33} (n \times \nabla \times n)^2 \}$$

其中 K_{11} 、 K_{22} 及 K_{33} 分別是液晶的斜展 (splay)、扭轉 (twist) 及彎曲 (bend) 彈性常數



圖(2-2)

考慮一垂直排列的反射式液晶盒，如圖(2-2)所示：

其液晶的指向矢 \vec{n} 可表示成：

$$\vec{n} = (\sin \theta, 0, \cos \theta)$$

則液晶彈性自由能密度為：

$$F_{el} = \frac{1}{2} \left(\frac{d\theta}{dz} \right)^2 (k_{11} \sin^2 \theta + k_{33} \cos^2 \theta)$$

而電場所引發之自由能密度為：

$$F_{diel} = -\frac{1}{2} \times \frac{D_z^2}{\epsilon_0 (\epsilon_{//} \cos^2 \theta + \epsilon_{\perp} \sin^2 \theta)}$$

則系統總單位面積的 free energy

$$G = \int_{-\frac{d}{2}}^{\frac{d}{2}} [F_{el} + F_{diel}] dz$$

在平衡時 free energy 為極小值，故利用變分法對極角 θ 作變分，求得 Euler-Lagrange 方程式，經整理可得

$$\frac{d}{dz} \left\{ (k_{11} \sin^2 \theta + k_{33} \cos^2 \theta) \left(\frac{d\theta}{dz} \right)^2 - \frac{D_z^2}{\epsilon_0 (\epsilon_{//} \cos^2 \theta + \epsilon_{\perp} \sin^2 \theta)} \right\} = 0$$

代入 boundary condition: $\frac{d\theta}{dz} \Big|_{z=\frac{d}{2}} = 0$

即

$$(k_{11} \sin^2 \theta + k_{33} \cos^2 \theta) \left(\frac{d\theta}{dz} \right)^2 - \frac{D_z^2}{\epsilon_0 (\epsilon_{//} \cos^2 \theta + \epsilon_{\perp} \sin^2 \theta)} = \frac{-D_z^2}{\epsilon_0 (\epsilon_{//} \cos^2 \theta_M + \epsilon_{\perp} \sin^2 \theta_M)}$$

再利用變數變換

令 $\sin \theta = \sin \theta_M \times \sin \psi$

$$\eta = \sin^2 \theta_M, \quad \gamma = \frac{\epsilon_{\perp}}{\epsilon_{//}} - 1, \quad k = \frac{k_{11}}{k_{33}} - 1$$

整理可得方程式

$$\frac{d\psi}{dz} = \frac{D_z}{\sqrt{\frac{k_{33}\epsilon_0\epsilon_{//}}{\gamma}}} \times \sqrt{\frac{1 - \eta \sin^2 \psi}{(1 + \gamma\eta)(1 + \gamma\eta \sin^2 \psi)(1 + k\eta \sin^2 \psi)}} \dots\dots\dots(2.1)$$

對(2.1)式積分從 $z=0$ 到 $z=d$ 可得

$$\frac{D_z}{\sqrt{\frac{k_{33}\epsilon_0\epsilon_{//}}{\gamma}}} = \frac{2}{d} \times \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{\frac{(1 + k\eta \sin^2 \psi)(1 + \gamma\eta \sin^2 \psi)(1 + \gamma\eta)}{(1 - \eta \sin^2 \psi)}} d\psi \dots\dots\dots(2.2)$$

或將(2.1)式中的 D_z 代換成 E_z 再對 $z=0$ 到 $z=d$ 積分可得

$$\frac{V}{V_{th}} = \frac{2}{\pi} \sqrt{1 + \gamma\eta} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{\frac{1 + \kappa\eta \sin^2 \psi}{(1 + \gamma\eta \sin^2 \psi)(1 - \eta \sin^2 \psi)}} d\psi \quad , \quad \text{其中 } V_{th} = \pi \sqrt{\frac{k_{33}}{\gamma\epsilon_0\epsilon_{//}}}$$

$$\text{和 } \frac{D_z}{\sqrt{\frac{k_{33}\epsilon_0\epsilon_{//}}{\gamma}}} = \frac{2}{z} \times \int_0^{\sin^{-1}\left(\frac{\sin \theta}{\sqrt{\eta}}\right)} \sqrt{\frac{(1 + k\eta \sin^2 \psi)(1 + \gamma\eta \sin^2 \psi)(1 + \gamma\eta)}{(1 - \eta \sin^2 \psi)}} d\psi$$

當一線極化光垂直入射到垂直排列的反射式液晶盒(液晶光軸與極化光夾 45°)，則 O-ray 與 E-ray 間的相位差即為

$$\Gamma(V) = \frac{4\pi}{\lambda} \int_0^d [n_e(z) - n_0] dz \quad , \quad n_e(z) = \frac{n_e n_0}{\sqrt{n_e^2 \cos^2 \theta + n_0^2 \sin^2 \theta}}$$

$$= \frac{4\pi n_0}{\lambda} \left\{ \int_0^d \left[\frac{1}{\sqrt{1 + \nu\eta \sin^2 \psi}} - 1 \right] dz \right\} \quad , \quad \nu = \frac{n_0^2}{n_e^2} - 1$$

再代入(2.1)及(2.2)式整理可得

$$1 + \frac{\Gamma(V)\lambda}{4\pi n_0 d} = \frac{\int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{\frac{(1 + k\eta \sin^2 \psi)(1 + \gamma\eta \sin^2 \psi)}{(1 + \nu\eta \sin^2 \psi)(1 - \eta \sin^2 \psi)}} d\psi}{\int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{\frac{(1 + k\eta \sin^2 \psi)(1 + \gamma\eta \sin^2 \psi)}{1 - \eta \sin^2 \psi}} d\psi}$$

由參考文獻[3]中所提到

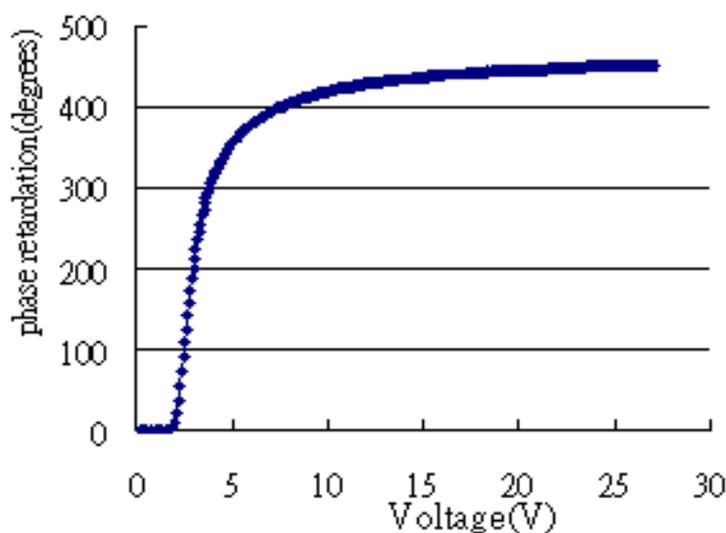
當電壓 $V \gg V_{th}$, $\theta_M \rightarrow \frac{\pi}{2}$

可得 $\Gamma(V) = \Gamma_{\max} (1 - \zeta \frac{V_{th}}{V})$

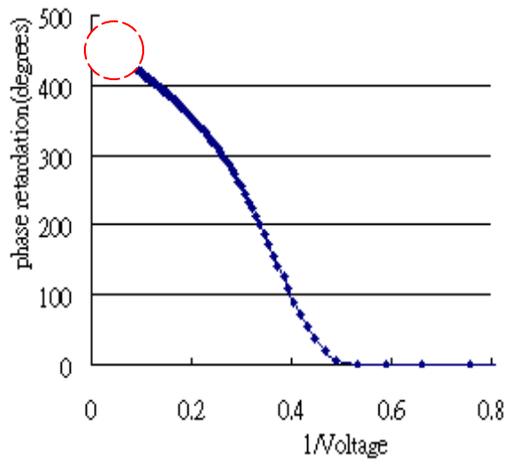
所以當我們利用理論 2-1 所述的相位差量測法可得到相位差(Γ)與電壓倒數($1/V$)關係圖後，在 Γ vs $1/V$ 的關係圖上取高電壓的區域去外差到 $1/V=0$ 處可得 Γ_{\max} ，即液晶分子全部被拉平時所造成的相位

差，再代入 $\Gamma_{\max} = \frac{4\pi \times \Delta n \times d}{\lambda}$ 反推出液晶層的厚度 d 。[3]

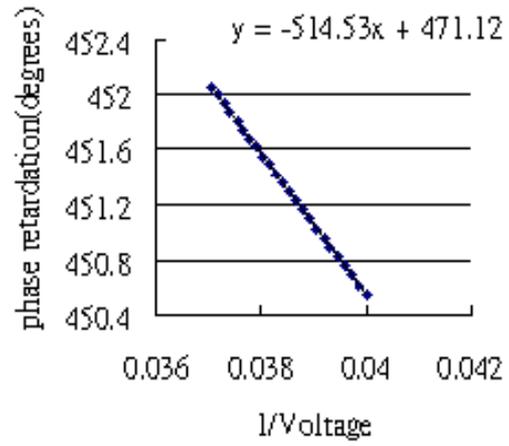
圖(2-3)是以液晶盒厚度 $5\mu\text{m}$ ，預傾角為 89° ，選用負型液晶 MLC-6608 參數利用 Dimos 模擬相位差與電壓的關係圖，圖(2-4)為相同參數下相位差與電壓倒數的關係圖。



圖(2-3)



圖(2-4)



圖(2-5)

圖(2-5)為圖(2-4)在高電壓的區域(25V~27V)的放大圖，由線性外

差可得 $\Gamma_{\max} = 471.12^\circ$ ，再代入 $\Gamma_{\max} = \frac{4\pi \times \Delta n \times d}{\lambda}$ 即可推出厚度為 $5.03 \mu\text{m}$ 。

2-3、預傾角量測原理

同樣地考慮一垂直排列的反射式液晶盒，如圖(2-2)所示：

預傾角為 $\frac{\pi}{2} - \theta_0$

如同理論 2-2 的推導可得方程式(2.3)，(2.4)

$$\frac{V}{V_{th}} = \frac{2}{\pi} \sqrt{1 + \gamma\eta} \int_{\psi_0}^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{\frac{1 + \kappa\eta \sin^2 \psi}{(1 + \gamma\eta \sin^2 \psi)(1 - \eta \sin^2 \psi)}} d\psi \quad , \dots\dots\dots(2.3)$$

其中 $V_{th} = \pi \sqrt{\frac{k_{33}}{\gamma\epsilon_0\epsilon_{//}}}$;

$$1 + \frac{\Gamma(V)\lambda}{4\pi_0 d} = \frac{\int_{\psi_0}^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{\frac{(1 + k\eta \sin^2 \psi)(1 + \gamma\eta \sin^2 \psi)}{(1 + \nu\eta \sin^2 \psi)(1 - \eta \sin^2 \psi)}} d\psi}{\int_{\psi_0}^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{\frac{(1 + k\eta \sin^2 \psi)(1 + \gamma\eta \sin^2 \psi)}{1 - \eta \sin^2 \psi}}} d\psi \quad , \dots\dots\dots(2.4)$$

當電壓 V 很小時 ($0 \sim \frac{1}{2} V_{th}$)，可作小角度近似 $\sin \theta_M \approx \theta_M$ ， $\eta = \theta_M^2$ ，

則(2.3)式可化簡成

$$\begin{aligned} \frac{V}{V_{th}} &\approx \frac{2}{\pi} \left(1 + \frac{\gamma\theta_M^2}{2}\right) \int_{\psi_0}^{\frac{\pi}{2}} \left[1 + \frac{\theta_M^2 \sin^2 \psi}{2} (k - \gamma + 1)\right] d\psi \\ &\approx \left(1 - \frac{2\psi_0}{\pi}\right) + \frac{\theta_M^2}{4} (k + \gamma + 1) \left(1 - \frac{2\psi_0}{\pi}\right) + \frac{1}{4\pi} (k - \gamma + 1) \theta_M^2 \sin 2\psi_0 \\ &\approx \left(1 - \frac{2\psi_0}{\pi}\right) \left(1 + \frac{\theta_M^2}{2} (k + \gamma + 1)\right) \approx \left(1 - \frac{2\psi_0}{\pi}\right) \\ &= \frac{2}{\pi} \sqrt{2 \left(1 - \frac{\theta_0}{\theta_M}\right)} \dots\dots\dots(2.5) \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \theta_M = \frac{\theta_0}{1 - \frac{\pi^2 V^2}{8V_{th}^2}}$$

(2.4)式可化簡成

$$\begin{aligned} 1 + \frac{\Gamma(V)\lambda}{4\pi n_0 d} &\approx \frac{\int_{\psi_0}^{\frac{\pi}{2}} \left[1 + \frac{1}{2}(1 + \gamma + k + \nu)\theta_M^2 \sin^2 \psi \right] d\psi}{\int_{\psi_0}^{\frac{\pi}{2}} \left[1 + \frac{1}{2}(k + \gamma + 1)\theta_M^2 \sin^2 \psi \right] d\psi} \\ &= \frac{\frac{\pi}{2} - \psi_0 + \frac{1}{2}(k + \gamma + \nu + 1)\theta_M^2 \int_{\psi_0}^{\frac{\pi}{2}} [\sin^2 \psi] d\psi}{\frac{\pi}{2} - \psi_0 + \frac{1}{2}(k + \gamma + 1)\theta_M^2 \int_{\psi_0}^{\frac{\pi}{2}} [\sin^2 \psi] d\psi} \end{aligned}$$

整理可得

$$\frac{\Gamma(V)\lambda}{4\pi n_0 d} \left(\frac{\pi}{2} - \psi_0 \right) = \frac{1}{2} \nu \theta_M^2 \int_{\psi_0}^{\frac{\pi}{2}} [\sin^2 \psi] d\psi$$

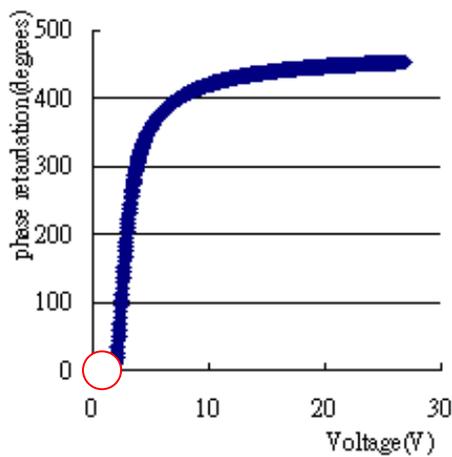
$$\text{又因為(2.5)式 } \left(\frac{\pi}{2} - \psi_0 \right) = \sqrt{2 \left(\frac{\theta_M - \theta_0}{\theta_M} \right)} \quad \text{及} \quad \int_{\psi_0}^{\frac{\pi}{2}} [\sin^2 \psi] d\psi = \sqrt{2 \left(\frac{\theta_M - \theta_0}{\theta_M} \right)}$$

$$\begin{aligned} \Gamma(V) &= \frac{4\pi n_0 d}{\lambda} \times \frac{1}{2} \nu \theta_M^2 \\ &= \frac{4\pi n_0 d}{\lambda} \times \frac{n_e^2 - n_0^2}{2n_e^2} \theta_M^2 \\ &= \frac{4\pi(n_e - n_0)d}{\lambda} \left[\frac{n_0(n_e + n_0)}{2n_e^2} \right] \theta_M^2 \\ &= \Gamma_{Max} \left[\frac{n_0(n_e + n_0)}{2n_e^2} \right] \left[1 + \frac{\pi^2}{8} \left(\frac{V}{V_{th}} \right)^2 \right]^2 \theta_0^2 \\ &\approx \Gamma_{Max} \left[\frac{n_0(n_e + n_0)}{2n_e^2} \right] \left[1 + \frac{\pi^2}{4} \left(\frac{V}{V_{th}} \right)^2 \right] \theta_0^2 \end{aligned}$$

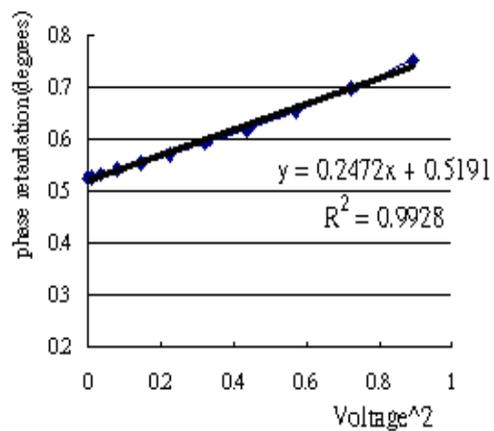
我們可以發現在低電壓的區域相位差正比於電壓的平方，且斜率為

$$Slope = \frac{\pi^2 \Gamma_{Max}}{4V_{th}^2} \left[\frac{n_0(n_e + n_0)}{2n_e^2} \right] \theta_0^2 \dots\dots\dots (2.6)$$

，即當我們量測出相位差與電壓的關係圖後，取電壓很小的部分畫出相位差與電壓平方的關係圖，再以線性擬合出斜率代入(2.6)式即可求出預傾角 = $\frac{\pi}{2} - \theta_0$ 。



圖(2-6)



圖(2-7)

圖(2-6)為同樣利用 Dimos 以液晶盒厚度 $5\mu\text{m}$ ，預傾角為 88° ，選用負型液晶 MLC-6608 參數去模擬相位差與電壓的關係圖，而圖(2-7)為圖(2-6)在低電壓區域(0V~1V)相位差對電壓平方的關係圖，由線性擬合出斜率=0.2472, 即可推出預傾角為 88.1° 。

三、實驗

3-1、樣品的製作

反射式液晶盒的樣品製作分為幾個部分:首先將上下片玻璃充分清潔,然後在 ITO 表面各鍍上一層配向膜,配向膜固烤後以毛絨布磨擦配向,最後將下片玻璃兩邊塗上含有 Spacer 之 UV 膠並將兩片玻璃對組後注入液晶,詳細步驟及製程參數如下:

一. 清洗玻璃:

- (1). 將含有錫氧化銻(ITO)之透明玻璃及鍍有反射層(A1)之 ITO 玻璃切割為 25mm x 30mm 的大小。
- (2). 將步驟(1). 切好之玻璃放入染色壺中, 倒入穩潔使高度蓋過玻璃, 用超音波震盪 50 分鐘。
- (3). 倒入 IPA 於染色壺中, 用超音波震盪 5 分鐘, 之後換倒入 ACE 於染色壺中, 一樣用超音波震盪 5 分鐘。
- (4). 重複步驟(3). 一次
- (5). 倒入 1/3 的去離子水加 2/3 的 IPA, 用超音波震盪 5 分鐘。
- (6). 將玻璃已氮氣吹乾。
- (7). 送進烤箱以 180 度烤 60 分鐘。

二. 鍍配向膜:

- (1). 將 ITO 玻璃及鍍有反射層(A1)之 ITO 玻璃置於旋轉鍍膜機上。

- (2). 調整旋轉鍍膜機的轉速及時間為 STEP1: 1000rpm 10sec, STEP2: 4000rpm 20sec。
- (3). 將配向膜(JALS-2021)均勻的滴在 ITO 面上。
- (4). 開始旋轉。
- (5). 鍍完配向膜後，先放到加熱板上以 80°C 軟烤 5 分鐘使其溶劑揮發，再放入烤箱以 180°C 烤 60 分鐘。

三. 磨擦配向:

利用我們實驗室之摩擦配向機，參數設為 Table=200rpm，滾輪=1200rpm。滾輪距離移動平台的相對高度為 6.50(單位)，此高度要視毛絨布是否有被磨平加以適當的調整。

四. 組合液晶盒:

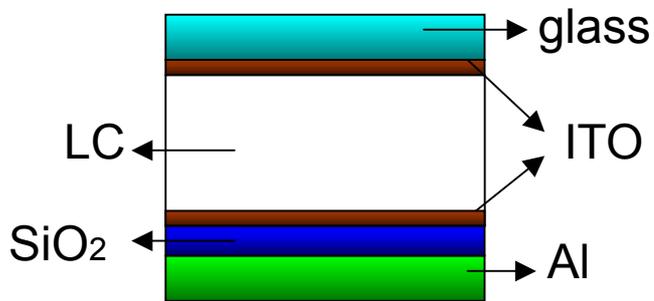
將摩擦配向後的 ITO 玻璃及鍍有反射層(A1)之 ITO 玻璃兩邊以 5 μ m 的 spacers 混 UV 膠均勻的塗佈，再將兩片以摩擦配向的方向為反平行之方式組合，調整牛頓環使厚度均勻後再以 AB 膠封合只留下上下兩個小孔，灌入液晶後再將兩小孔封合。使用的液晶為 MLC-6608 及 MJ011675，其相關液晶參數如表 3-1。

圖(3-1)為反射式液晶盒樣品的剖面圖，反射面為一鋁反射層上鍍一層 SiO₂ 及 ITO 電極所組成，穿透面為一般 ITO 玻璃。圖(3-2)為 Sample A 在正交偏光顯微鏡下，液晶光軸與偏光片夾 45°，電壓

為 2.5(V)所觀察到的圖像。

Sample	液晶	n_e	Δn	$\epsilon_{//}$	$\Delta\epsilon$	K_{11} (pN)	K_{22} (pN)	K_{33} (pN)
A	MLC-6608	1.556	0.0822	3.6	-4.2	11.5	8.4	18.1
B	MJ011675	1.5785	0.0985	3.7	-4.3	16.0	8.2	20.0

表 3-1 液晶相關參數



圖(3-1)

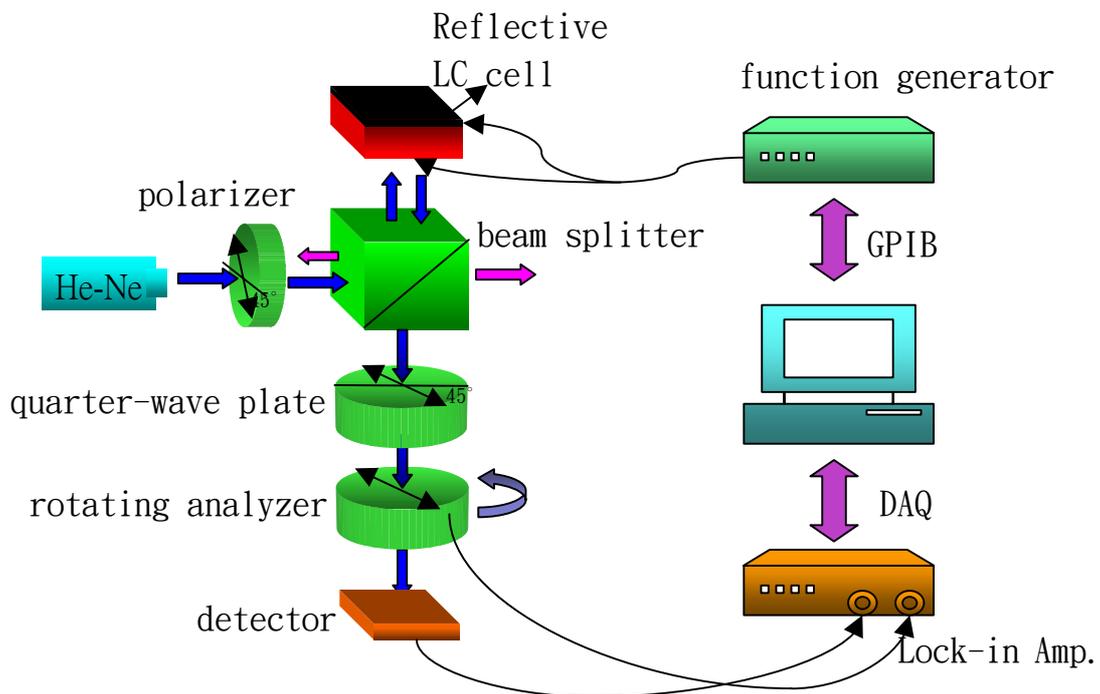


圖(3-2)

3-2、實驗儀器的架設

圖 3-3 為本實驗相位差量測系統，整個量測系統大略可分成光學元件的架設、自動控制兩大部分：

(一)、光學元件的架設



(圖 3-3)

整個光路包括光源 (He-Ne Laser 波長 632.8nm)、偏光片 (polarizer)、分光鏡 (beam splitter 波長 632.8nm)、反射鏡 (mirror)、 $\lambda/4$ 波片 (波長 632.8nm)、Chopper (analyzer 貼在 Chopper 上), 且可輸出和 Chopper 同步的 TTL 信號, 輸入到 Lock-in amplifier 之 Ref-in)、鎖相放大器 (型號: Stanford research

SR830)、光檢測器。在架設上要注意的是一般分光鏡 (beam splitter) 對於穿透及反射光中的 s-polarization 與 p-polarization 分光比例不同外，還可能有相位差的影響，所以在確定偏光片 (polarizer) 及 $\lambda/4$ 波片的光軸時，最好不要經過分光鏡 (beam splitter)，以避免在校正上發生錯誤。

(二)、自動控制

以 Labview 撰寫程式透過 GPIB 控制訊號產生器 (Agilent 33120A) 輸出不同電壓，頻率為 1KHz 的方波加在液晶盒上，再經由類比數位轉換介面卡 (Analog-to-Digital) 讀取鎖相放大器面板之相位差輸出訊號 (輸出訊號為 $\pm 10\text{V DC}$ ，必須 $\times 18$ 轉換成相位差的 $\pm 180^\circ$)。

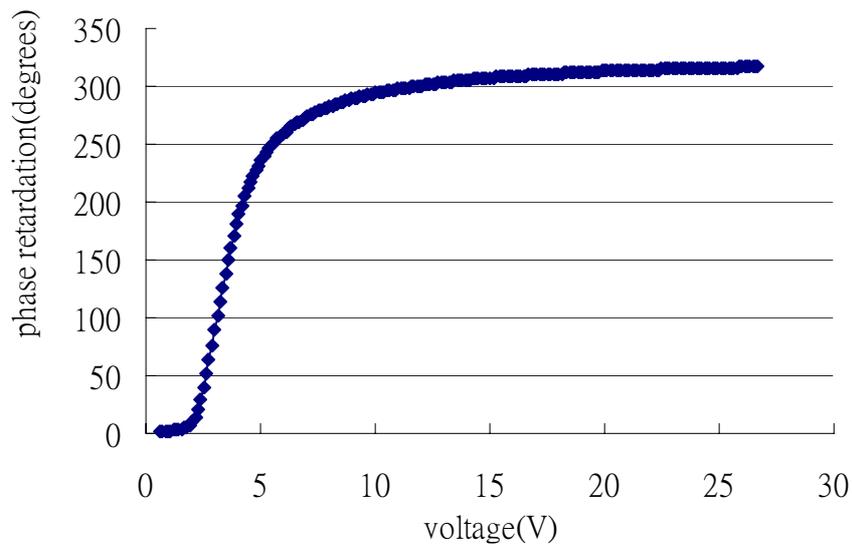
3-3、量測步驟及注意事項：

- 一、先將 Laser 及 Rotating analyzer 的電源打開，暖機一個小時後再開始作實驗，減少因為 Laser 及 rotating analyzer 的不穩造成實驗的誤差。
- 二、將光偵測器所偵測到的正弦波訊號及 Ref 訊號分別輸入 Input Channel(注意:其方均根值不可超過 1V 最好先用示波器觀看偵測器信號大小之後再接上 Lock-in Amp.)及 Ref in 。
- 三、按下 Lock-in Amp. 之 Auto-phase 鈕將相位歸零後，放入 sample 進行對光使得入射光為垂直入射，可以利用反射鏡將由 sample 反射回來的光打到較遠處(約 2m)的固定點邊，重複的調整 sample 的傾斜面以確定光點在旋轉 sample 一圈後其半徑小於 3.49mm，此時垂直入射的角度誤差小於 0.1° 。
- 四、加一高電壓於量測 sample 上，旋轉 sample 使得 Lock-in Amp. 所讀出 intensity 為最大時即為液晶軸與偏極片之光軸夾 45°
- 五、設定 LabView 程式下的量測參數之後就可開始量測。

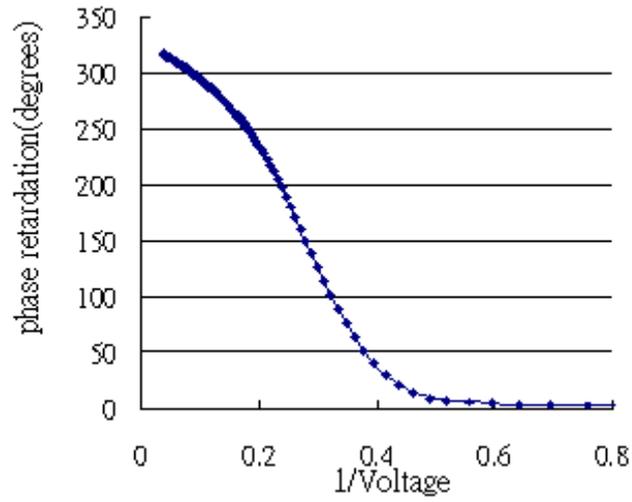
四、量測結果與討論

4-1、厚度及預傾角量測結果

利用前面 3-2 節所說明的相位差量測裝置所量測到相位差與電壓的關係圖後，再如同原理部份所敘述的方法分別取出高電壓區域及低電壓區域反推出厚度及預傾角，舉個例子來說圖(4-1)為所量測出相位差與電壓的關係圖，再對其重新作圖畫出相位差與電壓倒數的關係圖如圖(4-2)所示，取出高電壓的區域去線性外差可得相位差的最大值 328.09° ，即可反推出厚度為 $3.51 \mu\text{m}$ 。

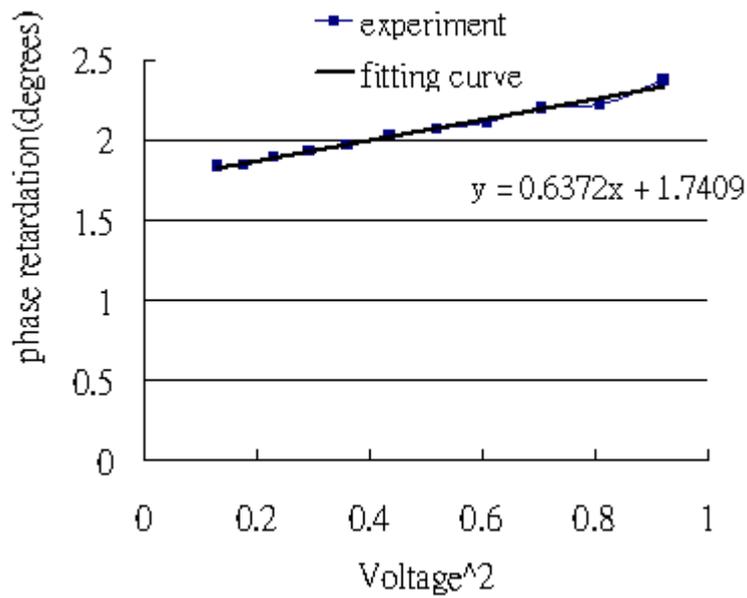


圖(4-1)



圖(4-2)

至於預傾角的部分則取出圖(4-1)的低電壓區域，畫出相位差對電壓平方的關係圖如圖(4-3)，再由線性擬合曲線的斜率代入(2-6)式中，推出極角 $\theta_0 = 3.67$ ，即預傾角為 86.3° 。

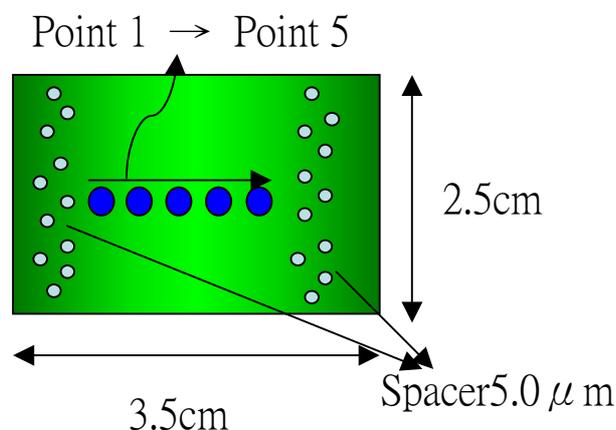


圖(4-3)

表(4-1)為 sample A 和 sample B 的厚度及預傾角的量測結果，其中 sample A 上 point1~point5 的相對位置如圖(4-4)，從左而右依序為 point 1 到 point 5，厚度由 $3.78\ \mu\text{m}$ 變小到 $3.51\ \mu\text{m}$ (point 1 及 point 2 為牛頓環中心)再變大到 $4.34\ \mu\text{m}$ ，由量測的結果可知牛頓環中心厚度最薄，向兩邊 spacers 靠近則厚度愈厚。而預傾角則是同一個 sample 所量測的結果都蠻接近的，sample A、B 分別大約是 86° 及 89° 。

Sample A	point1	point2	point3	point4	point5
厚度(μm)	3.78	3.52	3.51	3.81	4.34
預傾角(degree)	85.9	86.1	86.3	86.1	85.8
Sample B	point6	point7			
厚度(μm)	3.85	3.93			
預傾角(degree)	89.3	89.0			

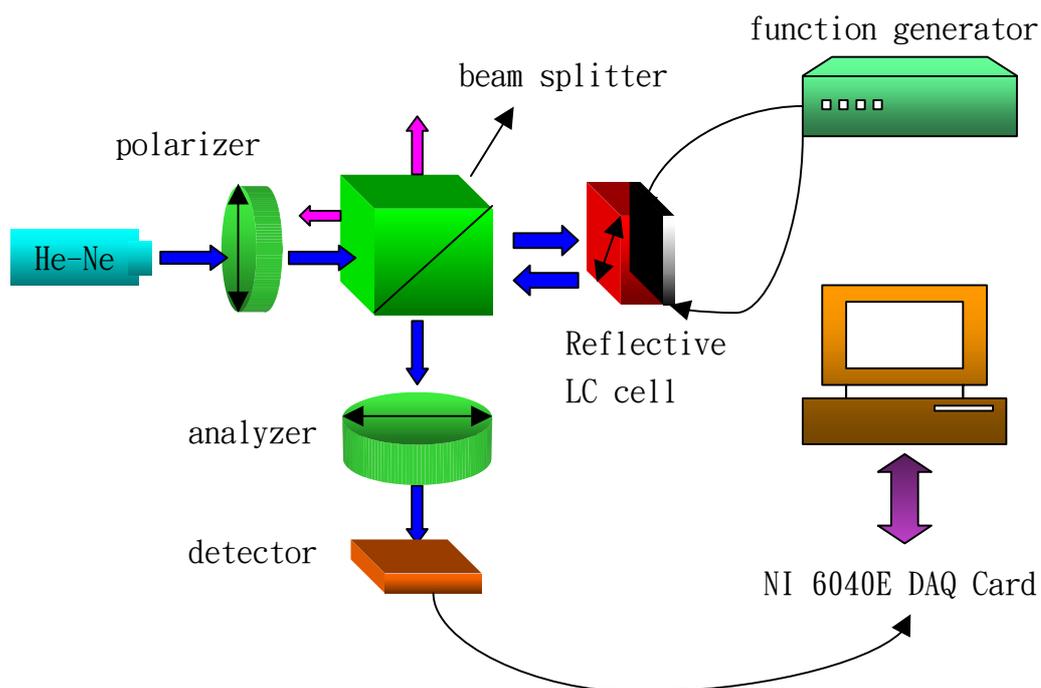
表 4-1 厚度及預傾角量測結果



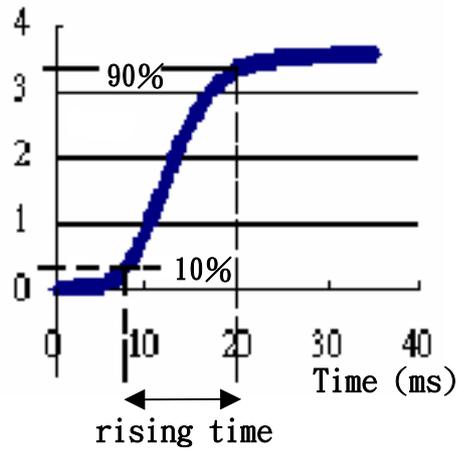
圖(4-4)

4-2 厚度對反應速度的影響

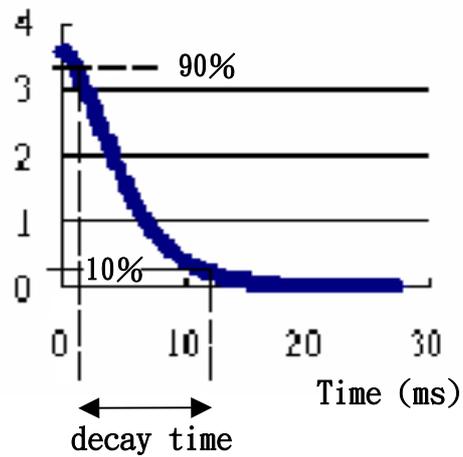
圖(4-5)為量測反應速度的實驗裝置圖，He-Ne 雷射經偏光片後，再經過分光鏡垂直入射到反射式液晶盒，而由液晶盒反射出來的光經分光鏡反射，再通過與偏光片正交的檢偏片，液晶光軸與偏光片夾 45° 。由訊號產生器輸出一電壓訊號加在液晶盒上，再由 DAQ card 同時擷取光偵測器上的電壓訊號及訊號產生器的輸出電壓訊號，經比對後即可定出反應時間。



圖(4-5)



圖(4-6)



圖(4-7)

這裡 rising time 是指最大反射率的 10% 到 90% 所需的時間，而 decay time 則是相反的從最大反射率的 90% 到 10% 所需的時間如圖(4-6)及(4-7)所示。表(4-2)為 Sample A 上 point1 到 point5 所量測出 rising time 和 decay time 的結果，而這五個點亮態時所加的電壓皆為 3.4V，再與之前厚度量測結果比較，可清楚看到厚度愈大則反應速度愈慢。

Sample A	point1	point2	point3	point4	point5
rising time (ms)	20.96	15.92	16.24	17.94	17.4
decay time (ms)	10.08	8.74	8.88	11.88	19.88
rising time +decay time(ms)	31.04	24.66	25.12	29.82	37.28

表 4-2 反應速度量測結果

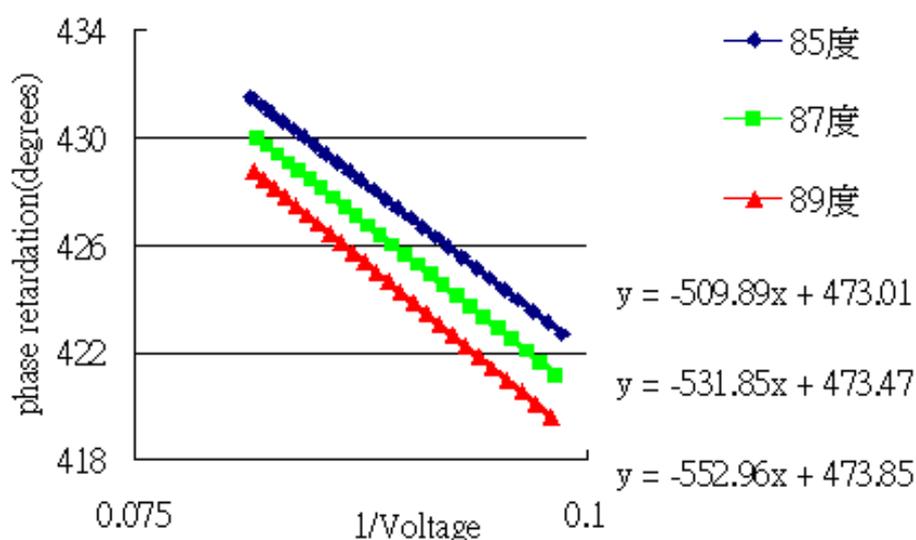
4-3 討論

4-3-1 預傾角對厚度的影響：

當我們利用理論(2-2)去求得液晶盒厚度時，理論上不同預傾角在 $1/V=0$ 要交在同一點 Γ_{\max} ，但由於所選取 $1/V$ 的範圍使得它們在不同預傾角下的斜率不同而造成外差出的 Γ_{\max} 有些微的誤差，所以我們利用模擬曲線去比較不同預傾角對於我們量測的厚度有什麼影響，圖(4-8)為不同預傾角，其他模擬參數完全相同下相位差與電壓倒數的關係圖。我們可發現預傾角對於外插出的最大相位差值誤差在 1° 內(厚度約差 $0.01 \mu\text{m}$)，所以預傾角對於我們厚度量測法的準確度影響很小。

模擬參數：液晶為 MLC-6608，預傾角分別為 85，87，89 度

cell gap= $5 \mu\text{m}$ ，hard boundary



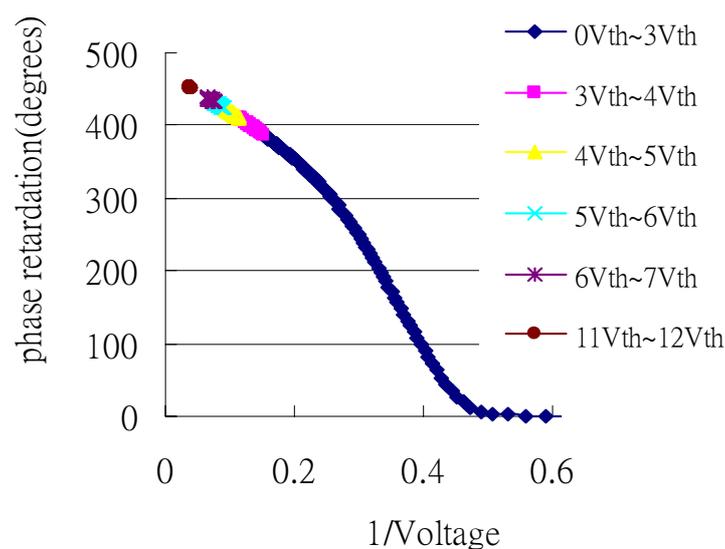
圖(4-8)

4-3-2 討論不同區間所外差出的厚度及誤差：

在量測厚度時必須在液晶盒上加一高電壓，而在實際應用上並不適合，所以我們由模擬曲線去探討在某些區間所外差出的厚度及誤差，圖(4-9)為厚度 $5\ \mu\text{m}$ 、預傾角 89° 的模擬結果，而圖上不同電壓區間所相對應外差出的厚度及誤差如下表(4-3)所示，由表中可知若厚度誤差小於 2.0 %是可接受時，則可選擇 $4V_{\text{th}}\sim 5V_{\text{th}}$ ($V_{\text{th}}=2.19\ \text{v}$)。

Select segment	Γ_{Max} (degrees)	Cell gap (μm)	Difference (%)
3V _{th} ~4V _{th}	481.08	5.14	2.8 %
4V _{th} ~5V _{th}	476.42	5.09	1.8 %
5V _{th} ~6V _{th}	474.27	5.07	1.4 %
6V _{th} ~7V _{th}	473.1	5.05	1.0 %
11V _{th} ~12V _{th}	471.15	5.03	0.6 %

表 4-3 不同區間所外差出的厚度及誤差

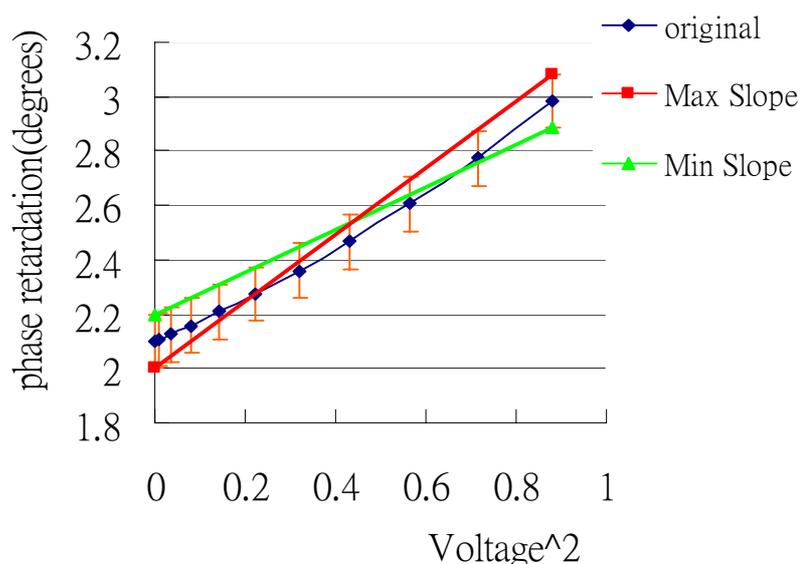


圖(4-9)

4-3-3 評估預傾角的誤差：

在預傾角量測原理中我們假設了 $\sin\theta_M \approx \theta_M$ 即小角度近似下所推出相位差與電壓平方成正比的關係式，再由擬合出的斜率推出預傾角，而下面我們去討論在這前提下所得出的預傾角誤差的大小。並且評估相位差量測的準確度在 $\pm 0.1^\circ$ 以下時，其最大誤差下所推出預傾角的範圍。

圖(4-10)中藍色線為模擬預傾角為 86° 、厚度為 $5\mu\text{m}$ 時相位差與電壓平方的關係圖，而由之前理論所擬合出的斜率反推得到的預傾角為 86.21° ，紅色線及綠色線則分別為評估相位差量測的準確度在 $\pm 0.1^\circ$ 以下時所得到最大及最小的斜率，而所對應的預傾角為 85.75° 和 86.62° 。



圖(4-10)

同樣的方法我們去評估預傾角分別為 $84^\circ \sim 89^\circ$ 其在小角度近似下所得到的結果及最大誤差下的預傾角範圍, 結果如下表(4-4)所示, 從表中可清楚看出在小角度近似下所推出的預傾角隨著傾角愈低誤差愈大, 但傾角愈低相對的其相位差變化就愈大所以相位差量測的誤差影響相對就小了許多。所以這個方法在預傾角為 $88^\circ \sim 90^\circ$ 這個區間會有較大誤差, 而預傾角為 $84^\circ \sim 87^\circ$ 則是比較適用的範圍。

預傾角	小角度近似下所推出的預傾角	最大誤差下預傾角的範圍
89°	89.05°	$87.94^\circ \sim 90^\circ$
88°	88.1°	$87.35^\circ \sim 89.34^\circ$
87°	87.15°	$86.59^\circ \sim 87.76^\circ$
86°	86.21°	$85.75^\circ \sim 86.62^\circ$
85°	85.22°	$84.87^\circ \sim 85.58^\circ$
84°	84.36°	$83.99^\circ \sim 84.59^\circ$

表 4-4 預傾角的範圍

4-3-4 分光鏡的影響：

在一般所購買的分光鏡其 s-p 和 p-p 在穿透或反射光的比例通常不會一樣，且也可能引入相位差造成光偏振態的改變，所以我們由理論去計算是否對於實驗的量測有影響。

由利用 Jones matrix 可求得反射率 R=

$$\left| \begin{bmatrix} \cos^2 \psi & \cos \psi \sin \psi \\ \sin \psi \cos \psi & \sin^2 \psi \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & -i \\ -i & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_s e^{-i\delta_2} & 0 \\ 0 & t_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{-i\Gamma} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_s e^{-i\delta_1} & 0 \\ 0 & r_p \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \right|^2$$

$$= \frac{1}{2} \left\{ t_s^2 r_s^2 + t_p^2 r_p^2 + 2 t_s r_s t_p r_p \times \sin(2\psi + \Gamma + \delta_1 + \delta_2) \right\} \dots \dots \dots (4-1)$$

$$t_s, t_p, r_s, r_p \approx (50 \pm 3)\%$$

其中 t_s, t_p, r_s, r_p 分別代表分光鏡 (beam splitter) 對 s-polarization, p-polarization 穿透及反射的比例, δ_1, δ_2 為光經過分光鏡時可能引入的相位差, 所以我們可以由式子(4-1)知分光鏡只影響 intensity 的量測, 對於相位差的量測不會有影響。

4-3-5 液晶光軸與偏光片夾角有一小角度偏差的影響：

實驗上手動調整液晶光軸的軸向，其精確度並不能像步進馬達一樣，所以我們去評估當液晶光軸與偏光片夾角不是 45° ，而是有一小角度偏差所造成的誤差。同樣地由 Jones matrix 可求得反射率 $R=$

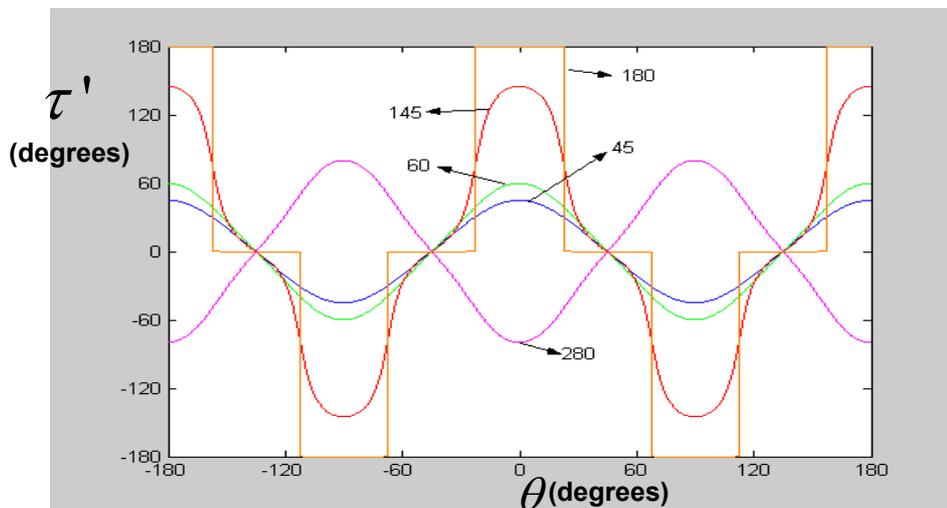
$$\left\| \begin{bmatrix} \cos^2 wt & \cos wt \sin wt \\ \sin wt \cos wt & \sin^2 wt \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & -i \\ -i & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{-i\tau} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \right\|_2^2$$

$$= \frac{1}{8} \{ 4 + [2 - 2 \cos 4\theta + (2 + 2 \cos 4\theta) \cos \Gamma] \sin 2wt + 4 \cos 2\theta \sin \Gamma \cos 2wt \}$$

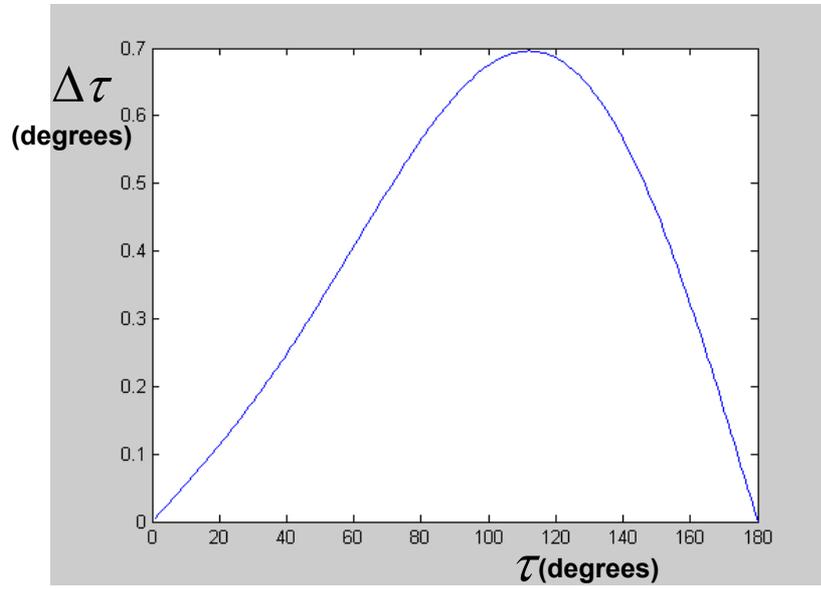
$$\text{即 } \tau' = \tan^{-1} \left[\frac{4 \cos 2\theta \sin \tau}{2 - 2 \cos 4\theta + (2 + 2 \cos 4\theta) \cos \tau} \right]$$

其中 τ' 為量測到的相位差、 τ 為實際液晶層的相位差、 θ 為偏離角度。

圖(4-11)為相位差 $\tau = 45^\circ$ 、 60° 、 145° 、 180° 、 280° 下， τ' 對偏離角度 θ 的關係圖，圖(4-12) 為 $\theta = \pm 3^\circ$ ，相位誤差 $\Delta\tau = \tau - \tau'$ 與相位差 τ 的關係圖，即偏離角度 θ 小於 $\pm 3^\circ$ 則相位誤差小於 1° 。



圖(4-11)



圖(4-12)

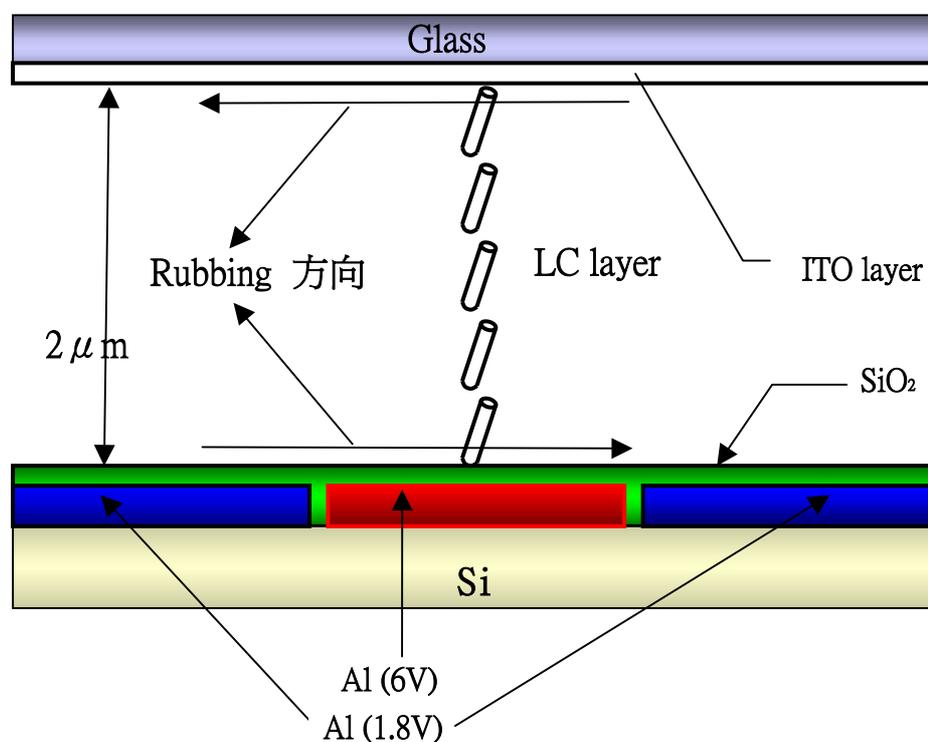
第五章 邊際電場對於反射率及對比度的影響

這章我們主要探討的是不同的畫素大小及不同的畫素間距下邊際電場對於反射率及對比度的影響，在 frame inversion 下分別討論畫素電極為亮暗相間、全部為亮、全部為暗三種狀況。

5-1 模擬不同畫素間距及畫素大小

5-1-1 畫素為亮暗相間：

圖(5-1)為模擬畫素電極的結構圖，液晶層、Al、ITO、SiO₂ 的厚度分別為 $2\mu\text{m}$ 、 $0.3\mu\text{m}$ 、 $0.2\mu\text{m}$ 、 $0.4\mu\text{m}$ ，畫素大小從 $11\mu\text{m}$ 到 $15\mu\text{m}$ ，畫素間距則從 $0.5\mu\text{m}$ 到 $0.9\mu\text{m}$



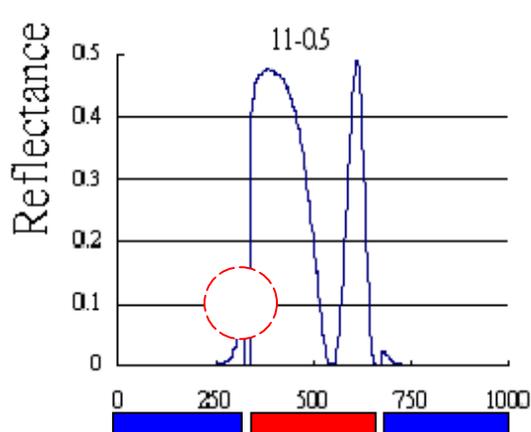
圖(5-1)

我們使用 2Dimos 模擬 2D 的液晶光軸分布，再利用 2×2 算出其在正交偏光片下液晶光軸與偏光片夾 45° 的反射光強度，模擬參數為如

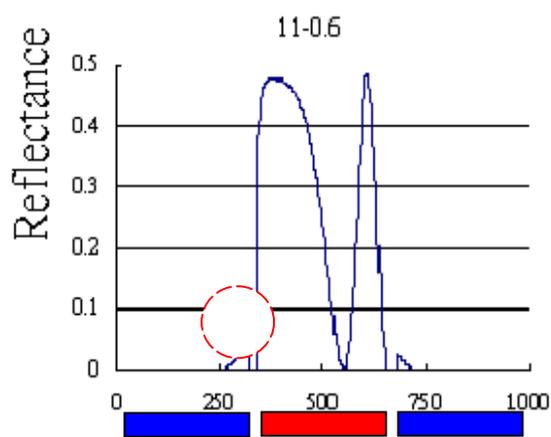
表 5-1

液晶	n_e	Δn	$\epsilon_{//}$	$\Delta\epsilon$	Pretilt angle	λ
MLC-6609	1.5546	0.078	3.4	-3.7	88°	550(nm)

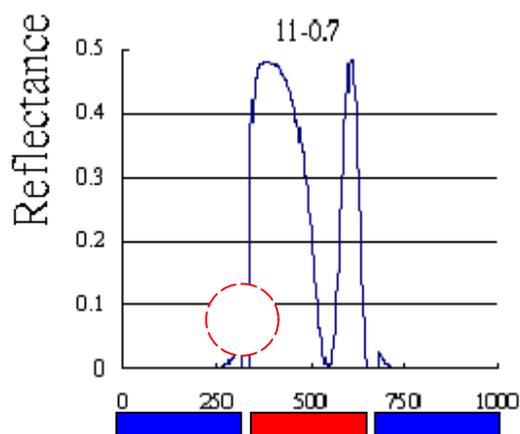
表 5-1



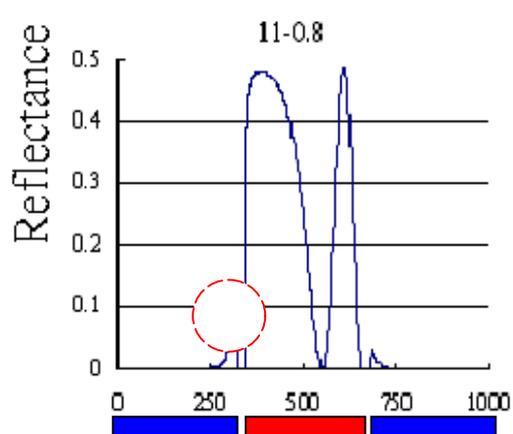
圖(5-2)



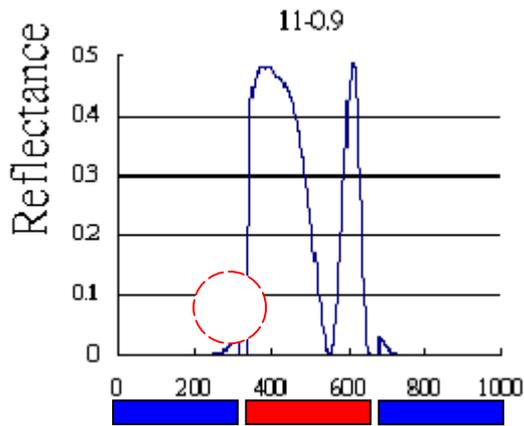
圖(5-3)



圖(5-4)

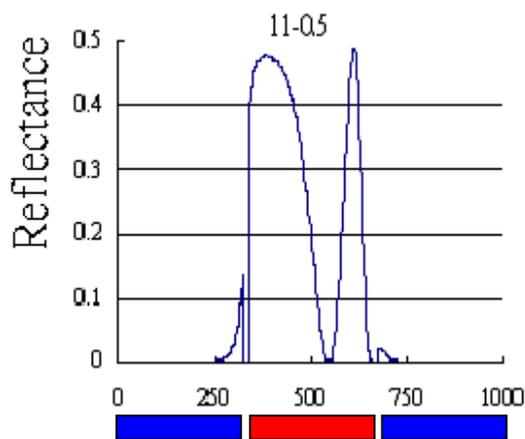


圖(5-5)

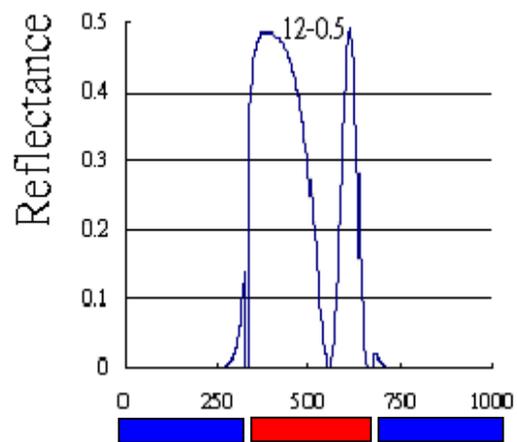


圖(5-6)

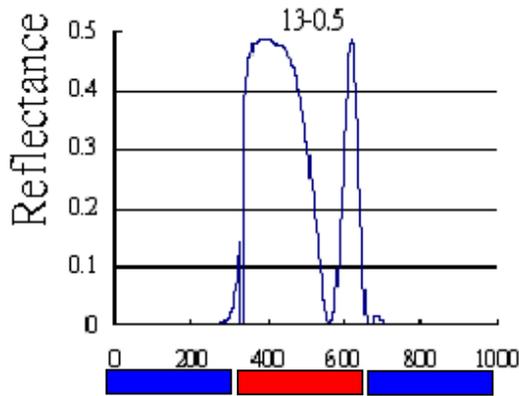
圖(5-2)~圖(5-6)為畫素電極固定為 $11\ \mu\text{m}$ ，畫素間距依序為 $0.5\ \mu\text{m}$ 到 $0.9\ \mu\text{m}$ 。我們可看出中間為亮態的畫素電極受到邊際電場的影響使得在電極右半部的液晶光軸反轉，而造成畫素中間有一條很明顯的暗紋，如果要實際用在 Lcos 上，則這個問題是必須要解決的。至於左右兩邊的暗態畫素電極也都因為邊際電場的影響造成漏光，由圖中左邊電極可看出固定畫素電極的大小，畫素間距愈小其漏光愈嚴重。



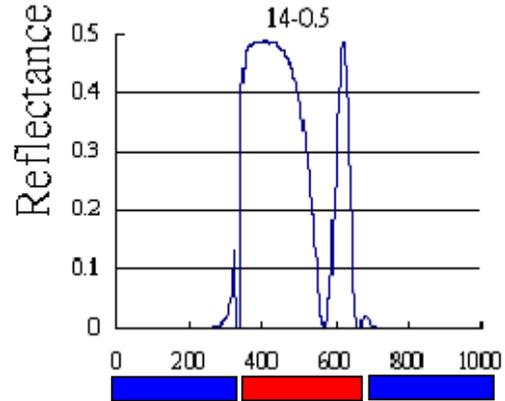
圖(5-7)



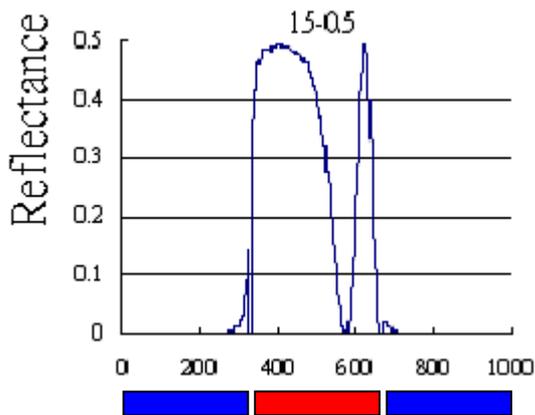
圖(5-8)



圖(5-9)



圖(5-10)



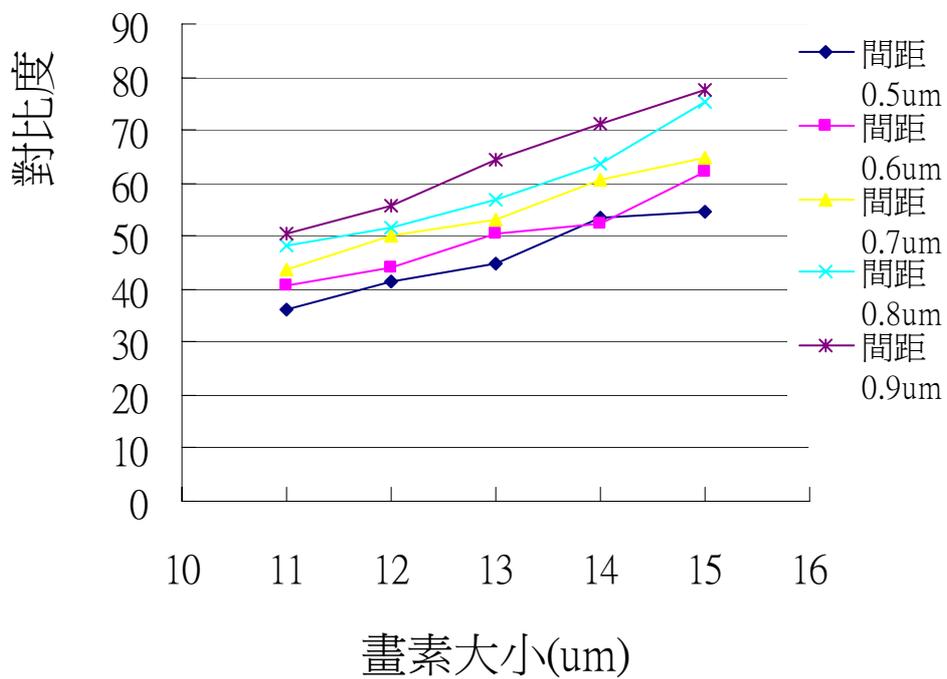
圖(5-11)

圖(5-7)~圖(5-11)為畫素間距固定為 $0.5 \mu\text{m}$ ，畫素電極依序為 $11 \mu\text{m}$ 到 $15 \mu\text{m}$ 。可以由圖看出左右兩邊的暗態畫素電極漏光的強度在固定畫素間距下幾乎是一樣的，而中間亮態的畫素電極還是有一條暗紋，但畫素電極愈大所影響的區域相對來說就愈小。

我們去計算在這 25 種組合其亮暗的對比度(這裡所謂的對比度是指中間亮態畫素與兩邊暗態畫素的比值，與一般對比度的定義不同)，參考計算公式(5.1)式為亮態畫素電極全部的反射率除一個暗態畫素電極(左右各半個)的全部反射率。

$$CR = \frac{\int R_{bright}}{\int R_{dark}} \dots\dots\dots(5.1)$$

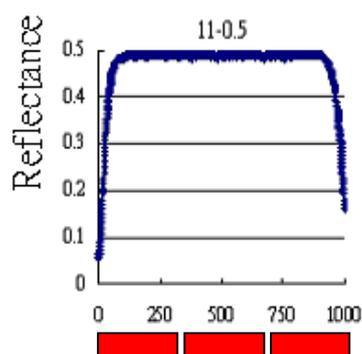
圖(5-12)為對比度(亮暗畫素間的對比)與畫素間距及畫素大小的關係圖，當畫素電極的大小固定，間距愈小對比度愈低，或間距寬固定畫素電極愈大對比度愈高。



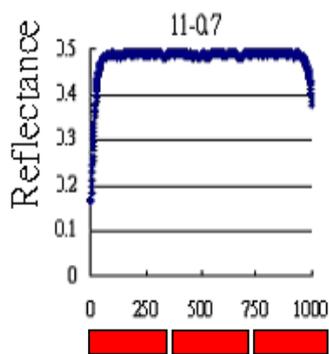
圖(5-12)

5-1-2 畫素全為亮:

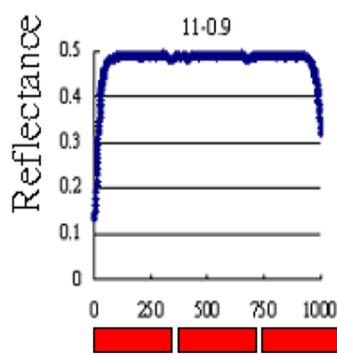
如圖(5-1)所示的結構圖，當三個畫素電極皆為 6V 即三個畫素都為亮態時，圖(5-13)~ (5-15)為固定畫素大小為 $11\mu\text{m}$ 及畫素間距分別為 0.5 、 0.7 、 $0.9\mu\text{m}$ ，圖(5-16)~ (5-18)為固定畫素間距為 $0.5\mu\text{m}$ 及畫素大小分別為 11 、 13 、 $15\mu\text{m}$ ，由模擬結果可看出當畫素全部為亮態時，改變畫素大小及畫素間距，邊際電場幾乎沒有影響。



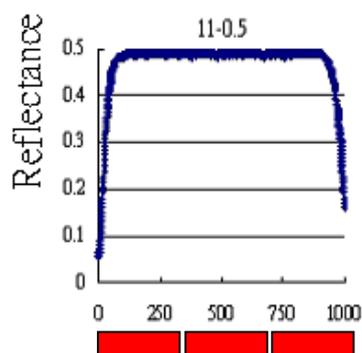
圖(5-13)



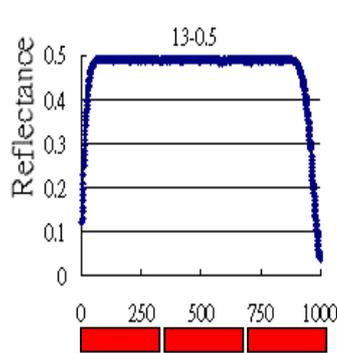
圖(5-14)



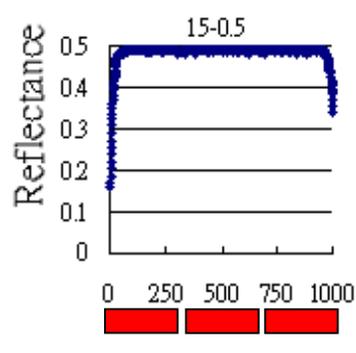
圖(5-15)



圖(5-16)



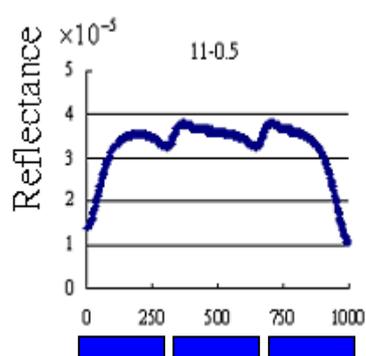
圖(5-17)



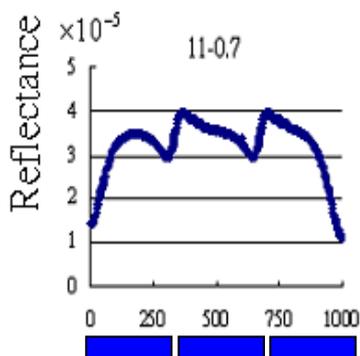
圖(5-18)

5-1-3 畫素全為暗：

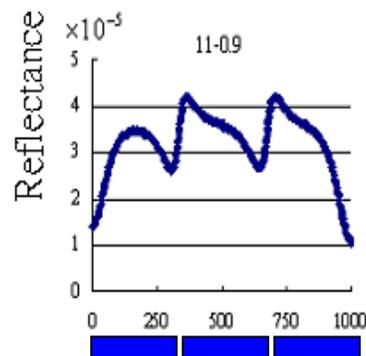
同樣的結構下，若三個畫素電極皆為 1.8V 即三個畫素都為暗態時，模擬結果跟全為亮一樣幾乎無邊際電場的影響，圖(5-19)~ (5-21) 為畫素大小為 $11\mu\text{m}$ 及畫素間距分別為 0.5、0.7、0.9 μm 。



圖(5-19)

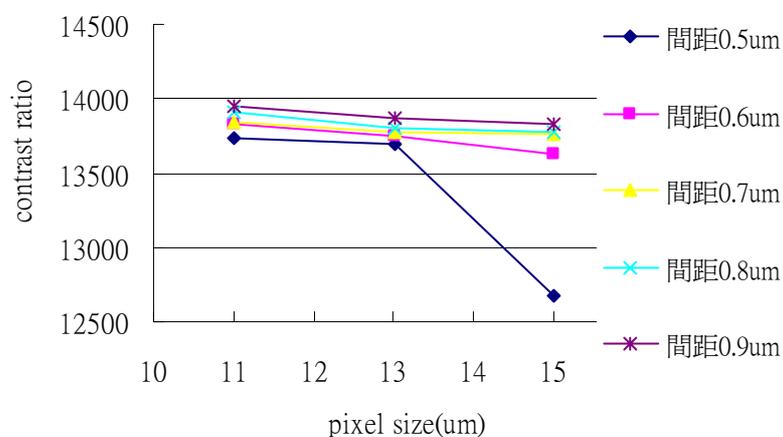


圖(5-20)



圖(5-21)

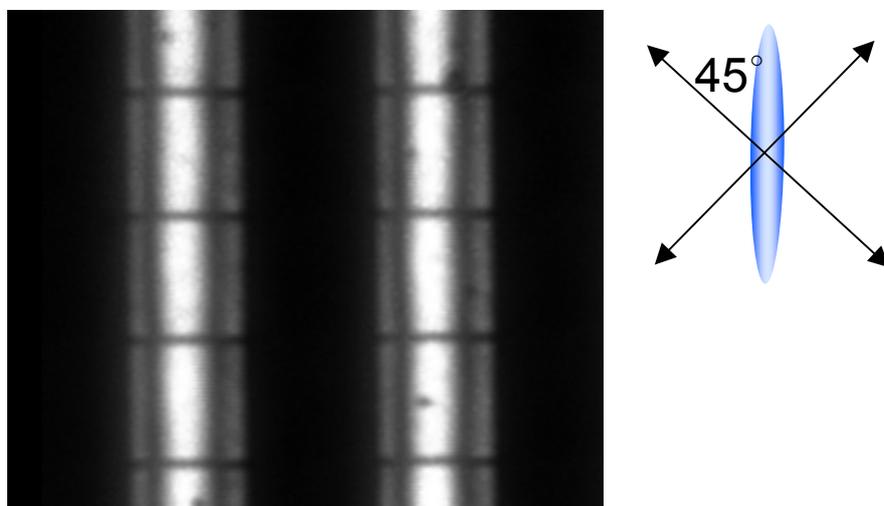
圖(5-22)為對比度與畫素間距及畫素大小的關係圖，由圖中可知在全亮、全暗時(邊際電場的影響很小)有很高的對比度，但還是隨著間距愈小對比度愈低。



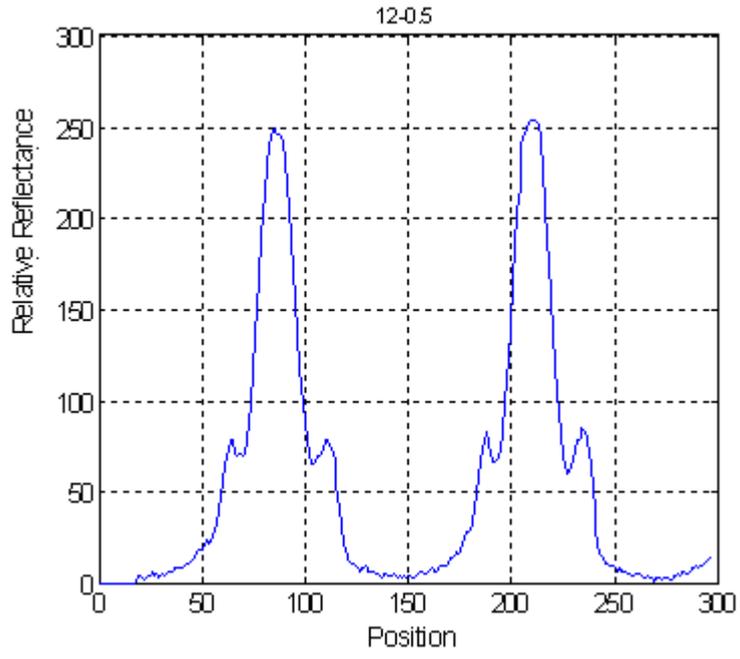
圖(5-22)

5-2 實驗觀察結果

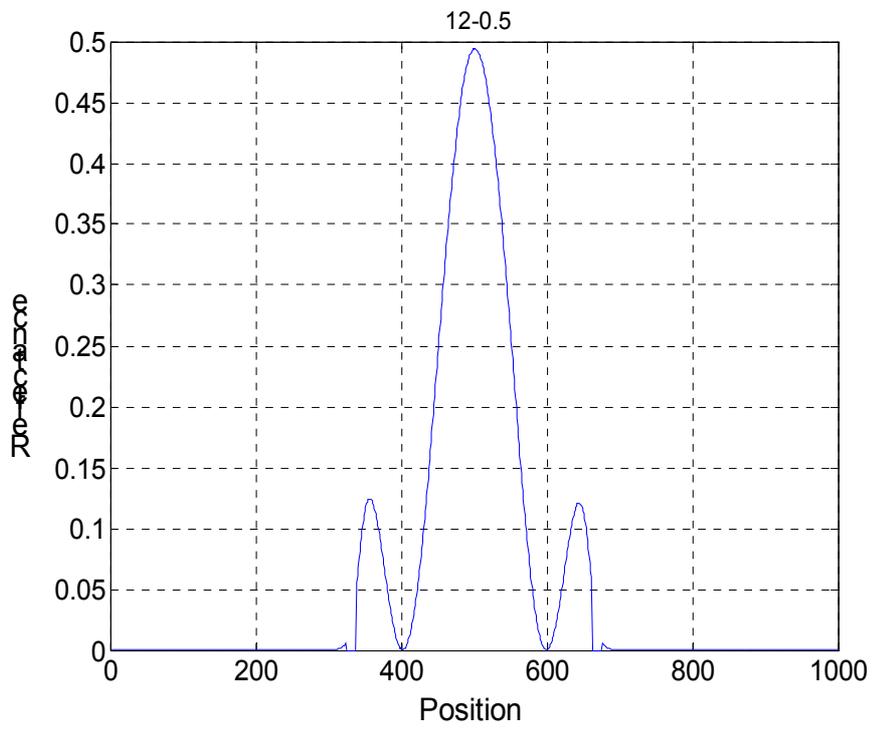
圖(5-23)為在正交偏光顯微鏡下畫素為亮暗相間時觀察到的結果，畫素大小為 $12\mu\text{m}$ 間距為 $0.5\mu\text{m}$ ，液晶光軸與偏振片夾 45° 。我們可清楚看見亮態畫素(電壓 3.6V)的兩邊有兩條暗紋及兩條比較小的亮紋，而圖(5-24)為圖(5-23)之一橫切面圖。同樣地我們去模擬畫素電極為暗亮暗的結構如圖(5-1)，而 Rubbing 的方向改為進出紙面的方向，模擬參數:液晶為 MLC-6608、厚度 $3.1\mu\text{m}$ 、畫素大小為 $12\mu\text{m}$ 、間距為 $0.5\mu\text{m}$ 、預傾角 89° 、 λ 為 633nm ，其模擬結果如圖(5-25)，而與實驗所觀察到的圖形相當相似。



圖(5-23)

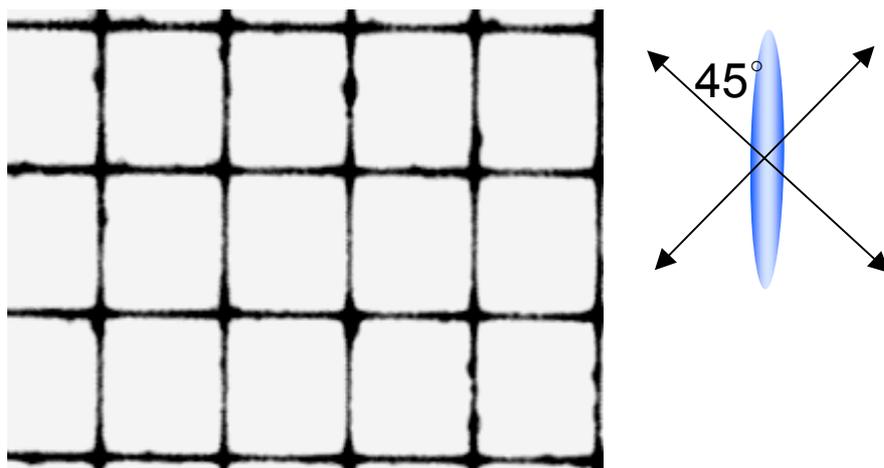


圖(5-24)

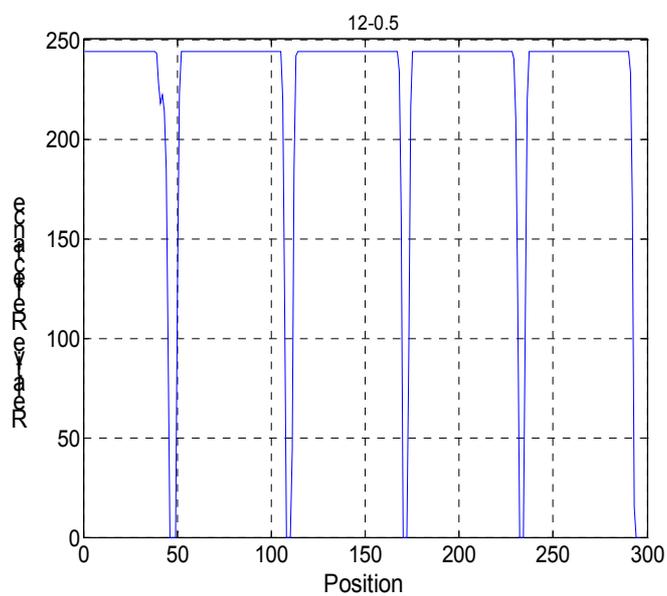


圖(5-25)

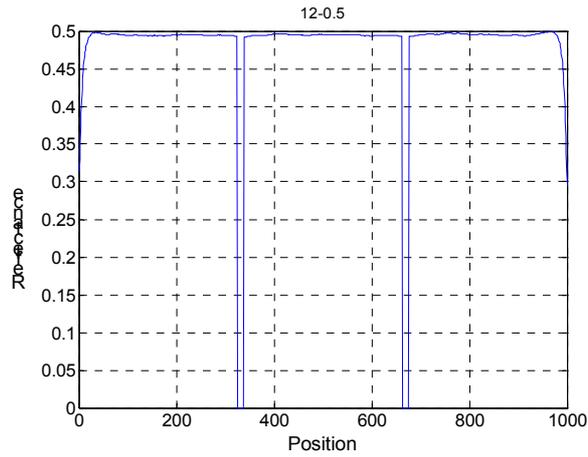
圖(5-26)為畫素全為亮觀察到的結果，圖(5-27)為圖(5-26)之一橫切面圖，而模擬結果如圖(5-28)所示，從實驗觀察圖及模擬圖來看，實際電場幾乎沒有影響。



圖(5-26)



圖(5-27)



圖(5-28)

雖然實驗上我們還不能實際去量測單一畫素的反射率來驗證不同畫素間距對於對比度(亮暗畫素間的對比)的影響，但從實驗觀察到的結果很明顯的看出在暗亮暗的結構下邊際電場會降低反射率，而在全為亮及全為暗的結構下反射率不會有太大的影響。

第六章 結論與展望

在本研究中我們提出了同時量測反射式垂直排列液晶盒厚度及預傾角的方法，藉由量測出的厚度及預傾角可以更深入的了解其他特性，另一方面也藉由模擬及實驗上的觀察探討 LCOS 在垂直排列時邊際電場對其光學上的影響。以下歸納出幾點結論，以供日後進一步研究之參考：

- 一、 我們架設一套相位差量測系統，經由理論的分析可得到垂直排列液晶盒的厚度及預傾角。
- 二、 畫素電極為亮暗相間的結構下，邊際電場會使得反射率及對比度(亮暗畫素間的對比)降低;而畫素電極全為亮或暗時(即每個畫素皆為相同的電壓)邊際電場幾乎沒有影響。
- 三、 畫素電極為亮暗相間的結構下，邊際電場隨著畫素間距愈小影響愈大對比度(亮暗畫素間的對比)愈低，而固定畫素間距下畫素愈大對比度(亮暗畫素間的對比)愈高。

對於未來展望，可針對以下幾個方向做進一步研究與探討：

- 一、 設計其他量測方法來量測其液晶盒的參數，最好一量測系統可同時量測幾個不同的 mode，例如垂直排列液晶盒、扭轉型線狀

液晶盒……等。

- 二、 改變其他液晶盒的參數例如厚度，預傾角……等，來探討邊際電場對於反射率及其他特性會有什麼影響，尋找垂直排列應用在 LCoS 上的最佳的液晶盒參數。



參考文獻

1. K.H Yang, J.Appl.Phys, p.4780-4781(1988)
2. K.-C. Lim and John T. Ho, Molecular Crystals & Liquid Crystals, **47**, 173 (1978) .
3. Iam-Choon Khoo and Shin-Tson Wu,“Optics and Nonlinear Optics of Liquid Crystals”, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore (1993) .
4. 范揚宜, “垂直配向液晶的錨定特性”, 交通大學光電所碩士論文 (2001) .
5. Shin-Tson Wu and Gang Xu ,IEEE Transactions on Electron Device, Vol.49, No.11, November 2002.