

# 國立交通大學

光電工程研究所

碩士論文

半穿透式 OCB 液晶顯示器的光電設計

**Electro-Optical Design on Transflective  
OCB LCD**

研究生：向瑞傑

指導教授：王淑霞

中華民國九十四年六月

半穿透式 OCB 液晶顯示器的光電設計

**Electro-Optical Design on Transflective OCB LCD**

研究生：向瑞傑

Student：Rui-Jie Xiang

指導教授：王淑霞

Advisor：Rrof. Shu-Hsia Chen

國立交通大學

光電工程學系暨研究所



Submitted to Department of Photonics and 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 2005

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十四年六月

# 半穿透式 OCB 液晶顯示器的光電設計

研究生：向瑞傑

指導教授：王淑霞

國立交通大學光電工程學系暨研究所



半穿透式顯示器廣泛的運用在可攜帶式的電子產品中，不論外在環境光為亮或暗的情況下，半穿透式都具有良好的光學品質。目前為止大部分的半穿透式顯示器都是利用電控雙折射(Electric Control Birefringent)[1]或多區域扭轉型/扭轉型(Multi-domainTN/TN)[2-3]模態，但其缺點為視角不夠廣與反應速度慢。眾所皆知得，OCB 顯示器是有快速光學反應且光學自我補償特性[4-5]，對於攜帶式電子型產品的多媒體運用上，我們提出運用 OCB 模態的半穿透式顯示器。

在本論文中所設計的半穿透 OCB 顯示器對每一層模進行最佳化設計，包含廣視角偏光片、寬頻  $\lambda/4$  波片及相位補償片，最後的光學特性

具有廣視的特性，而液晶層則是工作在電誘的彎曲狀態，模擬的解結果顯示歸一化的穿透率對電壓曲線圖與反射率對電壓曲線圖能近乎重合，也因如此，只需要相同一顆的 TFT 驅動 IC 便能驅動穿透區與反射區，所設計的半穿透式 OCB 顯示器的視角品質也比一般常見的半穿透式顯示器[1]還要好，除此之外，為了要達到更廣的視角品質在光學系統中加入廣視角偏光片與寬頻  $\lambda/4$  波片是很好的選擇。



# **Electro-Optical Design on Transflective OCB LCD**

Student : Rui-Jie Xiang      Advisor : Prof. Shu-Hsia Chen

**Department of Photonics and Institute of  
Electro-Optical Engineering College of Electrical  
Engineering National Chiao Tung University**



## **Abstract**

Transflective liquid-crystal displays have been widely used in mobile electrical products due to good visibility under both dark and bright environments. Most of the transflective LCDs use ECB[1] or MTN/TN[2-3] modes have poor viewing angle and response speed. OCB LCD is well known to have fast optical response and optical self-compensation[4-5]. For multi-media application of mobile electrical product, we propose a transflective LCD with OCB-mode.

In this report, we design a transflective OCB LCD with wide viewing angle, which is achieved by optimizing the parameters of the wide-viewing

angle polarizers, wide-band quarter wave plates and compensating films to the electrical-induced bend state of liquid crystal layer. Simulated results show the normalized voltage dependence of transmittance and reflectance overlap completely, it can be controlled with the same control circuit and the identical TFT array. The viewing angle performance of the transfective OCB LCD is better than that of conventional transfective LCD[1]. The viewing angle performance will be better if the electro-optical system combines with CFCP and WB-QWP.



## 誌謝

首先我要感謝我的父母親，由於你們給我很多的自由空間讓我能學會獨立和與人相處的道理，在求學的過程中讓我能自在的發揮。自國小到研究所的每一個階段中都能碰到一位特別的老師讓我的人生由歧途中慢慢的牽引我回正道，感謝你們。

在未進入液 晶實驗室前特別需要感謝在逢甲陪伴我的寶芝學姊及大學同學，寶芝學姊字字句句的鼓勵話讓我有勇氣來到這學術的殿堂磨練，大學同學們的情誼日久彌堅。在液晶實驗室的日子裡，先要感謝指導教授—王淑霞老師，一句話”不卑不亢”點醒我在未來應該如何面對自己與大家。感謝實驗室的秋蓮、揚宜、勇哥、寬哥、雄哥、怡安、范姜、芝珊、鵲如、德源、舒展、建宏、世郁、美琪、阿發容許我在實驗室胡作非為。在此特別感謝實驗室的 leader-范姜，在最後一段天天用網球電我讓我減肥，無名美女相本讓我延長壽命；芝珊學姊的超強理論推導幫助讓我論文多了一些些理論，健康的交友法則讓我了解如何對待女性朋友；無敵小伍-沒有了他，實驗室沒有笑點，沒有了他，實驗室清流不在歪風四起；當然後要感謝提拔我的秋蓮與鵲如學姊，沒有了他們我大概還不知道碩士論文要做什麼吧!!(誇示法)；對了!對了!還有怡安啦!!沒有了他，我大概論文作不出來吧!!

最後在這感謝幫助我的大學與研究所同學們，沒有了你們大概要在這快樂的讀完碩士應該很難吧!!聯誼摟!!打球摟!!

**珍重再見!! 要常連絡喔!!**

**向瑞傑 2004.7.7**

# 目錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	iii
誌謝.....	v
目錄.....	vi
表目錄.....	viii
圖目錄.....	ix
第一章 緒言.....	1
1.1 半穿透式顯示器.....	1
1.2 OCB 模態.....	3
1.3 研究動機.....	6
第二章 理論.....	8
2.1 向列型液晶的彈性連續體理論.....	8
2.2 光學.....	13
2.2.1 Poincaré sphere.....	15
2.2.2 Extended Jones matrix method.....	19
2.2.3 斜向入射的相位差.....	23
第三章 光電設計.....	27
3.1 光電設計準則.....	29
3.2 寬頻的 $\lambda/4$ 波片.....	34



3.3	正交偏光片之漏光補償.....	36
3.4	液晶之相位補償.....	42
第四章	模擬結果.....	50
4.1	半穿透式 OCB LCD 加補償片 (A-Plate & C-Plate).....	52
4.2	半穿透式 OCB LCD 加補償片 (Biaxial Film).....	55
4.3	半穿透式 OCB LCD 加補償片 (SWV Film+C-Plate).....	58
第五章	結論與討論.....	66
第六章	展望.....	71
參考文獻	.....	73



## 表目錄

表一	折射率參數.....	61
表二	各模片的慢軸方位角參數.....	62
表三	相位延遲片(A-Plate+C-Plate)的厚度參數.....	62
表四	相位延遲片(Biaxial Film)的厚度參數.....	63
表五	相位延遲片(SWV Film+C-Plate)的厚度參數.....	63
表六	穿透區的等對比率與灰階反轉角度.....	64
表七	反射區的等對比率與灰階反轉角度.....	65



## 圖目錄

圖 1.1	1998 年到 2005 年的全球行動電話市場量圖.....	1
圖 1.2	半穿透式與穿透式手機於室內和室外的比較圖.....	2
圖 1.3	OCB 模態隨電壓所轉換的模態變遷示意圖.....	4
圖 1.4	關掉外加電壓後的液晶流動效應(a) $\pi$ -cell (b)Homogeneous cell.....	5
圖 1.5	OCB 模態的相位自我補償示意圖.....	5
圖 1.6	半穿透式 OCB LCD 結構圖.....	6
圖 2.1	指向矢場與外場分佈示意圖.....	10
圖 2.2	定義偏極橢圓上的符號關係圖.....	14
圖 2.3	定義符號於 Poincaré Sphere 上的關係圖.....	15
圖 2.4	各個偏振態於 Poincaré Sphere 上的位子圖.....	16
圖 2.5	入射光進入雙折射平面(光軸平行基準軸)圖.....	16
圖 2.6	入射偏振態(P)經相位( $\Gamma$ )到出射偏振態( $Q_1$ )示意圖一.....	17
圖 2.7	入射光進入雙折射平面(光軸偏離基準軸 $\phi_c$ )圖.....	17
圖 2.8	入射偏振態(P)經相位( $\Gamma$ )到出射偏振態( $Q_1$ )示意圖二.....	18
圖 2.9	定義入射晶體的關係圖.....	20
圖 2.10	旋轉座標圖.....	21
圖 2.11	通過單軸晶體平面的透光關係圖.....	24
圖 2.12	晶體座標關係圖.....	25
圖 2.13	入射光進入晶體的 e 模態與 o 模態圖.....	25
圖 3.1	半穿透式光學系統架構圖.....	27
圖 3.2	歸一化後的半穿透式(a)亮態(b)暗態 光學偏光圖.....	28
圖 3.3	設計流程圖.....	29
圖 3.4	彎曲態與扭轉態的 Gibb's free energy 對電壓作圖.....	30

圖 3.5	(a)尋找反射區厚度結構圖 (b)不同反射區後度下的 R-V 曲線圖	31
圖 3.6	歸一化的 T-V 與 R-V 曲線圖	31
圖 3.7	反射區的視角漏光模擬圖(a)加 $\lambda/4$ 波片 (b)加寬頻 $\lambda/4$ 波片	32
圖 3.8	穿透區的視角漏光模擬圖(a)正交偏光片 (b)廣視角正交偏光片	33
圖 3.9	反射式光學系統示意圖	34
圖 3.10	反射式系統中寬頻 $\lambda/4$ 波片與否的 R- $\lambda$ 曲線圖	35
圖 3.11	正交偏光片漏光示意圖 (a) $\theta_i = 0^\circ$ 下的偏光片與檢偏片穿透軸 (b) $\theta_i = 60^\circ$ 下的偏光片與檢偏片穿透軸	36
圖 3.12	極角分別為 $0^\circ$ (P & A)與 $70^\circ$ (P' & A')於 Poincaré Sphere 上的偏振態位子圖	38
圖 3.13	A-Plate + C-Plate 於 Poincaré Sphere 上的偏振態軌跡圖	39
圖 3.14	一片 Biaxial 片於 Poincaré Sphere 上的偏振態軌跡圖	39
圖 3.15	兩片 Biaxial 片疊加於 Poincaré Sphere 上的偏振態軌跡圖	40
圖 3.16	正交偏光片加各種補償膜的漏光模擬結果圖(a)未加補償前(b)加 A-Plate+C-Plate 補償 (c)加一片 Biaxial Film 補償 (d) 加兩片 Biaxial Films 補償	41
圖 3.17	相位延遲片設計流程圖	42
圖 3.18	斜向入射相位分析示意圖	42
圖 3.19	A-Plate 補償正軸液晶層相位差示意圖	43
圖 3.20	A-Plate 補償正軸液晶層相位差的 $\Delta nd$ -視角曲線圖	44
圖 3.21	C-Plate 補償離軸暗態(液晶層+A-Plate)相位差示意圖	45
圖 3.22	C-Plate 補償離軸(液晶層+A-Plate)相位差的 $\Delta nd$ 對視角曲線圖	45
圖 3.23	波數空間(k space)說明 A-Plate 與 C-Plate 等效 Biaxial film 圖	46
圖 3.24	Biaxial Film 補償暗態液晶層相位差的 $\Delta nd$ 對視角曲線圖	47
圖 3.25	SWV Film 分子排列與液晶層分子呈鏡向對稱示意圖	47
圖 3.26	(SWV Film+C-Plate)補償暗態液晶層相位差的 $\Delta nd$ 對視角圖	48

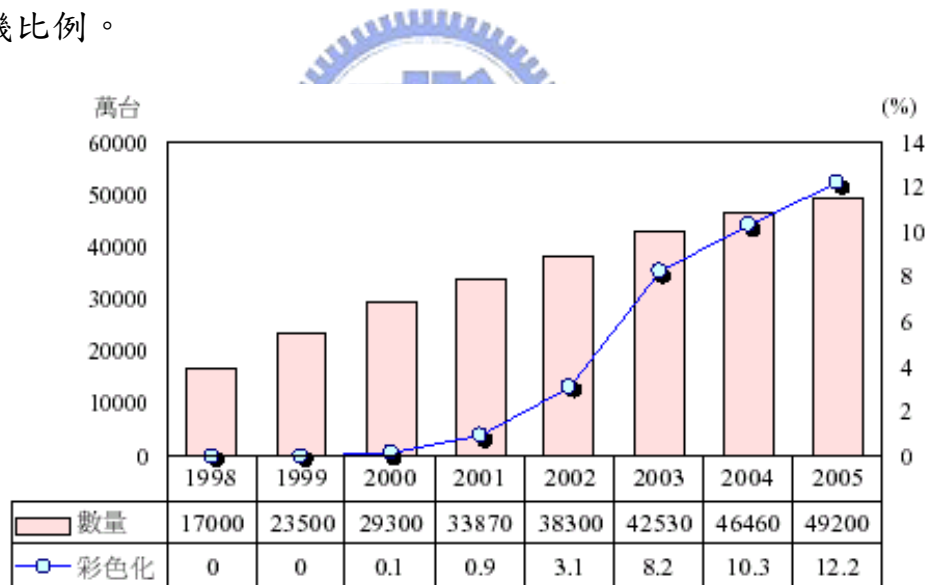
圖 4.1	未加入相位補償片前的 TR-OCB LCD 圖(a)結構圖與參數 (b) (c) 穿透區的水平方向與垂直方向的視角圖 (d) (e) 反射區的水平方向與垂直方向的視角圖 (f) (g) 穿透區與反射區的對比圖.....	51
圖 4.2	加入相位補償片 (A-Plate+C-Plate) 的 TR-OCB LCD 結構圖 (a)Case1A—相位補償片 (b) Case1B—相位補償片+廣視角片 (c) Case1C—相位補償片+寬頻 QWP (d) Case1D—相位補償片+寬頻 QWP+廣視角片.....	52
圖 4.3	加入不同特性補償的等對比率圖 穿透區的(a) Case1A (b) Case1B(c) Case1C (d) Case1D 反射區的(e)Case1A (f) Case1B (g) Case1C (h) Case1D.....	53
圖 4.4	加入不同特性補償的視角圖 穿透區 Case1A 的 (a)水平方向視角(b)垂直方向視角 反射區 Case1A 的 (c)水平方向視角(d)垂直方向視角 穿透區各暗態的 (e)水平方向視角(f)垂直方向視角 反射區各暗態的 (g)水平方向視角(h)垂直方向視角.....	54
圖 4.5	加入相位補償片 (Biaxial film) 的 TR-OCB LCD 結構圖(a)Case2A—相位補償片 (b) Case2B—相位補償片+廣視角片 (c) Case2C—相位補償片+寬頻 QWP (d) Case2D—相位補償片+寬頻 QWP+廣視角片.....	55
圖 4.6	加入不同特性補償的等對比率圖 穿透區的(a) Case2A (b) Case2B(c) Case2C (d) Case2D 反射區的(e)Case2A (f) Case2B (g) Case2C (h) Case2D.....	56
圖 4.7	加入不同特性補償的視角圖 穿透區 Case2A 的 (a)水平方向視角(b)垂直方向視角 反射區 Case2A 的 (c)水平方向視角(d)垂直方向視角 穿透區各暗態的 (e)水平方向視角(f)垂直方向視角 反射區各暗態的 (g)水平方向視角(h)垂直方向視角.....	57

圖 4.8	加入相位補償片(Biaxial film)的 TR-OCB LCD 結構圖(a)Case3A—相位補償片 (b) Case3B—相位補償片+廣視角片(c) Case3C—相位補償片+寬頻 QWP (d)Case3D—相位補償片+寬頻 QWP+廣視角片..58
圖 4.9	加入不同特性補償的等對比率圖 穿透區的(a) Case3A (b) Case3B(c) Case3C (d) Case3D 反射區的(e)Case3A (f) Case3B (g) Case3C (h) Case3D.....59
圖 4.10	加入不同特性補償的視角圖 穿透區 Case3A 的 (a)水平方向視角(b)垂直方向視角 反射區 Case3A 的 (c)水平方向視角(d)垂直方向視角 穿透區各暗態的 (e)水平方向視角(f)垂直方向視角 反射區各暗態的 (g)水平方向視角(h)垂直方向視角.....60
圖 5.1	半穿透式結構圖(a)水平排列樣品(Conv.) (b)Case1C 的 OCB 結構 (c)Case2C 的 OCB 結構 (d)Case3C 的 OCB 結構.....66
圖 5.2	T(R)-V 特性曲線圖(a)水平排列樣品 (b)Case1C 的 OCB 樣品.....67
圖 5.3	半穿透式顯示器(a)結構圖 (b)穿透區的等對比率等於 10 圖 (c)反射區的等對比率等於 10 圖.....68
圖 5.4	半穿透式 OCB 顯示器於 CaseD(a)結構圖 (b)穿透區的等對比率等於 10 圖 (c)反射區的等對比率等於 10 圖.....68
圖 5.5	半穿透式 OCB 顯示器於 CaseA(a)結構圖 (b)穿透區的等對比率等於 10 圖 (c)反射區的等對比率等於 10 圖.....69
圖 5.6	半穿透式 OCB 顯示器於 CaseB(a)結構圖 (b)穿透區的等對比率等於 10 圖 (c)反射區的等對比率等於 10 圖.....69
圖 6.1	彎曲核心源示意圖.....72
圖 6.2	半穿透式邊界的”彎曲核心源”想法示意圖.....72

# 第一章 緒言

## 1.1 半穿透式顯示器

1998~1999年間行動電話出現爆發性的成長，全球行動電話市場量在1999年已經達到2.35億支，用LCD的市場規模達1400億日元，比98年成長了34.8%，行動電話面板市場佔整體中小型STN LCD市場比例也由98年37%提升到99年的47%。2000年將近3億支，成長率都在30%以上，然而彩色手機系列在2002年開始崛起約佔全部3.1%比重，而2005年約有6000萬台彩色面板手機上升到12.2%，圖1.1為1998年到2005年的全球行動電話市場總量與彩色化手機比例。



資料來源：EIAJ/中日社 1999

圖 1.1 1998 年到 2005 年的全球行動電話市場量圖

2001年四月EDEX(電子顯示器)展在東京盛大舉行，會場中值得注意的是LCD面板廠商均強力介紹應用在手機與PDA產品的彩色LCD螢幕，其中在參展廠商發表32種新款的手機面板，有16款為反射式LCD、15款為半穿

透式LCD與1款的OLED，由此可看出手機技術朝向省電化發展；面板尺寸則多數為1.9-2.1吋，大部分面板均使用0.5mm厚度的玻璃基板。彩色面板供應大廠Sharp，除展出1.9吋STN LCD(120 ×160 dots, 60ms,6.5萬色)外，最新產品是CGS TFT LCD，2吋面板精細度高達197 ppi、26 萬色，將定位在未來影像攜帶產品需求上。

半穿透式技術之所以被受重視的原因是整合了穿透式與反射式的優點與摒棄兩者的缺點，優點除了低功率消耗外，主要吸引人是在光學品質上面得到較大的改善--不論在強光下或弱光下都有很好的可視特性，但缺點則是多一道製程手續且良率可能稍微比穿透式差一點。以 Sharp 在 2003 年 Q4 台灣所量產的半穿透手機為例-GX21 就具有良好的光學品質。

半穿透式手機      彩色手機      半穿透式手機      彩色手機



室內-日光燈下

戶外-陽光下

圖 1.2 半穿透式與透明式手機於室內和室外的比較圖



## 1.2 OCB 模態

$\pi$ -cell[6]的模態早自於 1983 年 Philips. J. Bos 與 J. A. Rahman 的想法，由於流體效應的幫助其反應時間比其他的傳統模態還快，且具有自我補償指向矢結構的特性，所以對於液晶顯示器的視角可以大大的改善。由於 T. Uchida 團體大力的發展下，OCB LCD 利用  $\pi$ -cell 的結構達到快速反應與廣視角的特性，但是此模態有一個問題還需要克服—熱機時間，目前最常用的方法為外加高電壓縮短熱機時間。

圖 1.3 為 OCB 模態隨電壓所轉換的模態變遷示意圖。若沒有外加電壓時( $V_{apply} = 0V$ )，樣品中為均勻的斜展態(splay state)排列，當外加電壓超過臨界電壓( $V_{apply} > V_{cr}$ )時，樣品將由斜展態排列經路徑①到達過度狀態-不對稱斜展態(asymmetric splay state)，再經由路徑②變成彎曲態(bend state)，若再持續加電壓在樣品間就會經路徑③到達垂直態(homeotropic state)，而 OCB-cell 的工作狀態區間就是在彎曲態與垂直態間轉化。假如樣品在彎曲態的狀況下外加電壓小於  $V_t$  ( $V_{apply} < V_t \approx 1.42V$ )，將會由路徑④歷經超過 200 豪秒後變成扭轉態(twist state)，若馬上再外加電壓超過  $V_t$  也將經路徑⑤馬上變成彎曲態，相反的，若關掉外加電壓( $V_{apply} = 0V$ )，扭轉態將會由路徑⑥歷經超過 500 豪秒後變成斜展態。2004 年 Kenji Nakao 利用橫向電場(lateral electric field)快速的將斜展態經由路徑⑦變成扭轉態在經由路徑⑤達到工作狀態，此法快速的縮短熱機時間。

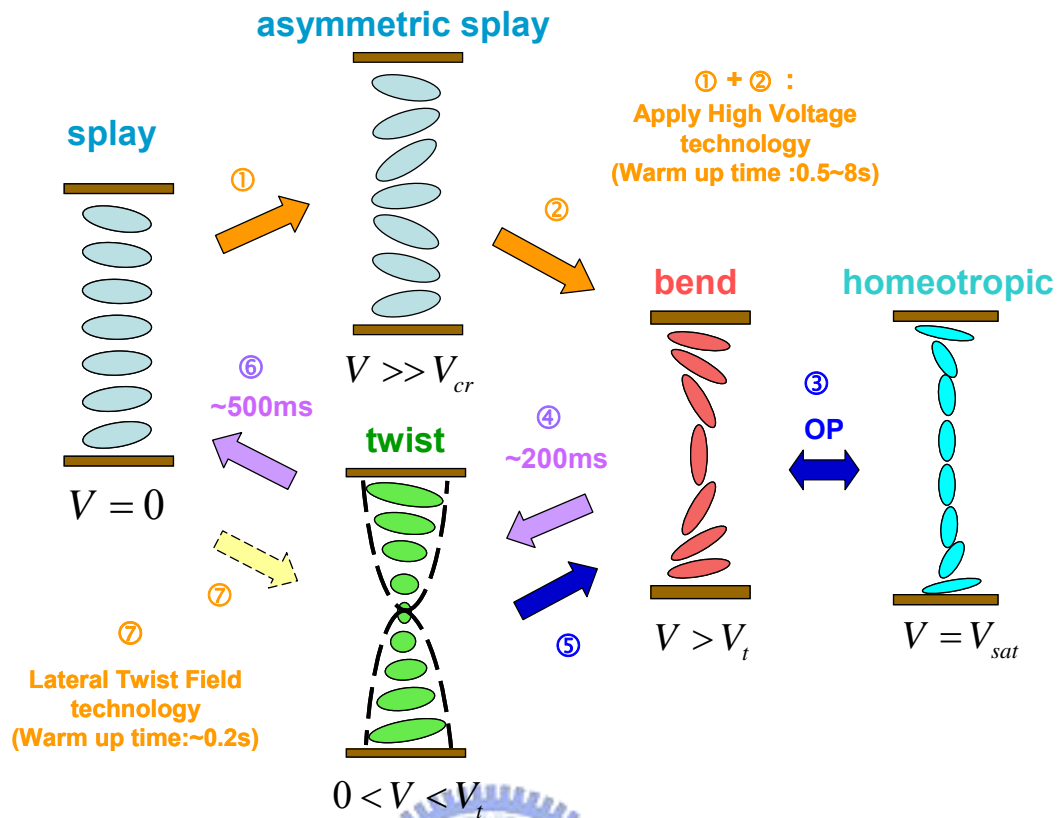


圖 1.3 OCB 模態隨電壓所轉換的模態變遷示意圖

在未來的手機市場不僅與視訊動畫結合外並且需要與別人分享畫面等的需求下，元件的快速反應與廣視特性將變成必備的條件，幸運得， $\pi$ -cell 就是具有這兩個特性條件：1.快速反應：在流體動力學(hydrodynamic)的理論計算下可以發現  $\pi$ -cell 的結構可因為流體效應(flow effect)造成個各灰階電壓轉換速度都僅僅只需要幾個豪秒，相同的計算用在水平排列樣品的個各灰階電壓轉換速度可能就會達到幾十個豪秒的時間，所以反應時間可說是相當的快速。2.廣視特性：分析  $\pi$ -cell 的指向矢隨  $z$  方向分佈可發現指向矢以中間( $z=0$ )為對稱點，上下的指向矢具有鏡向對稱的特性( $n(z) = n(-z)$ )，因此對於斜向相位差也會對稱( $\Gamma(\theta_v) = \Gamma(-\theta_v)$ )，此特性稱之為自我補償

(self-compensation), 也因為如此未來補償將可達到對稱的廣視效果。

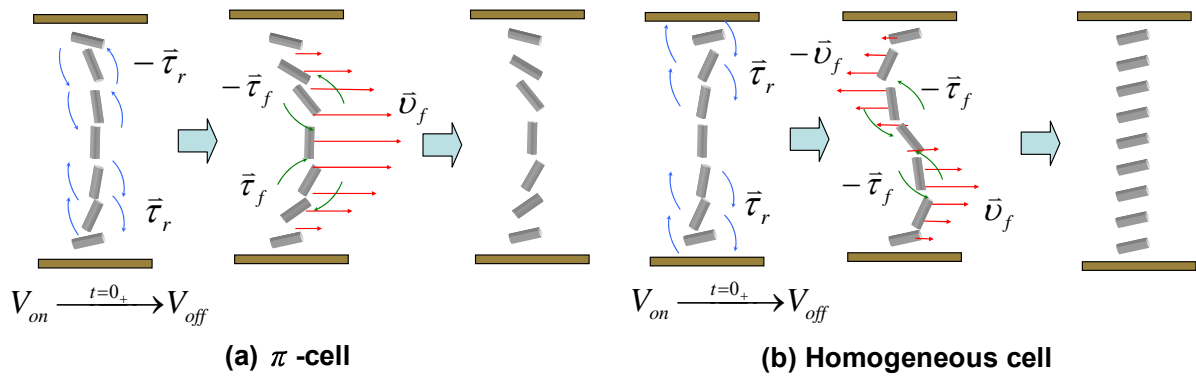


圖 1.4 關掉外加電壓後的液晶流動效應(a) $\pi$ -cell (b)Homogeneous cell

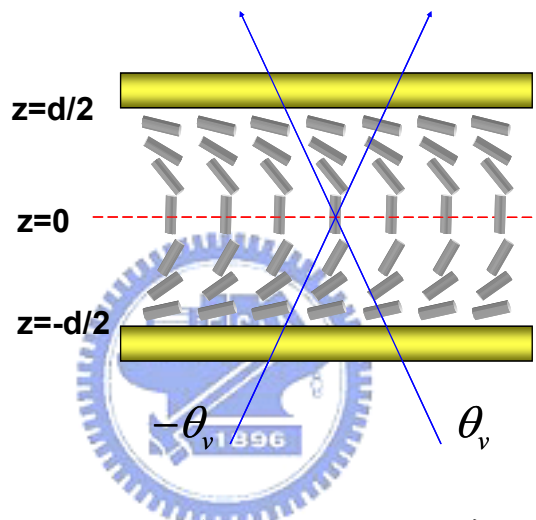


圖 1.5 OCB 模式的相位自我補償示意圖

### 1.3 研究動機

未來的手機市場在消費者的需求下必須達成幾點要求:1.色彩飽和度  
2.畫素精細度 3.省電與半穿透式 4.視訊動畫 5.廣視與畫面分享，因此發明了半穿透式 OCB 顯示器(Transflective OCB LCD)以符合市場的需求。此結構上的次畫素(sub-pixel)同時包含 1.穿透區與反射區 2.反射區厚度為穿透區厚度的一半 3.穿透區與反射區均用平行配向 4.工作區間在彎曲態(bend state)與垂直態(homeotropic state)間轉化。

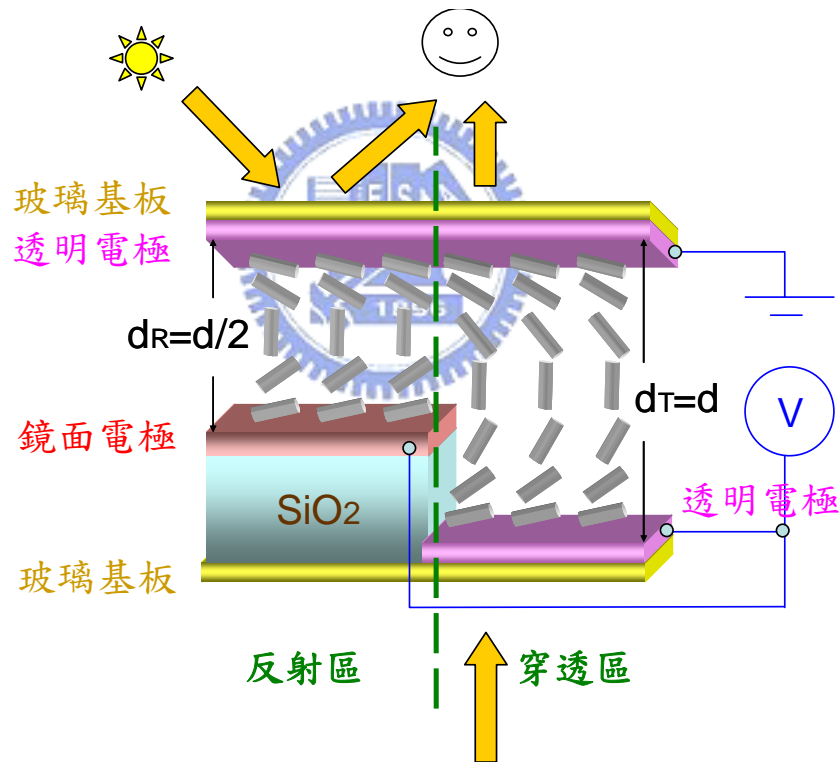


圖 1.6 半穿透式 OCB LCD 結構圖

在成為產品前交到消費者手上使用必須經過嚴格的評估與測試，本論文的研究動機便是利用模擬程式(LCDMaster)作初步的光學特性評估與光電設計，第二章的內容為模擬程式所使用的理論，在指向矢分佈方面是利

用彈性連續體理論計算所得的靜態分佈結果，而光學模擬結果圖則是利用 Extended 2X2 Jones matrix 方法計算，此外還加上 Poincaré sphere 與斜向入射的相位差加以分析結果，第三章是介紹光電設計的準則與漏光現象的探討與補償方法，第四章為所設計結構的光學結果模擬圖及描述，最後的第五章與第六章分別是討論與展望。



## 第二章 理論

模擬程式—LCDMaster 所使用的理論大致分成兩個部分:1. 指向矢分佈 2.光學 指向矢分佈方面是利用彈性連續體理論計算得靜態分佈[7-8]，在光學方面則是利用 Extended 2X2 Jones matrix[9]方法計算，此外還加上 Poincaré sphere[10]與斜向入射的相位差加以幫助分析結果。

### 2.1 向列型液晶的彈性連續體理論

連續體理論通常用在外加光場,電場或磁場下，對於向列型液晶的靜態和動態行為探討。此外，靜態空間指向矢與線動量流體動理學理論以彈性理論特性為基礎來討論液晶的空間分部與流動現象。這節當中，將彈性理論作一個廣泛介紹。

#### 彈性理論: Oseen-Zöcher-Frank 理論

在液態晶體與固體之間不同的基本定義下，對一液晶樣品的形變將不會有任何的分子結構上的轉換變異。當探討在單純切變的液晶形變保守彈性能可以把流體與液態晶體作一個簡單的比較：均向性的流體彈性力與密度變化有關，而液晶的流體彈性力主要是與區域性的指向矢變化有關，再了解基本差別後，對相列型液晶的彈性理論作一個明確的假設：

1. 相對於液晶分子的量級，指向矢場  $\vec{n}$  排列是很平滑的分部，分析一區域的固定體積與溫度及序參數(order parameter)為常數條件下，指向矢場  $\vec{n}$  的變化只與外場(電場,磁場與光場)有關。
2. 指向矢場的彈性曲率僅考慮到斜展,彎曲與扭轉三個形變(純切變係數)有

關，其他形式的形變將不改變彈性能或是因為結構的對稱性而抵消，例如：液晶在圓柱座標系統下的對稱結構(頭尾對稱)將被考慮到。

3. 在 Hook's Law 定義下，除了一次項與二次項外，指向矢形變的平方項  $(\partial n_i / \partial x_j)^2$  也將考慮到自由能密度內，其中  $i = x, y, z$ ， $x_j = x, y, z$ 。

液晶系統的總彈性自由能 ( $G_{total}$ ) 可分成兩部分-容積內(bulk)與表面(surface)：

$$G_{total} = \int_V g_{bulk} dV + \int g_{sur} dS \quad (2.1-1)$$

在”強邊界”的條件下，指向矢在表面強錨定能將不受外場擾動而改變邊界配向，右邊的第二項表面自由能被忽略，所以總彈性自由能只與容積內的自由能有關。相列型液晶系統的容積彈性自由能密度可寫成：

$$g_{bulk} = \frac{1}{2} [K_1 (\vec{\nabla} \cdot \vec{n})^2 + K_2 (\vec{n} \cdot \vec{\nabla} \times \vec{n})^2 + K_3 (\vec{n} \times \vec{\nabla} \times \vec{n})^2] \quad (2.1-2)$$

其中  $K_1, K_2, K_3$  為斜展, 扭轉與彎曲三個形變

對膽固醇(或對掌性向列型)液晶必須加入螺距 ( $P_o = 2\pi / q_o$ )， $q_o$  為其波向量，

所以將(2.1-2)重寫成：

$$g_{bulk} = \frac{1}{2} [K_1 (\vec{\nabla} \cdot \vec{n})^2 + K_2 (\vec{n} \cdot \vec{\nabla} \times \vec{n} + q_o)^2 + K_3 (\vec{n} \times \vec{\nabla} \times \vec{n})^2] \quad (2.1-3)$$

$q_o$  的正負號可對應到左右螺旋。

### 外場加入後的自由能與力矩

在外場加入後向列型液晶系統的擾動，僅討論介電質的擾動下，外加電場  $\vec{E}$  與電位移  $\vec{D}$  可寫成：

$$\vec{D} = \epsilon_{\perp} \vec{E} + (\epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp})(\vec{n} \cdot \vec{E})\vec{n} \quad (2.1-4)$$

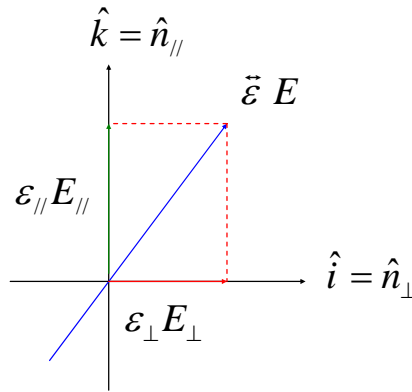


圖 2.1 指向矢場與外場分佈示意圖

電擾動密度：

$$g_E = -\int_0^E \vec{D} \cdot \vec{E} dV = -\frac{\epsilon_{\perp}}{2} (\vec{E} \cdot \vec{E}) - \frac{\Delta\epsilon}{2} (\vec{n} \cdot \vec{E})^2 \quad (2.1-5)$$

值得注意(2.1-5)的右式第一項與指向矢的方位無關，所以在指向矢的擾動能量中將可被忽略。因此電擾動能密度

$$g_E = \frac{\Delta\epsilon}{2} (\vec{n} \cdot \vec{E})^2 \quad (2.1-6)$$

電力  $\vec{f}_E$  與力矩  $\tau_E$  寫成：

$$\vec{f}_E = -\frac{\partial g_E}{\partial \vec{n}} = \Delta\epsilon (\vec{n} \cdot \vec{E}) \vec{E} \quad (2.1-7)$$

$$\tau_E = \vec{n} \times \vec{f}_E = \Delta\epsilon (\vec{n} \cdot \vec{E}) (\vec{n} \times \vec{E}) \quad (2.1-8)$$

考慮外加電場在 z 方向，假設  $\vec{n}(z)$  與  $\vec{E}$  只與 z 座標有關，因此可寫成：

$$\vec{n} = (\cos \alpha \cos \phi \quad \cos \alpha \sin \phi \quad \sin \alpha) \quad (2.1-9)$$

$$\vec{E} = \nabla V(z) = (0 \quad 0 \quad E_z) \quad (2.1-10)$$

$\alpha$  為在指向矢在 x-y 平面上的傾角， $\phi$  為在 x-y 座標上指向矢投影量與 x 軸的方位角， $E_z$  是在 z 方向的電場分量。



電力矩為：

$$\vec{\tau}_E = \vec{n} \times \vec{f}_E = \Delta \epsilon n_z E_z^2 (n_y \quad -n_x \quad 0) = \frac{\Delta \epsilon n_z D_z^2}{[\epsilon_{\perp}(1-n_z^2) + \epsilon_{\parallel} n_z^2]^2} (n_y \quad -n_x \quad 0) \quad (2.1-11)$$

$$\text{其中 } E_z^2 = \frac{\Delta \epsilon n_z D_z^2}{[\epsilon_{\perp}(1-n_z^2) + \epsilon_{\parallel} n_z^2]^2} \quad (2.1-12)$$

電力矩的大小為：

$$|\vec{\tau}_E| = \frac{\Delta \epsilon \sin \alpha \cos \alpha D_z^2}{[\epsilon_{\perp} \cos^2 \alpha + \epsilon_{\parallel} \sin^2 \alpha]^2} = \frac{H(\alpha) \Delta \epsilon D_z^2}{\epsilon_{\parallel}} \propto H(\alpha) \quad (2.1-13)$$

$$\text{其中 } H(\alpha) = \frac{\epsilon_{\parallel} \sin \alpha \cos \alpha}{[\epsilon_{\perp} \cos^2 \alpha + \epsilon_{\parallel} \sin^2 \alpha]^2} \quad (2.1-14)$$

對不同的介電異向性而論， $H(\alpha)$ 與液晶的傾角有關的函數。

### 外場下液晶系統的 Euler-Largrange 方程式

在外場下的液晶系統中表面  $S$  包附著體積  $V$ ，其系統中的總自由能：

$$G_{total} = \int_V g_{bulk} dV + \int g_{sur} dS \quad (2.1-15)$$

未簡化探討問題考慮外場只在  $z$  方向且邊界為強錨能，單位面積下的系統

總自由能將寫成：

$$G_{total} = \int_0^d g_{total}(n_i(z), n_{i,z}(z)) dz \quad (2.1-16)$$

其中  $g_{total} = g_{bulk} + g_E$  而  $i = x, y, z$ 。指向矢場  $\vec{n}(z)$  在平衡態下的指向矢分布將符

合最小的能量的總自由能狀態，在此狀態下向矢分布與積分路徑無關，所

以假設函數為

$$n'_i(z) = n_i(z) + \kappa \delta n_i(z) \quad (2.1-17)$$

$$n'_{i,z}(z) = n_{i,z}(z) + \kappa \delta n_{i,z}(z) \quad (2.1-18)$$

$$\delta n_i(z=0) = \delta n_i(z=d) = 0 \quad (2.1-19)$$

$\delta n_i$  為任意函數(任意路徑)且  $\kappa$  為小變數，(2.1-16)可表示成

$$g_{total}(n'_i(z), n'_{i,z}(z)) = g_{total}(n_i(z) + \kappa \delta n_i(z), n_{i,z}(z) + \kappa \delta n_{i,z}(z)) \quad (2.1-20)$$

當總能量極小值發生( $\kappa=0$ )

$$\frac{d}{d\kappa} G_{\kappa=0} = \left\{ \frac{d}{d\kappa} \int_0^d g_{total}(n_i(z) + \kappa \delta n_i(z), n_{i,z}(z) + \kappa \delta n_{i,z}(z)) dz \right\}_{\kappa=0} = 0 \quad (2.1-21)$$

可將上式重寫成

$$\int_0^d \left( \frac{\partial g_{total}}{\partial n_i} - \frac{d}{dz} \frac{\partial g_{total}}{\partial n_{i,z}} \right) \delta n_i(z) dz + \left( \frac{\partial g_{total}}{\partial n_{i,z}} \right)_{z=d} \delta n_i(d) - \left( \frac{\partial g_{total}}{\partial n_{i,z}} \right)_{z=0} \delta n_i(0) = 0 \quad (2.1-22)$$

由於  $\delta n(z=0) = \delta n(z=d) = 0$  將可簡化成

$$\int_0^d \left( \frac{\partial g_{total}}{\partial n_i} - \frac{d}{dz} \frac{\partial g_{total}}{\partial n_{i,z}} \right) \delta n_i(z) dz = 0 \quad (2.1-23)$$

對任一個  $\delta n_i(z)$  皆滿足邊界條件，因此 Euler-Largrange 方程式為

$$\frac{\partial g_{total}}{\partial n_i} - \frac{d}{dz} \frac{\partial g_{total}}{\partial n_{i,z}} = 0 \quad (2.1-24)$$

在不可壓縮條件下  $|\vec{n}|=1$  需加入一修正項  $\Gamma$

$$\frac{\partial g_{total}}{\partial n_i} - \frac{d}{dz} \frac{\partial g_{total}}{\partial n_{i,z}} + \Gamma n_i = 0 \quad (2.1-25)$$

上方程式將可以廣泛的解決靜態的指向矢分布問題。

## 2.2 光學

在單調平面波傳遞於均向性且均勻介質的電磁波  $E(\vec{r}, t)$  可表示成

$$\vec{E} = A \cos(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}) \quad (2.2-1)$$

$\omega$  為角頻率， $k$  為波向量， $A$  向量振幅

對一個單調光的偏極態是以正旋波形式傳遞方向沿著  $z$  方向且電場向量在  $x$ - $y$  平面上，兩獨立的電場向量

$$E_x = A_x \cos(\omega t - \vec{k} \cdot \hat{z} + \delta_x) \quad (2.2-2)$$

$$E_y = A_y \cos(\omega t - \vec{k} \cdot \hat{z} + \delta_y) \quad (2.2-3)$$

其中  $A_x, A_y$  為兩方向上的各自電場大小， $\delta_x, \delta_y$  為兩方向上的各自相位

偏極橢圓將可寫成

$$\left(\frac{E_x}{A_x}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{A_y}\right)^2 - 2\frac{\cos\delta}{A_x A_y} E_x E_y = \sin^2 \delta \quad (2.2-4)$$

若以偏極態的長短軸重新定義將可得新的座標系統( $x'$ - $y'$ 平面)，偏極橢

圓將可寫成

$$\left(\frac{E_{x'}}{a}\right)^2 + \left(\frac{E_{y'}}{b}\right)^2 = 1 \quad (2.2-5)$$

$$a^2 = A_x^2 \cos^2 \phi' + A_y^2 \sin^2 \phi' + 2A_x A_y \cos \delta \cos \phi' \sin \phi' \quad (2.2-6)$$

$$b^2 = A_x^2 \sin^2 \phi' + A_y^2 \cos^2 \phi' - 2A_x A_y \cos \delta \cos \phi' \sin \phi' \quad (2.2-7)$$

$$\tan 2\phi' = \tan 2\psi \cos \delta \quad (2.2-8)$$

$$\sin 2\varepsilon = \sin 2\psi \sin \delta \quad (2.2-9)$$

$a, b$  分別為偏極橢圓的長短軸長度， $\phi'$  為基準軸( $x$ -axis)到長軸( $x'$ -axis)的角

度。

1941 年 R. C. Jones[1]，發表了 Jones vector 用來描述一平面波的偏極狀態，其偏極態用複數表示為：

$$J = \begin{pmatrix} A_x e^{i\delta_x} \\ A_y e^{i\delta_y} \end{pmatrix} \quad (2.2-10)$$

定義中的兩向量分別為

$$E_x(t) = \text{Re}[J_x e^{i\omega t}] = \text{Re}[A_x e^{i(\omega t + \delta_x)}] \quad (2.2-11)$$

$$E_y(t) = \text{Re}[J_y e^{i\omega t}] = \text{Re}[A_y e^{i(\omega t + \delta_y)}] \quad (2.2-12)$$

Johns vector 的通式也可以表示成

$$J(\psi, \delta) = \begin{pmatrix} \cos \psi \\ e^{i\delta} \sin \psi \end{pmatrix} \quad (2.2-13)$$

其中  $\psi$  定義為基準軸(x-axis)到偏極光主軸方向( $x''$ -axis)的夾角， $\delta$  定義為相對相位差  $\delta = \delta_y - \delta_x$ ，此外，對於相同的偏極態也有另一種表示式

$$\chi = \tan \psi e^{i\delta} = \frac{A_y}{A_x} e^{i(\delta_y - \delta_x)} \quad (2.2-14)$$

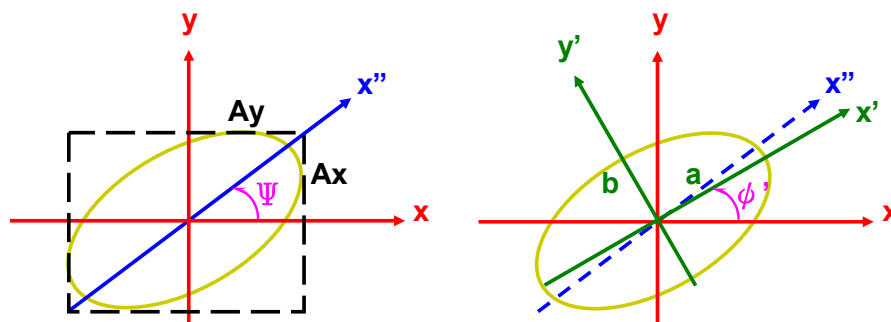


圖 2.2 定義偏極橢圓上的符號關係圖

### 2.2.1 Poincaré sphere

為了要清楚描述每個狀態的偏極態，Stokes parameters 將被定義如下：

$$S_0 = \langle\langle A_x^2 + A_y^2 \rangle\rangle \quad (2.2-15)$$

$$S_1 = \langle\langle A_x^2 - A_y^2 \rangle\rangle \quad (2.2-16)$$

$$S_2 = 2\langle\langle A_x A_y \cos \delta \rangle\rangle \quad (2.2-17)$$

$$S_3 = 2\langle\langle A_x A_y \sin \delta \rangle\rangle \quad (2.2-18)$$

將複數表示式  $\chi = \tan \psi e^{i\delta} = \frac{A_y}{A_x} e^{i(\delta_y - \delta_x)}$  代入

$$S_0 = 1 \quad (2.2-19)$$

$$S_1 = \cos 2\psi = \cos 2\varepsilon \cos \phi'' \quad (2.2-20)$$

$$S_2 = \sin 2\psi \cos \delta = \cos 2\varepsilon \sin 2\phi'' \quad (2.2-21)$$

$$S_3 = \sin 2\psi \sin \delta = \sin 2\varepsilon \quad (2.2-22)$$

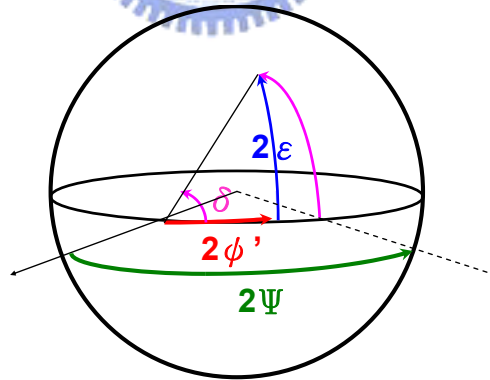


圖 2.3 定義符號於 Poincaré Sphere 上的關係圖

$$\tan 2\phi'' = \frac{S_2}{S_1} \quad \text{和} \quad \sin 2\varepsilon = -S_3 \quad (2.2-23)$$

$\phi'$  為偏極橢圓的傾斜角， $\varepsilon = \tan^{-1} e = \tan^{-1}(\frac{b}{a})$  為橢圓率角

由上式可清楚了解當  $\frac{S_2}{S_1}$  為定值時，對每一條經度都有相同的偏極橢圓傾斜角。當  $S_3$  為定值時，對每一緯度都有相同的橢圓偏極率。

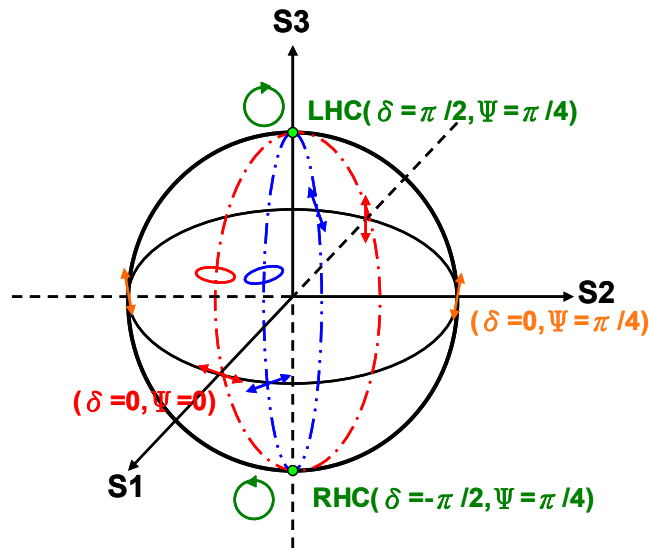


圖 2.4 各個偏振態於 Poincaré Sphere 上的位子圖

當一偏極光進入相位延遲片便可以將偏極光描述在 Poincaré sphere 的改變，假設相位延遲片為 a-plate 其相位延遲為  $\Gamma$  且慢軸(亦為光軸 c-axis)與基準軸(x-axis)之間的夾角為  $\phi_c$ ，將分成兩個情況來探討：

1.  $\phi_c = 0$

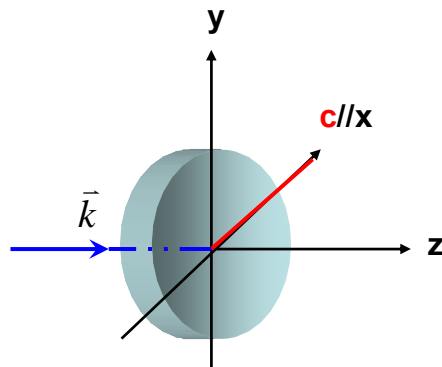


圖 2.5 入射光進入雙折射平面(光軸平行基準軸)圖

a-plate 的慢軸沿基準軸(x-axis)，對任一狀態的偏振光狀態可寫成

$$P = \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \psi \\ e^{i\delta} \sin \psi \end{pmatrix} \quad (2.2-24)$$

當入射光出射 a-plate 後的偏振態表示成

$$Q_q = \begin{pmatrix} E_{x1} \\ E_{y1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \psi \\ e^{i\pi} e^{i\delta} \sin \psi \end{pmatrix} \quad (2.2-25)$$

入射與出射偏極態將描述在 Poincaré sphere 上一個位子，對  $P$  &  $Q_1$  而言，任意的  $\Gamma$  &  $\delta$  座標上的  $S_1$  都為  $\cos 2\psi$ ，所以當  $\phi_c = 0$  意義表示以  $S_1$  為旋轉軸  $P_1$  為起點且轉動相位延遲  $\Gamma$  到達  $Q_1$ 。

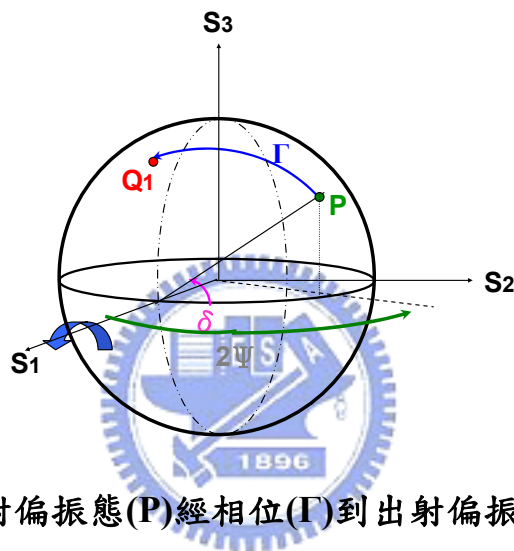


圖 2.6 入射偏振態(P)經相位( $\Gamma$ )到出射偏振態( $Q_1$ )示意圖一

2.  $\phi_c \neq 0$

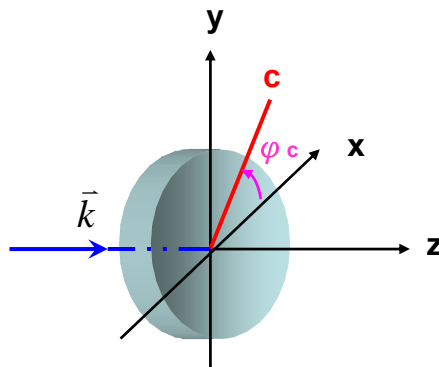


圖 2.7 入射光進入雙折射平面(光軸偏離基準軸  $\phi_c$ )圖

a-plate 的慢軸與基準軸(x-axis)夾  $\phi_c$ ，有兩種方法去解析偏極態的變化

<法一>

以光學的 John's Matrix 作為基礎來看偏極態光路，如下公式：

$$\begin{bmatrix} A'_x \\ A'_y \end{bmatrix} = R(-\phi_c) e^{-i\sigma} \begin{bmatrix} e^{-i\frac{\Gamma}{2}} & 0 \\ 0 & e^{i\frac{\Gamma}{2}} \end{bmatrix} R(\phi_c) \begin{bmatrix} A_x \\ A_y \end{bmatrix} \quad (2.2-26)$$

$$Q_2 = R(-\phi_c) M_o R(\phi_c) P \quad (2.2-27)$$

隨著公式一步一步跟著偏極態變化

1. 偏極態入射相對於相位延遲片的夾角為 $-\phi_c$ ，所以在 Poinaré sphere 將以  $S_3$  軸為轉動軸心，由  $P$  轉 $-2\phi_c$  到達  $P'$ 。
2. 進入平面後以為  $S_1$  軸為轉動軸心，轉相位延遲( $\Gamma$ )將由  $P'$  到達  $Q'_2$ 。
3.  $Q'_2$  將在 Poinaré sphere 將以  $S_3$  軸為轉動軸心轉  $2\phi_c$  到達  $Q_2$ 。

<法二>

由於是相位延遲片的慢軸與基準軸(x 軸)夾 $\phi_c$ ，所以只要把 Poinaré sphere 上的  $S_1$  軸轉動  $2\phi_c$  到  $S'_1$  軸，由於基準軸已改到相位延遲片上，所以直接以  $S'_1$  軸為旋轉軸  $P_1$  為起點且轉動相位延遲  $\Gamma$  到達  $Q_2$ 。

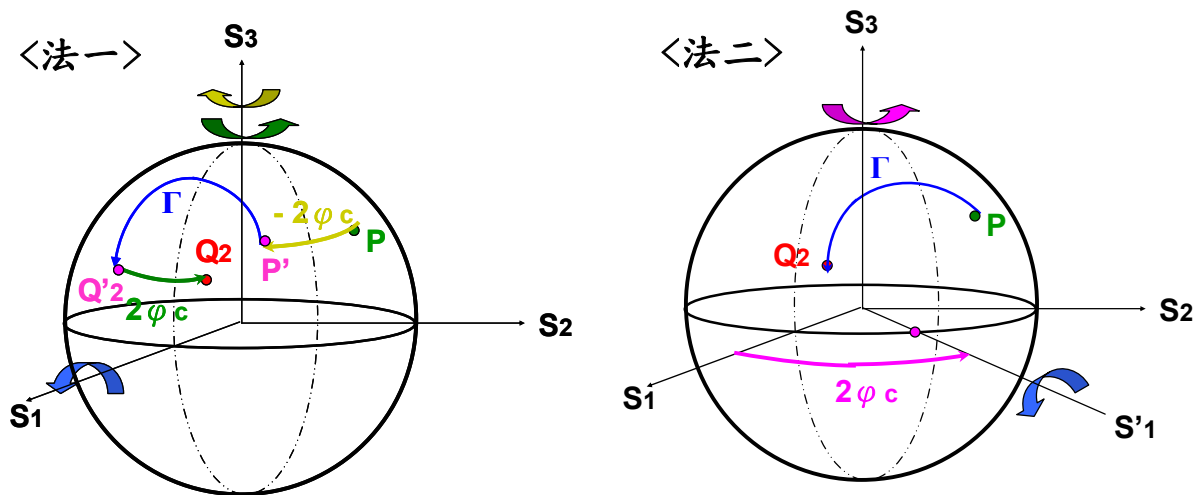


圖 2.8 入射偏振態(P)經相位( $\Gamma$ )到出射偏振態( $Q_1$ )示意圖二



## 2.2.2 Extended Jones matrix method

一般的 Jones matrix 可用的範圍僅限於 1.正射於入射面的偏極光 2.雙折射晶體平面的尋常模態(ordinary mode)與非尋常模態(extraordinary mode) 3.忽略 Fresnel 反射與折射光 條件下作有效的計算，但對於兩正交偏正片於離軸(off-axis)的漏光將無法計算。因此，本節將介紹於 1982 年由 Po-Che Yeh 發表的 Extended Johns Matrix Method 將離軸的漏光與單一層的界面 Fresnel 反射與折射光加入討論，必須注意的是此方法忽略多重介面反射效應，此方式將大大簡化了 4X4 matrix method 的繁複計算，但卻可以得到的近似的結果。

由電磁理論可知，在均向性介質( $z < 0$ )與單軸晶體介質( $z > 0$ )界面的電磁場可寫成

$$\text{Incident: } E_i = (A_s \hat{s} + A_p \hat{p}) \exp[i(\omega t - \bar{k} \cdot \hat{r})] \quad (2.2-28)$$

$$\text{Reflected: } E_r = (B_s \hat{s} + B_p \hat{p}') \exp[i(\omega t - \bar{k}' \cdot \hat{r})] \quad (2.2-29)$$

$$\text{Refracted: } E_t = (C_o \hat{o} e^{-\bar{k}_o \cdot \hat{r}} + C_e \hat{e} e^{-\bar{k}_e \cdot \hat{r}}) \exp(i\omega t) \quad (2.2-30)$$

$\bar{k}, \bar{k}'$  為入射與反射波的波向量， $\bar{k}_o, \bar{k}_e$  為尋常與非尋常折射波的波向量， $\hat{s}$  為垂直入射平面的單位向量， $\hat{p}, \hat{p}'$  為平行入射平面的單位向量。令  $\hat{s} = [1 \ 0 \ 0]$

$$\hat{p} = \frac{\bar{k} \times \hat{s}}{|\bar{k}|} \quad (2.2-31)$$

$$\hat{p}' = \frac{-\bar{k}' \times \hat{s}}{|\bar{k}'|} \quad (2.2-32)$$

$\phi$  為基準軸(x-axis)與光軸(c-axis)的夾角，所以  $\hat{c}$  可寫成

$$\hat{c} = \hat{x} \cos \phi + \hat{y} \sin \phi \quad (2.2-33)$$

$\hat{o}, \hat{e}$  分別為單軸晶體異向介質的尋常模態與非尋常模態的平行電場單位向量，波向量將可寫成

$$\vec{k} = \beta \hat{y} + \vec{k}_z \hat{z} \quad (2.2-34)$$

$$\vec{k}' = \beta \hat{y} - \vec{k}_z \hat{z} \quad (2.2-35)$$

$$\vec{k}_o = \beta \hat{y} + \vec{k}_{oz} \hat{z} \quad (2.2-36)$$

$$\vec{k}_e = \beta \hat{y} + \vec{k}_{ez} \hat{z} \quad (2.2-37)$$

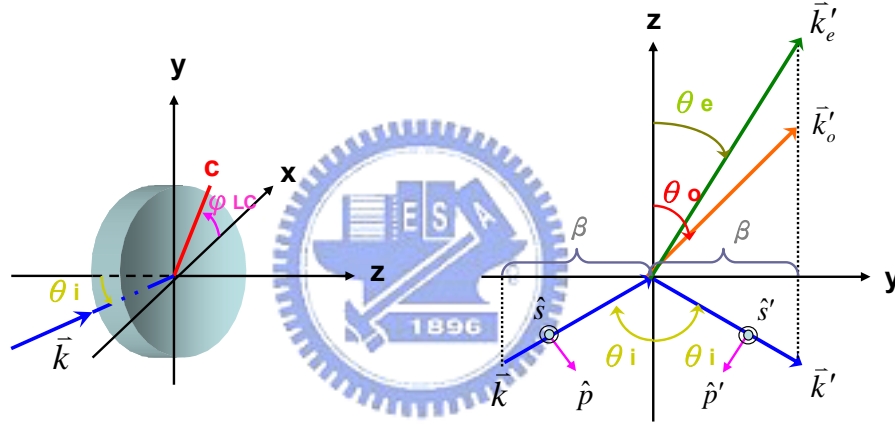


圖 2.9 定義入射晶體的關係圖

$$k_{ez} = n_e \frac{\omega}{c} \sqrt{1 - \frac{(n_i \sin \theta_i \sin \phi)^2}{n_o^2} - \frac{(n_i \sin \theta_i \cos \phi)^2}{n_e^2}} \quad (2.2-38)$$

$$k_{oz} = n_o \frac{\omega}{c} \sqrt{1 - \frac{(n_i \sin \theta_i)^2}{n_o^2}} \quad (2.2-39)$$

當雙折射很小的條件下 (i.e.,  $|n_e - n_o| \ll n_o, n_e$ )，波向量  $k_o, k_e$  將近似相等

(i.e.,  $k_o \approx k_e$ ) 且折射角  $\theta_o, \theta_e$  將近似相等 (i.e.,  $\theta_o \approx \theta_e$ )，偏極向量  $\hat{o}, \hat{e}$  將可近似成

$$\hat{o} = \frac{\vec{k}_o \times \hat{c}}{|\vec{k}_o \times \hat{c}|} \quad (2.2-40)$$

$$\hat{e} = \frac{\hat{o} \times \bar{k}_o}{|\hat{o} \times \bar{k}_o|} \quad (2.2-41)$$

假設折射介質在界面將匹配，因此在共面垂直的 $(\hat{s}, \hat{p}), (\hat{e}, \hat{o})$ 定義出 $\psi$

$$\hat{o} = -\hat{s} \sin \psi + \hat{p} \cos \psi \quad (2.2-42)$$

$$\hat{e} = \hat{s} \cos \psi + \hat{p} \sin \psi \quad (2.2-43)$$

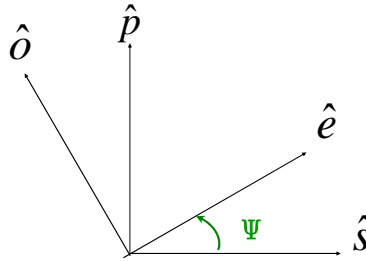


圖 2.10 旋轉座標圖

$$R(\psi) = \begin{pmatrix} \cos \psi & \sin \psi \\ -\sin \psi & \cos \psi \end{pmatrix} \quad (2.2-44)$$

$R(\psi)$  是  $\psi$  旋轉座標的轉換矩陣

$$\sin \psi = \frac{\cos \theta_o \sin \phi}{(1 - \sin^2 \theta_o \sin^2 \phi)^{1/2}} \quad (2.2-45)$$

$$\cos \psi = \frac{\cos \phi}{(1 - \sin^2 \theta_o \sin^2 \phi)^{1/2}} \quad (2.2-46)$$

藉由這些新的定義，可以得到

$$\begin{pmatrix} A'_s \\ A'_p \end{pmatrix} = T_o R(-\psi) P R(\psi) T_i \begin{pmatrix} A_s \\ A_p \end{pmatrix} \quad (2.2-47)$$

其中兩個穿透矩陣

$$T_i = \begin{pmatrix} t_s & 0 \\ 0 & t_p \end{pmatrix} \quad (2.2-48)$$

$$T_o = \begin{pmatrix} t'_s & 0 \\ 0 & t'_p \end{pmatrix} \quad (2.2-49)$$

$$t_s = \frac{2n_i \cos \theta_i}{n_i \cos \theta_i + n_o \cos \theta_o} \quad (2.2-50)$$

$$t_p = \frac{2n_i \cos \theta_i}{n_i \cos \theta_o + n_o \cos \theta_i} \quad (2.2-51)$$

$$t'_s = \frac{2n_o \cos \theta_o}{n_o \cos \theta_o + n_i \cos \theta_i} \quad (2.2-52)$$

$$t'_p = \frac{2n_o \cos \theta_o}{n_o \cos \theta_i + n_i \cos \theta_o} \quad (2.2-53)$$



## 2.3 斜向入射的相位差

廣泛的來說光傳遞進入異向性介質可以將其分成兩個相互獨立傳遞模態，對單軸雙折射晶體將分成兩相互垂直的尋常模態與非尋常模態傳遞，尋常模態的折射率與傳遞方向無關，而非尋常模態與傳遞方向有關，也因此，相位延遲就可能隨傳遞方向的改變而改變。

以光軸在 x-y 平面的單軸雙折射物質為例，當正射時的相位延遲為：

$$\Gamma = \frac{2\pi}{\lambda}(n_e - n_o)d \quad (2.3-1)$$

也可寫成

$$\Gamma = (k_{ez} - k_{oz})d \quad (2.3-2)$$

在公式推到中將有兩個方式：

1. 波導傳遞方式(Wave approach)：對一入射平面波進入介質將分成尋常波與非尋常波傳遞，因此在介質中的電場大小可寫成：

$$E = E_e \exp[-i(\alpha x + \beta y + k_{ez}z)] + E_o \exp[-i(\alpha x + \beta y + k_{oz}z)] \quad (2.3-3)$$

其中  $E_e, E_o$  分別為非尋常光與尋常光的電場大小， $\alpha, \beta$  和  $k_{oz}, k_{ez}$  都為波向量，當波在介質中傳遞經過厚度  $d$  得相位延遲為：

$$\Gamma = (k_{ez} - k_{oz})d \quad (2.3-4)$$

2. 光線追跡方法(Ray approach)：由圖中知入射光進入介質中，因雙折射 ( $n_e(\theta_i), n_o$ ) 發生而在介質中出現兩折射角 ( $\theta_e, \theta_o$ )，由單軸晶體的雙折射效應了解  $n_o$  與入射角無關且  $n_e$  與入射角有關，相位延遲可寫成

$$\Gamma = k(n_{eff} \overline{AB} + n_i \overline{BD} - n_o \overline{AC}) \quad (2.3-5)$$

$k$  為真空中的波向量，snell's Law 考慮( $n_i = 1$ )

$$n_i \sin \theta_i = n_o \sin \theta_o = n_{eff} \sin \theta_e \quad (2.3-6)$$

最後可簡化相位延遲為

$$\Gamma(\theta_i, \alpha) = k[n_{eff} \cos \theta_e - n_o \cos \theta_o]d \quad (2.3-7)$$

$$\text{其中 } \frac{1}{n_{eff}^2} = \frac{\sin^2 \alpha}{n_o^2} + \frac{\cos^2 \alpha}{n_e^2} \quad (2.3-8)$$

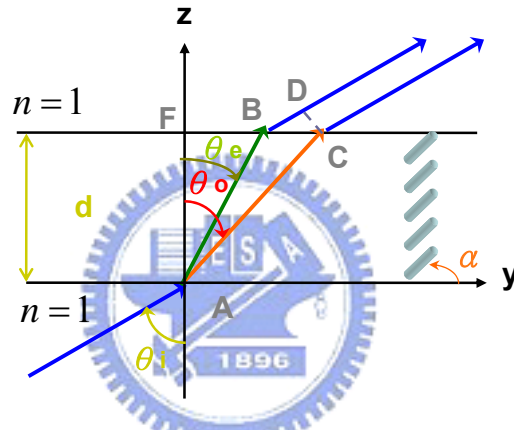


圖 2.11 通過單軸晶體平面的穿透光關係圖

$$\vec{n} = (\cos \alpha \cos \phi_{LC} \quad \cos \alpha \sin \phi_{LC} \quad \sin \alpha) \quad (2.3-9)$$

$$\vec{k}_i = (\sin \theta_i \cos \phi \quad \sin \theta_i \sin \phi \quad \cos \theta_i) \quad (2.3-10)$$

$$\vec{k}_o = (\sin \theta_o \cos \phi \quad \sin \theta_o \sin \phi \quad \cos \theta_o) \quad (2.3-11)$$

$$\vec{k}_e = (\sin \theta_e \cos \phi \quad \sin \theta_e \sin \phi \quad \cos \theta_e) \quad (2.3-12)$$

$$\cos \theta_{eff} = \vec{n} \cdot \vec{k}_e = \cos \alpha \cos \phi_{LC} \sin \theta_e \cos \phi + \cos \alpha \sin \phi_{LC} \sin \theta_e \sin \phi + \sin \alpha \cos \theta_e \quad (2.3-13)$$

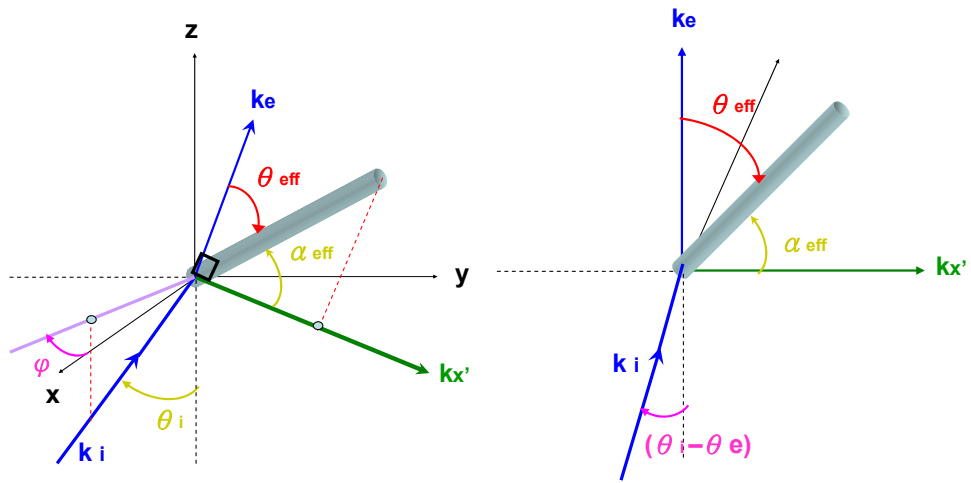


圖 2.12 晶體座標關係圖

snell's Law :

$$n_i \sin \theta_i = n_o \sin \theta_o = n_{eff} \sin \theta_e \quad (2.3-14)$$

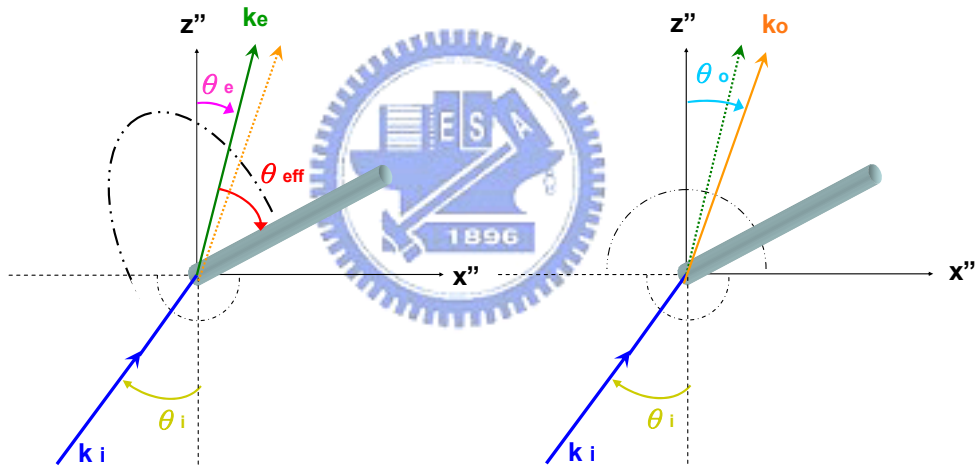


圖 2.13 入射光進入晶體的 e 模態與 o 模態圖

$$\frac{1}{n_{eff}^2} = \frac{\cos^2 \theta_{eff}}{n_o^2} + \frac{\sin^2 \theta_{eff}}{n_e^2} \quad \text{or} \quad \frac{1}{n_{eff}^2} = \frac{\sin^2 \alpha_{eff}}{n_o^2} + \frac{\cos^2 \alpha_{eff}}{n_e^2} \quad (2.3-15)$$

$$\text{o-ray 路徑之光程} : l_o = \frac{n_o d}{\cos \theta_o} \quad (2.3-16)$$

$$\text{e-ray 路徑之光程} : l_e = \frac{n_{eff} d}{\cos \theta_e} + (\tan \theta_o - \tan \theta_e) n_i \sin \theta_i \quad (2.3-17)$$

$$\text{相位延遲} : \Gamma(\theta_i, \phi, \alpha, \phi_{LC}) = \frac{2\pi}{\lambda} (l_e - l_o) = k [n_{eff} \cos \theta_e - n_o \cos \theta_o] d \quad (2.3-18)$$

由(2.3-13)& (2.3-14)可得到：

$$n_{eff} \cos \theta_{eff} = \cos \alpha \cos \phi_{LC} n_i \sin \theta_i \cos \phi + \cos \alpha \sin \phi_{LC} n_i \sin \theta_i \sin \phi + \sin \alpha \sqrt{n_{eff}^2 - n_i^2 \sin^2 \theta_i} \quad (2.3-19)$$

由(2.3-15)可得到：

$$n_{eff} \cos \theta_{eff} = \left( \frac{n_o^2 (n_e^2 - n_{eff}^2)}{n_e^2 - n_o^2} \right)^{1/2} \quad (2.3-20)$$

解聯立方程式可得： $n_{eff}$  &  $\theta_{eff}$ ，進一步可得到 $\theta_e$  &  $\theta_o$ ，因此，斜相入射的相位延遲 $\Gamma(\theta_i, \phi, \alpha, \phi_{LC})$ 就可得到。





### 第三章 光電設計

圖 3.1 為半穿透式光學系統架構圖，圖中可了解在次畫素(sub-pixel)中包含穿透區與反射區，為了要使穿透區與反射區的光學特性相同，其反射區樣品厚度為穿透區一半且樣品的上片與下片結構必須對稱。

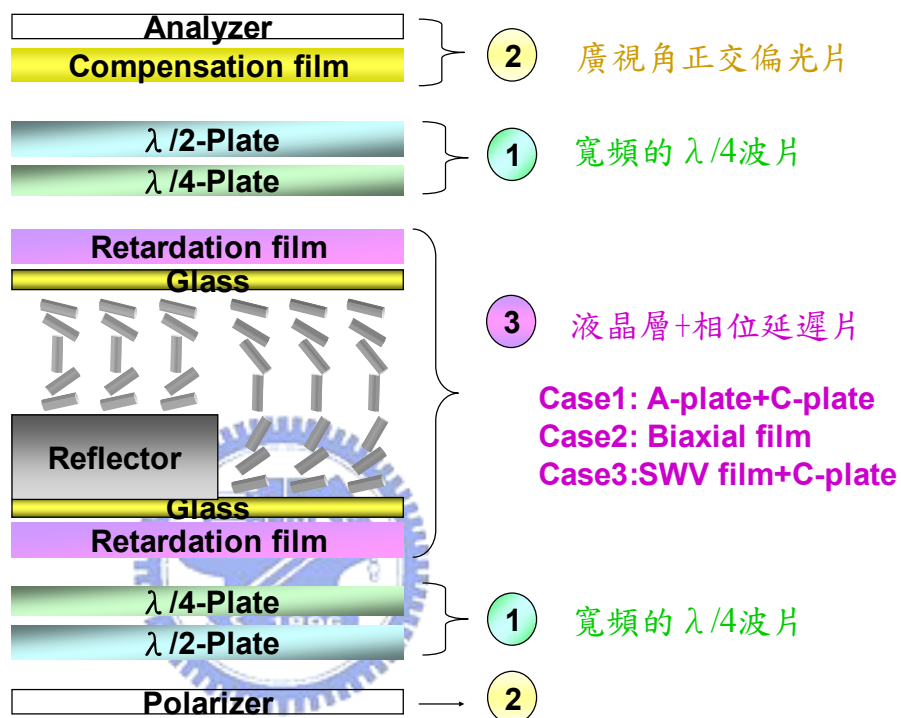


圖 3.1 半穿透式光學系統架構圖

圖 3.2 為歸一化後的半穿透式光學偏光圖，圖中分別描述正向入射的反射區與穿透區偏極光的偏振狀態，3.2(a)為亮態(bright state)下的反射區與穿透區的光學偏光圖，反射區部份經雜散光過檢偏片變成線偏光後再經過寬頻的  $\lambda/4$  波片後便成圓偏光，由於設計上將相位延遲片加液晶層的相位差為  $\pi/2$ ，所以圓偏光將變成線偏光，經過一個反射鏡後又在一次通過液晶層、相位延遲片寬頻的  $\lambda/4$  波片最後的偏振狀態與檢偏片平行，同樣的道理用在穿透式也是具有相類似的光學偏極光的偏振狀態，3.2(b)描述為反射區與穿

透區暗態(dark state)下的偏極光的偏振狀態，必須注意的是此時的相位延遲片與液晶層的相位差因電壓不同下而改變成零相位，出射偏振狀態將與檢偏片垂直因此沒有偏極光分量射出。

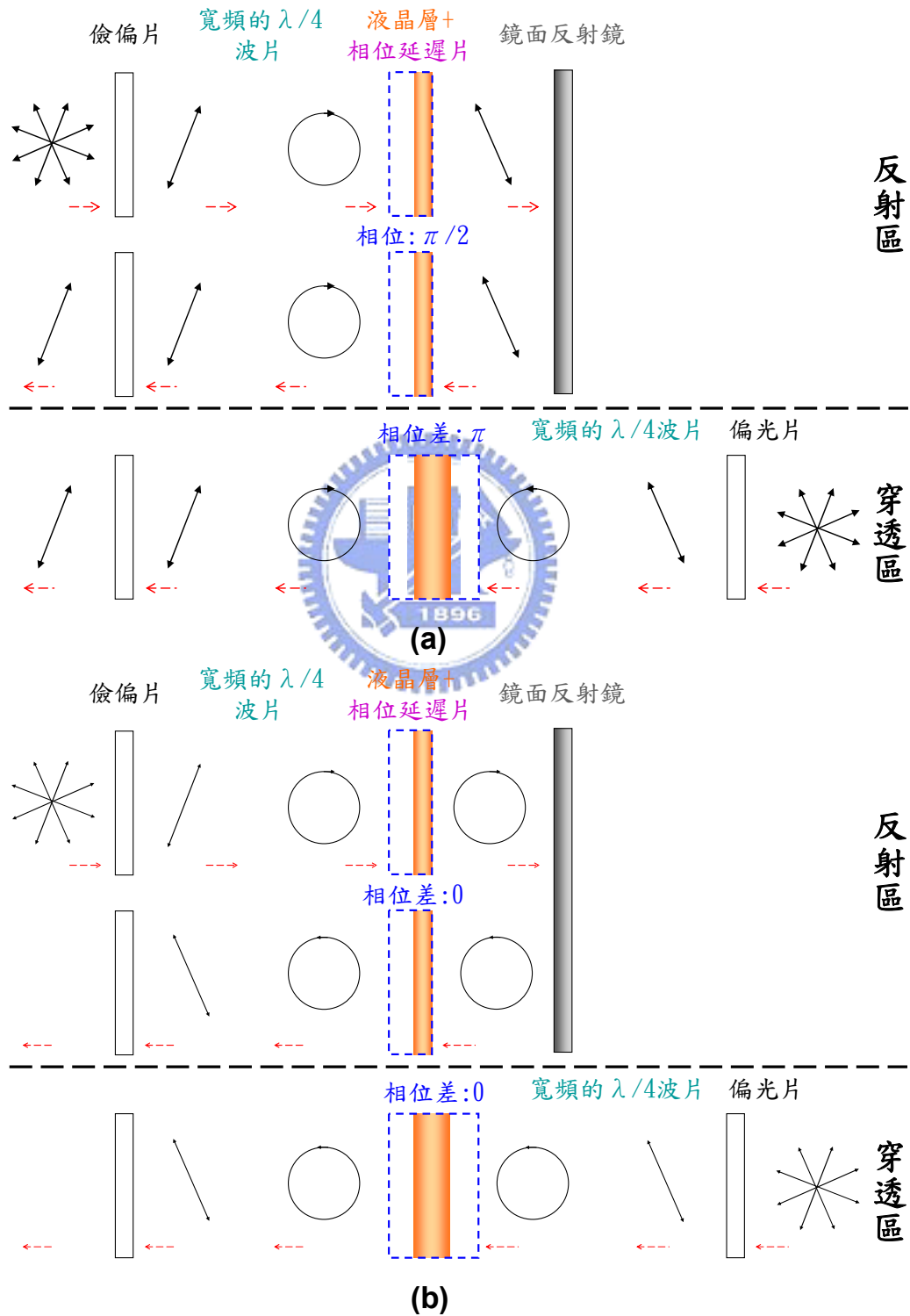


圖 3.2 歸一化後的半穿透式(a)亮態(b)暗態 光學偏光圖

對於一顯示器所表現出來的色彩是由光源到每一光學元件最後加總的結果，為了清楚說明設計準則將於 3.1 節一步驟一步驟說明，此外為了方便分析光學系統，將系統元件分成三大部份獨立分析：**1. 寬頻的 $\lambda/4$ 波片**[11-12]  
**2. 偏光片之漏光補償**[13-15] **3. 液晶層之漏光補償**[16-17]，將在 3.2-3.4 節分別說明。

### 3.1 光電設計準則

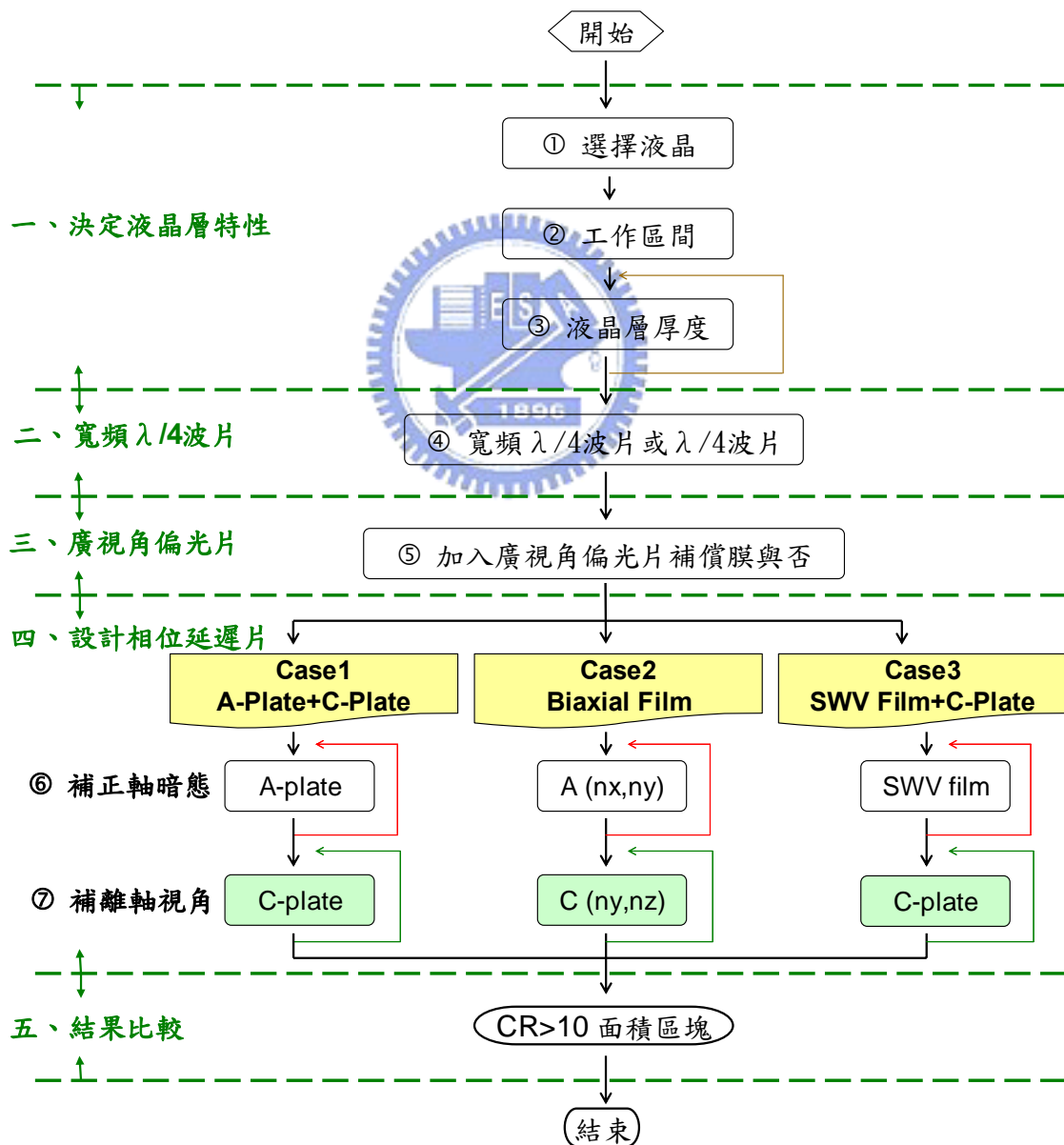


圖 3.3 設計流程圖

圖 3.3 為光電設計流程圖，首先先將流程圖中的每一個步驟再分成五大類說明—液晶層、 $\lambda/4$  波片、廣視角偏光片、相位延遲片及結果分析比較，首先為決定液晶層特性，①所用的液晶為 ZLI-2293，②工作區間在 1.5V~6V 之間，由於  $\pi$ -cell 必須大於  $V_t$  才能穩定的工作在彎曲態與垂直態間轉化，圖 3.4 為彎曲態與扭轉態的 Gibb's free energy 對電壓作圖，圖中發現  $V_t \approx 1.42V$  因此選定 1.5V 為亮態，暗態則依 OCB LCD 產品規格選定在 6V。

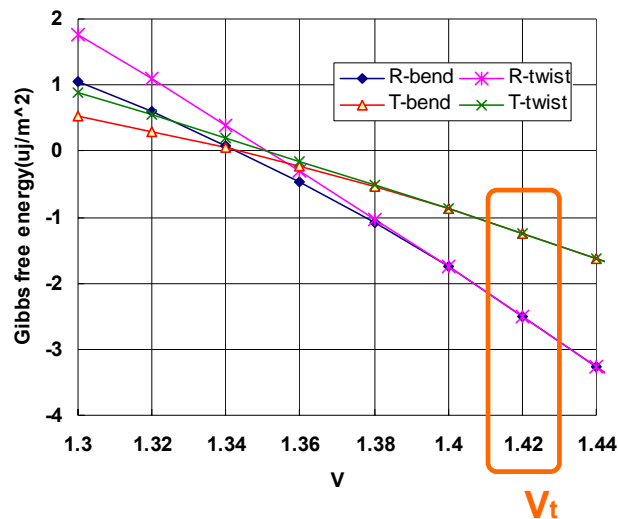


圖 3.4 彎曲態與扭轉態的 Gibb's free energy 對電壓作圖

③液晶層厚度選定的準則必須符合幾點要求:a). 亮態穿透率最高 b).T(R)-V 曲線越平滑越好 c).CR>10 的面積越大越好 d).反應時間越快越好 在這幾個目標為基準下找到反射區厚度大概介於 3 $\mu$ m~3.6 $\mu$ m 之間都可以接受，所以穿透區厚度介於 6 $\mu$ m~7.2 $\mu$ m，最後的評比發現樣品厚度小一點的整體特性比較好，所以之後的樣品厚度都以反射區厚度為 3 $\mu$ m 穿透區厚度為 6 $\mu$ m 作說明。

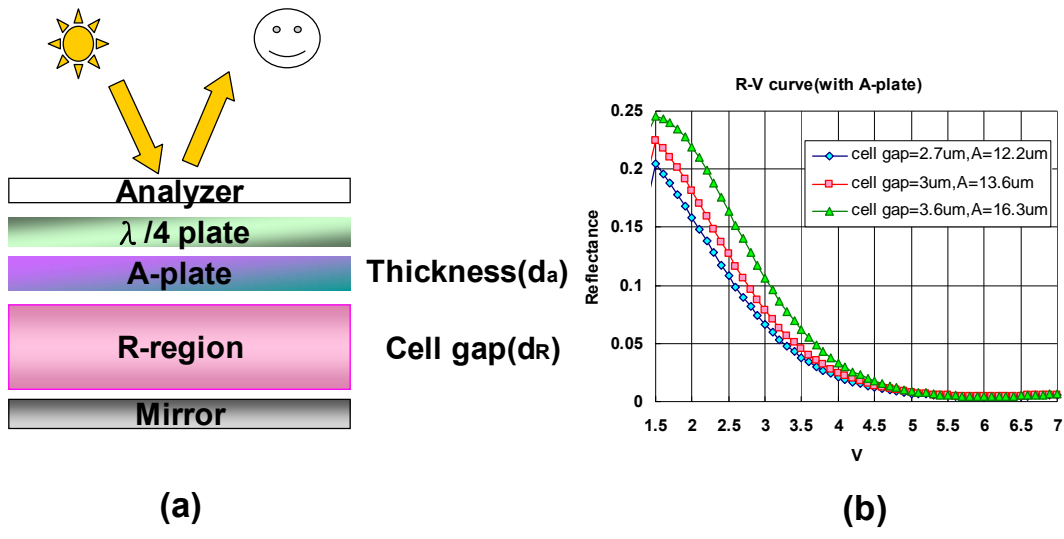


圖 3.5 (a)尋找反射區厚度結構圖 (b)不同反射區後度下的 R-V 曲線圖

將反射區厚度設定為 3 $\mu$ m 穿透區厚度為 6 $\mu$ m，圖 3.6 為歸一化的 T-V 與 R-V 曲線，圖中顯示兩曲線近乎重合，所以對於所用的控制電路將可僅用一顆相同的 TFT 驅動 IC，也因為如此將可以大幅降低成本以增加產品競爭優勢。

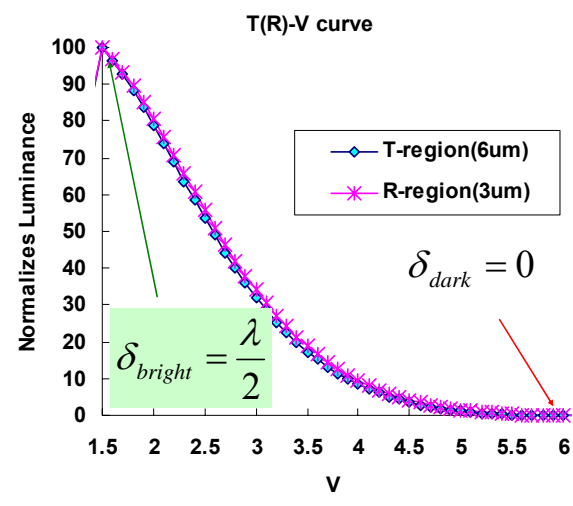


圖 3.6 歸一化的 T-V 與 R-V 曲線圖

④加 $\lambda/4$ 波片或寬頻 $\lambda/4$ 波片迥然不同的結果將可由反射區看出，由於 $\lambda/4$ 波片與波長的改變有密切的關係，因此將原本的 $\lambda/4$ 波片再加入 $\lambda/2$ 波片組成寬頻 $\lambda/4$ 波片將降低與波長變化的程度，其理論將於3.2節說明，圖3.7為加入 $\lambda/4$ 波片與寬頻 $\lambda/4$ 波片反射區視角漏光圖，由結果可知寬頻 $\lambda/4$ 波片可大幅降低漏光，因此可以提升反射區對比度由50變成700以上。

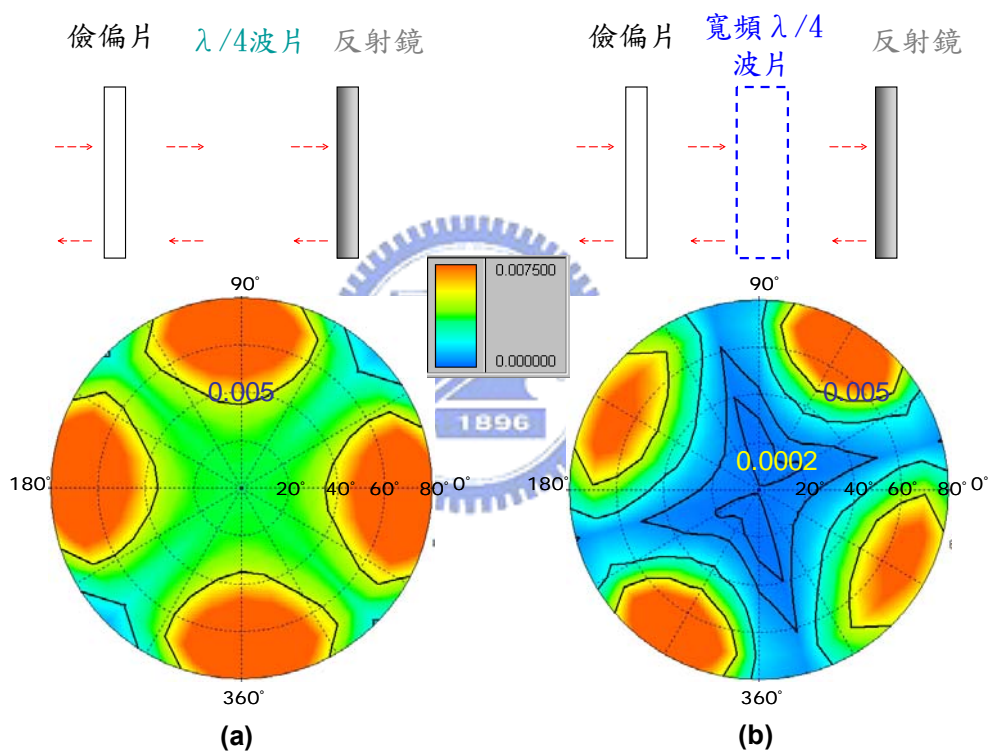


圖 3.7 反射區的視角漏光模擬圖(a)加 $\lambda/4$ 波片 (b)加寬頻 $\lambda/4$ 波片

⑤廣視角正交偏光片主要是改善穿透區的大角度漏光，加入一片或兩片補償片改變斜向入射光的偏振態，近而達到出射前的偏振態與檢偏片穿透軸垂直，達成大角度漏光降低的目的，其理論將於3.3節說明，圖3.8為穿透區有無加入廣視角膜的視角漏光比較圖。

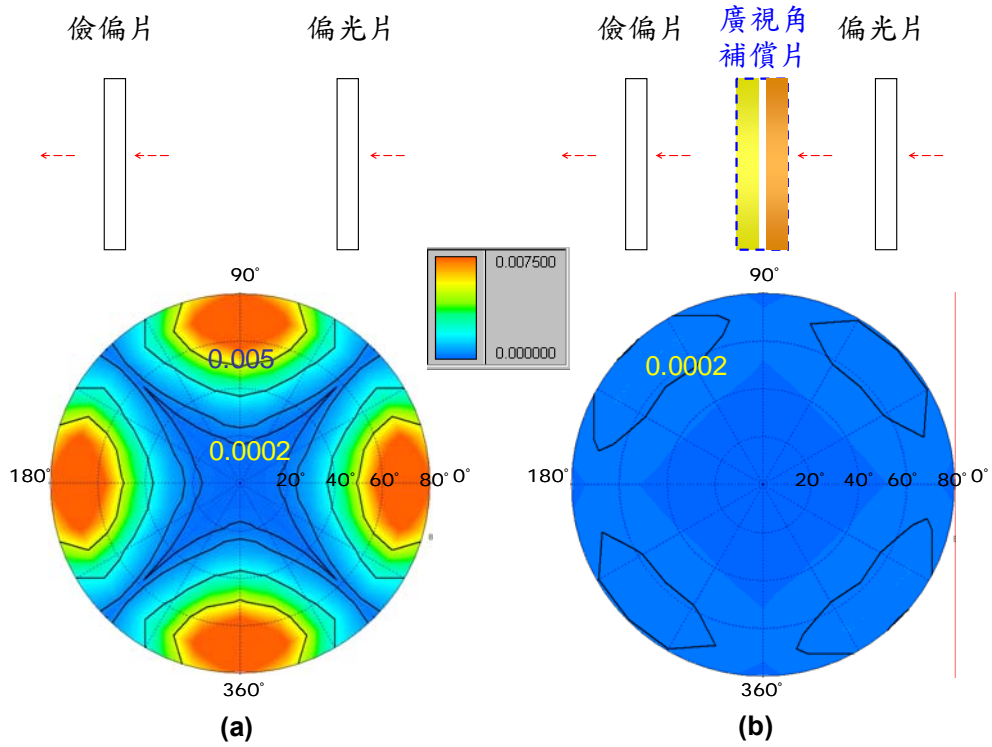


圖 3.8 穿透區的視角漏光模擬圖(a)正交偏光片 (b)廣視角正交偏光片

設計相位延遲片主要把握兩個原則：⑥正軸的暗態漏光與⑦離軸的視角相位補償，其設計原則將於 3.4 節說明。

### 3.2 寬頻的 $\lambda/4$ 波片

反射式結構當中若只用一片偏光片與一片四分之一波片( $\lambda/4$ )是無法提供完全的暗態(因為四分之一波片的相位隨波長變動大),為了解決暗態漏光問題,在偏光片與反射板間加入一片半波片( $\lambda/2$ )是目前為止最好的方法,此結構也稱為寬頻的  $\lambda/4$  波片。

圖 3.9 反射式光學系統示意圖,以非扭轉型的顯示器為例,假設偏光片的吸收軸在垂直方向( $y'$ ),二分之一波片與基準軸夾  $\varphi_H$  且四分之一波片與基準軸夾  $\varphi_Q$ ,最後要出偏光片前的偏振態角度將與基準軸夾  $-4\varphi_H + 2\varphi_Q$ ,若要達到暗態狀況下的條件為

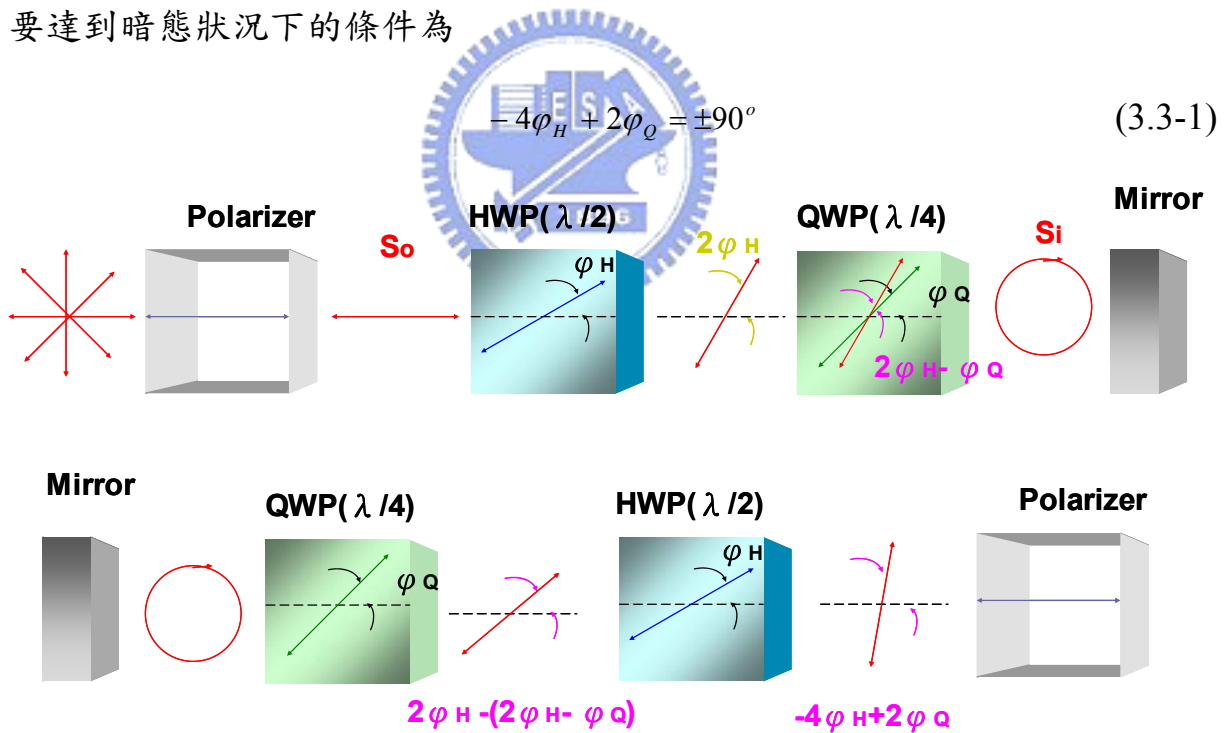


圖 3.9 反射式光學系統示意圖

為了計算偏振態行為將利用到 Mueller matrix,所以偏振態的 Stokes vectors 將表示成



$$S_o = M(\varphi_Q, \Gamma_Q)M(\varphi_H, \Gamma_H)S_i \quad (3.3-2)$$

假設  $S_o = (1 \ 0 \ 0 \ \pm 1)^T$  與  $S_i = (1 \ 1 \ 0 \ 0)^T$  又知道  $\Gamma_Q = \pi/2$  與  $\Gamma_H = \pi$  條件下，

考慮可見光波內的折射率隨波長變化，令  $\Delta_f = \frac{\Delta f}{f_o}$  ( $f_o$  為頻率中心)，便可得

出射的 Stokes vector  $S_o$

$$S_o = \begin{Bmatrix} 1 \\ \cos 2\varphi_Q \cos(4\varphi_H - 2\varphi_Q) + \Delta_f \sin 2\varphi_Q [2 \sin 2\varphi_H + \sin(4\varphi_H - 2\varphi_Q)] \\ \sin 2\varphi_Q \cos(4\varphi_H - 2\varphi_Q) - \Delta_f \cos 2\varphi_Q [2 \sin 2\varphi_H + \sin(4\varphi_H - 2\varphi_Q)] \\ \pm 1 \end{Bmatrix} \quad (3.3-3)$$

假設  $\Delta_f \ll 1$ ，則

$$S_o = \begin{Bmatrix} 1 \\ \Delta_f \sin 2\varphi_Q [2 \sin 2\varphi_H \pm 1] \\ -\Delta_f \cos 2\varphi_Q [2 \sin 2\varphi_H \pm 1] \\ \pm 1 \end{Bmatrix} \quad (3.3-4)$$

便可得到  $\sin 2\varphi_H = \pm 1/2$  或  $\varphi_H = \pm 15^\circ$ ，間接得到  $\varphi_Q = 75^\circ$ 。

圖 3.10 為反射式系統中為寬頻  $\lambda/4$  波片與否的 R- $\lambda$  曲線，圖中顯示寬頻  $\lambda/4$  波片於波長在 480nm~680nm 間較不隨波長改變而改變，所以可以改善反射式漏光現象。

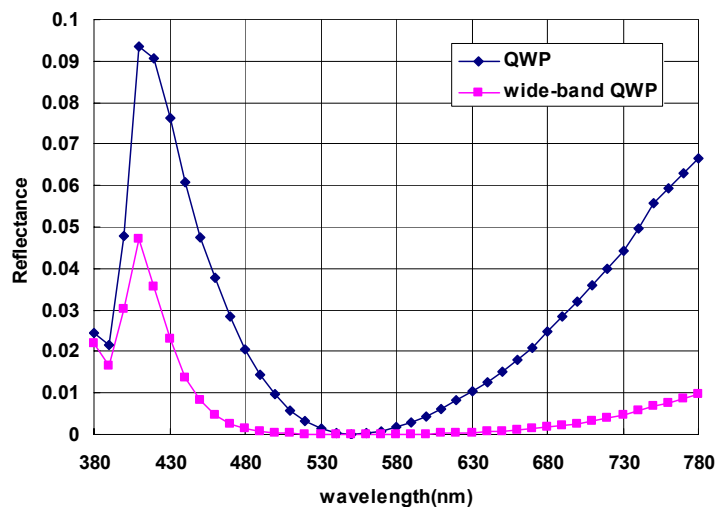


圖 3.10 反射式系統中寬頻  $\lambda/4$  波片與否的 R- $\lambda$  曲線圖

### 3.3 正交偏光片之漏光補償

圖 3.11 為正交偏光片漏光示意圖，當偏光片的穿透軸在  $\phi = 45^\circ$  (向量表示成  $\vec{P} = \frac{1}{\sqrt{2}}(1 \ 1)$ ) 且檢偏片的穿透軸在  $\phi = -45^\circ$  (向量表示成  $\vec{A} = \frac{1}{\sqrt{2}}(1 \ -1)$ ) 而觀察者方位角固定在  $\phi = 0^\circ$  而極角  $\theta_i$  為變數，雜散光由紙內經過偏光片再經過檢偏片出射，3.11(a) 為入射角  $\theta_i = 0^\circ$  下可發現偏光片與檢偏片穿透軸相互垂直 ( $\vec{P} \cdot \vec{A} = 0$ )，所以不會有任何的光線射出紙片方向，3.11(b) 為  $\theta_i = 60^\circ$  度下發現偏光片與檢偏片穿透軸都隨入射角改變而改變，此時的兩穿透軸不再垂直 ( $\vec{P}' \cdot \vec{A}' \neq 0$ ) 了因此發生漏光現象。

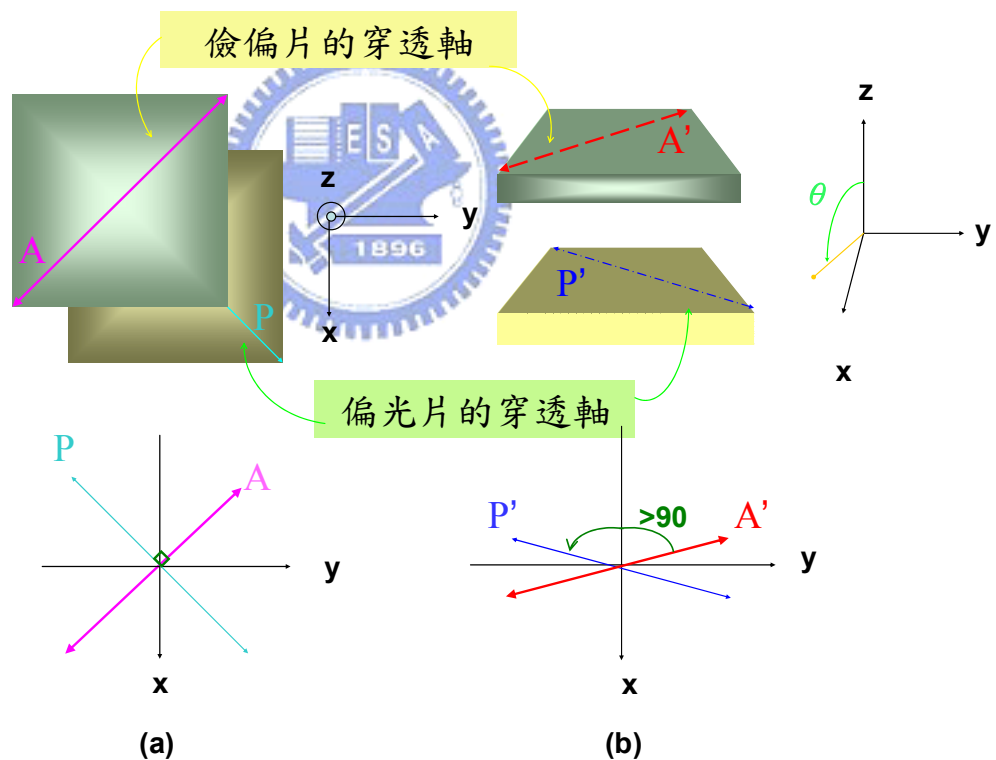


圖 3.11 正交偏光片漏光示意圖 (a)  $\theta_i = 0^\circ$  下的偏光片與檢偏片穿透軸  
(b)  $\theta_i = 60^\circ$  下的偏光片與檢偏片穿透軸

以廣義的漏光公式已由 Pochi Yeh 在 1982 年得以證明

$$T_{Leakage} = \frac{1}{2} |\bar{P}' \cdot \bar{A}'|^2 \quad (3.3-1)$$

在正交系統下偏正片之吸收軸( $\phi_p = -45^\circ$ )與檢偏片之吸收軸( $\phi_p = 45^\circ$ )漏光可表示為：

$$T_{leakage} = \frac{1}{2} \frac{\sin^4 \theta \sin^2(\phi + \pi/4) \cos^2(\phi + \pi/4)}{(1 - \sin^2 \theta \sin^2(\phi + \pi/4))(1 - \sin^2 \theta \cos^2(\phi + \pi/4))} \quad (3.3-2)$$

其中( $\theta, \phi$ )為入射偏正片物質的傳波方向

$$\bar{k} = k(\sin \theta \cos \phi \quad \sin \theta \sin \phi \quad \cos \theta) \quad (3.3-3)$$

經由 Snell's Law 可得到外面入射偏正片介質的角度 $\theta_i$

$$\sin \theta_i = n_p \sin \theta \quad (3.3-4)$$

其中 $n_p$ 為偏正片介質的折射率。

為了方便解釋兩正交偏正片於斜向入射之漏光現象，以光追跡方式來討論漏光現象，目前為止追跡光的偏振態路徑最直觀方法就是利用 2.2.1 節的 Poincaré Sphere。假設方位角 $\phi = 0^\circ$ 且極角 $\theta_i = 70^\circ$ ，以波長 550nm 為例，偏光片與檢偏片的折射率為 1.5，圖 3.12 為極角分別為 $\theta_i = 0^\circ$ 與 $\theta_i = 70^\circ$ 其偏光片與檢偏片的穿透軸分別為  $P(0.7077 \quad 0.7077), A(0.7077 \quad -0.7077)$ ， $P'(-0.5763 \quad 0.8173), A'(-0.5763 \quad -0.8173)$ ，分別於 Poincaré Sphere 上的偏振態位點如圖所示，圖中也可發現  $P \cdot A = 0$  &  $P' \cdot A' \neq 0$  但  $S \cdot A' = 0$ ，所以在理論計算最好能找到 S 點就可以達到全視角皆暗。由於漏光現象發生在大角度視角，所以實際上補償想法只要加入一片或兩片補償片將  $\bar{P}' \xrightarrow{\text{compensation film}} Q$ ，用程式找出全視角總合的  $Q \cdot \bar{A}'$  最小值(令一個意思為  $Q \xrightarrow{\text{closely}} S$ )，其漏光

$(T_{Leakage}(\theta_i, \phi) = \frac{1}{2} |Q \cdot \bar{A}'|^2)$  也將越小。

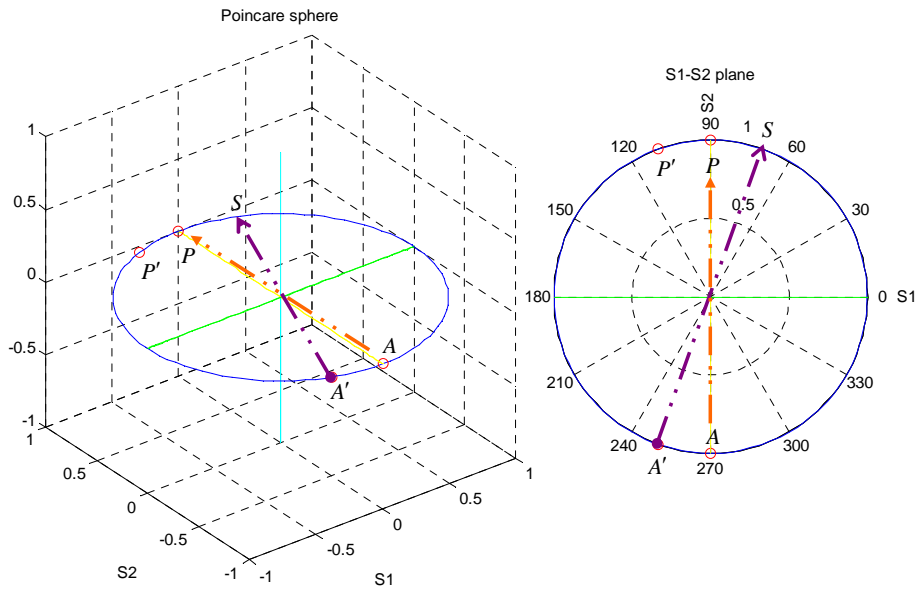


圖 3.12 極角分別為  $0^\circ$  ( $P$  &  $A$ ) 與  $70^\circ$  ( $P'$  &  $A'$ ) 於 Poincaré Sphere

### 上的偏振態位子圖

自 1998 年到現在漏光補償被介紹出來的已有四種方法解決：a). A-Plate + C-Plate b). 一片雙軸晶片(Biaxial film) c). 兩片不同的  $n_z$  雙軸晶片 d). A-Plate 加入兩正交偏光片補償漏光現象。

#### a). A-Plate + C-Plate :

A-Plate 的光軸必須平行偏正片的吸收軸且  $(n_x - n_y)d = 137.5nm$  ( $\lambda/4$  plate) , 而 C-Plate 為  $(n_x - n_z)d = -89.375nm$  便可達到最佳補償漏光。圖 3.13 為 A-Plate + C-Plate 於 Poincaré Sphere 上的偏振態軌跡，以光路徑中將可清楚看見偏振光由  $P'$  經過 A-Plate 到達  $Q'$ ，再經過 C-Plate 到達  $Q$ ，其漏光公式  $T'_{Leakage}(\theta_i, \phi) = \frac{1}{2} |Q \cdot \bar{A}'|^2$  將比  $T_{Leakage}(\theta_i, \phi) = \frac{1}{2} |P' \cdot \bar{A}'|^2$  還小，所以加入補償片可將正交偏光片的漏光改善。

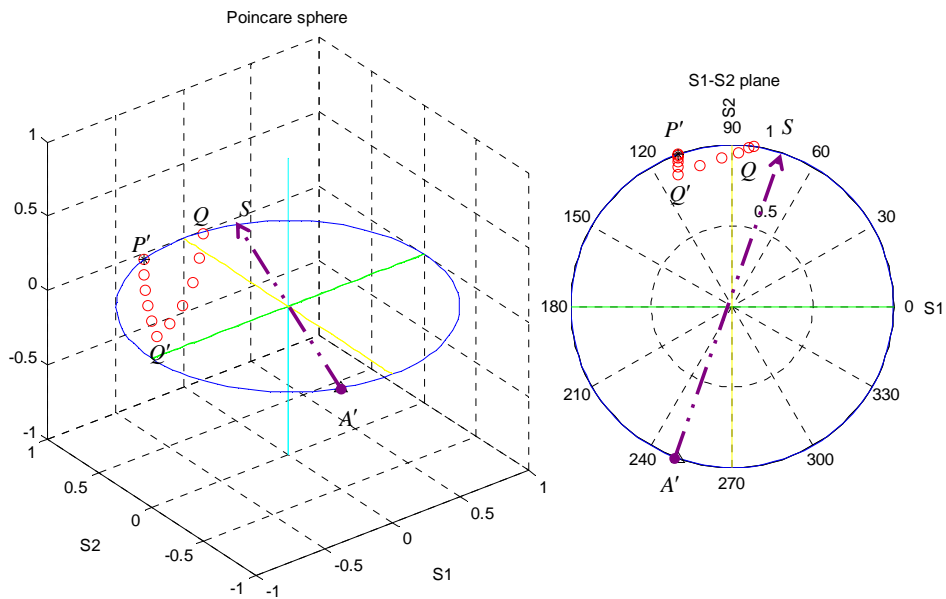


圖 3.13 A-Plate + C-Plate 於 Poincaré Sphere 上的偏振態軌跡圖

b). 一片雙軸晶片(Biaxial film) :

由於一片雙軸晶體可以等效成 A-Plate + C-Plate 結合，因此可以找到理想的雙軸晶的補償片來解決斜向漏光。Biaxial 的慢軸必須平行檢偏片的穿透軸且  $(n_x - n_y)d = 275nm$  ( $\lambda/2$  plate)。

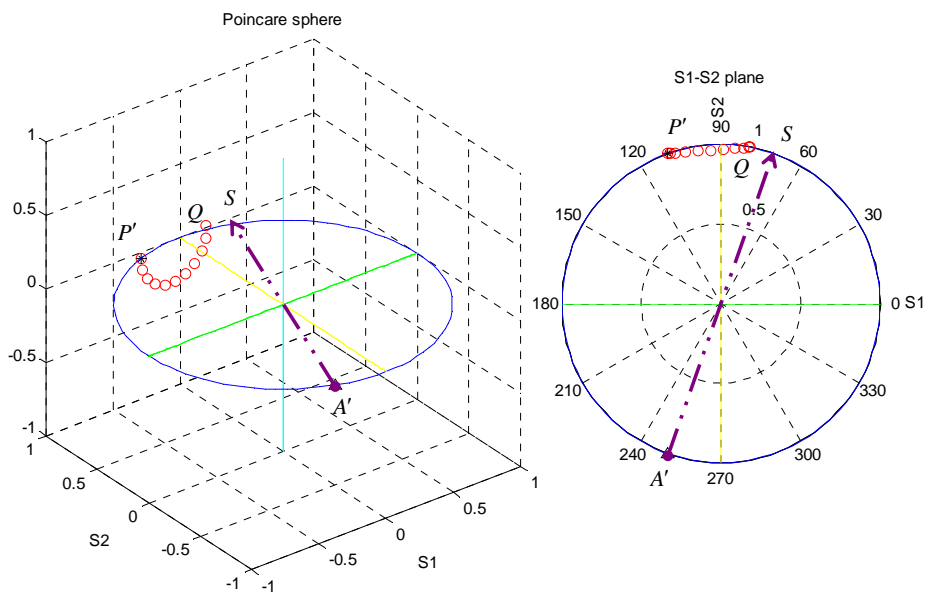


圖 3.14 一片 Biaxial 片於 Poincaré Sphere 上的偏振態軌跡圖

c). 兩片雙軸晶片：

此種方式主要的特色是不僅可以降低漏光現象還可以降低不同波長下的影響，偏振光由  $P'$  經過第一片 Biaxial film 到達  $Q'$ ，再經過第二片 Biaxial film 到達  $Q$ ，與檢偏片的對面的  $S$  距離變近因而漏光變小。其中兩 Biaxial films 的慢軸都與檢偏片穿透軸平行且  $(n_x - n_y)d = 275nm (\lambda/2 \text{ plate})$ 。

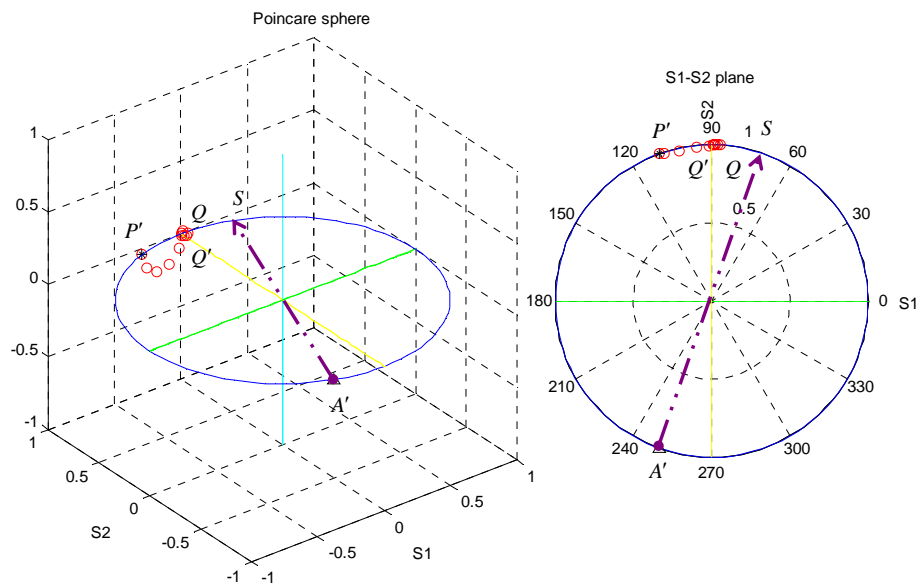


圖 3.15 兩片 Biaxial 片疊加於 Poincaré Sphere 上的偏振態軌跡圖

d). A-Plate：

A-Plate 的補償特性是針對於實際的偏光片作補償的，由於實際的偏光片於上下兩面有 TAC 層(保護層)，其具有一點點的雙折射效應，所以有些公司或論文中會以 A-Plate 作為偏光片的補償，在此不作說明。

圖 3.16 為上述的前三種方式補成正交偏光片漏光模擬結果圖，其中圖 3.16(b)的 A-Plate+C-Plate 補償與 3.16(c) Biaxial film 結果相近似，圖 3.16(d) 的兩片 Biaxial films 補償結果最佳。

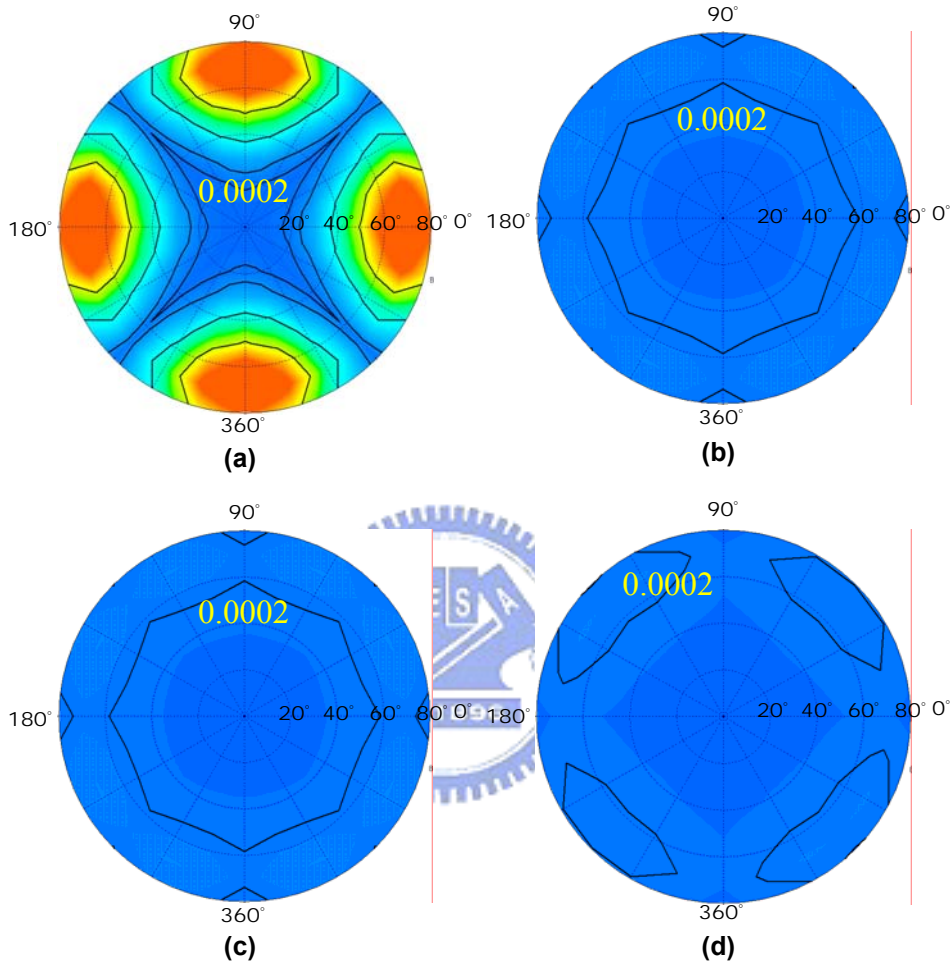


圖 3.16 正交偏光片加各種補償膜的漏光模擬結果圖(a)未加補償前(b)加 A-Plate+C-Plate 補償 (c)加一片 Biaxial Film 補償 (d) 加兩片 Biaxial Films 補償

### 3.4 液晶之相位補償

圖 3.17 再次說明相位延遲片的設計原則主要有兩步驟: step I .正軸的暗態相位差補償與 step II .離軸的暗態相位差補償，在這兩個原則下將介紹三種相位延遲片 Case1:A-Plate+C-Plate Case2:Biaxial film Case3:SWV film+C-Plate。

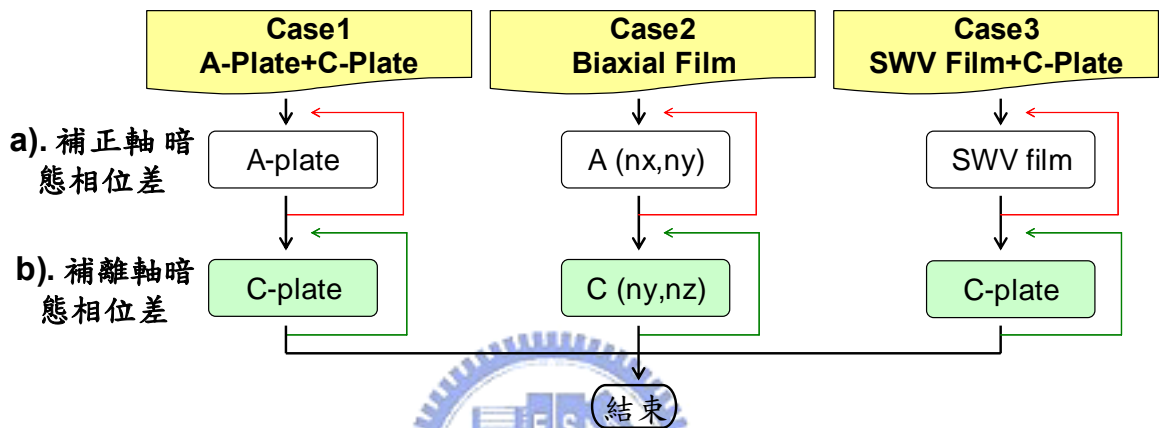


圖 3.17 相位延遲片設計流程圖

在設計的過程最後看到的是光學結果，所以利用 2.2.2 節的 Extended Jones matrix 計算光學，其過程中也需利用 2.2.3 節的相位差計算作為輔助設計。

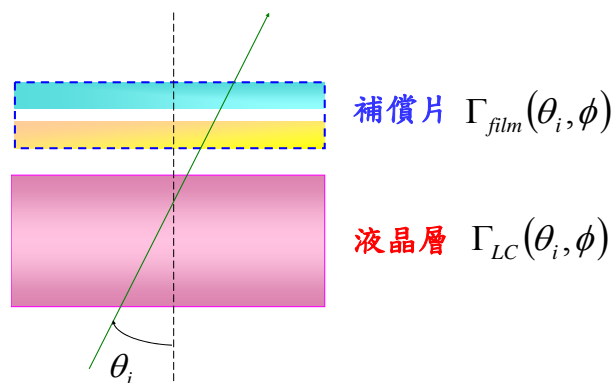


圖 3.18 斜向入射相位分析示意圖

圖 3.18 斜向入射相位分析的想法，相位差計算可以分析補償片與液晶



層的相位，只要把握一個原則：理想補償是暗態能達到全視角都暗，在相同入射角下得到的相位差均為零

$$\Gamma_{total}(\theta_i, \phi) = \Gamma_{film}(\theta_i, \phi) + \Gamma_{LC}(\theta_i, \phi) = 0 \quad (3.2-1)$$

實際補償的原則只要暗態( $T_{dark}$ )相對於亮態( $T_{bright}$ )足夠小，達成對比(CR)提升為目的而近似理想補償結果。接下來將一一介紹每一種相位延遲片補償特性。

### Case 1: A-Plate+C-Plate

step I. 正軸的暗態相位差補償—A-Plate

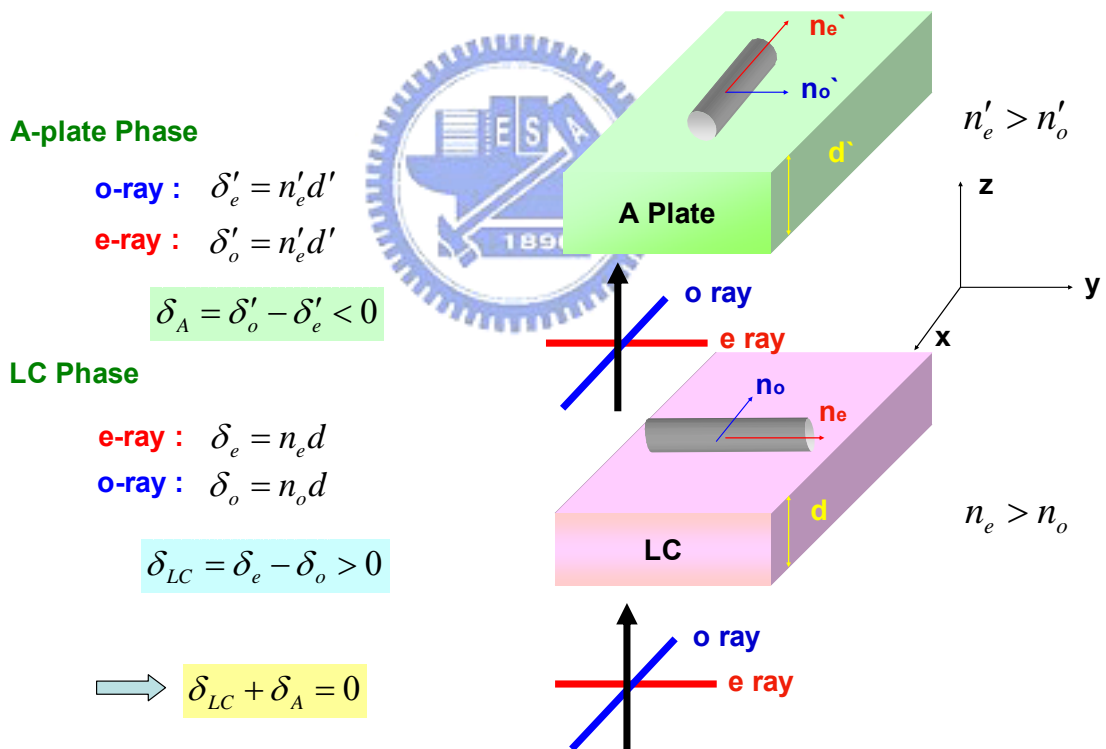


圖 3.19 A-Plate 補償正軸液晶層相位差示意圖

由於  $\pi$ -cell 的排列沒有扭轉只有彎曲排列的成份，分析每一層液晶層的相位差可發現整個液晶層的相位差疊加  $\delta_{LC} > 0$ ，為了要補償液晶層的相位差必須用一種材料特性為  $\delta < 0$  使得  $\delta_{LC} + \delta = 0$ ，最早以前的想法是利用負型材

料便可達到此要求，也可利用正型材料達到  $\delta < 0$ ，只需將慢軸與液晶慢軸正交便可。圖 3.19 為 A-Plate 補償正軸液晶層相位差圖，e-ray 方向平行 y-軸且 o-ray 方向平行 x-軸，分別分析液晶層相位差與 A-Plate 相位差最後達到正軸相位差和為零相位差 ( $\delta_{LC} + \delta_A = 0$ )。圖 3.20 為  $\Delta nd$ -視角曲線圖，圖中可清楚顯示正軸的  $\Delta nd=0$ ，但離軸的  $\Delta nd \neq 0$  且  $\Delta nd$  隨視角變大而呈現似正旋平方函數的曲線，因此離軸的部分必須用一種材料將相位差便小，此材料為 C-Plate。

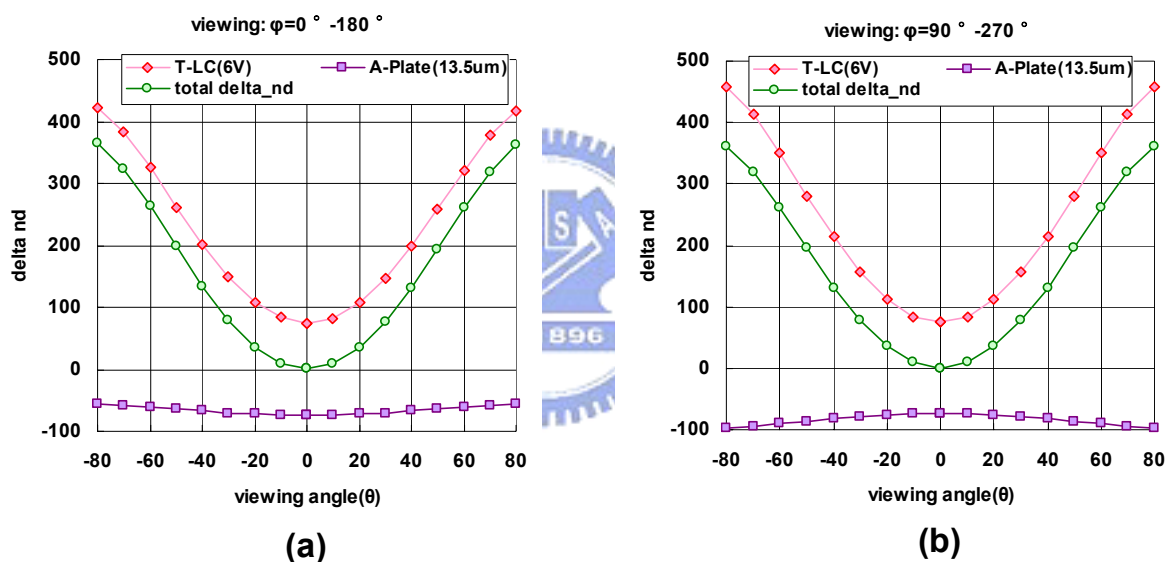


圖 3.20 A-Plate 補償正軸液晶層相位差的  $\Delta nd$ -視角曲線圖

## step II. 離軸的暗態相位差補償—C-Plate

圖 3.21 為 C-Plate 補償離軸暗態(液晶層+A-Plate)相位差示意圖，C-Plate 的材料大多為負型且均勻的盤狀分子，其特性為正軸的相位差等於零且離軸的相位差小於零，因此特性便可能達到暗態(液晶層+A-Plate+C-Plate)的相位差和於各視角都為零 ( $\delta_{LC} + \delta_A + \delta_C = 0$ )。圖 3.22 發現 C-Plate 補償離軸(液晶層+A-Plate)相位差的  $\Delta nd$  並非全視角都為零，對於暗態相位補償後最大

的 $\Delta nd$  為 46nm，這是因為此補償中為考慮到斜向入射時的入射偏振態改變與在入射相位延遲片前的寬頻  $\lambda/4$  波片的相位變率並且還要考慮到斜相入射時的 A-Plate 與液晶的慢軸偏移，這些都是會影響光學特性的，其光學結果將顯示於 4-1 節的圖 4.3。

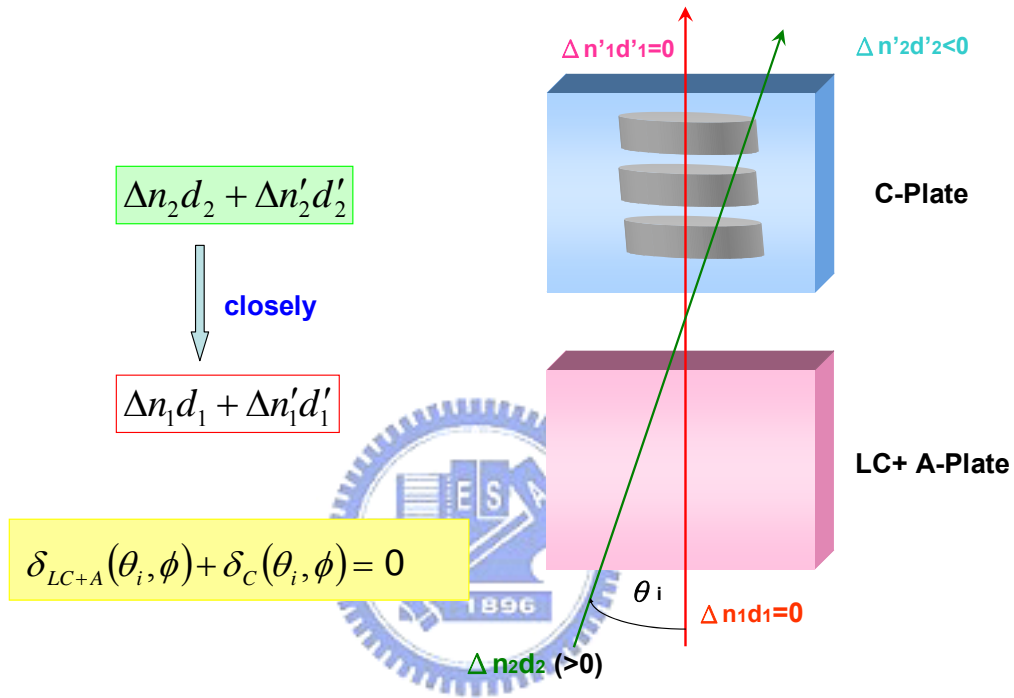


圖 3.21 C-Plate 補償離軸暗態(液晶層+A-Plate)相位差示意圖

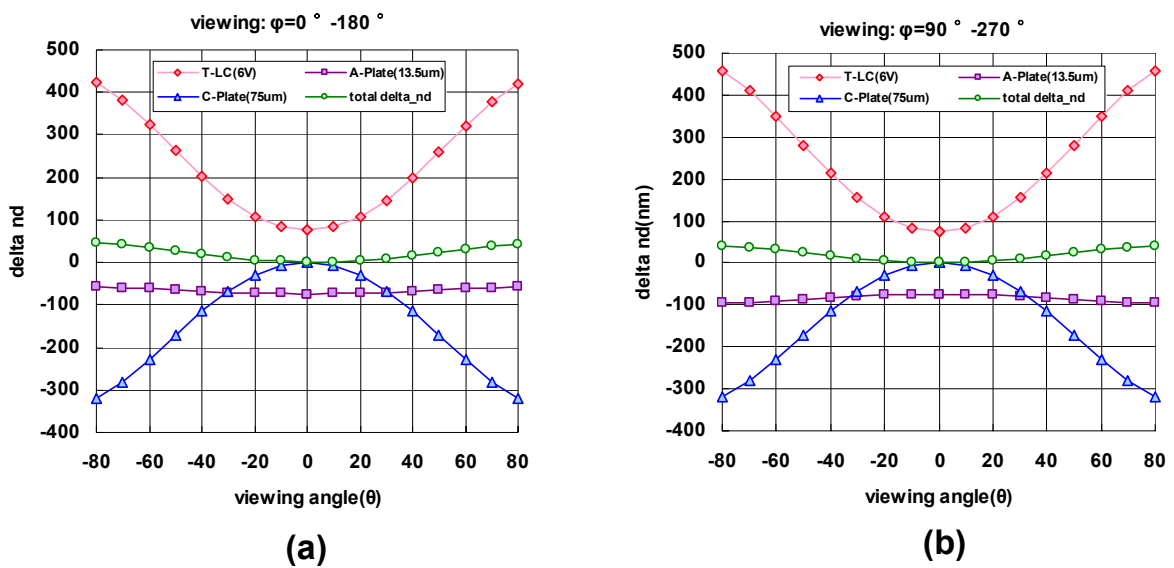


圖 3.22 C-Plate 補償離軸(液晶層+A-Plate)相位差的 $\Delta nd$  對視角曲線圖

## Case2: Biaxial film

step I . 正軸的暗態相位差補償— $n_x, n_y$

step II . 離軸的視角相位差補償— $n_x, n_z$

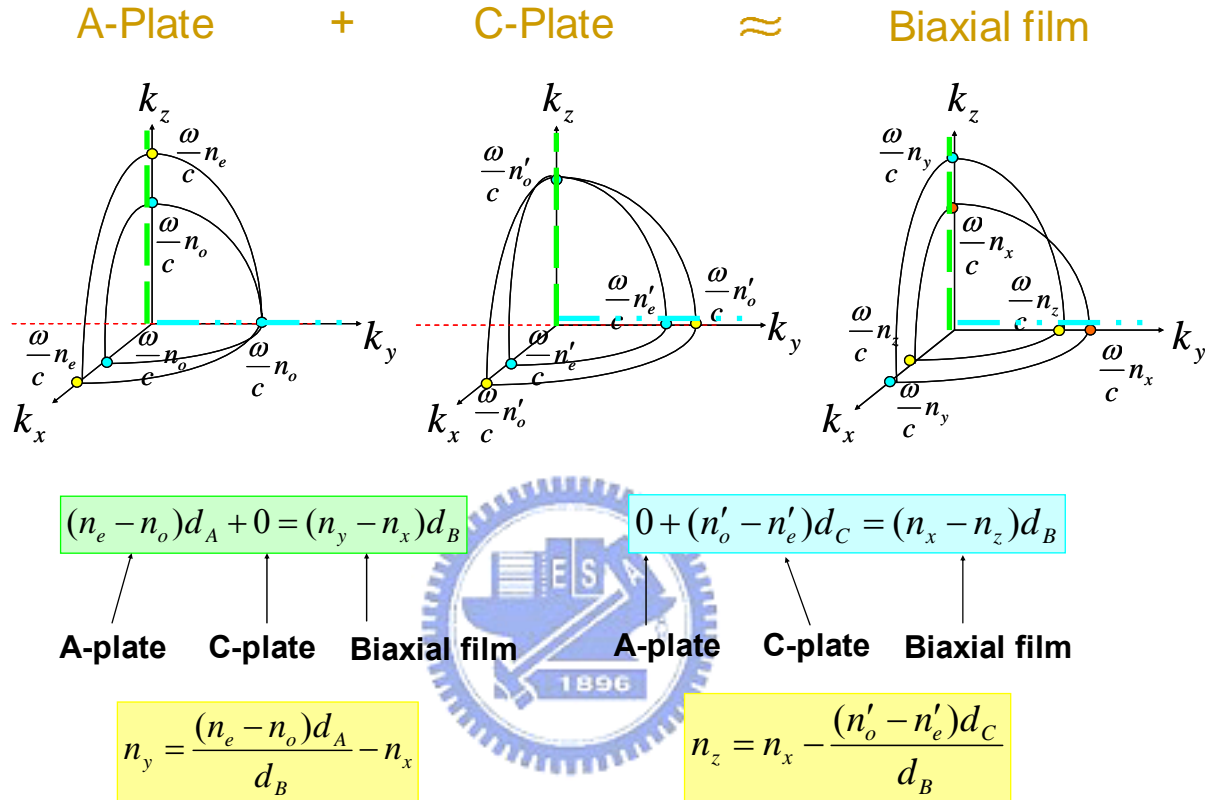


圖 3.23 波數空間(k space)說明 A-Plate 與 C-Plate 等效 Biaxial film 示意圖

Biaxial film 為雙軸晶體，其特性為  $n_x \neq n_y \neq n_z$ ，A-Plate 與 C-Plate 為單軸晶體，其特性為  $n_e = n_x = n_y, n_o = n_z (n_e > n_o)$  與  $n'_o = n_x = n_y, n'_e = n_z (n'_e < n'_o)$ ，因此兩單軸晶體 A-Plate 與 C-Plate 的合成相位差可以等效成一個雙軸晶體 Biaxial film，圖 3.23 以波數空間(k space)說明 A-Plate 與 C-Plate 的合成相位差等效 Biaxial film，假設光傳波方線為  $k_z$  方向，所看到的等效  $\Delta nd$  為  $(n_e - n_o)d_A + (n'_o - n'_e)d_C = (n_y - n_x)d_B$ ，當光傳波方線為  $k_y$  方向，所看到的等效

$\Delta nd$  為  $(n_o - n_o)d_A + (n'_e - n'_o)d_C = (n_x - n_z)d_B$ ，兩方程式中有三個未知數，所以令  $n_x$  為一合理折射率值，因此  $n_y$  與  $n_z$  也可以求出。圖 3.24 為設計出來的 Biaxial film 的  $\Delta nd$  對視角圖，對於暗態相位補償後均小於 3nm。其光學結果將顯示於 4-2 節的圖 4.6。

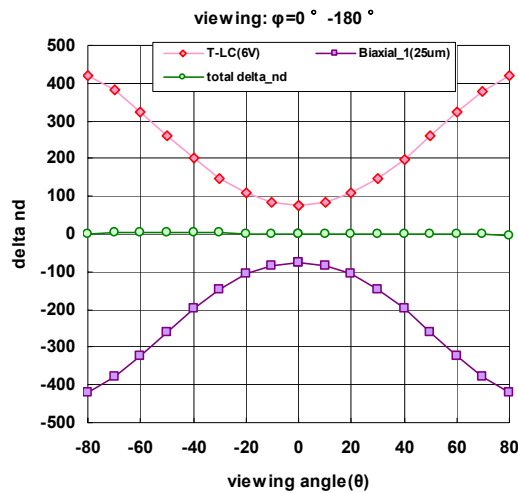


圖 3.24 Biaxial Film 補償暗態液晶層相位差的  $\Delta nd$  對視角曲線圖

Case3:SWV film+C-Plate

step I. 正軸的暗態相位差補償—SWV Film

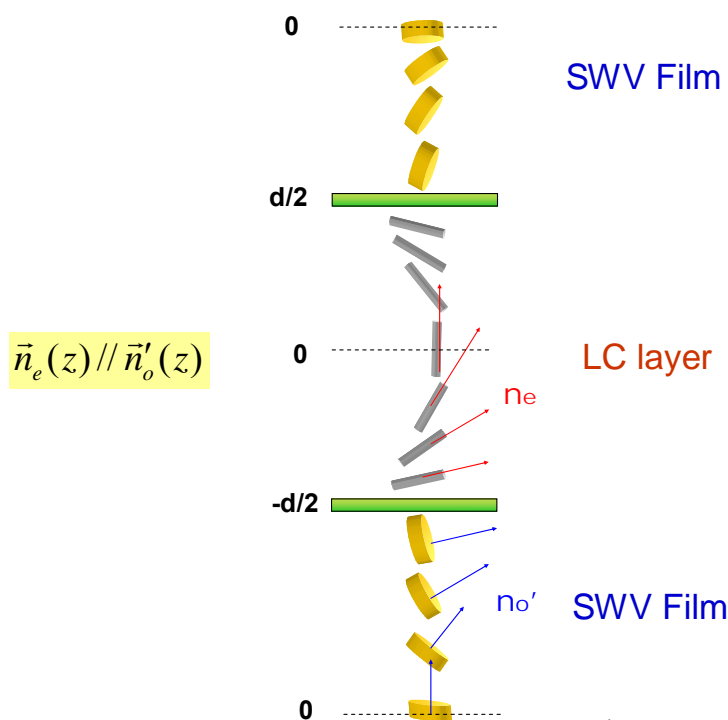


圖 3.25 SWV Film 分子排列與液晶層分子呈鏡向對稱示意圖

圖 3.25 顯示 SWV Film 類似 C-Plate 具有盤狀分子所組成，不過與 C-Plate 不同的是每一層盤狀分子有一傾斜角分佈，其分佈最好與液晶分子的每一層作鏡相對稱，所以 SWV Film 除了可以補償正軸暗態的液晶相位差外，也可作些微的離軸補償，所以 SWV Film 補償的效果會比 A-Plate 補償效果還好。

### step II. 離軸的視角相位差補償—C-Plate

其方式與 Case 1 的 C-Plate 補償法式相同不再贅述，圖 3.26 為(SWV Film+C-Plate)補償暗態液晶層相位差的 $\Delta nd$ 對視角曲線圖，設計出來的 $\Delta nd$ 對視角圖對於暗態相位補償後均小於 3nm。其光學結果將顯示於 4-3 節的圖 4.9。

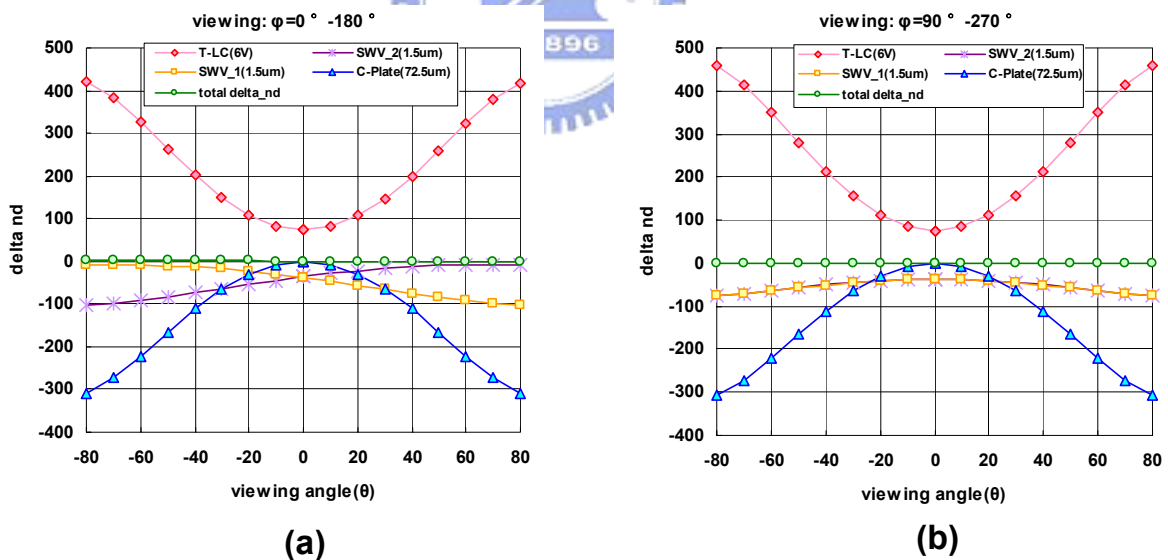


圖 3.26 (SWV Film+C-Plate)補償暗態液晶層相位差的 $\Delta nd$ 對視角曲線圖

以上所用的相位差計算出的結果均由 2.2.3 節推導的公式如下：

**1). A-Plate :**

$$\Gamma_a = \frac{2\pi}{\lambda} d \left\{ n_e \sqrt{1 - \left( \frac{\sin^2 \phi_{c1}}{n_o^2} + \frac{\cos \phi_{c1}}{n_e^2} \right) n_i^2 \sin^2 \theta_i} - n_o \sqrt{1 - \frac{n_i^2 \sin^2 \theta_i}{n_o^2}} \right\} \quad (3.2-2)$$

其中  $n_e = n_y, n_o = n_x = n_z$

**2). C-Plate :**

$$\Gamma_c = \frac{2\pi}{\lambda} d \left\{ n_o \sqrt{1 - \frac{n_i^2 \sin^2 \theta_i}{n_e^2}} - n_o \sqrt{1 - \frac{n_i^2 \sin^2 \theta_i}{n_o^2}} \right\} \quad (3.2-5)$$

其中  $n_e = n_z, n_o = n_x = n_y$

**3). LC layer& SWV Film :**

$$\Gamma_{LC} = \frac{2\pi}{\lambda} d \left\{ \frac{B}{m^2} + \frac{p}{q} \sqrt{q^2 - n_i^2 \sin^2 \theta_i} - n_o \sqrt{1 - \frac{n_i^2 \sin^2 \theta_i}{n_o^2}} \right\} \quad (3.2-5)$$

其中  $m^2 = n_o^2 \cos^2 \alpha_{LC} + n_e^2 \sin^2 \alpha_{LC}$  ,  $n^2 = m^2 \cos^2 \phi + n_e^2 \sin^2 \phi$  ,

$p = \frac{n_o n_e}{m}$  ,  $q = \frac{n_e m}{n}$  ,  $B = (n_o^2 - n_e^2) \sin \alpha_{LC} \cos \alpha_{LC} \sin \phi \sin \theta_i$

**4). Biaxial Film :**

$$\Gamma_{biax} = \frac{2\pi}{\lambda} d \left\{ n_e \sqrt{1 - \left( \frac{\cos^2 \phi_c}{n_e^2} + \frac{\sin^2 \phi_c}{n_z^2} \right) n_i^2 \sin^2 \theta_i} - n_o \sqrt{1 - \left( \frac{\cos^2 \phi_c}{n_z^2} + \frac{\sin^2 \phi_c}{n_o^2} \right) n_i^2 \sin^2 \theta_i} \right\} \quad (3.2-6)$$

其中  $n_e = n_y, n_o = n_x$

$$\tan \theta_c = \frac{n_3}{n_1} \left( \frac{n_2^2 - n_1^2}{n_3^2 - n_2^2} \right)^{0.5} , n_3 > n_2 > n_1 \quad (3.2-7)$$

## 第四章 模擬結果

雖然 OCB LCD 具有先天的廣視角特性，但由於配向排列方式使得暗態不夠暗而造成光學品質不佳，圖 4.1 為未加入相位補償片前的 TR-OCB LCD，圖 4.1(b)(c)(d)(e)為穿透區與反射區的視角圖，圖中顯示未加入相位補償片的正軸與離軸的暗態都不夠暗，因此造成 4.1(f)(g)的對比圖全區域皆不佳。由於  $CR_{\max} = T_{100\%} / T_{0\%}$  所以可了解暗態對於對比率的重要，因此在第三章所介紹的補償方式皆對暗態如何變暗作設計，本章為上章的設計結果—4.1 節為 Case1 相位補償片 A-Plate+ C-Plate 的補償結果，4.2 節為 Case2 相位補償片 Biaxial film 的補償結果，4.3 節為 Case3 相位補償片 SWV film+ C-Plate 的補償結果。視角圖與對比率圖是主要判斷補償結果的依據，視角圖看到的灰階反轉角度而對比率圖則可了解可是範圍區域，為了說明方便將以代號取代文字，”Case□□”的第一個□為數字(1—A-Plate+ C-Plate,2—Biaxial film,3—SWV film+ C-Plate)表示三種相位補償片，第二個□為英文字(A—相位補償片,B—相位補償片+廣視角片,C—相位補償片+寬頻 QWP,D—相位補償片+寬頻 QWP+廣視角片)表示四種不同結構的補償。



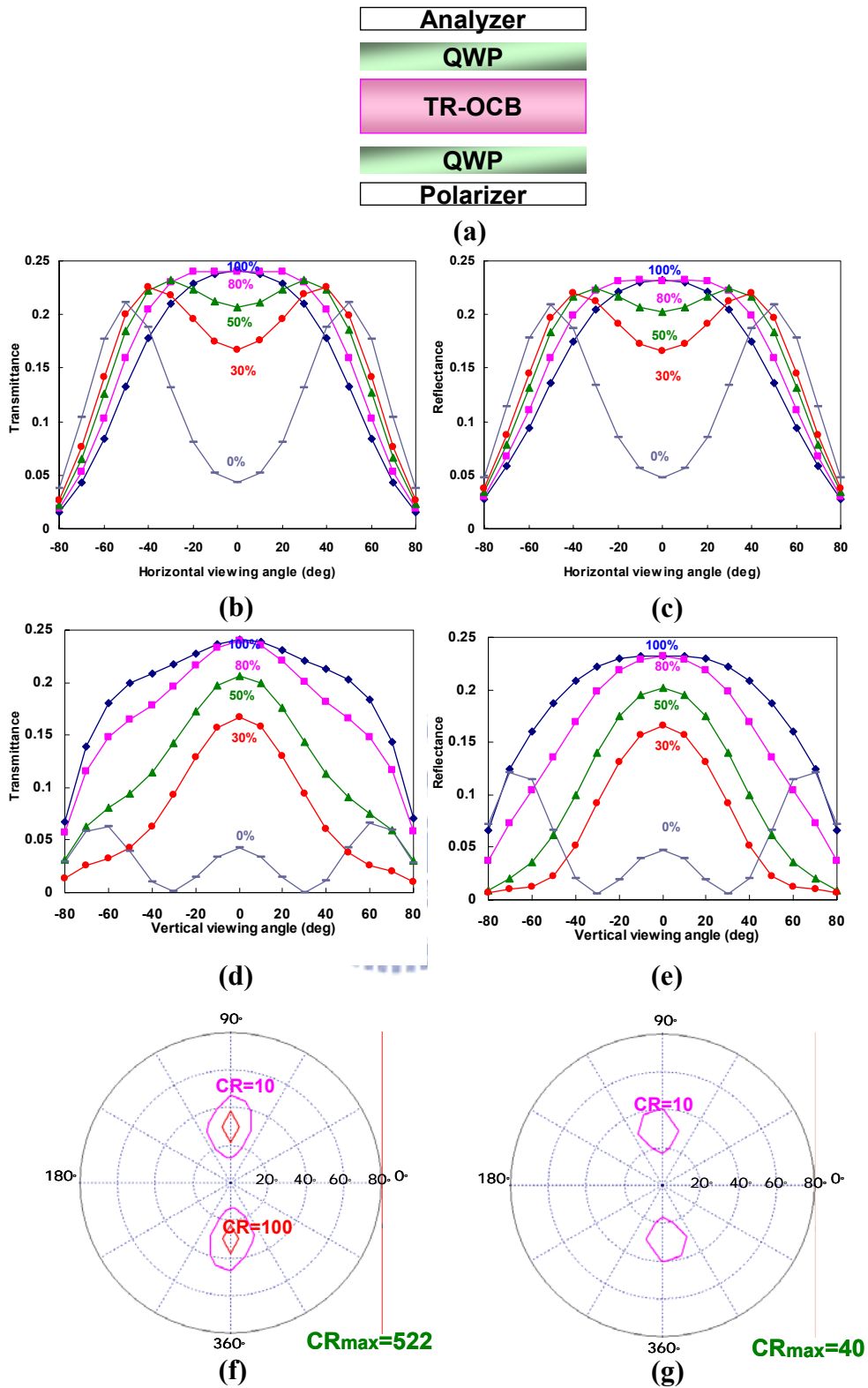


圖 4.1 未加入相位補償片前的 TR-OCB LCD 圖(a)結構圖與參數 (b) (c)穿透區的水平方向與垂直方向的視角圖 (d) (e)反射區的水平方向與垂直方向的視角圖 (f) (g)穿透區與反射區的對比圖

#### 4.1 半穿透式 OCB LCD 加 A-Plate & C-Plate 補償(Case1)

圖 4.2 為加入相位補償片(Case1)的 TR-OCB LCD 四種結構圖，圖 4.3 為四種結構補償後的對比率圖可發現：穿透區比較 ①有加入廣視角偏光片的對比率大於 10 的面積都比較大(Case1B>Case1A, Case1D>Case1C) ②有加入寬頻 QWP 的對比率大於 10 的面積也都比較大(Case1C>Case1A, Case1D>Case1B) 反射區比較 ③有加入廣視角偏光片的結果不一定會比較好 ④有加入寬頻 QWP 的對比率大於 10 的面積是有變大一點，更重要的是對比度大大的提升了許多(Case1C>Case1A, Case1D>Case1B)。

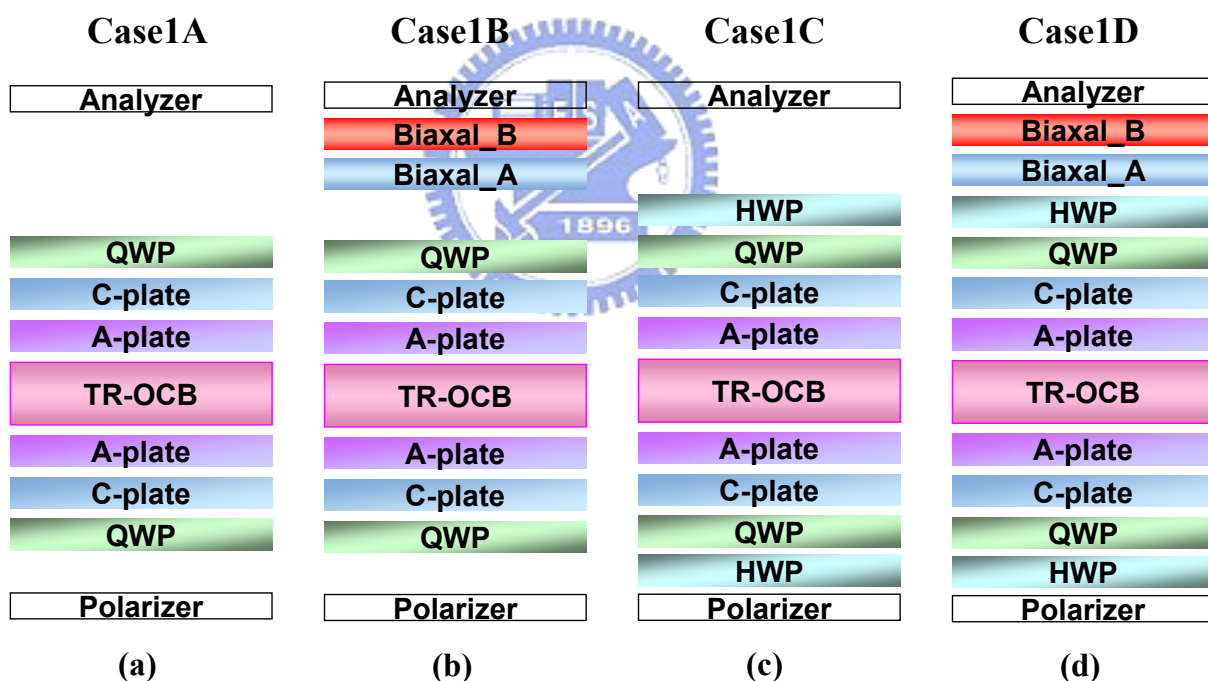


圖 4.2 加入相位補償片(A-Plate+C-Plate)的 TR-OCB LCD 結構圖

(a)Case1A—相位補償片 (b) Case1B—相位補償片+廣視角片(c)

Case1C—相位補償片+寬頻 QWP (d) Case1D—相位補償片+寬頻

QWP+廣視角片

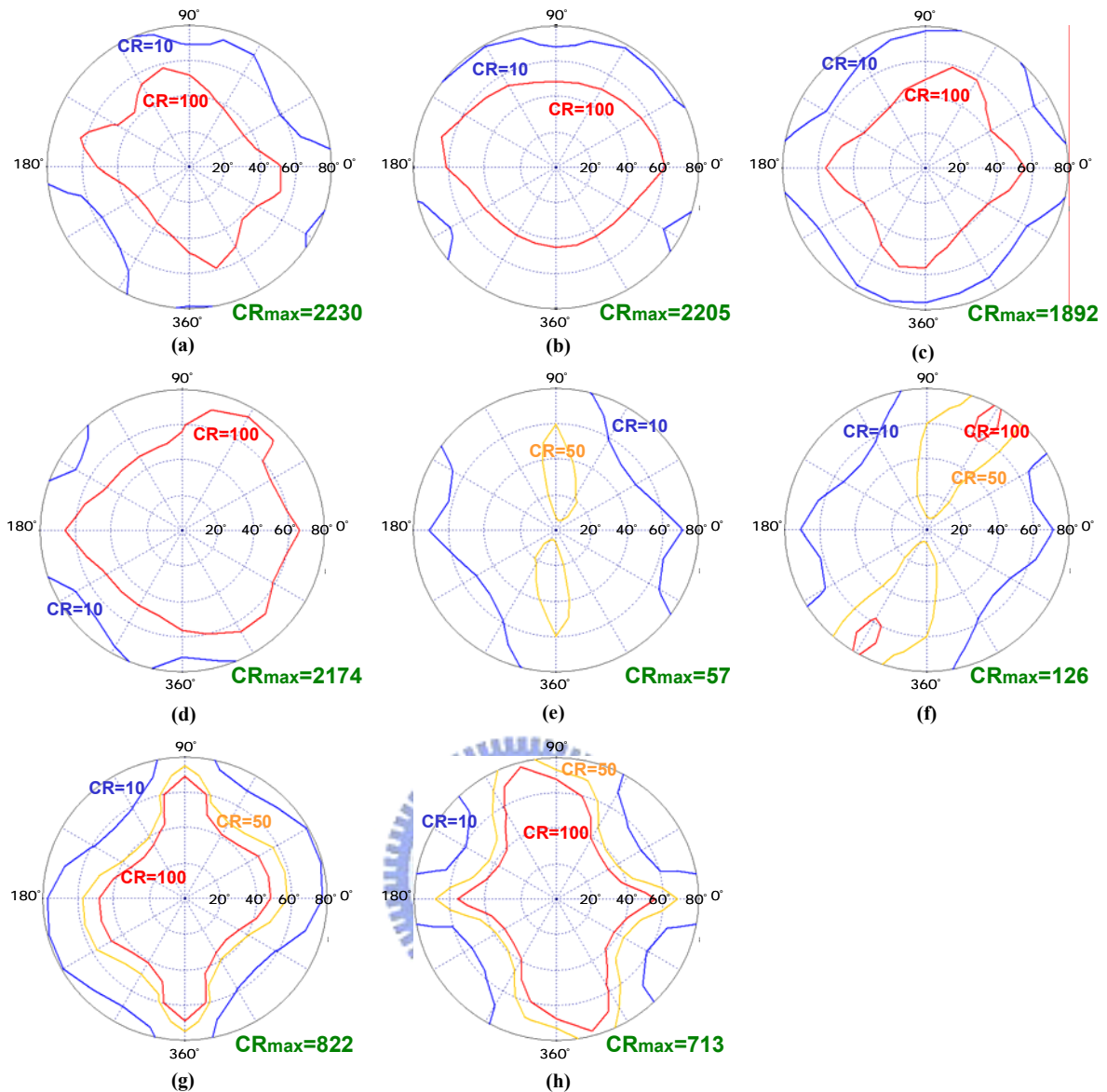


圖 4.3 加入不同特性補償的等對比率圖

穿透區的(a) Case1A (b) Case1B(c) Case1C (d) Case1D

反射區的(e)Case1A (f) Case1B (g) Case1C (h) Case1D

圖 4.4 為加入不同特性補償的視角圖，由 4.4(a)(b)(c)(d)的不同灰階電壓的視角，圖中可知道灰階反轉的角度且也可了解暗態的穿透率(反射率)對視角漏光發生在哪裡，對於不同特性補償視角的穿透率(反射率)差異較大在暗態的穿透率(反射率)而非其他灰階電壓，因此 4.4(e)(f)(g)(h)針對各不同補償

特性的暗態作圖比較，圖中唯一有比較清楚的結論是反射區加入寬頻的 QWP 可將離軸的暗態降低(Case1C>Case1A, Case1D>Case1B)，而穿透區就沒有比較明顯的特徵結果。

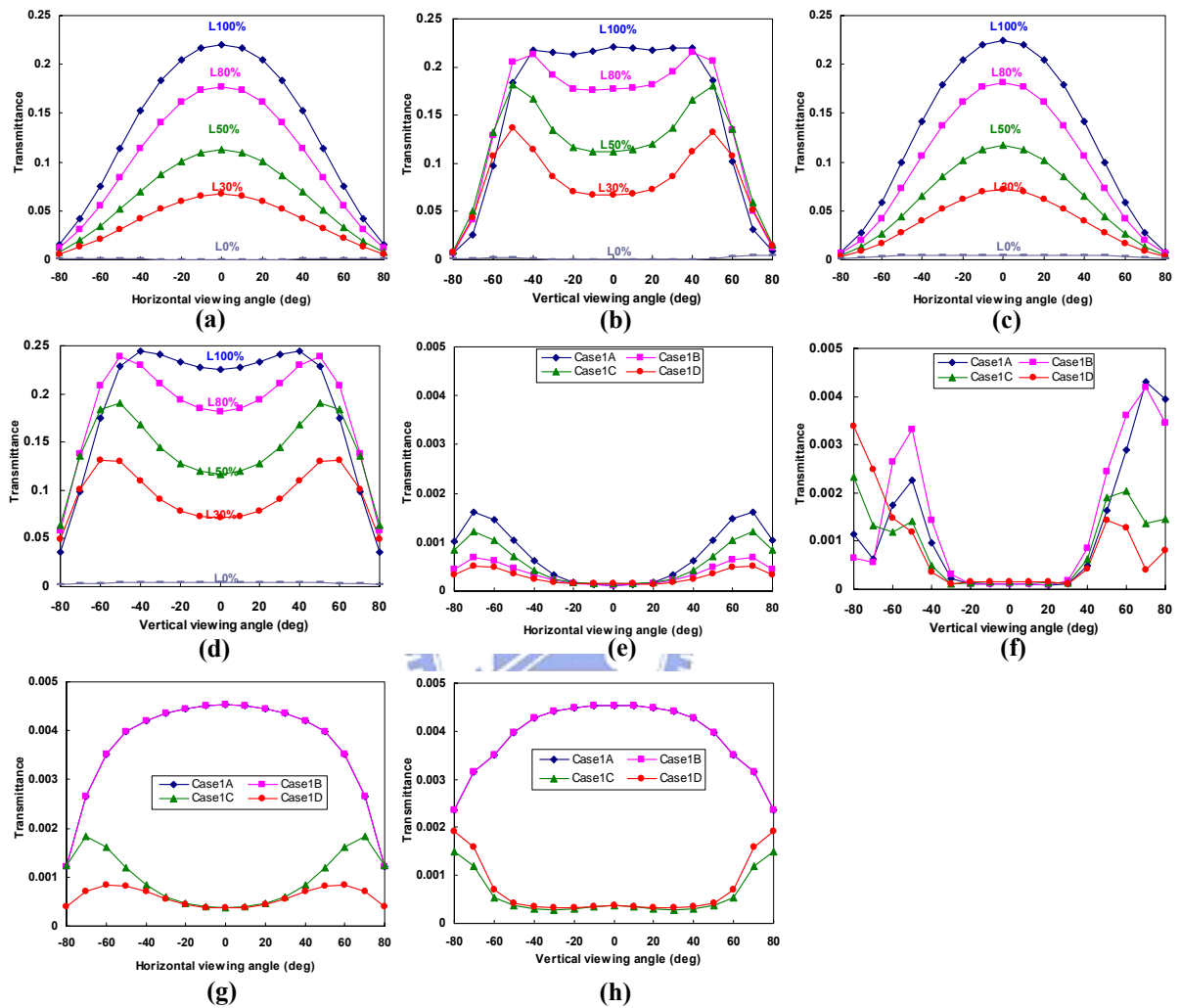


圖 4.4 加入不同特性補償的視角圖

穿透區 Case1A 的 (a)水平方向視角(b)垂直方向視角

反射區 Case1A 的 (c)水平方向視角(d)垂直方向視角

穿透區各暗態的 (e)水平方向視角(f)垂直方向視角

反射區各暗態的 (g)水平方向視角(h)垂直方向視角

## 4.2 半穿透式 OCB LCD 加 Biaxial film 補償(Case2)

圖 4.5 為加入相位補償片(Case2)的 TR-OCB LCD 四種結構圖，圖 4.6 為四種結構補償後的對比率圖可發現與 Case1 的結果相近似：穿透區比較 ① Case2B>Case2A, Case2D>Case2C ② Case2C>Case2A, Case2D>Case2B 反射區比較 ③Case2C>Case2A, Case2D>Case2B。(請看 4.1 節的結果描述) 其結果與 Case1 相近似的簡單解釋方法是因為 Biaxial film 是可以近似成 A-Plate+C-Plate(3.4 節有說明)，Case2 與 Case1 的比較將於第五章作比較分析。

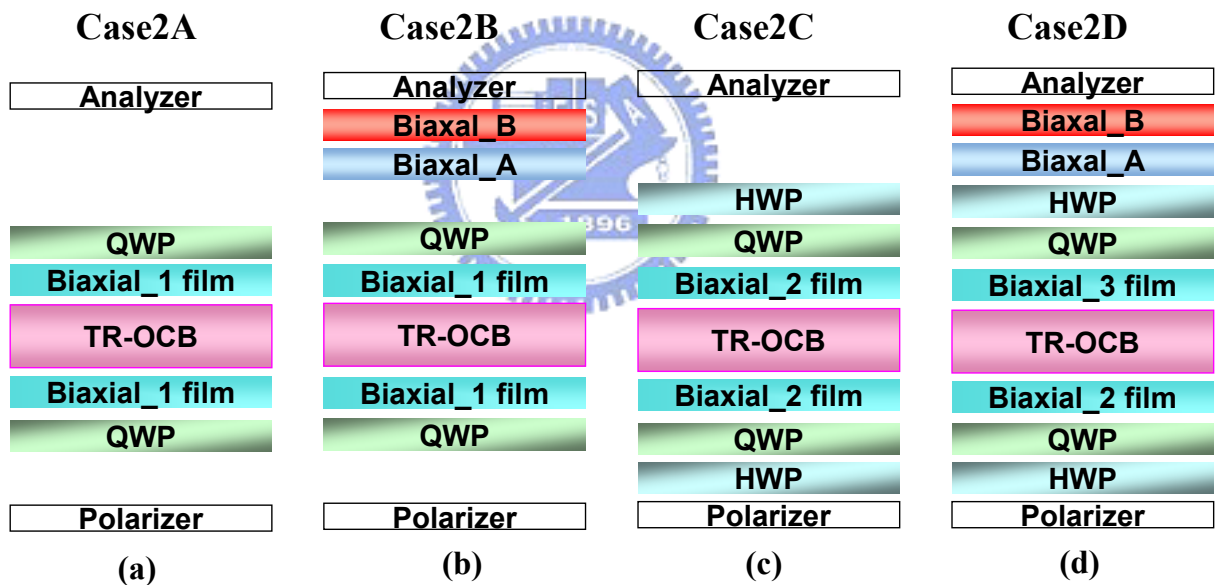


圖 4.5 加入相位補償片(Biaxial film)的 TR-OCB LCD 結構圖(a)Case2A—相位補償片 (b) Case2B—相位補償片+廣視角片(c) Case2C—相位補償片+寬頻 QWP (d) Case2D—相位補償片+寬頻 QWP+廣視角片

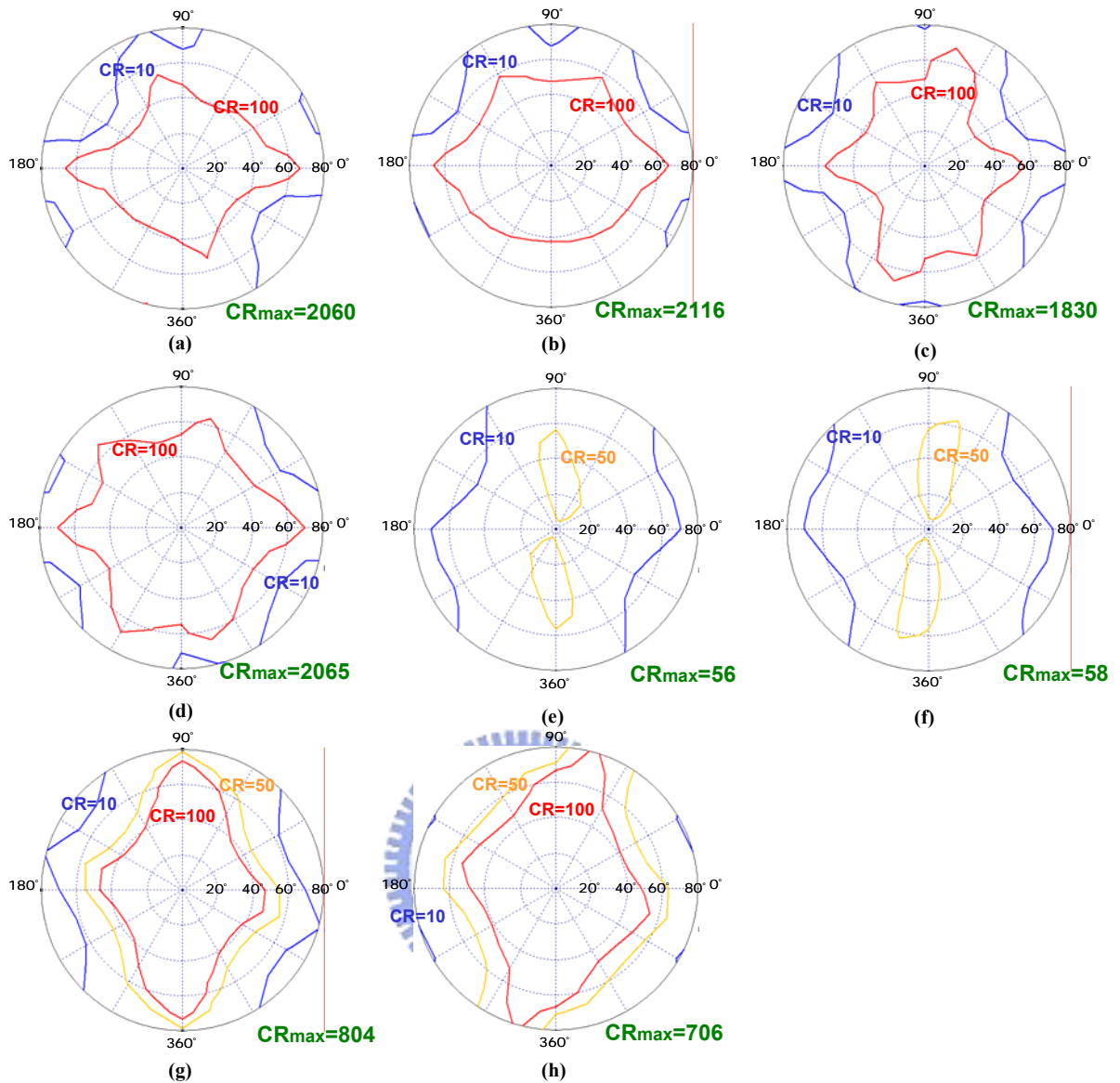


圖 4.6 加入不同特性補償的等對比率圖

穿透區的(a) Case2A (b) Case2B(c) Case2C (d) Case2D

反射區的(e)Case2A (f) Case2B (g) Case2C (h) Case2D

圖 4.7 為加入不同特性補償的視角圖，由 4.7(a)(b)(c)(d)為 Case2A 不同灰階電壓的視角，4.7(e)(f)(g)(h)針對各不同補償特性的暗態作圖比較，其結果也與圖 4.4 相類似。

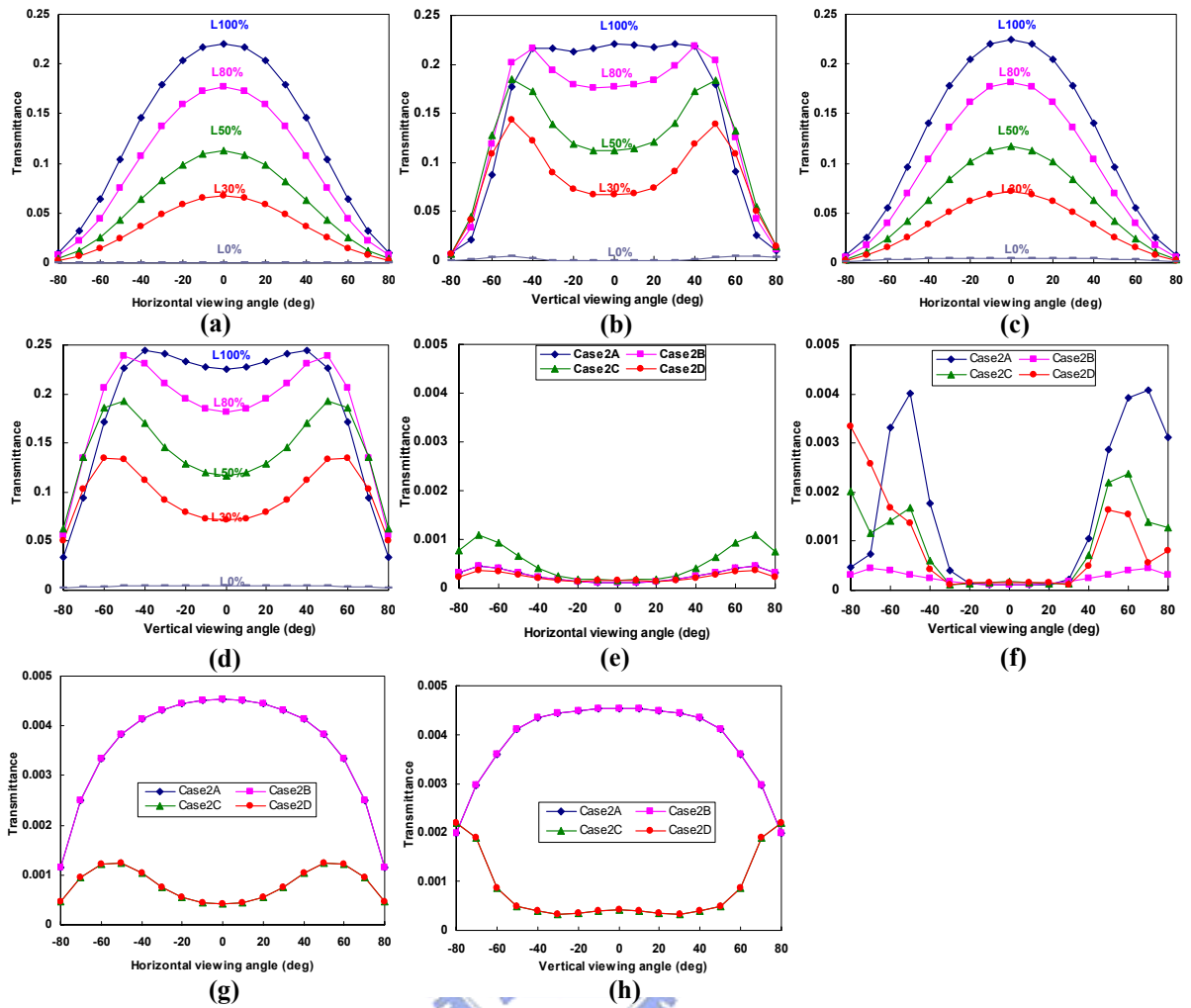


圖 4.7 加入不同特性補償的視角圖

穿透區 Case2A 的 (a)水平方向視角(b)垂直方向視角

反射區 Case2A 的 (c)水平方向視角(d)垂直方向視角

穿透區各暗態的 (e)水平方向視角(f)垂直方向視角

反射區各暗態的 (g)水平方向視角(h)垂直方向視角

### 4.3 半穿透式 OCB LCD 加 SWV Film+C-Plate 補償(Case3)

圖 4.8 為加入相位補償片(Case2)的 TR-OCB LCD 四種結構圖，圖 4.9 為四種結構補償後的對比率圖可發現與 Case1 的結果相近似但卻比 Case1 的結果還要好一些：穿透區比較 ①Case3B>Case3A, Case3D>Case3C ② Case3C>Case3A, Case3D>Case3B 反射區比較 ③ Case3C>Case3A, Case3D>Case3B。(請看 4.1 節的結果描述)其結果與 Case1 相近似的簡單解釋方法是因為 SWV film 的功用與 A-Plate 相同但 SWV film 卻因為結構與液晶層成鏡向對稱，所以後具有廣視角的特性(3.4 節有說明)，Case3 與 Case1 的比較將於第五章作比較分析。

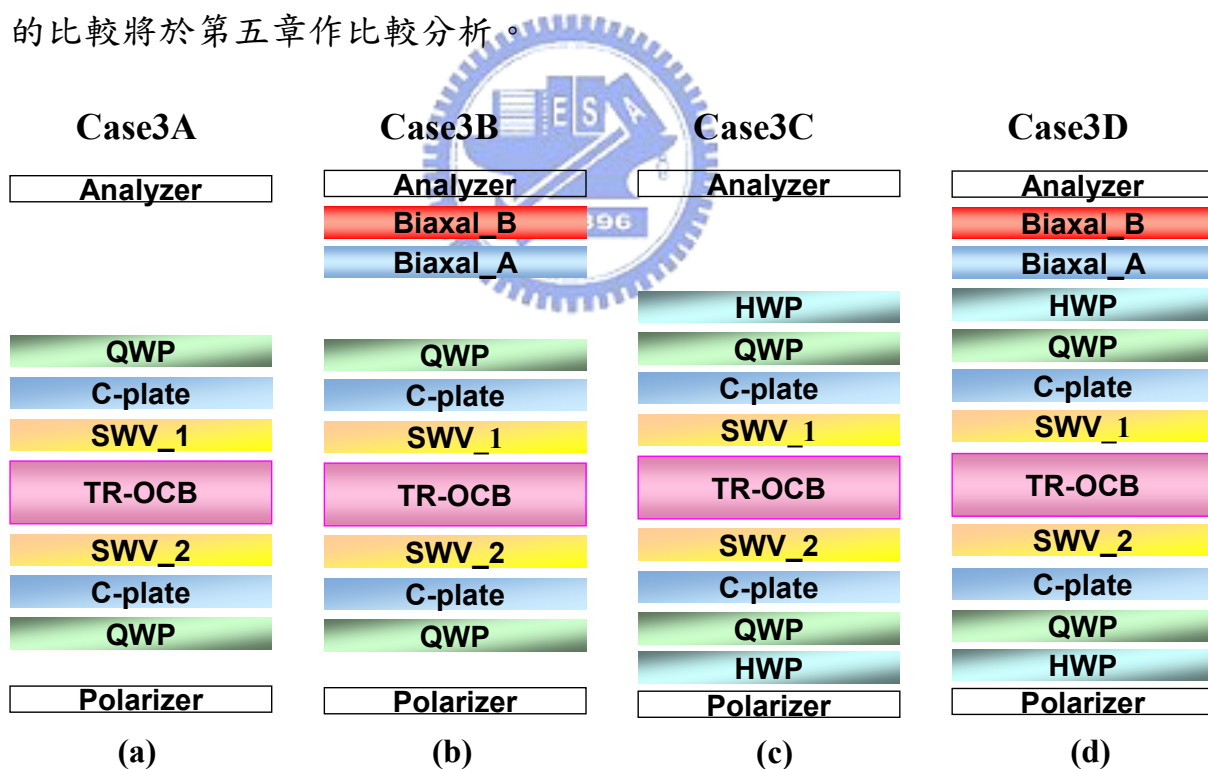


圖 4.8 加入相位補償片(Biaxial film)的 TR-OCB LCD 結構圖(a)Case3A—相位補償片 (b) Case3B—相位補償片+廣視角片(c) Case3C—相位補償片+寬頻 QWP (d)Case3D—相位補償片+寬頻 QWP+廣視角片



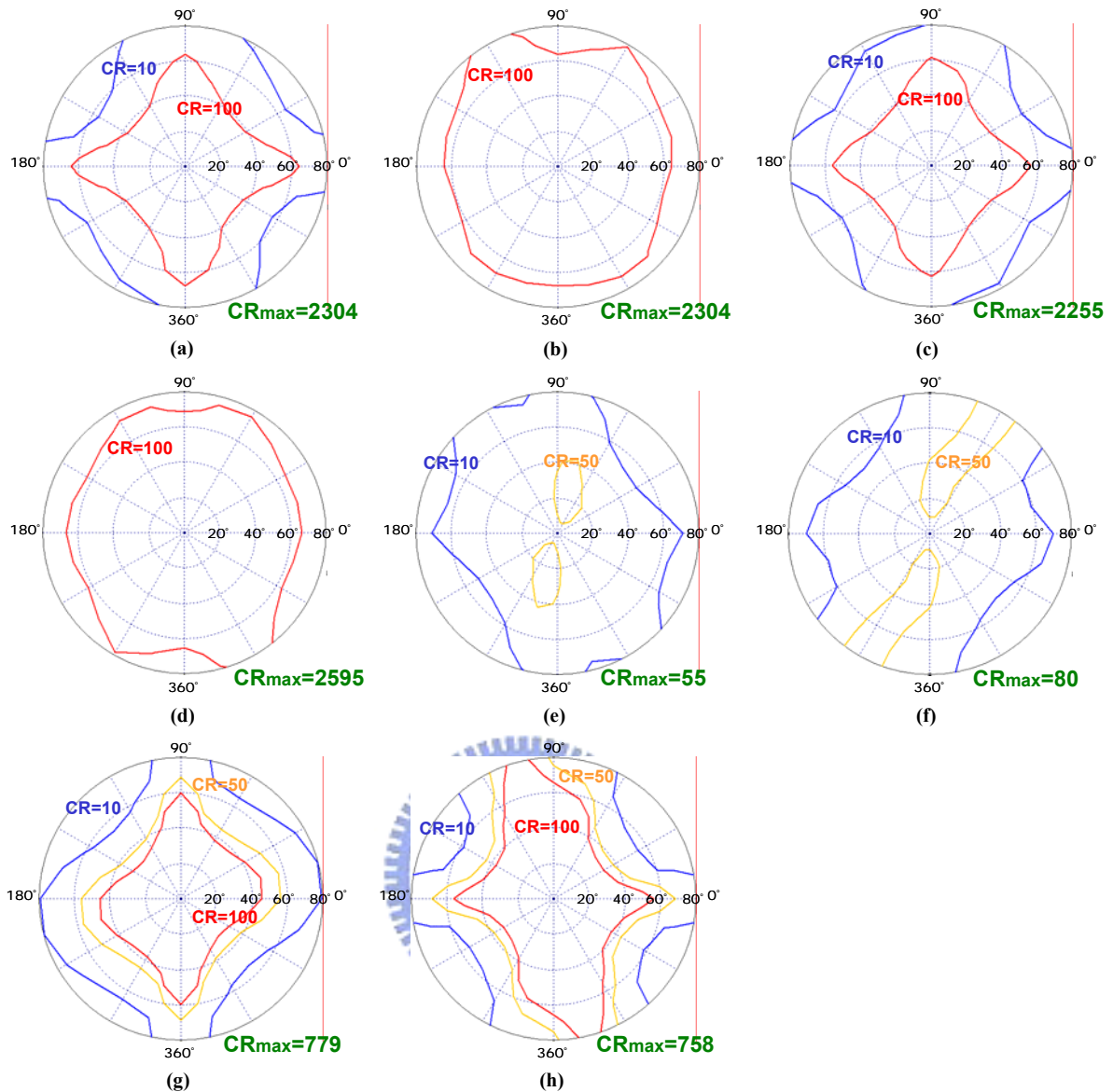


圖 4.9 加入不同特性補償的等對比率圖

穿透區的(a) Case3A (b) Case3B(c) Case3C (d) Case3D

反射區的(e)Case3A (f) Case3B (g) Case3C (h) Case3D

圖 4.10 為加入不同特性補償的視角圖，由 4.10(a)(b)(c)(d)為 Case3A 不同灰階電壓的視角，4.10(e)(f)(g)(h)針對各不同補償特性的暗態作圖比較，其結果可以發現一葛很重要的特點就是視角水平方向對稱且垂直方向也對稱，由於 SWV film 的鏡向對稱的特性且具有 C-Plate 的特性，可以近乎完

全的對每一層液晶層作相位補償，其結果也與圖 4.4 相類似但卻比其佳。

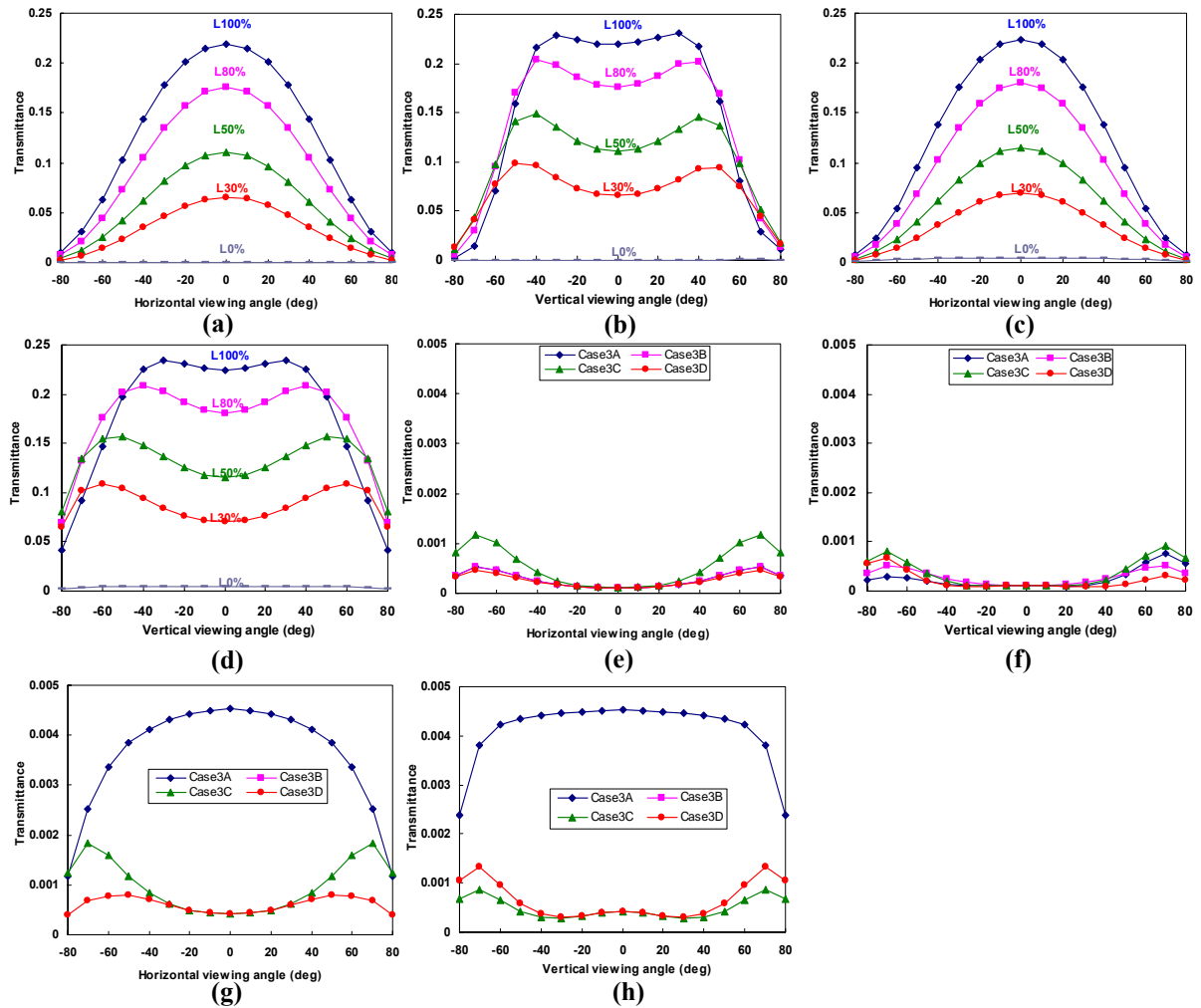


圖 4.10 加入不同特性補償的視角圖

穿透區 Case3A 的 (a)水平方向視角(b)垂直方向視角

反射區 Case3A 的 (c)水平方向視角(d)垂直方向視角

穿透區各暗態的 (e)水平方向視角(f)垂直方向視角

反射區各暗態的 (g)水平方向視角(h)垂直方向視角

以上所用的參數皆紀錄在表一～表五，表六與表七分別將以上的結果

紀錄成表格的型式。

表一

	厚度(um)	nx	ny	nz
Polarizer	180	0.4151	0.3471	0.0003
廣視角補償片	厚度(um)	nx	ny	nz
Biaxial_B	125	1.588672	1.586469	1.588121
Biaxial_A	125	1.588672	1.586469	1.586932
寬頻 QWP	厚度(um)	nx	ny	nz
HWP	125	1.588672	1.586469	1.587571
QWP	62.5	1.588672	1.586469	1.587571
相位延遲片	慢軸方位角	nx	ny	nz
A-Plate	180°	1.54	1.54	1.53725
C-Plate	90°	1.54	1.54	1.544
Biaxial_1	180°	1.54	1.541485	1.528
Biaxial_2	180°	1.54	1.541551	1.5296
Biaxial_3	180°	1.54	1.541551	1.5268
相位延遲片	慢軸傾角	nx	ny	nz
SWV_1	-79°~-24°	1.54	1.54	1.6
SWV_2	24°~79°	1.54	1.54	1.6
LC(ZLI-2293)				
e//	e <sup>⊥</sup>	nx	ny	nz
14.1	4.1	1.63847	1.50222	1.50222
扭轉角	預傾角	K1	K2	K3
180°	4°	12.5	7.3	17.9

表一 折射率參數

表二

	CaseA	CaseB	CaseC	CaseD
Polarizer	90°	90°	60°	60°
Biaxial_B		90°		165°
Biaxial_A		90°		165°
HWP			165°	165°
QWP	225°	225°	225°	225°
Compensation film (A-Plate,Biaxial,SWV)	180°	180°	180°	180°
LC layer	90°	90°	90°	90°
Compensation film (A-Plate,Biaxial,SWV)	180°	180°	180°	180°
QWP	315°	315°	315°	315°
HWP			255°	255°
Analyzer	0°	0°	-30°	-30°

表二 各模片的慢軸方位角參數

表三

	Case1A	Case1B	Case1C	Case1D
Polarizer	180um	180um	180um	180um
Biaxial_B		125um		125um
Biaxial_A		125um		125um
HWP			125um	125um
QWP	62.5um	62.5um	62.5um	62.5um
C-Plate	75um	75um	65um	82.5um
A-Plate	13.5um	13.5um	14um	14um
LC layer	T=6um,R=3um			
A-Plate	13.5um	13.5um	14um	14um
C-Plate	75um	75um	65um	65um
QWP	62.5um	62.5um	62.5um	62.5um
HWP			125um	125um
Analyzer	180um	180um	180um	180um

表三 相位延遲片(A-Plate+C-Plate)的厚度參數

表四

	Case2A	Case2B	Case2C	Case2D
Polarizer	180um	180um	180um	180um
Biaxial_B		125um		125um
Biaxial_A		125um		125um
HWP			125um	125um
QWP	62.5um	62.5um	62.5um	62.5um
Biaxial	25um	25um	25um	24.25um
LC layer	T=6um,R=3um			
Biaxial	25um	25um	25um	20um
QWP	62.5um	62.5um	62.5um	62.5um
HWP			125um	125um
Analyzer	180um	180um	180um	180um

表四 相位延遲片(Biaxial Film)的厚度參數



表五

	Case3A	Case3B	Case3C	Case3D
Polarizer	180um	180um	180um	180um
Biaxial_B		125um		125um
Biaxial_A		125um		125um
HWP			125um	125um
QWP	62.5um	62.5um	62.5um	62.5um
C-Plate	72.5um	72.5um	62.5um	80um
SWV	15um	15um	15um	15um
LC layer	T=6um,R=3um			
SWV	15um	15um	15um	15um
C-Plate	72.5um	72.5um	62.5um	65um
QWP	62.5um	62.5um	62.5um	62.5um
HWP			125um	125um
Analyzer	180um	180um	180um	180um

表五 相位延遲片(SWV Film+C-Plate)的厚度參數

表六 穿透區的等對比率與灰階反轉角度

		un-compensated	Case1A	Case1B	Case1C	Case1D
CRmax	T100%/T0%	522	2230	2205	1892	2174
CR=10 視角	左/右		80°/80°	80°/80°	80°/80°	80°/80°
	上/下		70°/79°	70°/80°	75°/75°	80°/70°
灰階反轉	左/右		80°/80°	80°/80°	80°/80°	80°/80°
	上/下		40°/40°	40°/40°	40°/40°	42°/42°
		conventional	Case2A	Case2B	Case2C	Case2D
CRmax	T100%/T0%	645	2060	2116	1830	2065
CR=10 視角	左/右	30°/36°	80°/80°	80°/80°	80°/80°	80°/80°
	上/下	80°/30°	70°/80°	70°/80°	78°/78°	80°/70°
灰階反轉	左/右	小於 20°	80°/80°	80°/80°	80°/80°	80°/80°
	上/下	小於 20°	40°/40°	40°/40°	42°/42°	42°/42°
			Case3A	Case3B	Case3C	Case3D
CRmax	T100%/T0%		2304	2304	2255	2595
CR=10 視角	左/右		80°/80°	80°/80°	80°/80°	80°/80°
	上/下		80°/80°	80°/80°	80°/80°	80°/80°
灰階反轉	左/右		80°/80°	80°/80°	80°/80°	80°/80°
	上/下		50°/50°	50°/50°	50°/50°	50°/50°

表六 穿透區的等對比率與灰階反轉角度

表七 反射區的等對比率與灰階反轉角度

		un-compensated	Case1A	Case1B	Case1C	Case1D
CRmax	T100%/T0%	40	57	126	822	713
CR=10 視角	左/右		70°/70°	70°/70°	78°/78°	80°/80°
	上/下		80°/80°	80°/80°	80°/80°	80°/80°
灰階反轉	左/右		80°/80°	80°/80°	80°/80°	80°/80°
	上/下		50°/50°	50°/50°	50°/50°	56°/56°
		conventional	Case2A	Case2B	Case2C	Case2D
CRmax	T100%/T0%	181	56	58	804	706
CR=10 視角	左/右	42°/66°	70°/70°	70°/70°	70°/70°	80°/80°
	上/下	80°/42°	80°/80°	80°/80°	80°/80°	80°/80°
灰階反轉	左/右	小於 40°	80°/80°	80°/80°	80°/80°	80°/80°
	上/下	小於 40°	50°/50°	50°/50°	56°/56°	56°/56°
			Case3A	Case3B	Case3C	Case3D
CRmax	T100%/T0%		55	80	779	758
CR=10 視角	左/右		70°/70°	70°/70°	78°/78°	80°/80°
	上/下		80°/80°	80°/80°	80°/80°	80°/80°
灰階反轉	左/右		80°/80°	80°/80°	80°/80°	80°/80°
	上/下		58°/58°	58°/58°	58°/58°	58°/58°

表七 反射區的等對比率與灰階反轉角度

## 第五章 結論與討論

目前在半穿透式的手機市場以薄膜電晶體(TFT)形式的水平排列(Homogeneous)液晶顯示器為主流[1]，因此本論文內容探討的 TR-OCB LCD 必須以主流市場手機作為評定的標準，接下來便對半穿透式水平排列樣品作分析。圖 5.1(a)為半穿透式水平排列樣品結構圖，(b)(c)(d)為本論文所補償的結構圖，在這結構下需要比較幾個重點：①T(R)-V 特性曲線圖 ②反應時間 ③灰階反轉角度 ④等對比率等於 10 的面積大小。

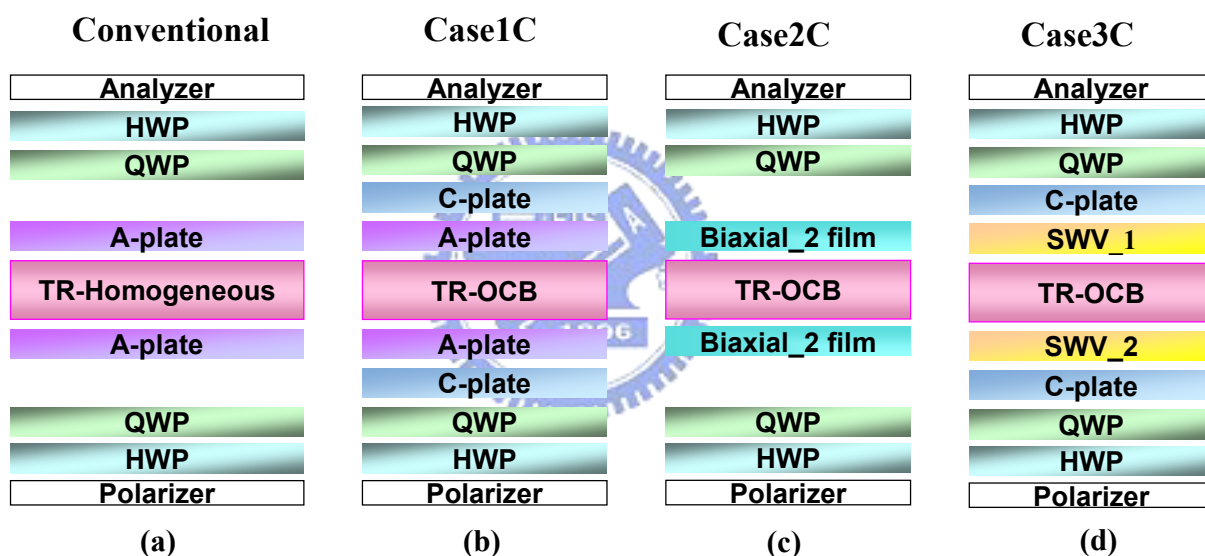


圖 5.1 半穿透式結構圖(a)水平排列樣品(Conv.) (b)Case1C 的 OCB 結構  
(c)Case2C 的 OCB 結構 (d)Case3C 的 OCB 結構

①T(R)-V 特性曲線：圖 5.2 為 T(R)-V 特性曲線圖，由圖比較可了解傳統的樣品除了驅動電壓比較低(省電)外，且曲線也很平滑，但相反的 OCB 樣品可切的灰階數也較多。②反應時間：反應時間的部分論文中並未深入研究，不過在一般的產品檢報中皆顯示了 OCB LCD 的快速反應特性是



Homogeneous LCD 無法比的。③灰階反轉角度：由於 OCB 模態是對稱式排列方法，因此灰階反轉的角度發生在大角度( $50^{\circ}\sim 60^{\circ}$ )，而水平排列於高電壓呈現不對稱排列因此灰階反轉的角度發生的角度在  $15^{\circ}\sim 40^{\circ}$ ，表六與表七有列表比較。

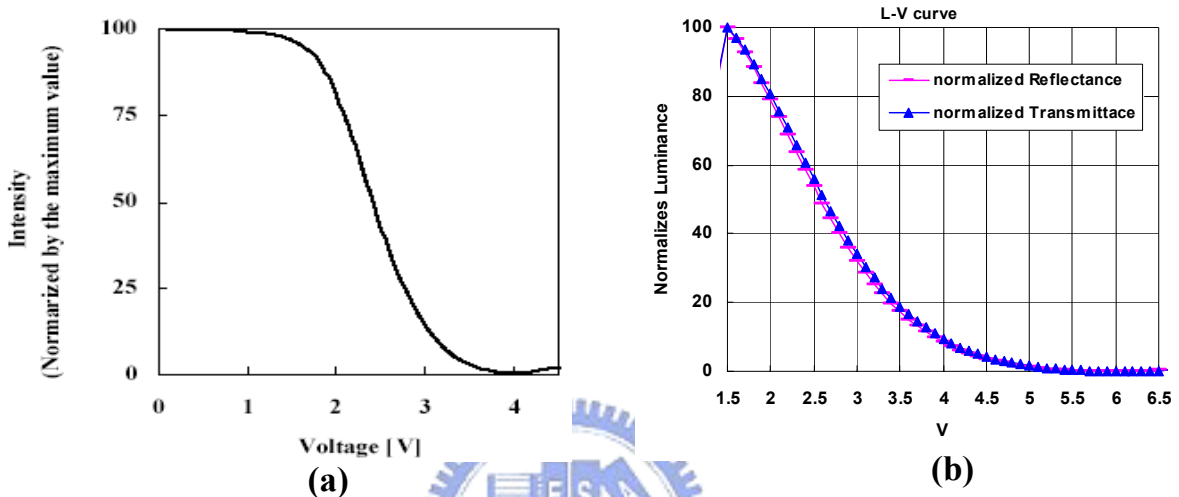


圖 5.2 T(R)-V 特性曲線圖(a)水平排列樣品 (b)Case1C 的 OCB 樣品

①等對比率等於 10 的面積大小：由於發表的半穿透式水平排列的結構是用類似 Case□C(TR-LC+相位補償片+寬頻 QWP)形式作出的等對比率 10 的圖，為了在相同條件比較論文中所做的設計，因此僅以 Case□C 的光學結構下與其比較，圖 5.3(a)半穿透式顯示器的結構圖，在此結構下(b)(c)分別為穿透區與反射區的等對比率等於 10 的圖，圖中顯示 i.論文中設計的三種結果的穿透區與反射區等對比率等於 10 的面積均比半穿透式水平排列的面積還大，ii.比較三種設計結果於穿透區等對比率等於 10 的面積為 Case1C>Case2C>Case3C，反射區則是平分秋色。比較完半穿透式水平排列的特性後在回去比較另三種結構(CaseD,CaseA 和 CaseB)下的結果。

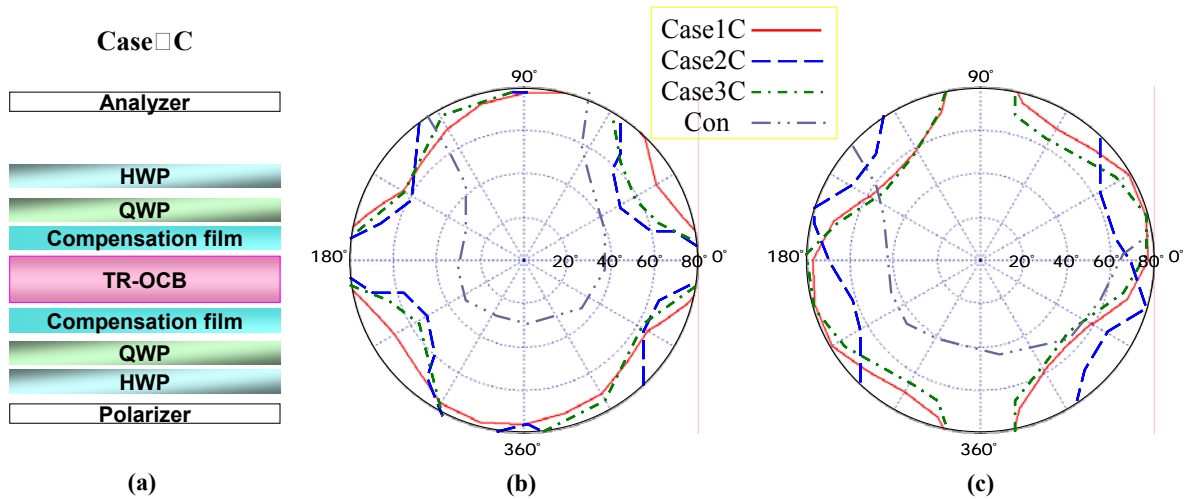


圖 5.3 半穿透式顯示器(a)結構圖 (b)穿透區的等對比率等於 10 圖 (c)反射區的等對比率等於 10 圖

圖 5.4 為 Case D 的結構，換句話說就是 Case C 結構再加入廣式角偏光片補償其結果為：  
 i. 穿透區的 Case 3D (SWV film + C-Plate) 將可以達到全視角的理想結果且等對比率等於 10 的面積為  $\text{Case 3D} > \text{Case 1D} > \text{Case 2D}$ 。  
 ii. 在反射區的 Case 2D (Biaxial Film) 將可以達到全視角的理想結果且等對比率等於 10 的面積  $\text{Case 2D} > \text{Case 1D} \approx \text{Case 3D}$ 。

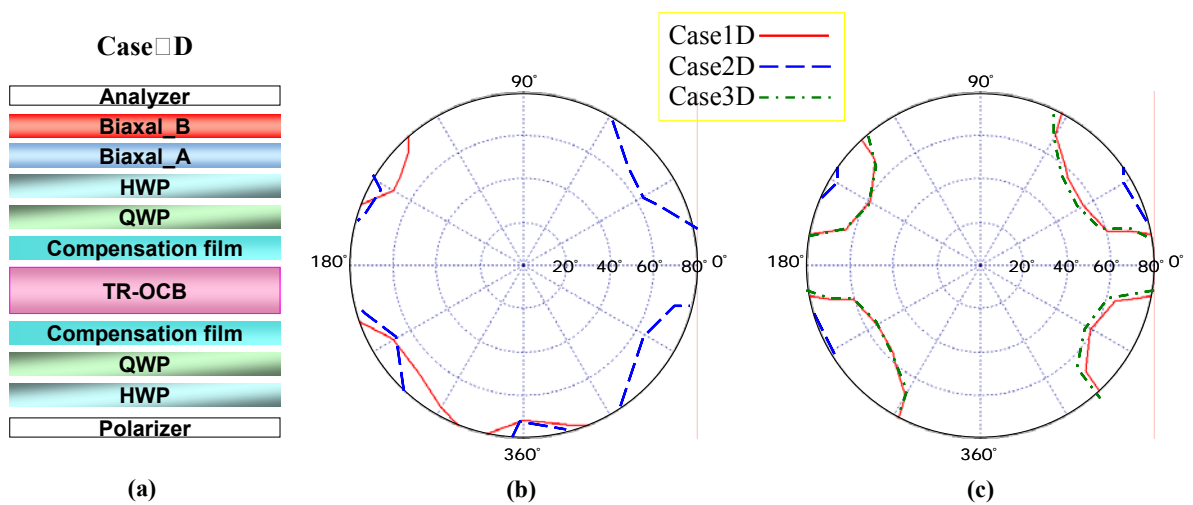


圖 5.4 半穿透式 OCB 顯示器於 Case D (a) 結構圖 (b) 穿透區的等對比率等於 10 圖 (c) 反射區的等對比率等於 10 圖

圖 5.5 為 Case□A (TR-LC+相位補償片)的結構，補償其結果為：i. 穿透區與反射區的等對比率等於 10 的面積比較起來應該都差不多

Case1A ≈ Case2A ≈ Case3A。

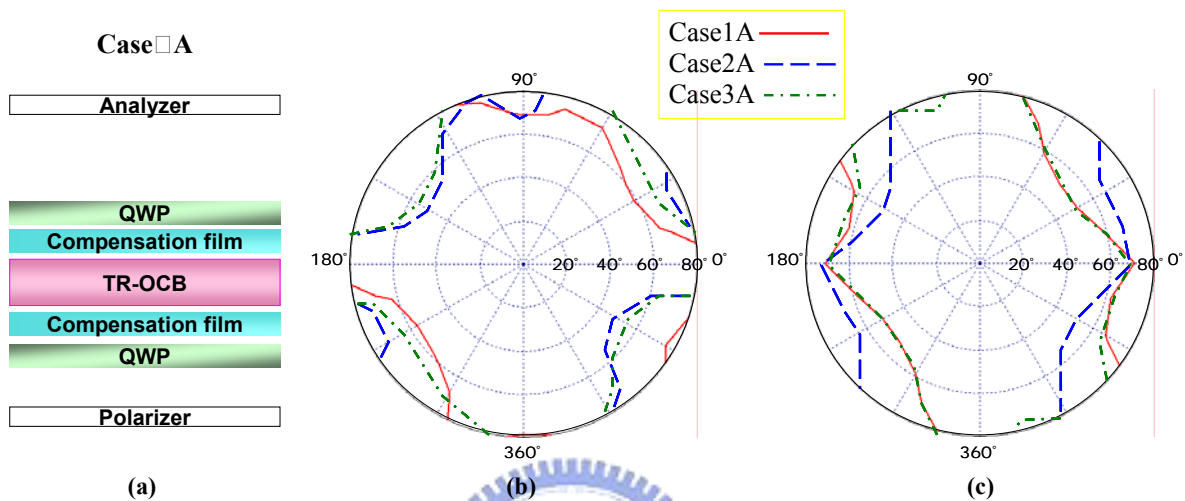


圖 5.5 半穿透式 OCB 顯示器於 CaseA(a)結構圖 (b)穿透區的等對比率等於 10 圖 (c)反射區的等對比率等於 10 圖

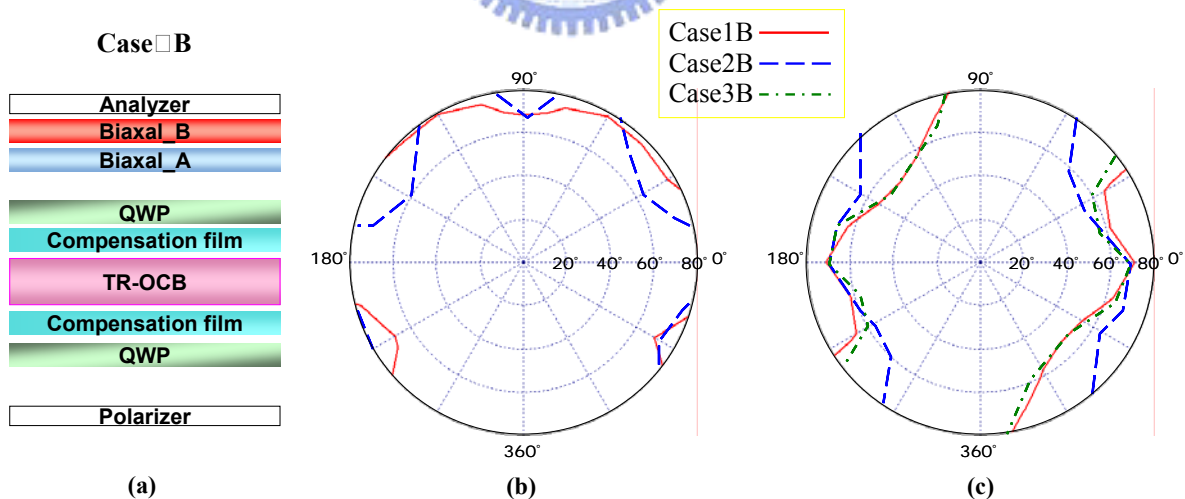


圖 5.6 半穿透式 OCB 顯示器於 CaseB(a)結構圖 (b)穿透區的等對比率等於 10 圖 (c)反射區的等對比率等於 10 圖

圖 5.6 為 Case□B (TR-LC+相位補償片+廣視角偏光片)的結構，補償其

結果為：i. 穿透區的 Case3B(SWV film+C-Plate)將可以達到全視角的理想結果且等對比率等於 10 的面積為 Case3B>Case1B>Case2B。ii. 但在反射區的結果則是 Case1B≈Case2B≈Case3B。

以上的各種結果均為 Extended Jones Matrix 所計算出的光學結果，若真的要直接解釋其光學結果的優劣似乎有點困難，因此本論文在第三章中除了在用簡單的結構來解釋外，還用了相位的方式作輔助說明，但其實都還是無法很明確的分析結果，未來應該利用 Poincaré Sphere 描述結果或許更能比較了解斜相入射設計的技巧。在此還是將以上的結果作一個總體的評比：模擬程式所得到的最佳化的所有視角結果都還不錯，均比傳統的水平排列模態之視角有大幅度的改善，且  $\pi$ -cell 先天的快速反應的特色下，半穿透式 OCB LCD 可以評定為可發展的產品。

## 第六章 展望

光學模擬的結果必定比產品測試的結果好很多，但這並不光學模擬有什麼問題，而是不考慮一些實際的 Spacer 漏光及配向之非理想因素等，未來須以實驗數據相輔，於模擬與產品間作反覆的修正以達到最佳且相近似的趨勢。

OCB 模態雖然以本論文結果具有相當好的光學結果，但可別忘了熱機時間(warm up time)也是其重要考量的問題，圖 6.1 為彎曲核心源示意圖，在自由能最低的斜展態(splay state)轉化到另一個工作穩態彎曲態(bend state)需要很久的時間，圖中皆顯示了由斜展態轉換到彎曲態是靠著間格物(spacers)邊界的不均勻排列或樣品中的不均勻的”彎曲核心源”慢慢的改變整個樣品的型態，藉由這種想法，半穿透式的 OCB LCD 的結構似乎也有這種特性的來源，圖 6.2 為半穿透式邊界的”彎曲核心源”想法示意圖，於半穿反界面的不均勻排列可能有當”彎曲核心源”的機會以加快轉換熱機時間，此外，在穿透區與反射區的界面 2D 流動效應也將影響像素(pixel)的反應時間，這些想法將是下一階段的研究目標。

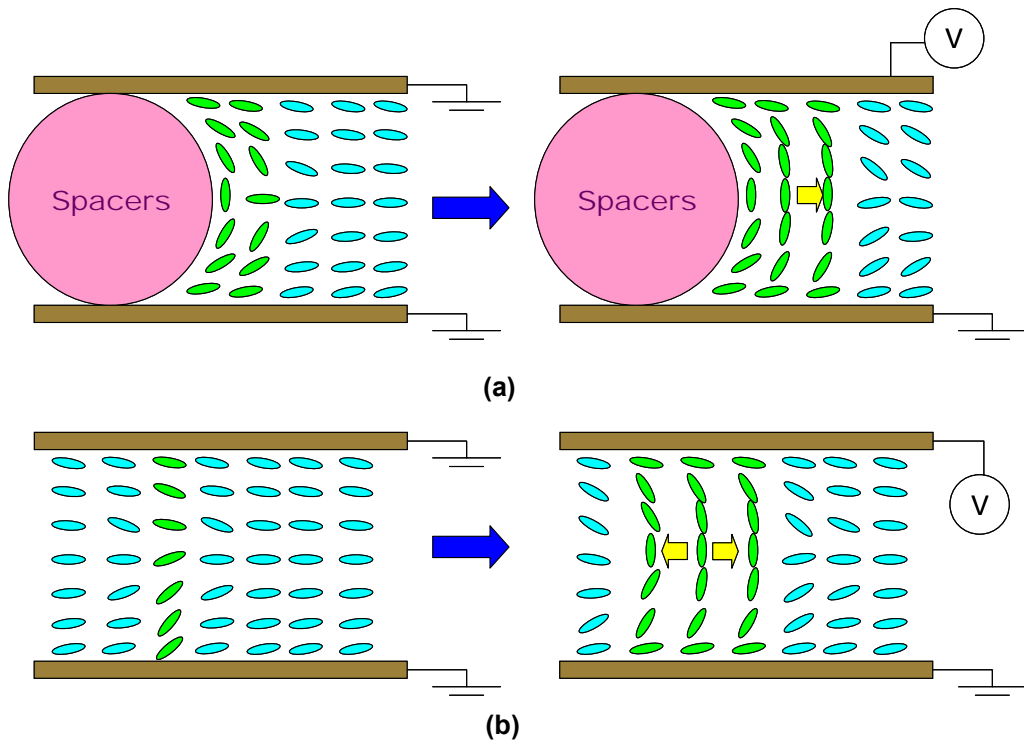


圖 6.1 彎曲核心源示意圖

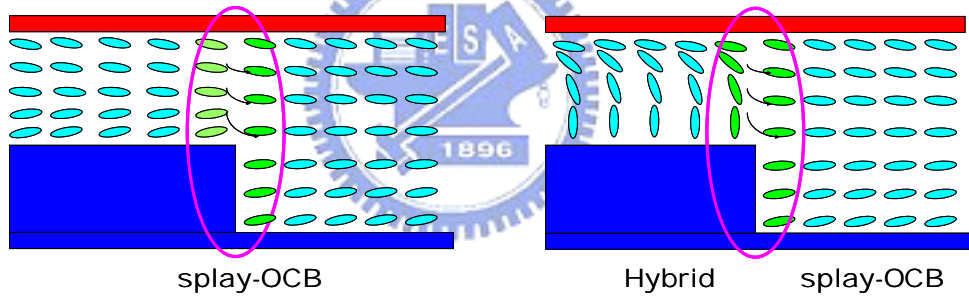


圖 6.2 半穿透式邊界的”彎曲核心源”想法示意圖

## 參考文獻

- [1] M. Shibasaki, Y. Ukawa, S. Takahashi and Y. Iefuji, SID'03 DIGEST, p. 90, 2003.
- [2] S.J. Roosendaal, B.M.I. vander Zande, A.C. Nieuwerk, C.A. Renders, J.T.M. Osenga, C. Doornlamp, E. Peeters, J. Bruinmink and J.A.M.M. van Harren, SID'03 DIGEST, p.78,2003.
- [3] S. T. Wu and C. S. Wu, Appl. Phys. Lett. 68(11), p.1455,1995.
- [4] T. Uchida and Takahiro Ishinabe, IDRC 03,p. 65, 2003
- [5] T. J. Chang and P. L. Chen, IDW '03, p. 77, 2003.
- [6] P. J. Bos and K. Rickey Koehler/Beran, MCLC., Vol.113, p.329, 1984.
- [7] S. Chandrasekhar, F.R.S. "Liquid Crystals"
- [8] 謝志勇“似垂直配向液晶元件之動態行為”,國立交通大學光電工程所  
博士論文,民國八十九年
- [9] Pochi Yeh and Claire Gu, JOSAA., Optics of Liquid Crystal Displays,1999.
- [10] Edward Collett ,“Polarized light-Fundamentals and applications”,1993.
- [11] T. H. Yoon, G. D. Lee and J. C. Kim, Optics Letters, Vol.25, p.1547, 2000
- [12] T. Ishinabe, T. Miyashita and T. Uchida, SID'01 DIGEST, p.906, 2001.
- [13] T. Ishinabe, T. Miyashita and T. Uchida, JJAP. Vol. 41, p.4553, 2002.
- [14] T. Ishinabe, T. Miyashita and T. Uchida, SID'04 DIGEST, p.638, 2004.
- [15] J. Chen, K.-H. Kim, J.-J. Jyu, J. H. Souk, SID'98, 21.2 ,1998.
- [16] K. Y. Han, T. Miyashita and T. Uchida, JJAP, Vol 32, p.L277, 1993.
- [17] F. H. Yu and H. S.Kwok, JOSAA., Vol.16, No.11, p.2772, 1999.