

國立台灣師範大學機電科技學系碩士論文

多功能且具成本效益之液晶顯示單元

光學參數量測系統的發展

**Development of Multiple-functional, Cost-effective
Liquid-crystal Cell Optical Parameter Measurement
Systems**



指導教授 張國維博士

研究生 林裕軒 撰

中華民國 九十五年 七月

致謝

兩年的研究生生活轉眼間已告一段落，首先感謝恩師張國維老師這兩年來悉心無私教誨、耐心指導與督促，在張老師的指導之下使學生不僅能在學習上有所獲益，更能在為人處世及事理分析等各方面更成熟穩健，讓我受益匪淺。

另外要感謝台灣師大機電科技系葉榮木教授、國立台灣大學電機工程學系林巍聳教授與國立台北科技大學光電工程系鄭超仁教授，在百忙之中擔任論文口試委員。

在學習過程中，感謝潘世耀同學這兩年來不論是在學業上或是生活上都給予了我很大的互鼓勵與支持，還有其他同學不管是在無形還是有形的幫忙。特別感謝裕閔、家成、峻緯等學弟在論文實驗與實作上的幫忙，讓學生得以順利的完成論文的口試與寫作，也感謝曾經幫助過我的同學朋友們，在此一併致謝。

最後，本人將最深的感謝獻給永遠支持我的家人。

中文摘要

近年來，政府極力推動「兩兆雙星」計畫，使得光電平面顯示器儼然成為我國重點發展產業科技項目之一；例如，2005年台灣顯示器產業在全球該類產品的市場佔有率已達31%。該項科技產值在台灣光電產業中，佔有63%之比例(約新台幣7,141億)，位居第一名，且預計逐年擴增，其中液晶顯示器佔有絕大多數的比例(約新台幣7,013億)。因此，為了有效提升液晶平面顯示器產量與品質管制之需求，進行液晶顯示單元之光學參數量測系統技術之研究與發展是刻不容緩的。

我們的目標係發展一套多功能且具成本效益之液晶顯示單元光學參數量測系統，來降低該類儀器的成本，以期能減少對國外廠家的依賴，進而提高國內顯示器產業的競爭力。在本論文中，我們首先進行過去作法之系統架構的學理分析與性能評估，然後提出一個簡單的系統結構且相當經濟的方法，來達成多功能的量測系統。此系統是以起偏器-液晶單元-補償器-檢偏器架構為基礎，透過晶體旋轉法量測液晶單元之預傾角(pretilt angle)，再使用極化量測法來量測其間隙(cell gap)與扭動角(twist angle)等，攸關液晶顯示品質的重要光學參數。除此之外，此系統還可測量電壓-穿透率曲線(voltage-transmittance (V-T) curve)等光電特性。針對此系統，我們提出學理、模擬、實驗與系統製作的方法，並且說明整體的可行性分析。實驗的結果顯示此方法所量測的結果是相當令人滿意的(例如，液晶單元間隙的誤差百分比為1.45%)。

關鍵詞：液晶單元間隙、扭轉角、預傾角、相位延遲、液晶顯示器

Abstract

For years, the government has promoted the “Two Trillion and Twin Star Industries Development” plan. As a result, the flat panel displays (FPDs) had become one of the most important industrial applications. For example, the FPDs in Taiwan occupied 63% (about \$NT 7,141 hundred million dollars) of the optoelectronics industry in Taiwan and 31% in the market of the FPDs in the world in 2005. Therefore, to promote effectively the output and quality of the FPDs, it is very urgent to research and develop the LC cell optical parameter measurement systems.

The objective of this paper is to develop a multiple-function and cost-effective measurement system to lower the dependency of foreign instrument makers and to reduce the manufacturing cost for the industry. In the paper, we first study the past approaches and analyze their measurement performance. Then, a simple and cost-effective method will be proposed to achieve the multiple functions. This system on the basis of the PSCA configuration uses the crystal rotation method to measure the pretilt angle of the sample under test, and the polarimetry to measure the cell gap and twist angle of it. These optical parameters highly influence the display quality. That is, in addition to the measurement of the three important optical parameters, this system can also measure the voltage-transmittance (V-T) curve. For this system, we will do the theoretical study, simulation, experiment, system implementation to show its feasibility. From the experiment results, it is shown that the measured results were quite satisfactory. For example, the error percentage was 1.45 %.

Keywords: Cell gap, pretilt angle, twist angle, phase retardation, liquid crystal display

目錄

謝誌	II
中文摘要	III
英文摘要	IV
目錄	V
圖目錄	VII
表目錄	VIII
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景及目的	1
1.2 論文架構	4
第二章 理論基礎.....	5
2.1 液晶顯示基本原理與光電特性	5
2.1.1 液晶單元像是光旋轉子	6
2.1.2 TFT-LCD的液晶單元工作原理像是光閥.....	7
2.2 液晶單元的光學參數.....	8
2.2.1 預傾角	8
2.2.2 液晶單元間隙(或相位延遲).....	9
2.2.3 扭轉角	9
2.3 Stokes 極化參數.....	10
2.4 極化量測法與其系統架構說明.....	12
第三章 液晶單元光學參數量測方法研究.....	17
3.1 晶體旋轉法(量測預傾角)	17
3.2 Stokes參數法(量測扭動角，量測液晶間隙)	20
第四章 系統整合.....	22
第五章 實驗量測.....	26

5.1 系統校正.....	26
5.2 電壓-穿透率的實驗	30
5.3 預傾角的實驗.....	31
5.4 液晶單元的間隙與扭轉角實驗.....	33
5.5 系統效能評估.....	35
第六章 討論與未來工作.....	37
參考文獻	39
附錄一：E7 液晶特性.....	A-1
附錄二：液晶空盒的規格.....	A-2

圖號清單

圖 2-1	液晶概念圖	5
圖 2-2	向列式(NLCs)與扭轉向列式液晶(twisted nematic LC, TNLCs)基本結構說明 (a) 普通 LC (b) NLC (c) TNLC (d) 傾斜微溝槽 TNLC。	6
圖 2-3	LC 像是旋轉器的示意圖	6
圖 2-4	說明液晶調變光的示意圖 (無外加電場)	7
圖 2-5	說明液晶調變光的示意圖 (加入外加電場)	7
圖 2-6	液晶單元構造、液晶分子扭轉角度與預傾角度示意圖	8
圖 2-7	向錯現象的示意圖	9
圖 2-8	晶體內部雙折射現象示意圖。	10
圖 2-10	漸進式極化量測系統架構圖	14
圖 2-11	利用 ASAP 以建構式的方法模擬 LC 材質 PCSA 穿透式架構圖	16
圖 3-1	針對入射光進入到液晶單元的示意圖	18
圖 3-2	模擬旋轉 θ_s 角的之結果圖	18
圖 3-3	利用 ASAP 模擬轉動液晶結果圖	19
圖 3-4	液晶的座標系統與入射光之關連圖	21
圖 4-1	PCSA 系統整合功能架構圖	26
圖 4-2	(a)預傾角量測流程圖(b)扭轉角與液晶間隙量測流程圖	28
圖 4-3	V-T 曲線量測流程圖	29
圖 5-1	偵測器量測到之角度與電壓關係圖	30
圖 5-2	量測穿透率實驗架構圖	31
圖 5-3	偵測器量測到之角度與電壓關係圖	31
圖 5-4	量測穿透率實驗架構圖	32
圖 5-5	轉動 1/4 波板其電壓與轉動角度的關係圖	33
圖 5-6	(a)模擬不同液晶間隙的V-T曲線圖，(b)實驗量測液晶單元的V-T曲曲線圖	34
圖 5-7	預傾角量測系統架構圖	35
圖 5-8	實驗步驟流程圖	36
圖 5-9	預傾角量測系統實際量測入射角與穿透率圖	36
圖 5-10	計算cell gap與twist angle的流程圖	38
圖 5-11	液晶間隙與扭轉角實際量測圖	38

表號清單

表 1 各廠家不同機型的主要量測功能表	3
表 2 液晶光學參數在 TFT-LCD 特性上的影響列表	10
表 3 Stokes 向量的極化光數學表示表	11
表 4 穿透率量測結果表	30
表 5 旋轉角度與量測電壓結果表	33
表 6 系統量測與製作規格比較表	37
表 7 實驗結果表	39



第一章 緒論

1.1 研究背景及目的：

近年來，政府極力推動「兩兆雙星」計畫，使得光電平面顯示器(flat panel display, FPD)技術儼然成為我國重點發展產業科技項目之一。2005 年台灣光電產業產值達新台幣 1 兆 1,289 億(約 356 億美元)，在全球光電產業 2,208 億美元中，佔有約 16%，比前一年增加 2%。該年台灣顯示器產業在全球該類產品的市場佔有率約為 31%，此項科技產值在台灣光電產業中，佔有 63% 第一位之比例(約新台幣 7,141 億)，且預計逐年擴增，其中液晶顯示器佔有絕大多數的比例(約新台幣 7,013 億)。液晶顯示器廣大的消費市場(亦即，娛樂、商務、與教學等)，對於光電產業的發展描繪出廣闊美好的未來，例如高畫質數位電視(high definition TV)、行動電話(mobile phone)、個人數位助理(PDA)、視訊投影機(video projector)、以及電子書板等產品帶來無限的商機[1]。

目前國內液晶平面顯示器產業技術，大多偏重生產與製程設備的研發，對於檢測儀器方面，特別是昂貴的液晶顯示單元(liquid crystal cell, LC cell)光學參數(optical parameter or cell parameter)之量測儀器(約新台幣 500 萬至 800 萬)，大多依賴國外廠家，例如德國美最時公司(Melchers)、日本 Shintech、以及日本大塚電子(Otsuka electronics)等公司[2]-[4]。因此，為了提升國內液晶平面顯示器產量技術與品質管制之需求，其自動化光學量測系統技術之研究與發展是刻不容緩的。

多年來，許多學者針對向列型液晶光學參數量測技術，做了相當多的努力且持續不斷地進行技術改良。在預傾角量測方面，1993 年 Han 等人[5]所提的晶體轉動法(crystal rotation method)在 $0^{\circ} - 20^{\circ}$ 與 $70^{\circ} - 90^{\circ}$ 的小角度量測具有簡單且準確之優點。2001 年 Nishioka 與 Kurata[6]使用相位延遲的方法，除了可以進行預傾角量測的量測之外，尚可以量測液晶單

元間隙，很可惜此兩人的作法比 Han 等人的預傾角量測方法增加了相當大系統架構的複雜度。此外，Nishioka 與 Kurata 的方法與其他多數的液晶單元間隙量測方法，缺少了伴隨的扭轉角之量測。在 2003 年，Gwag 等人提出了進行較大範圍(包含 $20^{\circ} - 70^{\circ}$)的預傾角量測方法[7]，對於預傾角的實際量測需求，提供相當的助益。

在液晶單元間隙(或相位延遲)量測方面，大致可區分為相位補償法(phase compensation method)[8]、使用相位延遲板(wave plate)或線性極化器(polarizer)轉動的方式[9]-[10]、以及光譜掃描法[11]。2005 年 Hwang[12] 為了提高這些方法的準確度，使用了相位靈敏技術(phase sensitive technique)，來進行單元間隙的量測。很可惜，該方法僅限於向列型液晶，而尚未能適用於扭轉向列型液晶(TN-LC)的量測。此外，該方法尚需要 Zeeman 雷射系統，徒增系統成本。2005 年，Lan 等人[13]使用可調波長的半導體雷射來量測液晶單元間隙，而不必使用氣體雷射(例如，氬氖雷射)。儘管如此，這些方法只能在同一個光學系統架構下，量測一項光學參數，即液晶單元間隙或相位延遲。

Akahane 等人[14]與 Zhou 等人[15]分別於 1996 年與 1997 年以極化量測法(polarimetry)其單一光學架構同時進行液晶單元間隙與扭轉角的量測。為了提高這些方法的準確度，2005 年 Tsai 等人[16]利用光學式外差干涉橢圓偏光術的方式來進行這兩項光學參數的量測。然而該方法使用兩個聲光調變器(acousto-optic modulator)，提高系統的成本與複雜度。

另一方面，在相當高的經濟效益驅使之下，近年來國外大廠(如表 1 所示)紛紛推出多功能且高價格的液晶光學參數量測系統，例如美最時公司 CAT 系列可同時量測液晶單元間隙、相位延遲、與扭動角等三項光學參數。因此，為加速發展國內液晶平面顯示單元光學參數量測系統技術是非常重要的。

表 1 各廠家不同機型的主要量測功能表

廠家	型號	量測功能
德國美最時	TBA 系列	1.液晶單元間隙
		2.預傾角
	CAT 系列	1.液晶單元間隙
		2.相位延遲
		3.扭動角
Shintech	General purpose	1.預傾角
	polarimeter	2.相位延遲
大塚電子	LCD 系列	1.電壓-穿透率曲線(V-T curve)
		2.對比度
		3.反應時間
Axometrics	AxoScan	1.液晶單元間隙
		2.預傾角
		3.扭轉角

本論文之目標在於多功能且具成本效益之液晶平面顯示單元光學參數量測系統的發展。上述我們已經進行過去作法之系統架構的分析與性能評估，然後提出以 Zhou[15]的系統架構為基礎，此系統是以起偏器-液晶單元-補償器-檢偏器(PSCA)為架構使用極化量測法來達到量測樣本的間隙與扭動角，再透過晶體旋轉法量測其預傾角，最後輸入不同振幅的交流電壓來量測電壓與穿透率曲線(voltage-transmittance (V-T) curve)等光電特性。因此，簡單且相對於其他方法較為便宜並且能達成多功能的量測系統是這篇論文的重點。針對此系統，我們提出學理、模擬、實驗的方法，來說明可行性，以期能對液晶顯示器光學參數量測技術之學術研究與產業發展有所貢獻。

1.2 論文架構

本論文主要先探討並整合過去作法提出以 PSCA 為系統架構，利用極化量測法，來量測液晶單元厚度與其扭轉角、再利用晶體旋轉法來量測預傾角，達到多功能的量測。第二章主要是在描述液晶顯示基本原理與光電特性及液晶單元的光學參數（液晶單元間隙、扭轉角及預傾角）。第三章在說明液晶單元光學參數量測方法研究，內容包含量測系統的設計與量測方法（晶體旋轉法、Stokes 參數量測法）。第四章說明系統整合，第五章說明實驗部分，敘述預傾角的實驗與模擬、液晶單元的間隙與扭轉角實驗及電壓與穿透率的實驗，並分析誤差的來源及效能上的評估。第六章為討論與未來工作。

第二章 理論基礎

2.1 液晶顯示基本原理與光電特性

液晶 (LC) 介於固態與液態之間的一種型態物質，如圖 2-1 所示，其分子結構可以用長雪茄型來表示，具有固態的特性（晶格的排列）與液態的特性（可自由遷移），這些橢圓形的分子可以由不同方向來做堆疊，因此，液晶可以依照其排列方式來做分類，常見有向列型液晶 (NLC)，其分子之間的排列是一層一層組合而成。

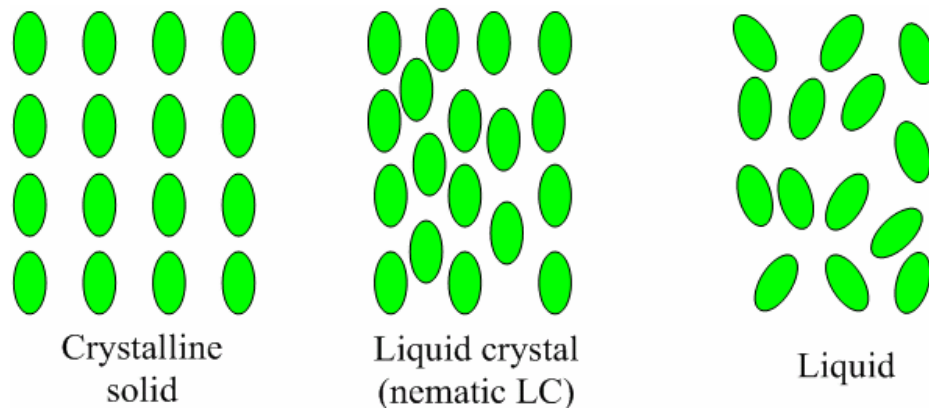


圖 2-1 液晶概念圖

在實際的應用上，必須先將液晶填入配向層形成液晶單元，如圖 2-2(a) 所示。之後再將兩邊加上水平配向層 (Parallel alignment layer)，配向層是由聚口亞胺 (polyimide) 所製，利用拋光使得兩邊界上有微小的溝槽，再填入液晶分子，之後液晶分子會照著溝槽的配向形成向列型液晶 (nematic LC cells, NLC)，如圖 2-2(b) 所示。藉由不同的拋光方向來達到其兩邊界的角度相差 90° ，即可形成 TNLC，如圖 2-2(c) 所示；由於液晶有液態自由遷移的特性及固態晶體排列的特性。因此，在未外加電壓時，中間的液晶層將會有扭動的現象發生，且由於液晶分子是介電質材料，因此，假使外加電場後會形成電偶極導致液晶分子轉動，且其轉動的方向會與電場方向相同。然而在實際用於顯示器時必須考量到使用者，因此，必須要減少反應時間及預防向錯現象的發生，所以在配向層上的溝槽需要有微小的預傾角

度，如圖 2-2(d)所示。

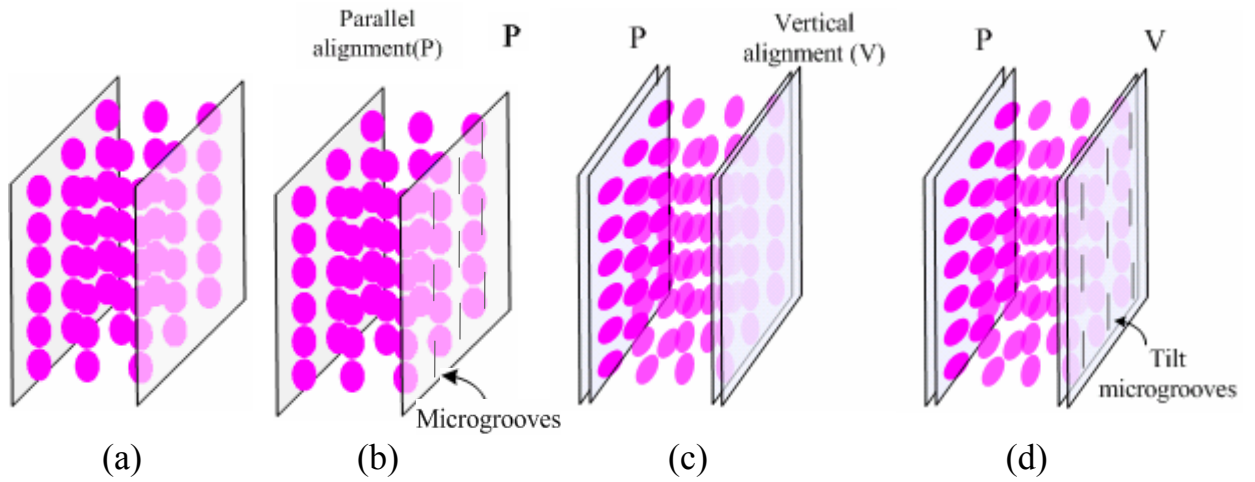


圖 2-2 向列式(NLCs)與扭轉向列式液晶(twisted nematic LCs, TNLCs)基本結構說明(a)普通 LC(b)NLC(c)TNLC(d)傾斜微溝槽 TNLC。

2.1.1 液晶單元像是光旋轉子

由於 TNLC 兩邊界的角度差 90° 使得中間的液晶層將會有扭動的現象發生，所以當線性極化光打入 TNLC 之後線性極化光會依照著液晶分子長軸旋轉，如圖 2-3 所示。因此，可以把 TN-LC 當作是光的旋轉子(rotator) [25]，然而扭轉的角度可以透過設計轉角來達成。

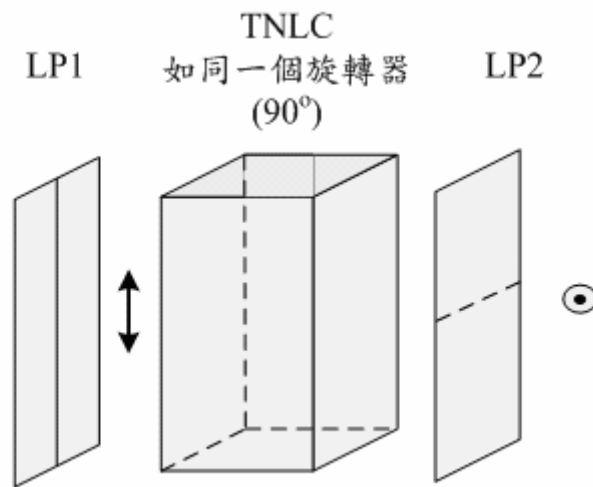


圖 2-3. LC 像是旋轉器的示意圖

2.1.2 TFT-LCD 的液晶單元工作原理像是光閥

首先，將液晶單元兩邊外加極化片，且兩邊極化片穿透方向要相互垂直，分別與配向層上的液晶分子相互平行。這樣一來當無外加電場時，外來光沿著極化片穿透方向通過液晶分子扭曲成 90° 而通過另一個玻璃板面，這時 LC cell 看起來是透明的，如圖 2-4 所示。當有外加電場時，液晶分子在電場作用下平行排列(與原位置相垂直)，因此平行光的振動方向沿著液晶分子長軸的方向通過，由於偏振片是相互垂直的，因而入射光被擋住，看起來是黑色的，如圖 2-5 所示。這樣一開一關即可產生黑白顯示，達到調變的效果。

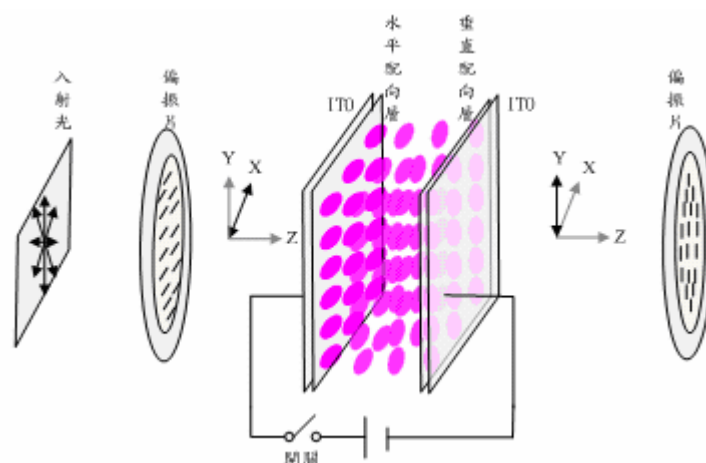


圖 2-4 說明液晶調變光的示意圖（無外加電場）

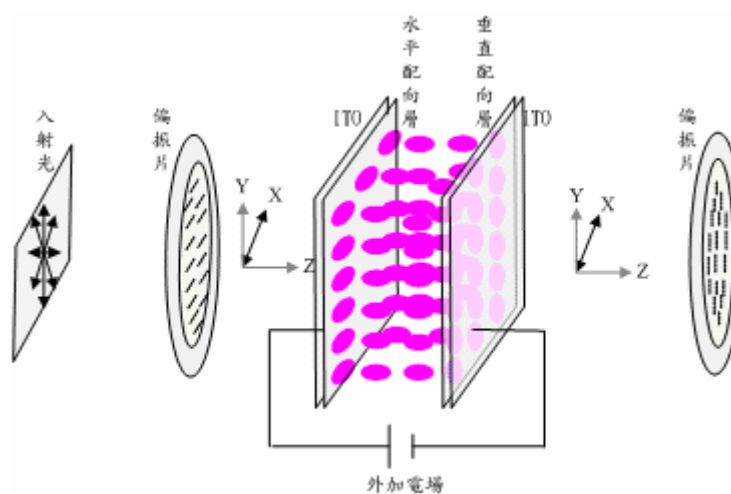


圖 2-5 說明液晶調變光的示意圖（加入外加電場）

2.2 液晶單元的光學參數

扭轉向列型液晶(twisted nematic LC, TNLC)是目前液晶顯示器之中最常用的液晶單元，其基礎型式為向列型液晶(NLC)。在 TNLC 中，反應時間 (response time) 與對比度 (contrast ratio) 是被廣泛認同的顯示品質 (display quality) 重要指標[17]。這兩項指標，分別受到預傾角 (pretilt angle)、液晶單元間隙 (cell gap) 或相位延遲 (phase retardation)、以及扭轉角 (twist angle) 等光學參數所影響。

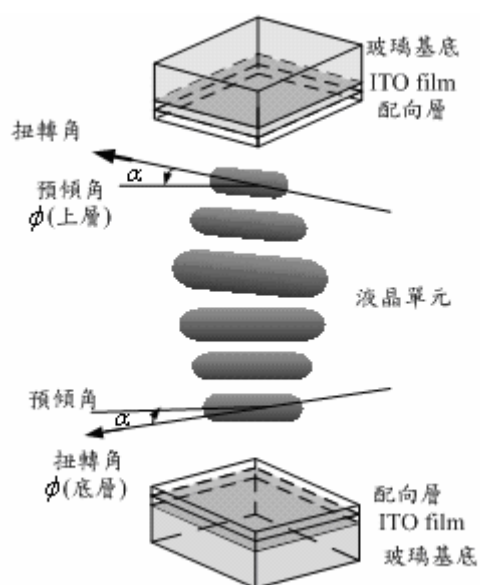


圖 2-6 液晶單元構造、液晶分子扭轉角度與預傾角度示意圖

2.2.1 預傾角：

液晶分子的預傾角係由液晶配向膜 (alignment film) 上微小溝槽 (microgroove) 的空間分佈所造成的，如圖 2-11 所示。預傾角的形成是為了防止液晶分子受外在電場的作用下，分子朝左右任一方向轉動所發生的向錯 (disclination)，即液晶分子 (或分子的長軸) 在空間分佈的方向有不連續之情形，此現象會降低液晶反應的響應時間。因此有效的設定與量測預傾角，能縮短液晶反應時間，提升顯示品質[18]。

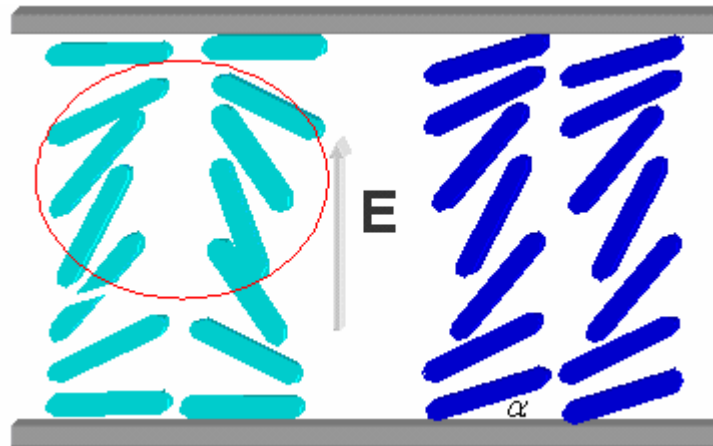


圖 2-7 向錯現象的示意圖[19]

2.2.2 液晶單元間隙(或相位延遲)

由於液晶雙折射(birefringence) Δn 的效應，單元間隙 d 決定了穿透液晶的正常光 (ordinary wave) 與異常光 (extraordinary wave) 之相位延遲 $\Gamma = d \cdot \Delta n$ (其中 Δn 為已知或可事先量測得知)，如圖 2-8 所示。不同的相位延遲會造成穿透液晶的合成偏振光具有不同的偏振狀態(或方向)，當該偏振光通過後置液晶的線性極化器(linear polarizer) (或檢偏器，即相對於前置液晶的線性極化器或起偏器)，會有不同的輸出光強度。顯然地，此單元間隙或相位延遲的差異對於顯示的光強度或對比度有很大的影響。此外，液晶單元間隙的薄厚對於液晶扭轉的反應時間(即顯示品質)亦有很大的影響 [17]。

2.2.3 扭轉角

如圖 2-6 所示，可以發現扭轉角就是液晶分子從上邊界到下邊界所轉動的整個角度，當輸入線性極化光之後，線性極化光會隨著液晶分子的長軸轉動，也就是將會反映出穿透液晶的合成偏振光的狀態。因此，不同的扭轉角會有不同的輸出光強度或對比度。

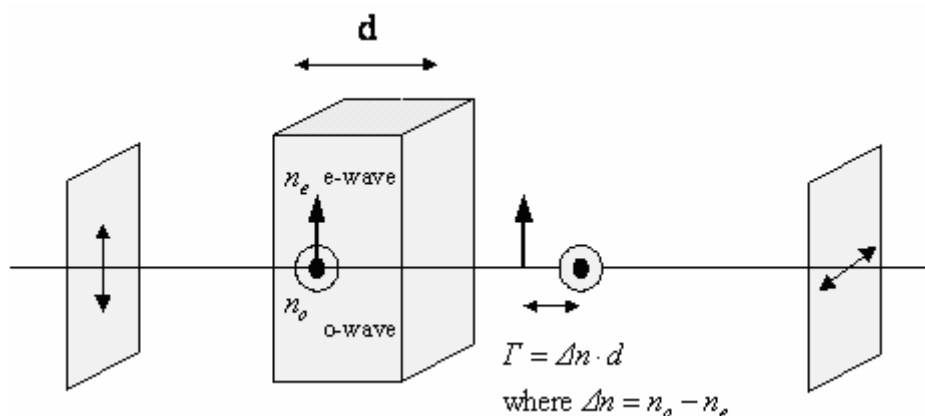


圖 2-8 晶體內部雙折射現象示意圖

表 2 液晶光學參數在 TFT-LCD 特性上的影響

光學參數	造成的影響	參考文獻
預傾角	降低液晶反應的響應時間。因此有效的設定與量測預傾角，能縮短液晶反應時間，提升顯示品質。	[5]
液晶單元間隙 (或相位延遲)	此單元間隙或相位延遲的差異對於顯示的光強度或對比度有很大的影響。此外，液晶單元間隙的薄厚對於液晶扭轉的反應時間也是有直接相關的。	[18]
扭轉角	不同的被扭轉之液晶分子長軸方向(即不同的扭轉角)反映出穿透液晶的合成偏振光的狀態(或方向)，同理，亦會有不同的輸出光強度或對比度。	[18]

2.3 Stokes 極化參數

Stokes向量是四個長度的行向量，向量中的每一個元素都是Stokes參數。四個Stokes參數可以排成一個行矩陣並且可以寫成下列形式。

$$S = \begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{bmatrix} \quad (2.3.2.1)$$

Stokes 向量的橢圓極化光(elliptically polarized light, ELP)可以用下式表示，

$$S = \begin{bmatrix} E_{0x}^2 + E_{0y}^2 \\ E_{0x}^2 - E_{0y}^2 \\ 2E_{0x}2E_{0y} \cos \delta \\ 2E_{0x}2E_{0y} \sin \delta \end{bmatrix} \quad (2.3.2.12)$$

方程式 (2.3.1.2)是平面波的 Stokes 向量，它的極化狀態的表示法可以由下表 3 來描述。

表 3 Stokes 向量的極化光數學表示

極化狀態	數學表示	極化狀態	數學表示
1. 線性水平極化 (Linearly horizontal polarized light, LHP)	$S = I_0 \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$	2. 線性垂直極化 (Linearly vertical polarized light, LVP)	$S = I_0 \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$
3. 線性-45 度極化 光 (Linearly -45° polarized light, L-45P)	$S = I_0 \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix}$	4. 線性 45 極化光 (Linearly +45° polarized light, L+45P)	$S = I_0 \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$
5. 右旋圓極化 (Right circularly polarized light, RCP)	$S = I_0 \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$	6. 左旋圓極化(Left circularly polarized light, LCP)	$S = I_0 \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix}$

2.4 極化量測法與其系統架構說明

極化量測法說起來就是量測光的極化狀態的方法，其量測原理不外乎是由極化產生器(Polarization state generator)將未極化的光轉換成極化光在打入待測的樣本並且經由極化狀態分析器來分析經過樣本之後的輸出光，藉由光偵測器量得光強度，轉換成為 Stokes 參數或是 Mueller 矩陣。然而 Mueller 矩陣的方法將待至未來工作在做探討。當液晶單元注入液晶分子之後形成異向性的樣本，然而液晶分子長短軸的關係造成雙折射的現象，因此，當線性極化光打入液晶單元後將會造成相位延遲產生不同的極化狀態，所以使用極化量測法當作我們量測系統的架構，接下來以漸進式的方式來說明實驗的架構。

2.4.1 線性極化器 P 的架構

如圖 2-10(a)所示，由於 Jones 矩陣只能表示完全極化的光，所以在此表示未極化的光 E_0 ，經由起偏器(P)的穿透軸固定於水平方向，水平極化後輸出的光為 E_p ，並以 Jones 向量表示如下：

$$\mathbf{M}_P = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ (穿透軸為水平方向)}$$

$$\mathbf{E}_p = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}。$$

2.4.2 起偏器-檢偏器的架構

如圖 2-10(b)所示，水平線性極化光 E_p 通過檢偏器，其穿透軸與水平方向夾 θ_A 的角度的檢偏器(A)，而 \mathbf{M}_A 表示為檢偏器的 Jones 矩陣，最後輸出光 \mathbf{E}_{pA} 的 Jones 向量可經由矩陣相乘表示如下：

$$\mathbf{M}_A = \begin{bmatrix} \cos^2 \theta_A & \sin \theta_A \cos \theta_A \\ \sin \theta_A \cos \theta_A & \sin^2 \theta_A \end{bmatrix} \text{ (穿透軸為任意與水平軸夾 } \theta_A \text{ 的角度)}$$

$$\mathbf{E}_{\text{PAr}} = \mathbf{M}_A \cdot \mathbf{E}_P = \mathbf{M}_A \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}。$$

2.4.3 起偏器-1/4 波板-檢偏器的架構

如圖 2-10(c)所示，水平線性極化光 E_p 經過 1/4 波板(C)，其慢軸與水平方向夾 θ_c 的角度，而 \mathbf{M}_C 表示為 1/4 波板的 Jones 矩陣，再經由檢偏器其穿透軸固定為垂直方向，最後輸出光 \mathbf{E}_{PCrA} 的 Jones 向量可經由矩陣相乘表示如下：

$$\mathbf{M}_A = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ (穿透軸為垂直方向)}$$

$$\mathbf{M}_C = \begin{bmatrix} \cos \theta_C & \sin \theta_C \\ -\sin \theta_C & \cos \theta_C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{j(\pi/4)} & 0 \\ 0 & e^{-j(\pi/4)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta_C & -\sin \theta_C \\ \sin \theta_C & \cos \theta_C \end{bmatrix}$$

(1/4 波板的慢軸與水平方向夾 θ_c 的角度)

$$\mathbf{E}_{\text{PCrA}} = \mathbf{M}_A \cdot \mathbf{M}_C \cdot \mathbf{E}_P = \mathbf{M}_A \cdot \mathbf{M}_C \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

2.4.4 起偏器-液晶單元-1/4 波板-檢偏器的架構

如圖2-10(d)所示，水平線性極化光 E_p 經過液晶單元並且以 \mathbf{M}_{LC} 表示液晶單元的模型，之後經過1/4波板固定其慢軸與水平方向相同，再經由檢偏器其穿透軸與水平方向夾 θ_A 的角度，最後輸出光 $\mathbf{E}_{\text{PSCAr}}$ 的 Jones 向量可經由矩陣相乘表示如下：

$$\mathbf{E}_{\text{PSCAr}} = \mathbf{M}_A \cdot \mathbf{M}_C \cdot \mathbf{M}_{\text{LC}} \cdot \mathbf{E}_P = \mathbf{M}_A \cdot \mathbf{M}_C \cdot \mathbf{M}_{\text{LC}} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

其中 \mathbf{M}_{LC} 為液晶單元的模型(詳見第三章)。

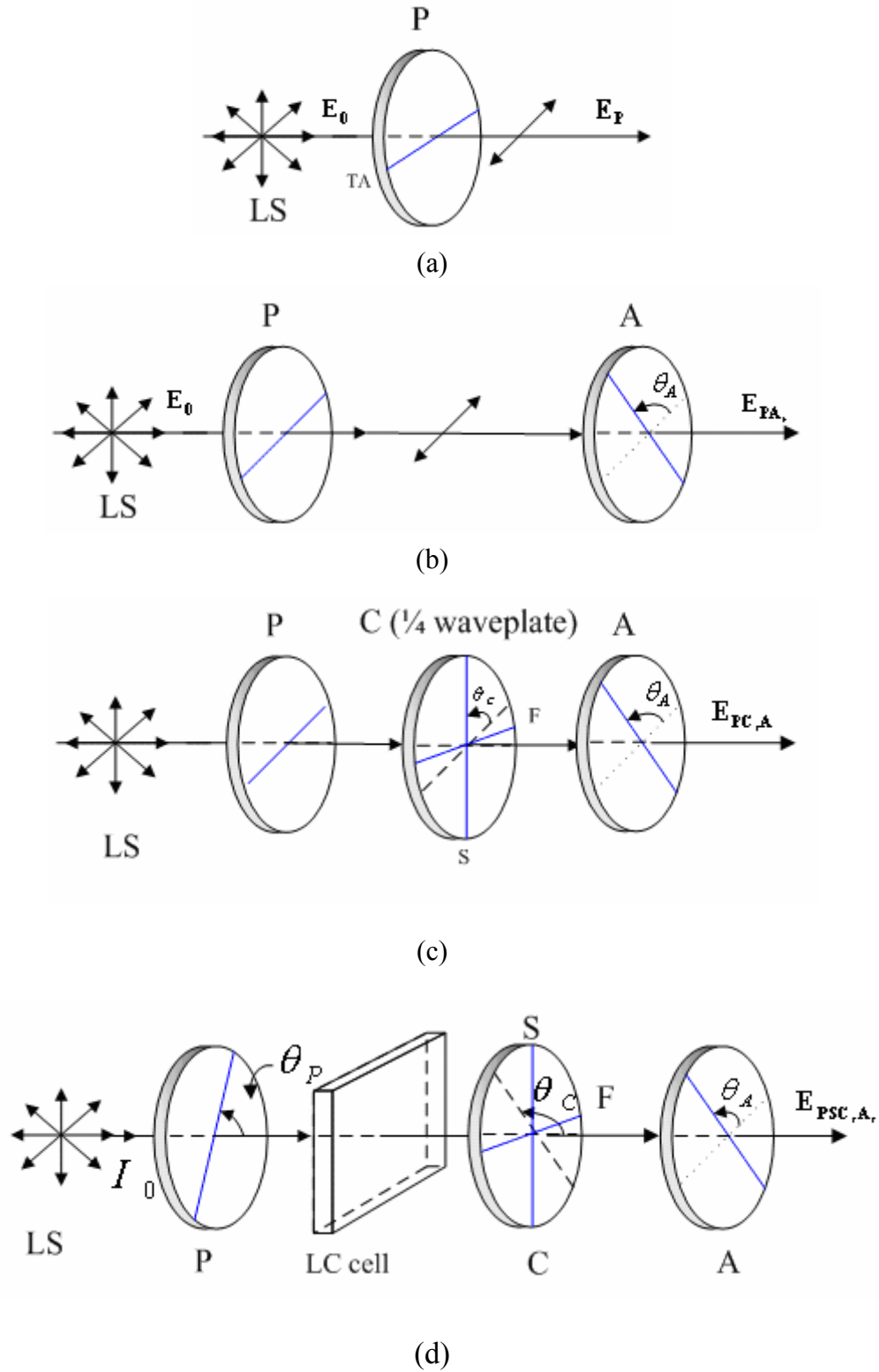
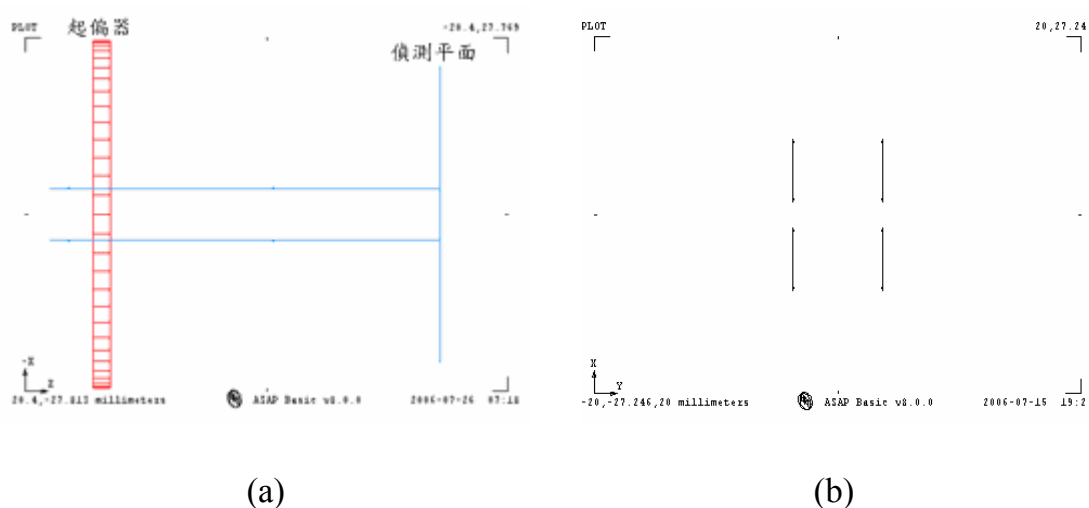
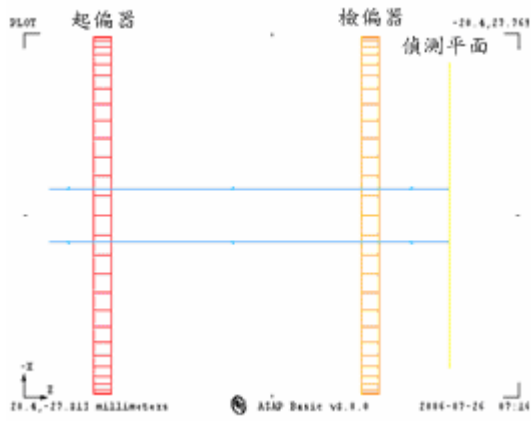


圖 2-10 漸進式極化量測系統架構

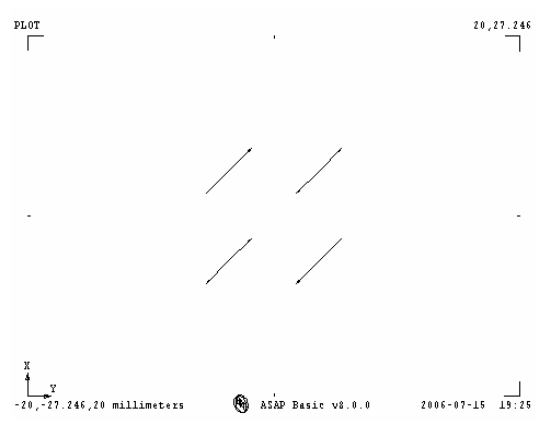
利用 ASAP 模擬 PSCA 架構，在此利用異向性的材質來表示液晶單元，以便於驗證此系統的可行性，如圖 2-11 所示。圖 2-11(a) 單純 P 的架構，並且設定起偏器旋轉 0° ，可以在偵測平面上得到 0° 線性極化，如圖 2-11(b) 所

示。圖 2-11(c) PA 的架構設定起偏器固定，旋轉檢偏器的角度，然而在偵測平面上將會得到強度隨著與 P 穿透軸夾角差越多時其光強度越弱，直到相差至 90° 時，將沒有光通過 A 所以觀察偵測平面將會沒有任何光，如圖 2-11(d)所示，模擬當 P 固定在 0° 且 A 固定在 45° 時的極化狀態。圖 2-11(e) 顯示加入波板之後的模擬空間配置圖，形成 PCA 架構，圖 2-11(f)顯示出，在偵測平面上得到經由檢偏器之後的光。最後放入液晶單元形成 PSCA 架構，如圖 2-11(i)所示，並且設定定起偏器旋轉 0° ，1/4 波板旋轉 45° ，檢偏器轉 90° ，因此在偵測平面上得到兩道大小不一的正常光與異常光的水平線性極化，如圖 2-11(j)所示，由於我們在量測液晶單元的間隙與扭轉角，利用輸入已知光源打入未知液晶單元藉由轉動檢偏器及加入 1/4 波板來達到量測不同極化狀態的光，不同極化的光可以由光偵測器量出不同的能量大小，再由量到的能量去得到 Stokes 參數，因此在模擬中可以看出加入或是旋轉不同光學元件將會造成極化狀態的改變，也說明了 PSCA 架構的可行性。

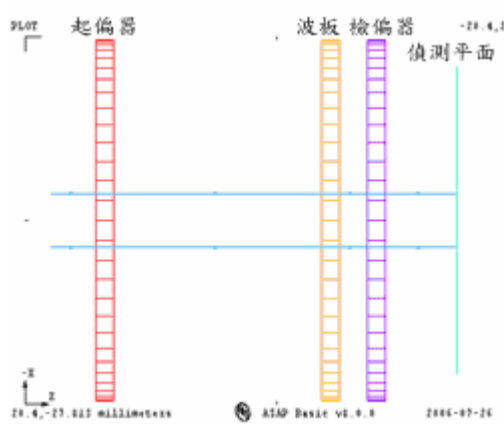




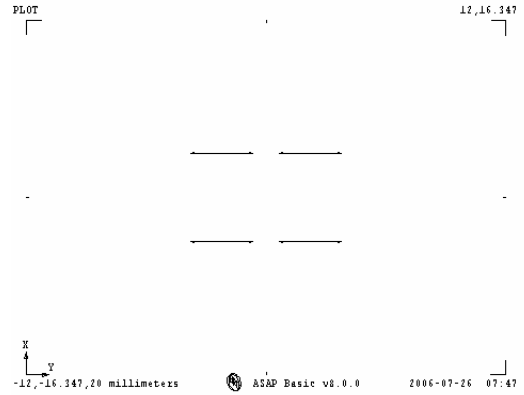
(c)



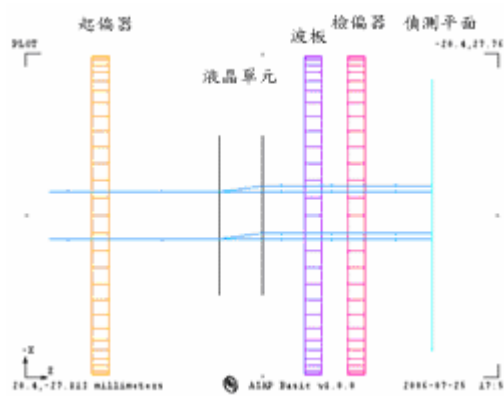
(d)



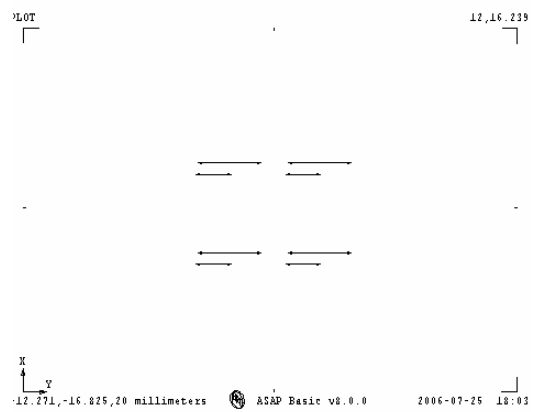
(e)



(f)



(g)



(h)

圖 2-11 利用 ASAP 以建構式的方法模擬 LC 材質 PCSA 穿透式架構

第三章 液晶單元光學參數量測方法研究

近幾年來，關於液晶量測的方法有許多種，在此介紹量測較為廣泛使用的TN-LC的量測方法，而這些量測方法大多都是在量測預傾角（pretilt angle, α ）、相位延遲（phase retardation, Γ ）或是液晶單元的間隙（cell gap, d ）及扭轉角（twist angle, ψ ）接下來，分別介紹不同量測方法並且分析。

3.1 晶體旋轉法(量測預傾角)

由於預傾角在液晶光電特性上有很大的影響。為了量測液晶的預傾角一般常用的方法有三種，在此我們採用量測速度快並且高準確度的晶體轉動法。在此參考 K. H. Han 等人[7]提出的晶體轉動法，如圖 3-1 所示。當晶體以 O 點為中心旋轉，當光與旋轉晶體夾角 θ_s 入射，光線經過液晶單元產生相位延遲 $\Gamma(\theta_s)$ 可以由(3.1.1)表示，

$$\Gamma(\theta_s) = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) \cdot d \cdot f(\alpha, \theta_s) \quad (3.1.1)$$

其中， λ 為入射光波長， $f(\alpha, \beta)$ 為預傾角與旋轉角度的函數。而 $f(\alpha, \theta_s)$ 表示如(3.1.2)

$$f(\alpha, \theta_s) = \frac{1}{c^2} (a^2 - b^2) \sin \alpha \cos \alpha \sin \theta_s + \frac{1}{c} \left(1 - \frac{a^2 b^2}{c^2} \cdot \sin^2 \theta_s\right)^{1/2} - \frac{1}{b} \left(1 - b^2 \cdot \sin^2 \theta_s\right)^{1/2} \quad (3.1.2)$$

$$\text{其中 } a = \frac{1}{n_e}, b = \frac{1}{n_o}, c^2 = a^2 \cos^2 \alpha + b^2 \sin \alpha$$

且 n_e 與 n_o 為液晶單元內部的異常光(extraordinary wave)與正常光(ordinary wave)的折射率。為了偵測延遲相位必須在液晶的前後分別加裝極化片並且兩者的傳輸軸要相互垂直且與摩擦配向層之間要有 90° 的夾角，加入極化器使未極化的光轉換成線性極化光並打入液晶單元中，之後在光偵測器中觀察量測到的光強度。

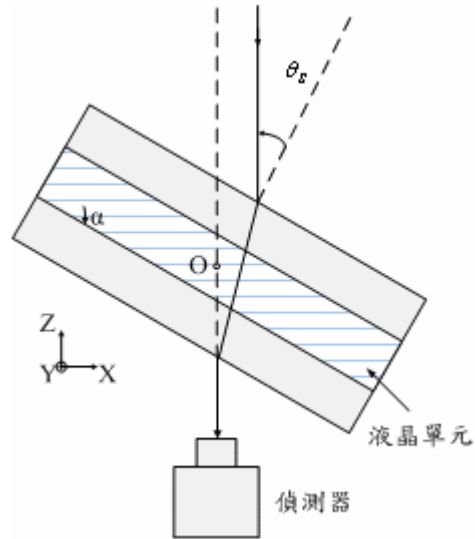


圖 3-1 針對入射光進入到液晶單元的示意圖

因此，其穿透率可由(3.1.3)表示如下

$$T(\theta_s) = \frac{1}{2} \cdot \sin^2 \cdot \left\{ \frac{1}{2} \Gamma(\theta_s) \right\} \quad (3.1.3)$$

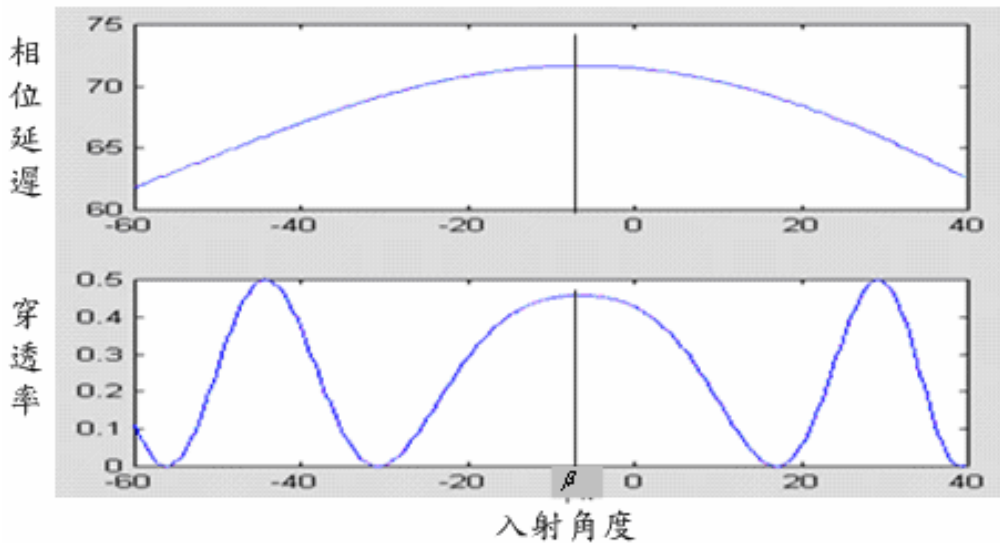


圖 3-2 模擬旋轉 θ_s 角的之結果圖；其中代入的參數為 $n_e=1.76$ ， $n_o=1.52$ 、 $d=30\mu\text{m}$ 及預傾角為 2°

在圖 3-2 中，可以發現圖形是對稱於某個角度 β ，在這個角度之下相位延遲 $\Gamma(\theta_s)$ 為最大值。因此，將(3.1.2)式對 θ_s 微分得到(3.1.4)式，如下所示

$$\left. \frac{df(\alpha, \theta_s)}{d\theta_s} \right|_{\theta_s=\beta} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{1}{c^2} (a^2 - b^2) \sin \alpha \cos \alpha - \frac{a^2 b^2}{c^3} \left(1 - \frac{a^2 b^2}{c^2} \cdot \sin^2 \beta \right)^{-1/2} \times \sin \beta \quad (3.1.4)$$

$$+ b \left(1 - b^2 \cdot \sin^2 \beta \right)^{-1/2} \sin \beta = 0$$

從(3.1.4)式可以知道預傾角能由 θ_s 的函數來決定。接下來，我們用ASAP來模擬分析量測預傾角方法的可行性，如圖3-3所示，首先，未極化光經由起偏器轉變成線性極化光，打入模擬液晶單元的異向性樣本，產生雙折射的現象，之後雙折射光線經由檢偏器到偵測平面上，因此，我們可以發現在偵測平面上的極化狀態會隨著轉動液晶角度的不同而改變其相對強度，因此我們可以得到不同旋轉角度與其穿透率的關係。

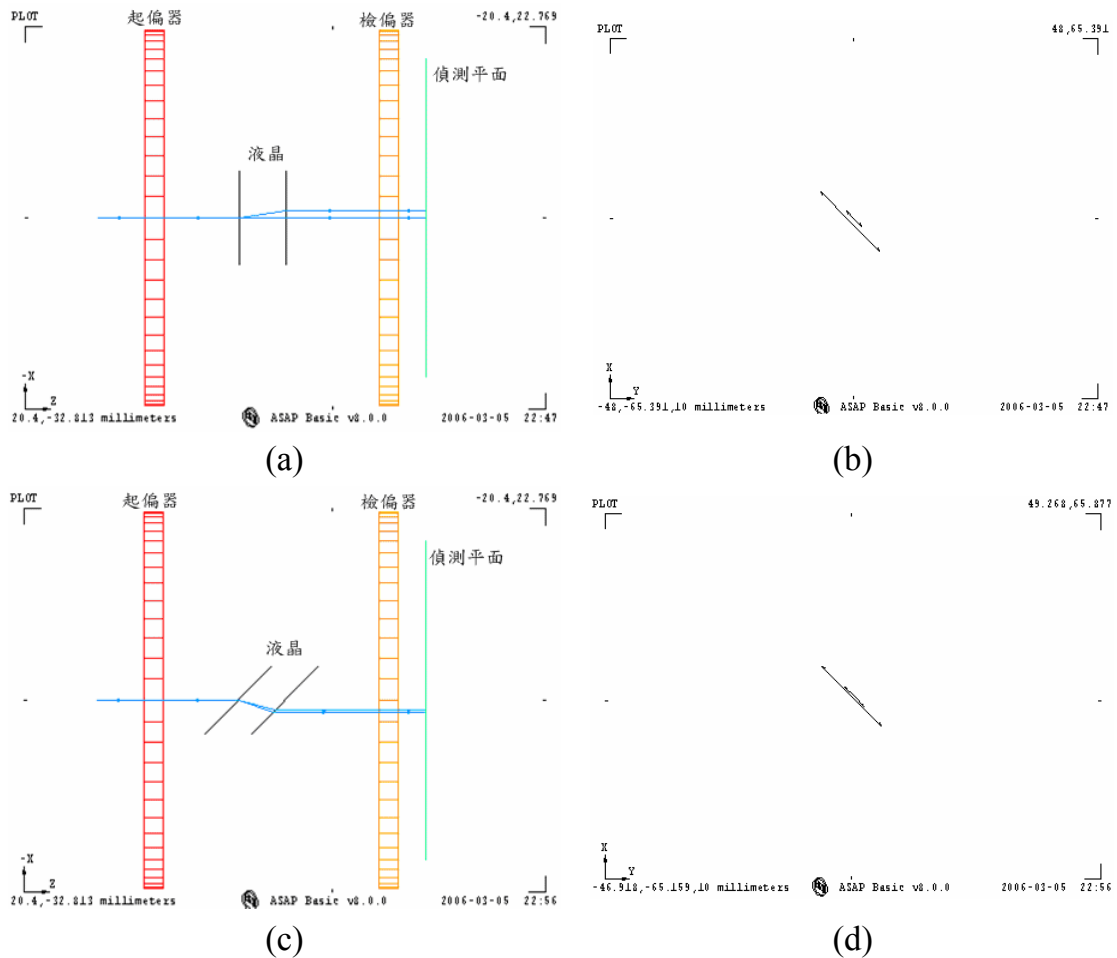


圖 3-3 利用 ASAP 模擬晶體旋轉法

3.2 Stokes parameter method(量測扭動角與液晶間隙)

液晶間隙的量測是液晶顯示器設計的主要參數，所以精確的量測液晶間隙是製作過程中一項很重要優勢[9]。在此參考Y. Zhou等人[21]提出來的辦法來量測扭動角與液晶間隙。我們可以看到圖3-4，入射光從極化器輸出後會與x軸夾 β 角度大小，經過液晶輸出的光將會扭轉 ϕ 度。所以我們在TN-LC的x軸與y軸電場分量的成分可以用矩陣形式來表示[33]。

$$\begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta & -\sin \beta \\ \sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a & b \\ -b^* & a^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \beta & \sin \beta \\ -\sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.2.1)$$

我們將a與b定義成

$$\begin{aligned} a &= a_1 + ja_2 \\ b &= b_1 + jb_2 \end{aligned} \quad (3.2.2)$$

a_1 、 a_2 、 b_1 與 b_2 分別由下列式子表示

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{1}{x} \sin \phi \sin(x\phi) + \cos \phi \cos(x\phi), \\ a_2 &= \frac{u}{x} \cos \phi \sin(x\phi), \\ b_1 &= \frac{1}{x} \cos \phi \sin(x\phi) - \sin \phi \cos(x\phi), \\ b_2 &= \frac{u}{x} \sin \phi \sin(x\phi). \end{aligned} \quad (3.2.3)$$

$$\begin{aligned} w &= \left(\frac{n_e}{n_o} \right)^2 - 1, \\ n'_e &= \frac{n_e}{\sqrt{1 + w \sin^2 \alpha}}, \\ u &= \frac{\pi d}{\lambda \phi} (n'_e - n_o) = \frac{\pi d}{\lambda \phi} \left(\frac{n_e}{\sqrt{1 + w \sin^2 \alpha}} - n_o \right), \\ x &= \sqrt{1 - u^2}, \end{aligned} \quad (3.2.4)$$

假如液晶分子在配向膜中存在相同的預傾角($\theta \neq 0$) [21]。其中， λ 表示入射光波長， α 表示預傾角， d 表示扭轉式液晶的厚度， n_e 與 n_o 是液晶的雙折射

正常光與異常光， ϕ 表示扭轉角。

扭轉式液晶穿透光的Stokes參數可以表示成下列式子：

$$\begin{aligned}
 S_0 &= E_x E_x^* + E_y E_y^* \\
 &= a_1^2 + a_2^2 + b_1^2 + b_2^2 = 1, \\
 S_1 &= E_x E_x^* - E_y E_y^* \\
 &= b_1^2 - a_1^2 - a_2^2 \cos 4\alpha + b_2^2 \cos 4\alpha + 2a_2 b_2 \sin 4\alpha, \\
 S_2 &= E_x E_y^* + E_x^* E_y \\
 &= 2a_1 b_1 + (b_2^2 - a_1^2) \sin 4\alpha - 2a_2 b_2 \cos 4\alpha \\
 S_3 &= j(E_x E_y^* - E_x^* E_y) \\
 &= 2b_1 (b_2 \sin 2\alpha - a_2 \cos 2\alpha) - 2a_1 (a_2 \sin 2\alpha + b_2 \cos 2\alpha).
 \end{aligned} \tag{3.2.5}$$

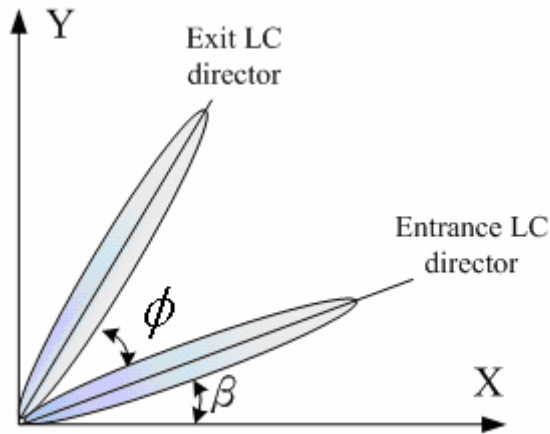


圖 3-4 液晶的座標系統與入射光之關連

第四章 系統整合

我們所提出的目標重點在於多功能且具成本效益量測系統的建構。因此，我們提出 PSCAr 的架構，由於這個架構並不需要昂貴的設備，只需加裝線性移動平台及轉動平台就可以達到多功能的量測方法，符合我們所開出來的系統需求。然而以 PSCAr 架構發展一套多功能且具成本效益之液晶單元光學參數量測系統，需多配置線性移動平台與轉動平台，在架構上做機動性的調整，利用改變些許的光學架構來量測不同的光學參數，達到多功能的需求。例如：在量測預傾角時，需透過旋轉控制平台轉動液晶單元並利用線性移動平台將 1/4 波板移除；而量測扭動角或是液晶單元間隙時需加入 1/4 波板，然而在目前量測 V-T 曲線時，使用訊號產生器產生輸入的交流電壓並且由光偵測器接收光強度，透過示波器經由 IEEE-488 卡將量測得到的資料傳送至電腦中，並且記錄下來。其系統整體的架構圖如圖 4-1 所示：

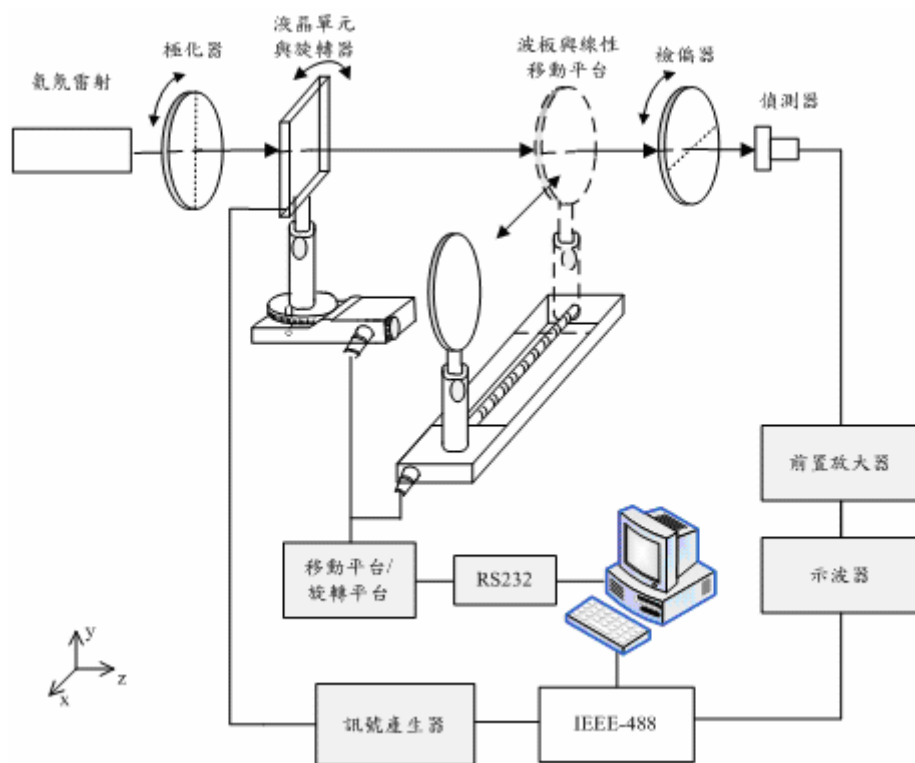


圖 4-1 PSCA 系統整合功能架構圖

預期量測的流程如圖 4-2 所示分為三個步驟，因為考慮到量測流程的順暢，而 V-T 曲線與預傾角的架構都是 PSA 的架構，所以必須先量測 V-T 曲線接下來是量測預傾角，最後是量測液晶單元的間隙與扭動角。首先量測 V-T 曲線，其實驗流程如圖 4-2(a)，經由訊號產生器產生 60Hz 的交流電壓並調變電壓振幅輸入至液晶單元之中，每 0.1V 量測一次穿透率，在光機部份需要將起偏器固定在 45° 及檢偏器固定在 -45° ，之後即可開始透過電腦下達指令傳送量測的訊號經由介面卡 IEEE-488 控制訊號產生器輸入交流電壓，之後由光偵測器量測到的電壓值透過示波器經由 IEEE-488 卡，將訊號傳送至電腦並記錄，紀錄完之後電腦送出訊號通知訊號產生器調變電壓振幅，如此重複執行從 0V 增加到 5V 即可完成 V-T 曲線的量測實驗。

接下來是量測預傾角的實驗，其實驗流程如圖 4-2(b)，利用電控旋轉平台使其每步進 0.1° 量測一次電壓值，而在光機部分採用的是 PSA 的架構，此時起偏器與檢偏器固定的角度與量測 V-T 曲線時的角度是相同的，之後即可輸入訊號至旋轉控制平台，每轉動完 0.1° 後將光偵測器量測到的電壓值透過示波器經由 IEEE-488 卡記錄在電腦，紀錄完之後電腦透過 RS-232 送出訊號通知電動控制旋轉平台再繼續轉動，如此重複執行從 -40° 轉動到 40° 即可完成預傾角的量測實驗。

最後，量測液晶單元的間隙與扭動角的實驗，其實驗流程如圖 4-2(c)。因為量測時需要加入 $1/4$ 波板及轉動檢偏器的角度，所以在此利用線性移動平台及旋轉器來達到量測的需求。首先要將起偏器固定在 0° 並將檢偏器分別固定在 0° , 45° , 90° 這三個角度，轉動完檢偏器後將光偵測器量測到的電壓值透過示波器經由 IEEE-488 卡記錄在電腦，紀錄完之後電腦送出訊號通知旋轉控制平台再繼續轉動到下一個角度，此時檢偏器固定在 0° 所量到的電壓值符號記為 I_x ，固定在 45° 所量到的電壓值符號記為 I_{45° ，固定在 90° 所量到的電壓值符號記為 I_y ，當量測完這三個角度之後，再利用線性移動平台加入 $1/4$ 波板且檢偏器固定在 45° 量得 I_{q45° ，最後透過計算的流程，

將於第五章做詳細的介紹，即可得到液晶單元的間隙與扭動角。

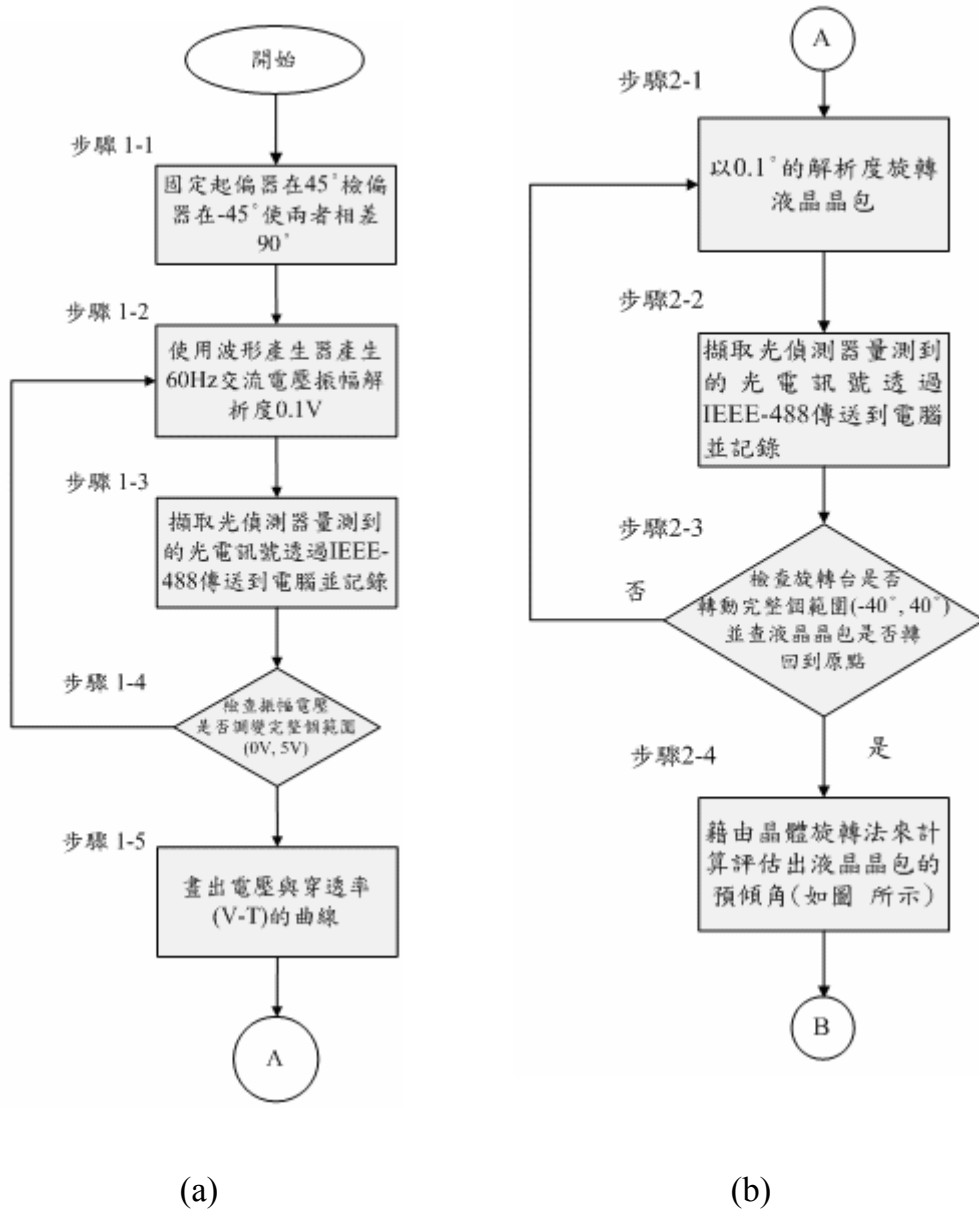


圖 4-2 (a) 預傾角量測流程圖 (b) 扭轉角與液晶間隙量測流程圖

由於，本論文題目為多功能且具成本效益之液晶顯示單元光電參數量測系統的發展。因此，目前整體的系統架構大多以現成之儀器拼裝起來，未來將會以數位訊號處理器(DSP, digital signal processor)為基礎發展獨立的量測系統，並且在線性移動平台與電動控制旋轉平台方面將會自行製作以大幅減少成本達到具成本效益的功能。而使用 DSP，為了使得量測系統

能夠自動化平行處理，在此藉由 DSP 來做系統操控的核心，利用 DSP 接收訊號，並經 A/D 轉換器轉成數位訊號，做即時的數值處理，同時 DSP 也可以經由 D/A 轉換器來控制補償器旋轉之角度，或控制雷射電流穩定器來驅動光源。此方法可盡量避免掉人為所造成的量測誤差，且在量測過程中，所測得的資料值需要與建立好的模型資料作重複的比對，立即的做相關運算處理，才能獲得待測物的相關光學參數。並在量測過程中能即時將測得之資料與測量結果藉由 RS-232 介面回傳給 PC 處理，並且顯示在人機介面 (GUI) 上。

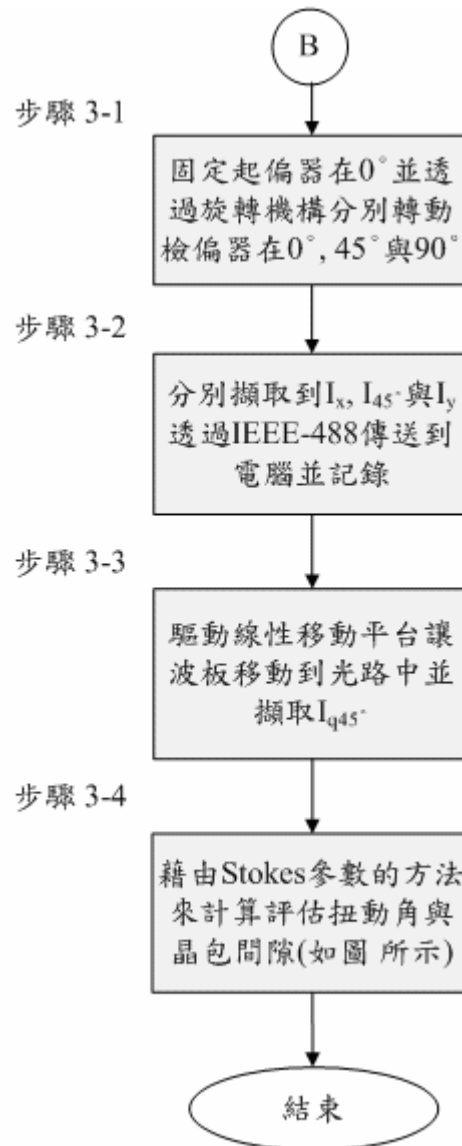


圖 4-3 V-T 曲線量測流程圖

第五章 實驗結果與評估

5.1 系統校正

(a) 元件的穿透率實驗

因為每個光學元件的穿透率並不是完美，而且不同光學元件的穿透率也都不一定是定值，因此需要事先量測元件的穿透率來得知元件實際上的誤差值大小，這些數值將用於實驗系統校正。其實驗架構如圖5-1所示，其量測的結果如表4所示。

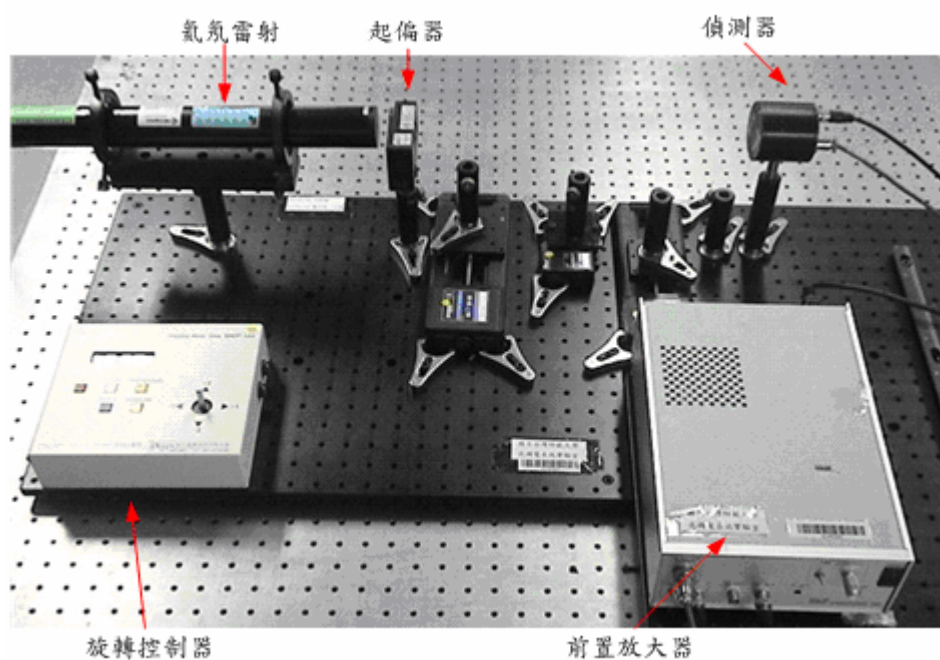


圖 5-1 量測穿透率實驗架構圖

表4 穿透率量測結果表

光學元件	未加元件量得的 電壓值	加入元件量得的 電壓值	穿透率
極化片(P)	7.22 V	5.97 V	82.8 %
極化片(A)	7.22 V	5.70 V	78.9 %
1/4波板(C)	7.22	6.6 V	91.5 %

(b) PA 架構，固定 θ_P ，轉動 θ_A

此實驗目的在於檢驗起偏器(P)跟檢偏器(A)是否為理想的線性極化片。其實驗架構如圖 5-2 所示，從實驗結果如圖 5-3 所示，可以發現當 P 與 A 相差 90° 時，光偵測器還是會接收到少許的光，此時示波器顯示的電壓值為 0.2V，說明了 P 跟 A 並不是理想的線性極化片，因此使用時需要扣除掉這個誤差值。

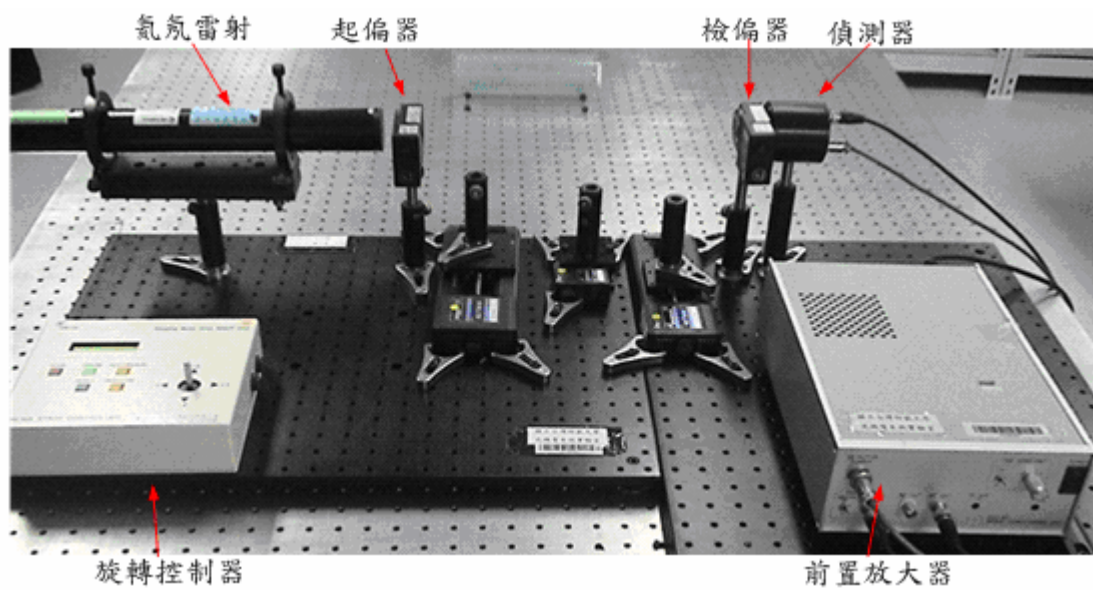


圖 5-2 量測穿透率實驗架構圖

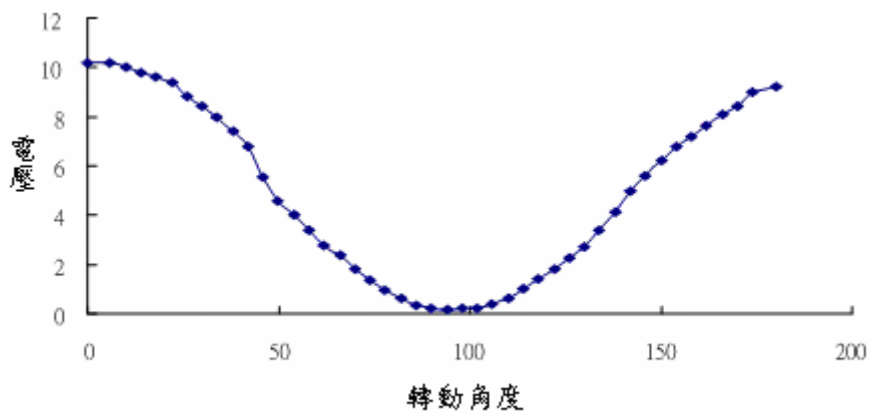


圖 5-3 偵測器量測到之角度與電壓關係圖

(c) 檢驗 1/4 波板是否安裝正確

一開始先固定 P 的角度為 θ_p 和波板(C)的角度為 θ_c ，在如表 5-2 所示的角度。轉動 θ_A 尋找光偵測器接收到電壓最小值時的角度，其實驗結果如表 5-2 所示。此實驗目的在測試當 P 的穿透軸與 C 的快軸或慢軸擺在同一角度時，轉動 A 來尋找光偵測器接收到的電壓為最小值及最大值，這些數值主要是表示檢驗安裝 1/4 波板時人為因素所造成的角度誤差。首先，實驗設定 P 的穿透軸與 C 的快軸相同，而項目 2 是 P 的穿透軸與 C 的慢軸相同。這樣的設定可以使得線性極化光不會受到 C 快軸或慢軸的影響造成相位延遲。所以，項目 1 和 3，A 必須要轉動到與 P 相差 90° 的地方其電壓值才會電壓最小值。但是，從實驗結果看出 P 與 A 的差並不是剛好 90° ，因此，可以藉由 P 跟 A 相差的角度來校正人為安裝的角度誤差。

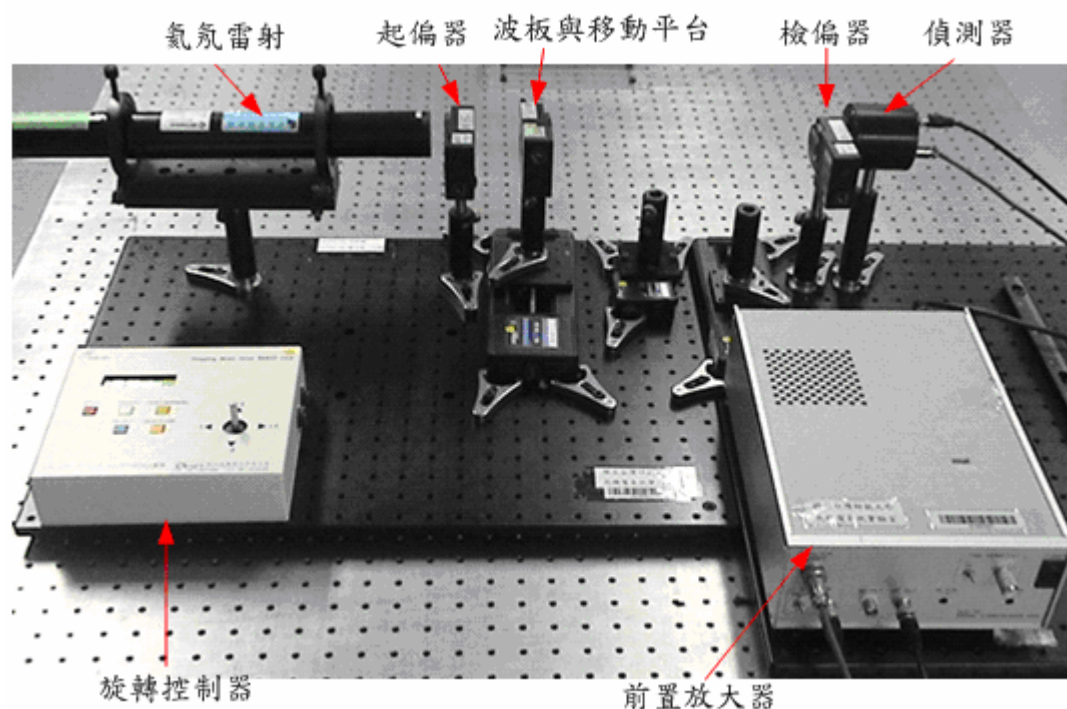


圖 5-4 量測穿透率實驗架構圖

表 5 旋轉角度與量測電壓結果表

項目	θ_p	θ_c	θ_a	電壓值(V)
1	45°	45°	-51°	86mV
2	-45°	45°	49°	120mV
3	30°	30°	-64°	80mV

(d) PCA 架構，固定 θ_p 跟 θ_A ，轉動 θ_C

固定 θ_p 與 θ_A 分別在 0° 跟 90° ，然後利用電動控制平台以每 3° 轉動 θ_C ，當每轉動完一次之後記錄光偵測器量到的電壓值，其最後實驗結果如圖所示，此實驗目的在於測試轉動 $1/4$ 波板所造成對量測上的影響並且可以檢驗出是否有安裝上的角度誤差，我們可以從實驗結果中發現，當 θ_C 從 0° 轉動至 45° 時發現光偵測器相對量測到的光強度越強，再由 45° 轉動至 90° 時量測到的光強度則越來越弱，因此，可以說明 $1/4$ 波板是隨著轉動角度再延遲輸入光的相位，因為在未加入 $1/4$ 波板時，當 θ_p 與 θ_A 相差 90° 此時光偵測器應該沒有接收到光強度可以參考實驗(b)，但再加入 $1/4$ 波板之後其光強度隨著轉動角度在改變，在 45° 的光強度最大因此耶說明了在實驗(c)我們已經把手動安裝的角度誤差減至最小。實驗架構圖為圖 5-4，實驗結果如圖 5-5 所示。

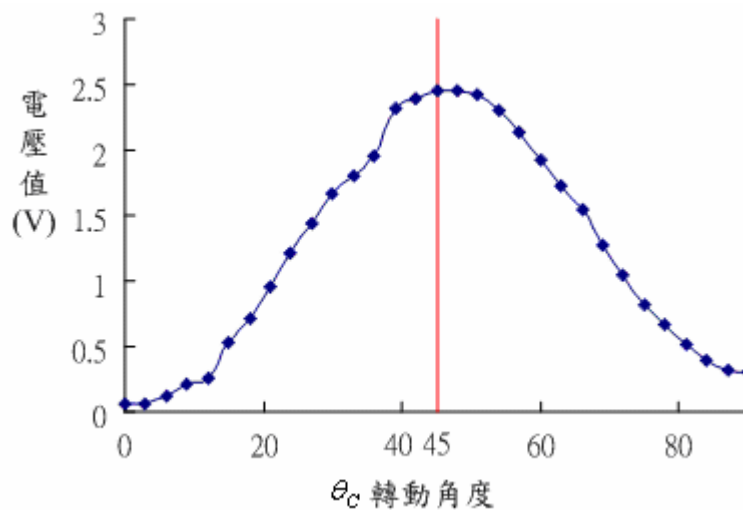


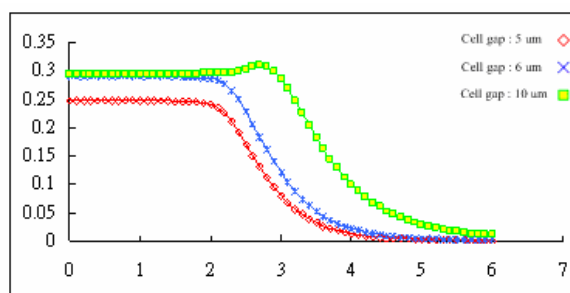
圖5-5 轉動 $1/4$ 波板其電壓與轉動角度的關係圖

5.2 電壓-穿透率的實驗

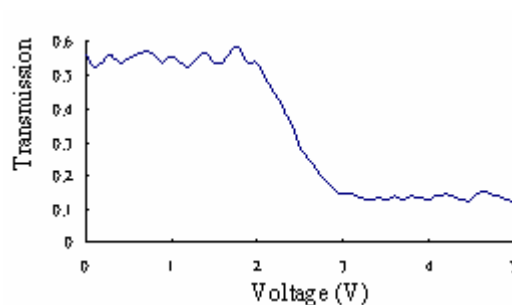
液晶的光電特性量測與上述液晶單元光學參數相關之重要光電特性如下:

- (1) 響應時間 (response time)
- (2) 對比度 (contrast ratio)

如圖 5-6(a)所示,使用 LCD Master 的模擬軟體模擬當不同的液晶間隙 (cell gap)時,其電壓與穿透率的曲線圖(V-T curve)將有不同的變化,實驗的架構如圖 5-7 所示,將每個調變的電壓後所量測到的電壓值記錄,其實驗結果如圖 5-6(b)是實際量測液晶單元所繪出的曲線圖。從圖形中可以知道液晶單元於電壓控制下的穿透度,並且可以瞭解液晶轉向之物理與光電特性變化。從圖形可以知道在大約 2V 左右時穿透率將有顯著的下降,此時的電壓值可以叫做液晶電壓的閾值。



(a)



(b)

圖 5-6 (a) 模擬不同液晶間隙的 V-T 曲線圖, (b) 實驗量測液晶單元的 V-T 曲線圖 (Instec LC1-6.8)

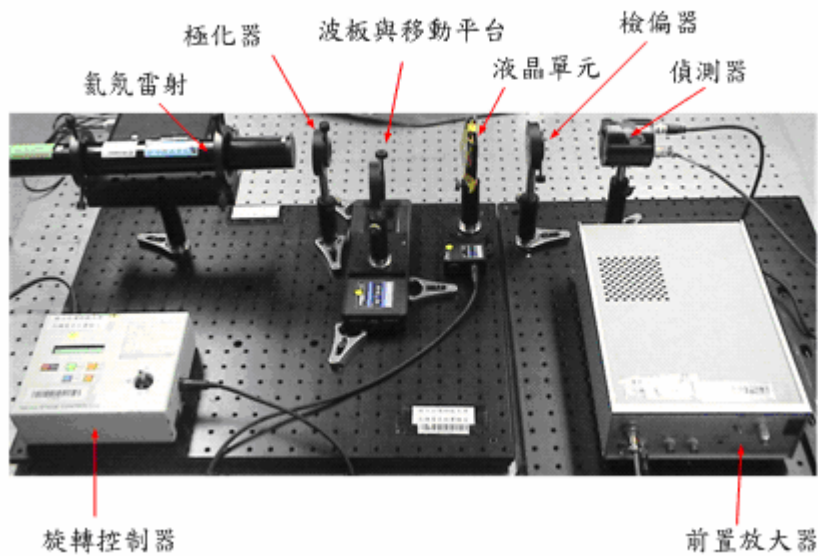


圖 5-7 預傾角量測系統架構圖

5.3 預傾角的實驗

在預傾角的實驗中，量測的流程如圖5-8所示。首先，將液晶單元轉動每一度角來量測電壓值，紀錄整個量測範圍並且繪製圖5-9。在圖中可以發現量測到的圖形會對稱於 -0.9° ，將此角度和已知的液晶參數值代入式子(3.1.4)，即可得到該液晶單元的預傾角度，從表6可以知道量測結果。因為在產品型錄上已經說明每個空的液晶單元上都有預傾角 $1^\circ-3^\circ$ ，這個數值與我們推算的角度值有誤差，誤差的來源可能在於元件上的製作誤差。我們可以由實驗5.1中得知極化片本身有製作上的誤差以及在放置定位液晶單元時的人為手動誤差。

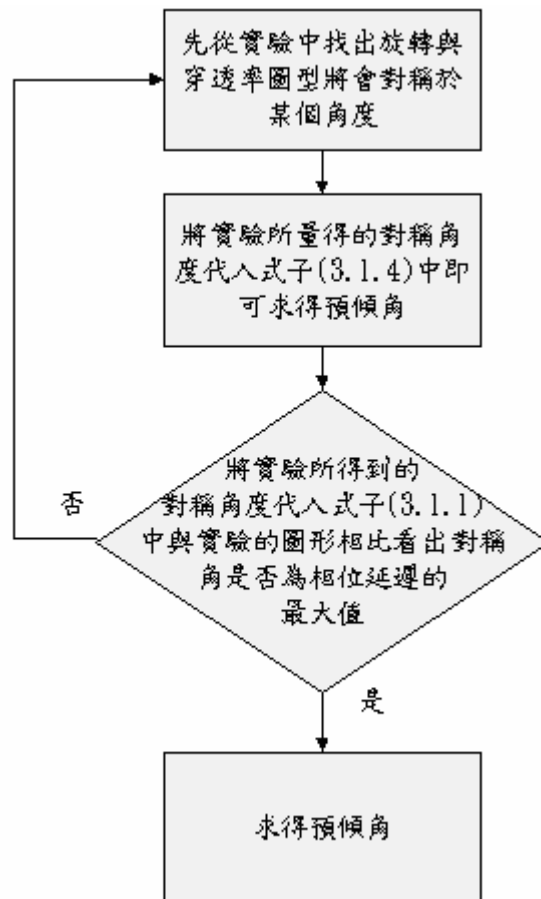


圖5-8 實驗步驟流程圖

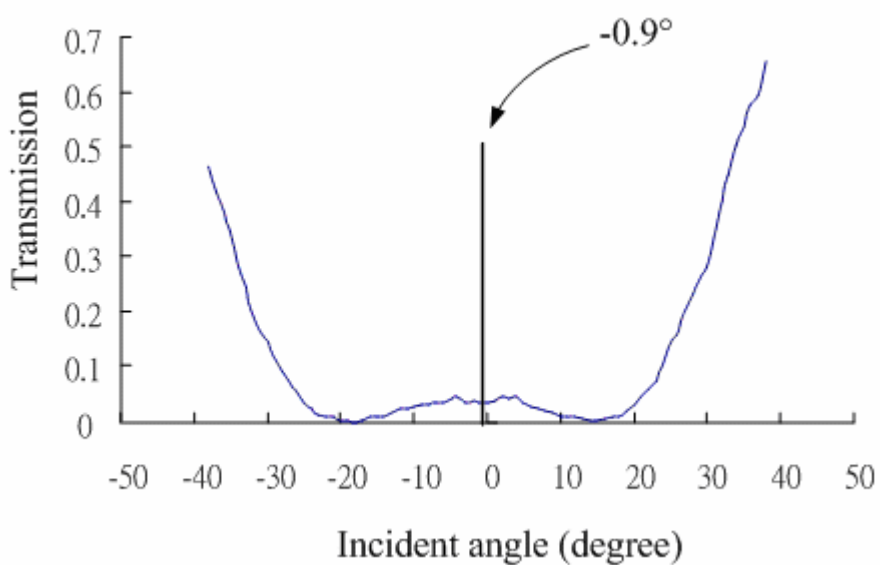


圖 5-9 預傾角量測系統實際量測入射角與穿透率圖

表 6 系統量測與製作規格比較表

實驗樣本	廠家提供的液晶單元其預傾角度	液晶單元預傾角度測量值
TN-LC (E7)	1°-3°	0.6°

5.4 液晶單元的間隙與扭轉角實驗

量測的流程如圖5-10所示，當量測液晶單元的間隙與扭轉角時，必須加入相位延遲板。因此，必須利用線性移動平台將1/4波板加至量測系統的架構中，其實驗架構如圖5-11所示，使相位延遲板加入到光路中即可開始量測。並分別利用光偵測器量得 I_x , I_y , I_{45° , I_{q45° ，之後代入式(5.4.1)-(5.4.4)中，可以得到 S_0 - S_3 的Stokes參數，接下來疊代不同間隙與扭轉角，利用模擬所算出來Stokes參數與實驗所求得的數值去做比較得到誤差最小值後，此時模擬所代入的液晶光學參數即為量測液晶單元的液晶光學參數，實驗結果如表5.3所示。而此量測方法有限制的條件在文獻[15]中有說明用此方法量測時需要先知道液晶單元間隙的範圍，解決此問題的方法將列於未來工作等到再第六章說明。

$$S_0 = (I_x + I_y) / (I_x + I_y), \quad (5.4.1)$$

$$S_1 = (I_x - I_y) / (I_x + I_y), \quad (5.4.2)$$

$$S_2 = [2I_{45^\circ} - (I_x + I_y)] / (I_x + I_y), \quad (5.4.3)$$

$$S_3 = -[2I_{q,45^\circ} - (I_x + I_y)] / (I_x + I_y). \quad (5.4.4)$$

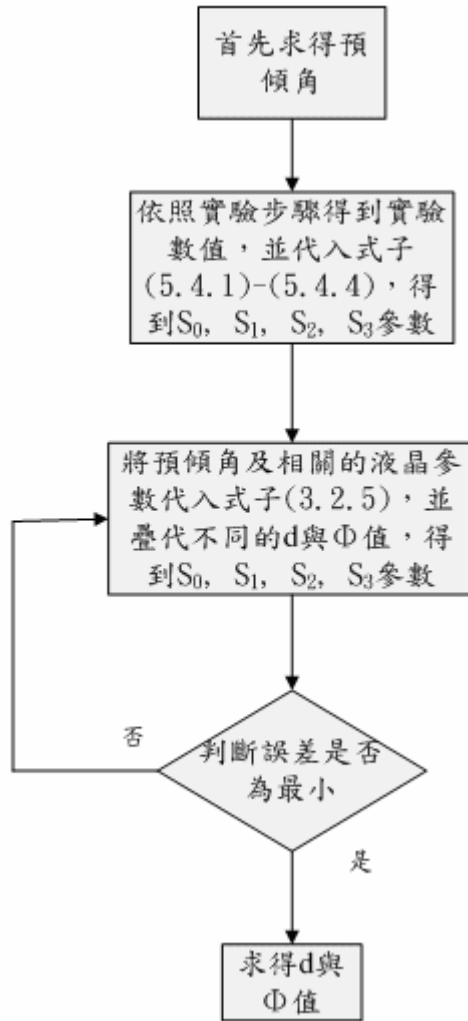


圖5-10 量測液晶單元間隙與扭轉角的流程圖

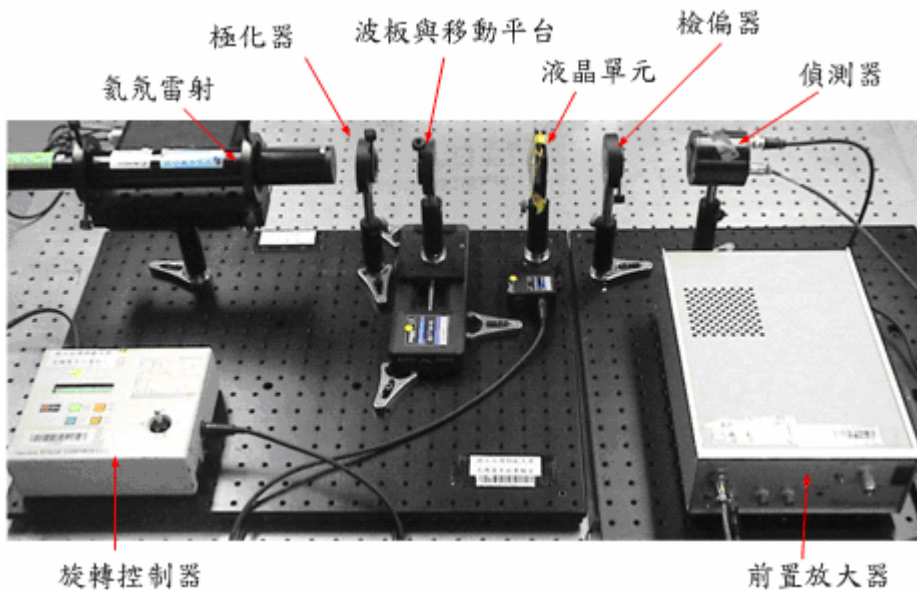


圖 5-11 液晶單元間隙與扭轉角實際量測圖

從表 7 的實驗結果中發現，液晶單元間隙量測值為 6.9 μm 而廠家提供的液晶單元間隙為 6.8 μm 量測的誤差百分比為 1.45%。其誤差原因在於自行填充的液晶分子可能在填充時沒有注意到溫度的控制，經由 Instec 周博士說明再填充時必須要先將液晶單元先預熱到液晶分子(E7)的相變的溫度 (phase transition temperature)，當填充完後需要再利用溫度控制器使液晶單元的溫度以每分鐘降 1 度的速度冷卻，才能使液晶分子在液晶單元內均勻的分布，因此將來在填充時需要注意這項細節才能得到更精確的數值。

表 7 實驗結果

實驗樣本項目	廠家提供的液晶單元間隙	液晶單元間隙量測值
TN-LC (E7)	6.8 μm	6.9 μm

5.5 系統效能評估

總合上述所有實驗結果，可以得到以下四點：

1. 因為液晶分子的厚度扮演一個重要的角色在決定液晶顯示特性(例如：反應時間)，而且為了顯示出我們所發展量測系統的效能，所以必須要針對液晶單元參數做定量的評估，而其定量後的結果如表 7 所示。
2. 預傾角的功能主要在避免液晶分子發生向錯現象，而根據這項參數的定性評估，此系統所量測得到的結果(0.6°)即使是有稍微的誤差也將不會影響造成向錯現象的發生。
3. 液晶分子的扭動角會影響對比度是大家廣泛皆知的。因此，量測的效能可以藉由 PSA 的架構來驗證或是利用已知的 V-T 曲線當作樣板與量測到的數據做定性的評估分析，由圖 5-6 可以看到模擬與實際量測得到的 V-T 曲線作比較，顯然地發現所有曲線的趨勢大多彼此相似，而其主要

影響曲線的參數在於液晶單元的厚度，因此量測到的 V-T 曲線也可以拿來跟我們之前利用極化量測法所量測得到的液晶厚度做相互驗證。

4. 在價格的考量上，德國美最時所販售的儀器約 4-5 百萬，而我們所發展的量測系統大約 2-30 萬之間，因此，本系統有達到具成本效應的需求。

第六章 討論與未來工作

本論文雖然已經達成多功能且具成本效益的量測系統，但是從實驗過程中得到以下問題與結論：

1. 由廠家型錄中，發現其產品本身的製造誤差為 $\pm 0.2\mu\text{m}$ ，引此造成實驗的誤差，然而實驗結果有些是落在誤差範圍之外，所以未來將加強誤差來源的分析。(詳見附錄五)
2. 實驗結果的誤差有可能來自於(1)在架設液晶單元時人為手動上的誤差(2)機構的穩定度。
3. 關於扭轉角量測部份，由於液晶單元的扭轉角尚未經由精密儀器量測所以在驗證扭轉角部分將在未來工作中繼續持續下去。

由相關過去做法[28-31]及上述的實驗結論中可以得知。未來工作的重點項目如下：

延伸 Jones 向量與 Jones 矩陣到 Stokes 向量(SV)，其中 SV 又稱為 Stokes 參數(SP)。並且用來檢驗不同系統架構(例如：PSCA、PCSA 與 PCSCA)的量測效能。工作項目可以分成兩部分：

A 部分：

- (1) 以 SP 為基礎來改變 θ_c 在補償器的快軸與極化器穿透軸之間參數的角度，並且詮釋變動參數架構的理論。可以參考 Zhou 的作法[21]，在 $\theta_c=0$ 的 PSCA 系統架構。
- (2) 考慮變動各元件轉動的參數的條件之下，設計實驗並且檢測在這些架構的量測效能與變動參數之間的影響。

B 部分：

- (1) 以 SP 為基礎發展光譜極化量測術來檢驗量測系統的準確性。
- (2) 探討 Mueller 矩陣(MMs)與液晶參數之間的關聯，並且利用極化量測術

發展 MMs 的方法並建立準確地極化模型。

- (3) 檢驗上述兩項量測技術結合之後，其量測效能是否比過去做法更佳。
- (4) 建立以數位訊號處理器為基礎之多功能且具成本效益之液晶顯示單元光學參數量測系統。

參考文獻

- [1] 2006 PIDA 成果發表暨記者聯誼會新聞稿，PIDA。
(<http://www.pida.org.tw/pida/060118.newsrelease.doc>)
- [2] Melchers網站。
(http://www.autronic.melchers.com/Cell_and_Material_ch.21.0.html)
- [3] Shintech型錄。(<http://www.photal.co.jp/english/product/lcd.html>)
- [4] 大塚電子型錄。(http://www.shintech.jp/eng/index_e.html)
- [5] K.-Y. Han, T. Miyashita and T. Uchida, “Accurate determination and measurement error of pretilt angle in liquid crystal cell,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 32, pp. L277.L279, Part 2, no. 2B, Feb. 1993.
- [6] T. Nishioka and T. Kurata, “Novel pretilt angle measurement method for twisted-nematic liquid-crystal cells by apparent retardation measurement,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 40, pp. 6017-6023, Part 1, no. 10, Oct. 2001.
- [7] J. S. Gwag, *et al.*, “Simple method for measuring the high pretilt angle of nematic liquid crystals,” *J. Appl. Phys.*, vol. 93, no. 8, Apr. 2003.
- [8] A. Lien and H. Takano, ” Cell gap measurement of filled twisted nematic liquid crystal displays by a phase compensation method,” *J. Appl. Phys.*, 69 (3), Feb. 1991.
- [9] S. H. Lee, *et al.*, “Low-cell.gap measurement by rotation of a wave retarder,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 41, pp. 379.383, Part 1, no. 1, Jan. 2002.
- [10] J. S. Gwag, *et al.*, ”Simple cell gap measurement method for twisted-nematic liquid crystal cells,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 43, no. 1A/B, pp. L30.L32, 2004.
- [11] J. S. Chae and S. G. Moon, “Cell parameter measurement of a

- twisted.nematic liquid crystal cell by the spectroscopic method,” *J. Appl. Phys.*, vol. 95, no. 7, Apr. 2004.
- [12] S. J. Hwang, “Precise optical retardation measurement of nematic liquid crystal display using the phase-sensitive technique,” *IEEE. J. Display Tech.*, vol. 1, no. 1, Sep. 2005.
- [13] Y.P. Lan, *et al.*, “Intracavity measurement of liquid crystal layer thickness by wavelength tuning of an external cavity laser diode,” *Opt. Exp.*, vol. 13, no. 20, Oct. 2005.
- [14] T. Akahane, H. Kaneko and M. Kimura, “Novel method of measuring surface torsional anchoring strength of nematic liquid crystals,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 35, pp. 4434-4437, Part 1, no. 8, Aug. 1996.
- [15] Y. Zhou, Z. He and S. Sato, “A novel method for determining the cell thickness and twist angle of a twisted nematic cell by stokes parameter measurement,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 36, pp. 2760-2764, Part 1, no. 5A, May 1997.
- [16] C..C. Tsai, *et al.*, “Determination of optical of parameters of a twisted.nematic liquid crystal by phase.sensitive optical heterodyne interferometric ellipsometry,” *Appl. Opt.*, vol. 44, no. 35, Dec. 2005.
- [17] Lueder, *Liquid crystal displays: addressing schemes & electro.optical effects 2001*, 2001.
- [18] 液晶顯示器工業中液晶分子取向排列控制技術的研究進展，中華液晶資訊網論壇。(http://172.16.18.35:7751/cn.china.tft.com/forum)
- [19] 台灣大學物理系教授趙治宇老師，液晶顯示器上課講義，2005.
- [20] Edward Collett, *Polarized Light in Fiber Optics*, the polawave group, Lincroft, New Jersey, USA, 2003
- [21] P. Yeh and C. GU, *Optics of Liquid Crystal Displays*, wiley, pp. 200, 1999.

- [22] Max Born and Emil Wolf, *Principles of Optics*, 7th ed, Cambridge University Press, pp.823-828, 2002.
- [23] Eugene Hecht, *Optics*, 4th ed., international edition, pp. 328, 2002.
- [24] F. L. Pedrotti, *Introduction to Optics*, 2nd ed, Prentice Hall, pp. 280-301, 1993.
- [25] S. T. Tang and Hoi-Sing Kwok, "Characteristic parameters of liquid crystal cells and their measurements," *IEEE. J. Display Tech.*, vol. 2, no. 1, 2006.
- [26] T. Akahane, "The influence of multiple-beam interference in a liquid crystal cell on the determination of the optical retardation and the twist angle," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 37, Part I, no. 6A, pp. 3428-3435, June 1998.
- [27] E. Garcia-Caurel, A. D. Martino, B. Drevillon, "Spectroscopic Mueller polarimeter based on liquid crystal devices," *Thin Solid Films*, pp. 120-123, 2004.
- [28] A. D. Martino, *et al.*, "Optimized Mueller polarimeter with liquid crystals," *Opt. Lett.*, vol. 28, no. 8, Apr. 2003.
- [29] I. Dahl, "How to measure the Mueller matrix of liquid-crystal cells," *Institute of Phys. Publishing*, pp. 1938-1948, Oct. 2001.
- [30] S. T. Tang, H. S. Kwok, "3X3 matrix for unitary optical systems," *J. Opt. Soc. Am.*, vol. 18, no. 9, Sep. 2001.
- [31] S. T. Tang, H. S. Kwok, "Characteristic parameters of liquid crystal cells and their measurements," *IEEE. J. of Display Tech.*, vol. 2, no. 1, Mar. 2006.
- [32] M. Kawamura, *et al.*, "A two-dimensional pretilt angle distribution measurement of twisted nematic liquid cells using Stokes parameters at

plural wavelengths,” *Jap. J. of App. Phys.*, vol. 43, no. 2, pp. 709-714, 2004.

[33] P. Yeh and C. Gu, “*Optics of liquid crystal display*,” p.120-122, John Wiley & Sons, 1999.

附錄一：E7 液晶特性

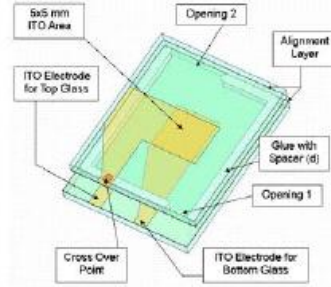
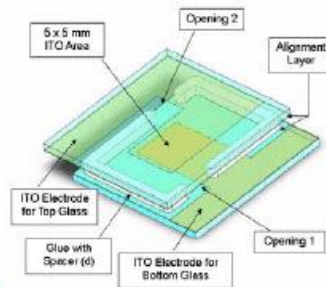
Melting Point		10	°C
S→N		< -20	°C
Clearing Point		61	°C
Viscosity (20°C)	η	39	mm ² / s
Dielectric anisotropy 1kHz, 20°C	$\Delta\epsilon$	13.8	
	ϵ_{\parallel}	19.0	
	ϵ_{\perp}	5.2	
Optical anisotropy (20°C, 589nm)	Δn	0.2246	
	n_e	1.7462	
	n_o	1.5216	
Multiplex properties measured at 90° twist			
V(90, 0, 20) (saturation)		1.96	V
V(10, 0, 20) (threshold)		1.49	V
Elastic constant (20°C)	K_{11}	11.01×10^{-12}	N
	K_{33}	17.01×10^{-12}	
	K_{33}/K_{11}	1.54	

• 取自 Merck 公司

附錄二：液晶空盒的規格

Features

- 90 Degree, Parallel or Anti-Parallel Alignment
- Two Openings for LC Filling
- Ready to Use
- 25 mm² ITO Area
- Easy Electrical Lead Attachment
- Variable Internal Spacing



Description & Specifications

Instec empty cells are manufactured in clean rooms. Adhesive can withstand up to 200°C. All cells have a patterned ITO area, 5mm X 5mm, with ITO resistance = 100 Ω/□. Alignment layers are of 1° to 3° pre-tilted angles. Physical dimensions and spacing of cells vary depending on different models. Cell gap tolerance is ±0.2 μm.

Image above shows the structures of LC2, LC3, and LC4 empty cells.

Image above is an example of LC1, 90° twist aligned.

Liquid Crystal Cells Selection Chart

Liquid Crystal Cells Selection Chart		Cell Spacing (in microns)					LC Cell Outer Dimensions (mm)
		5.0	6.0	6.8	9.0	20.0	
Cell Alignment	90°		LC1-6.0	LC1-6.8			15.25 x 20.25 x 2.25
	Parallel	LC3-5.0					15.25 x 17.0 x 1.5
	Anti-Parallel	LC2-5.0		LC4-6.8	LC2-9.0	LC2-20.0	

Order in incremental of 50.

A sample pack can be purchased for evaluation. The part no is LC-M1-25 with 5 each of the following cells: LC1-6.8, LC2-5.0, LC2-9.0, LC2-20, LC4-6.8. We can also do special combination as you request.

資料來源：Instec型錄, pp. 68, 2006.