

國立交通大學

電子物理系碩士班

碩士論文

高分子濃度對雙穩態聚合物穩定膽固醇型
液晶結構之光電特性影響研究

**Studies on the Polymer Concentrations effect in
the Electro-optic Properties of the Bistable
Polymer-stabilized Cholesteric Texture**

研究生:曾耀德

指導教授:趙如蘋 教授

中華民國 一百年 七月

高分子濃度對雙穩態聚合物穩定膽固醇型液晶結構之光電特性

影響研究

**Studies on the Polymer Concentrations effect in the
Electro-optic Properties of the Bistable Polymer-stabilized
Cholesteric Texture**

研究生:曾耀德

Student: Yao-De Zeng

指導教授:趙如蘋 教授

Advisor: Dr. Ru-Pin Pan



A Thesis

Submitted to Department of Electrophysics

College of Science

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in

Electrophysics July 2011

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 一百年 七月

高分子濃度對雙穩態聚合物穩定膽固醇型液 晶結構之光電特性影響研究

研究生：曾耀德

指導教授：趙如蘋 教授

國立交通大學電子物理系碩士班

摘要

將旋性物質參雜入向列型液晶中，藉由濃度調配達到理想螺距的膽固醇態。然後把高分子單體和膽固醇液晶均勻混合後，灌入具有表面處理的空樣品中，然後透過光聚合作用進而形成聚合物穩定膽固醇型液晶結構(PSCT)，藉由高分子聚合物的鍵結，使得元件整體結構變得更加穩定。

本實驗成功製作出具有雙穩態並具特定反射波長的PSCT樣品，並研究高分子濃度對反射光譜、樣品對電壓的脈衝響應及反應時間等光電性質之影響，並在偏光顯微鏡下觀察樣品的反應行為，另外亦探討照光時間、照光強度、光起始濃等製程條件對樣品之影響。

依照目前實驗結果可以推論高分子單體濃度較高或照光強度較強的樣品，會造成反射率和穿透率降低，但卻擁有較快的反應時間。

Studies on the Polymer Concentrations effect in the Electro-optic Properties of the Bistable Polymer-stabilized Cholesteric Texture

Student : Yao-De Zeng

Advisor : Dr. Ru-Pin Pan

Department of electrophysics

National Chiao Tung University



We mix nematic liquid crystal with chiral materials and control the concentration to reach cholesteric liquid crystal texture. In order to stable the texture of cell, the cholesteric liquid crystal has been mixed with monomer and polymerized the monomer by UV lamp. After the process of polymerization finished, this cell is called “polymer stabilized cholesteric liquid crystal texture” or PSCT.

In this work, the PSCT cells show bistable property and reflects specific wavelength. Then, we study the polymer concentration effect in the Eletro-optic properties. We have also studied the effects caused by polymerization time, polymerization intensity, and the concentration of photoinitiator.

According to the experimental results, we find that the higher polymer concentration and polymerization intensity used, the less reflectance and transmittance we get , but the response time is much faster.

致謝

碩士生涯一轉眼就過去了，在這兩年中每天都過得很充實。首先要感謝我的指導教授，趙如蘋老師，感謝老師讓我進入到液晶物理實驗室這個大家庭；在碩一時，聽老師上的普物課，讓我又對許多物理內容產生不同的見解，而透過擔任助教的工作，也讓我學習到更多與人相處和解決問題的方法。在碩二時，老師總是對我的實驗給了許多建議，平常也很關心我們學生。

再來要感謝實驗室裡的學長們，雖然很多學長都畢業或是出國進修了，但是阿達、家任學長總是在我實驗遇到困難時幫助我，也分享給我們很多經驗和意見，每次和你們討論完都覺得自己收穫豐盛。再來是孟秋、天昱、小白熊、正彬學長，有你們在讓實驗室變得更加有活力，而且大家的研究領域都不同，也讓我在 meeting 時獲得不同的知識。再來要感謝實驗室同屆的同學，阿假、國豪，我們一起渡過了這兩年的光陰，無論是在課業還是實驗上，我們都一起克服難關，特別是在南投的飯店裡晚上一起趕工做投影片的日子，都將成為我一生中重要的回憶之一。再來要感謝實驗室其它的學長，卓帆、穎哥、阿鈺，雖然平常很少看到你們，不過每次你們回來時總是會分享許多人生的經驗和體悟，以及在外面工作的辛酸，每次都讓我學到許多。這裡要特別感謝的是韋達和惟婧，韋達身為軟板組的組長，雖然已經出國進修了，但是平常我實驗有問題幾乎都是你幫我解決，這本論文能完成有一半是你的功勞；而惟婧平常都幫忙實驗室處理一堆事情，也常常帶吃的來，也是實驗室不可或缺的一員。

最後，當然最感謝的還是我的家人，感謝老爸、老媽能讓我無後顧之憂的唸書，每當我唸書唸累或實驗做不出來時，總是會幫我加油和鼓勵，老哥總是和我分享生活的點點滴滴，有你們的支持是我前進的最大動力。另外，有一個我最感謝的人就是我的奶奶，她雖然在我碩二下學期中時過世了，但她從小就非常照顧我和疼我，也一直希望我以後有很好的成就，所以這本論文的完成我希望能獻給她。

目錄

摘要	ii
Abstract	iii
目錄	v
第一章 緒論	1
第二章 聚合物穩定膽固醇型液晶之背景資料	3
2-1 膽固醇液晶(Cholesteric Liquid Crystal)	3
2-2 聚合物-液晶混合材料之介紹	6
2-2-1 PDLC簡介	6
2-2-2 PSCT元件分類與工作原理	6
2-3 膽固醇液晶不同紋理之轉換機制	8
第三章 實驗方法	10
3-1 使用之材料種類與特性介紹	11
3-2 聚合反應過程	12
3-3 PSCT元件製作	12
3-4 量測方式	16
3-4-1 玻璃空樣品間隙量測	16
3-4-2 照光系統及方法	17
3-4-3 反射光譜及光電性質量測	18
第四章 實驗結果與分析	23
4-1 不同配向機制對PSCT元件之光電特性量測	24
4-2 不同高分子單體濃度對PSCT元件之光電特性量測	26
4-2-1 反射光譜	26
4-2-2 反射率對電壓脈衝(voltage pulse)的響應	27
4-2-3 穿透率對電壓脈衝(voltage pulse)的響應	29
4-2-4 反應時間量測	31
4-3 不同光起始劑濃度之影響	35
4-4 不同照光時間及照光強度之影響	36

4-5 PSCT應用—軟性顯示元件.....	39
第五章 綜合討論	42
第六章 結論與未來展望	44
參考文獻	45



圖目錄

圖(2-1-1) 膽固醇液晶的分子排列示意圖	47
圖(2-1-2) 膽固醇液晶的各種結構	47
圖(2-2-1) PSCT normal mode有無外加電壓之texture轉變	48
圖(2-2-2) PSCT reverse mode有無外加電壓之texture轉變	48
圖(2-3-1) 膽固醇液晶之texture轉換示意圖	49
圖(3-1-1) R-811 的化學結構	50
圖(3-1-2) RM257 的化學結構	50
圖(3-1-3) DMPA 的化學結構	50
圖(3-2-1) PSCT 之光起始聚合過程	51
圖(3-3-1) 封合樣品示意圖	51
圖(3-3-2) 反射式光譜儀系統	52
圖(3-3-3) 液晶樣品之反射頻譜(室溫 25°C)	52
圖(3-4-1) 間隙厚度量測之裝置示意圖	53
圖(3-4-2) 雷射光入射空樣品的路徑示意圖	53
圖(3-4-3) 空樣品間隙厚度量測圖，光強度對旋轉角度作圖	54
圖(3-4-4) UVU型燈管之反射光譜	54
圖(3-4-5) 感測器UVX-36 之光譜靈敏度	55
圖(3-4-6) PSCT元件對電壓脈衝(voltage pulse)的反應之量測裝置	55
圖(3-4-7) PSCT元件對電壓脈衝的反應之量測驅動波型示意圖	56
圖(3-4-8) 元件初始狀態為平面螺旋紋理時，量測反應時間之訊號	56
圖(3-4-9) 元件初始狀態為垂直螺旋紋理時，量測反應時間之訊號	57
圖(3-4-10) PSCT元件對電壓脈衝(voltage pulse)的反應之量測裝置	57
圖(3-4-11) 元件初始狀態為平面螺旋紋理時，量測反應時間之訊號	58

圖(3-4-12) 元件初始狀態為垂直螺旋紋理時，量測反應時間之訊號.....	58
圖(4-1-1) 不同配向條件下的視覺觀察圖	59
圖(4-1-2) 樣品未加電壓前之反射光譜.....	59
圖(4-1-3)-(a) AP樣品外加電壓後之反射光譜.....	60
圖(4-1-3)-(b) VA與無配向之樣品外加方波脈衝關掉後所量得之反射光譜.....	60
圖(4-2-1) 樣品未加電壓前之反射光譜.....	61
圖(4-2-2)-(a) 樣品外加 1kHz,100Vrms方波脈衝關掉後所量得之反射光譜	61
圖(4-2-2)-(b) 樣品外加 1kHz,30Vrms方波脈衝關掉後所量得之反射光譜.....	62
圖(4-2-3) 樣品反射波峰值對高分子濃度圖	62
圖(4-2-4)-(a) 不同濃度之元件，其初始狀態為平面螺旋紋理對電壓脈衝之響應	63
圖(4-2-4)-(b) 不同濃度之元件，其初始狀態為垂直螺旋紋理對電壓脈衝之響應	63
圖(4-2-5)-(a) 不同濃度之元件，其初始狀態為平面螺旋紋理對電壓脈衝之響	64
圖(4-2-5)-(b) 不同高濃度之元件，其初始狀態為垂直螺旋紋理對電壓脈衝之響	64
圖(4-2-6) 在反射式系統下，不同濃度元件為平面螺旋紋理時的Turn-on time...	65
圖(4-2-7) 在反射式系統下，不同濃度元件為平面螺旋紋理時的Turn-off time ..	65
圖(4-2-8) 在反射式系統下，不同濃度元件在平面螺旋紋理時的總反應時間	66
圖(4-2-9) 在反射式系統下，不同濃度元件為垂直螺旋紋理時的Turn-on time...	66
圖(4-2-10) 在反射式系統下，不同濃度元件為垂直螺旋紋理時的Turn-off time	67
圖(4-2-11) 在反射式系統下，不同濃度元件在垂直螺旋紋理時的總反應時間 ..	67
圖(4-2-12) 在穿透式系統下，不同濃度元件為平面螺旋紋理時的Turn-on time.	68
圖(4-2-13) 在穿透式系統下，不同濃度元件為平面螺旋紋理時的Turn-off time	68
圖(4-2-14) 在穿透式系統下，不同濃度元件在平面螺旋紋理時的總反應時間 ..	69
圖(4-2-15) 在穿透式系統下，不同濃度元件為垂直螺旋紋理時的Turn-on time.	69
圖(4-2-16) 在穿透式系統下，不同濃度元件為垂直螺旋紋理時的Turn-off time	70
圖(4-2-17) 在穿透式系統下，不同濃度元件在垂直螺旋紋理時的總反應時間 ..	70

圖(4-2-18) 不同高分子單體濃度的PSCT元件，在初始狀態為平面螺旋紋理下，使用反射式和穿透式系統量測之Turn-on time比較	71
圖(4-2-19) 不同高分子單體濃度的PSCT元件，在初始狀態為平面螺旋紋理下，使用反射式和穿透式系統量測之Turn-off time比較	71
圖(4-2-20) 不同高分子單體濃度的PSCT元件，在初始狀態為平面螺旋紋理下，使用反射式和穿透式系統量測之總反應時間比較	72
圖(4-2-21) 不同高分子單體濃度的PSCT元件，在初始狀態為垂直螺旋紋理下，使用反射式和穿透式系統量測之Turn-on time比較	72
圖(4-2-22) 不同高分子單體濃度的PSCT元件，在初始狀態為垂直螺旋紋理下，使用反射式和穿透式系統量測之Turn-off time比較	73
圖(4-2-23) 不同高分子單體濃度的PSCT元件，在初始狀態為垂直螺旋紋理下，使用反射式和穿透式系統量測之總反應時間比較	73
圖(4-3-1) 不同光起始劑濃度之PSCT元件在未外加電壓前的反射光譜	74
圖(4-3-2) 不同光起始劑濃度之PSCT元件在外加 1kHz，100Vrms的方波脈衝後的反射光譜	74
圖(4-4-1) 不同照光時間的樣品在未加電壓前之反射光譜	75
圖(4-4-2) 不同照光時間的樣品在外加 1kHz，100Vrms的方波脈衝後的反射光譜	75
圖(4-4-3) 在正交偏振片下，不同照光時間樣品的偏光顯微鏡圖	76
圖(4-4-4) 高分子濃度 2.06%時，樣品在未加電壓前之反射光譜	77
圖(4-4-5) 高分子濃度 2.06%時，樣品外加 1kHz，100Vrms方波脈衝後之反射光譜	77
圖(4-4-6) 高分子濃度 2.06%時，在正交偏振片下，不同照光強度樣品的偏光顯微鏡圖	78
圖(4-4-7) 高分子濃度 3.05%時，樣品在未加電壓前之反射光譜	78
圖(4-4-8) 高分子濃度 3.05%時，樣品外加 1kHz，100Vrms方波脈衝後之反射光譜	79

圖(4-4-9) 高分子濃度 3.05%時，在正交偏振片下，不同照光強度樣品的偏光顯微鏡圖	79
圖(4-4-10) 高分子濃度 4.27%時，樣品在未加電壓前之反射光譜	80
圖(4-4-11) 高分子濃度 4.27%時，樣品外加 1kHz，100Vrms方波脈衝後之反射光譜	80
圖(4-4-12) 高分子濃度 4.27%時，在正交偏振片下，不同照光強度樣品的偏光顯微鏡圖	81
圖(4-4-13) 高分子濃度 5.25%時，樣品在未加電壓前之反射光譜	81
圖(4-4-14) 高分子濃度 5.25%時，樣品外加 1kHz，100Vrms方波脈衝後之反射光譜	82
圖(4-4-15) 高分子濃度 5.25%時，在正交偏振片下，不同照光強度樣品的偏光顯微鏡圖	82
圖(4-5-1) (a)PET結構示意圖。(b)實際樣品外觀.....	83
圖(4-5-2) PET基板在跟正交偏振片夾 45° ₁₈₉₆ 所觀察到的conoscopy照片	83
圖(4-5-3) (a)樣品設計示意圖。(b)實際樣品照.....	84
圖(4-5-4) PET樣品灌入液晶後實際照片	84

表目錄

表(3-1-1) MDA-00-3461 之物理特性參數。	85
表(4-1-1) 樣品編號、液晶混合液之調配比例及照光條件	85
表(4-2-1) 液晶混合液編號、調配比例及照光條件	86
表(4-2-2) 在反射式系統下，初始狀態為平面螺旋紋理的不同高分子單體濃度之 PSCT元件，其反應時間量測結果 。	86
表(4-2-3) 在反射式系統下，初始狀態為垂直螺旋紋理的不同高分子單體濃度之 PSCT元件，其反應時間量測結果 。	87
表(4-2-4) 在穿透式系統下，初始狀態為平面螺旋紋理的不同高分子單體濃度之 PSCT元件，其反應時間量測結果 。	87
表(4-2-5) 在穿透式系統下，初始狀態為垂直螺旋紋理的不同高分子單體濃度之 PSCT元件，其反應時間量測結果 。	88
表(4-3-1) 樣品編號、液晶混合液之調配比例及照光條件	88
表(4-4-1) 樣品編號、液晶混合液之調配比例及照光條件	89
表(4-4-2) 樣品編號、液晶混合液之調配比例及照光條件	90
表(4-5-1) PET產品尺寸、性能規格、物理特性、可靠度測試(愷駿公司提供)...	91

第一章 緒論

目前市面上的液晶顯示器大多是以 TFT-LCD(thin film transistor-base liquid crystal display 薄膜電晶體液晶顯示器)為主流，雖然 TFT-LCD 的製程技術已臻成熟，但仍舊有許多值得再研究改進的地方，例如：製程繁瑣、成本較高、光的利用率低、反應時間... 等等。有鑑於本實驗室多年來致力於液晶物理性質的研究經驗，以及創新的研究方向，本論文針對聚合物穩定膽固醇液晶結構(polymer-stabilized Cholesteric Texture 簡稱 PSCT^[1])之物理性質及應用來做討論與研究。



液晶與高分子聚合物的混合材料一直以來都是熱門的研究領域，其中 PSCT 除了可當作光閘元件(Light Shutter^[2,3])，在顯示器的應用上更是具有高對比、廣視角、雙穩態... 等特性，而且不需要使用偏光板就能達成顯示的目的。其中，雙穩態是非常重要的特性，而雙穩態是指在不加電壓時能維持在穩定的狀態，只有在需要換頁面時才需要加電壓驅動，所以近年來電子書、電子紙的面板技術也是利用此特性來達到低耗電、螢幕不閃爍、對比佳... 等優點。因此，本實驗室希望透過研究高分子聚合物與液晶的混合材料，來找到 PSCT 最佳的材料配方與製程條件，並探討其光電性質。在應用方面，我們希望能將在玻璃基板上的配方條件與製程技術轉移到軟性基板上，製作出可撓式的軟性顯示元件^[4,5]。

做完簡單的介紹後，本論文在第二章的部分則會介紹膽固醇液晶

(Cholesteric Liquid Crystal) 以及 PSCT 元件的操作原理與機制，第三章將會說明 PSCT 樣品製作流程，以及實驗系統架設和實驗方法，第四章則會對於實驗結果進行討論與分析，第五章會對本論文之實驗做一個完整的綜合討論，第六章則是做一個總結及未來展望。



第二章 聚合物穩定膽固醇型液晶之背景資料

在本章節裡，首先我們會介紹膽固醇型液晶的相關資料，包括物理性質、結構排列以及當液晶分子在不同配向機制中所呈現的紋理結構。第二部分則會介紹聚合物-液晶混合材料，包含了聚合物分散液晶(Polymer-dispersed liquid crystal 簡稱 PDLC)和聚合物穩定膽固醇液晶結構(polymer-stabilized Cholesteric Texture 簡稱 PSCT)。由於本論文重點在研究 PSCT 的相關性質，因此對於 PSCT 的元件分類以及工作原理都會做詳細的介紹。

2-1 膽固醇液晶(Cholesteric Liquid Crystal)

如果在向列型液晶(Nematic Liquid Crystal)中加入一些旋性材料，則會使的液晶分子呈現「單螺旋」(simple twist)的結構，則我們就將這種具有單螺旋結構的液晶稱之為膽固醇液晶(Cholesteric)^[6,7] 或手性向列型(Chiral Nematic, N^*)液晶相。

雖然膽固醇液晶相和向列型液晶相分子的排列有些不同，但是它們的分子重心都沒有次序性，只是膽固醇液晶相的導軸 n 在空間中並不是恆定的，而是會垂直於某個方向作螺旋性的週期變化，如圖(2-1-1)所示。假如我們取垂直於 n 的螺旋軸方向為 Z 軸，則導軸 n 各方向上的分量可表示為

$$\begin{aligned}
 n_x &= \cos(q_o z + \varphi) \\
 n_y &= \sin(q_o z + \varphi) \\
 n_z &= 0
 \end{aligned} \tag{2-1-1}$$

由圖(2-1-1)中可看出膽固醇液晶的結構沿 Z 軸的方向呈現週期性的變化，所以當導軸 n 沿著 Z 軸旋轉 2π 時，我們就將這一段距離稱之為一個螺距(pitch)。由於 n 和 $-n$ 是不可區分的，所以其週期 L 等於半個螺距，即下列所示：

$$L = \frac{\pi}{q_o} \tag{2-1-2}$$

上式中的 q_o 代表螺旋結構的扭曲率，可用 $q_o = \frac{\partial \theta}{\partial z}$ 表示，其中 θ 為導軸 n 與 x 軸之夾角。若 $q_o > 0$ ，則代表液晶分子為右旋排列， $q_o < 0$ 則液晶分子為左旋排列，如果 $q_o = 0$ 此時 $L \rightarrow \infty$ ，表示液晶分子不再以螺旋結構排列，而是回到跟向列型液晶相一樣的排列方式。

前面提到，如果在向列型液晶中加入手性添加物(Chiral dopants)，會使的液晶螺旋排列成為膽固醇液晶相。若將膽固醇液晶注入到元件(cell)中，則液晶分子會受元件表面的配向狀態以及外加電壓大小的影響，而排列成四種不同的結構，如圖(2-1-2)所示。

當膽固醇液晶加入到表面具有水平配向的空元件時，在無外加電壓的情況下，液晶分子會呈現平面螺旋紋理(planar texture 或稱為 Grandjean texture)排列，如圖(2-1-2)-(a)所示。由圖上可看出液晶分子之螺旋軸垂直於基板，此時元件具

有布拉格反射的特性，會反射相對應波長的光，可用 $\lambda = \bar{n}p$ 表示，式中 λ 代表反射波峰值， n 為平均折射率， p 是膽固醇液晶的螺距，而反射波峰的寬度可用 $\Delta\lambda = \Delta np$ 表示，其中 Δn 是膽固醇液晶的雙折射率。而螺距 p 值會隨著溫度的增加而減^[8]，即 $\frac{dP}{dT} < 0$ ^[9]，且由於 p 值的改變也使得反射波長產生變化。因此我們可以藉由改變 p 的值來調控元件所反射出來的波長，如果反射波峰值落在可見光的範圍內，則我們就可以看見相對應波長的反射光，反之，如果反射波峰值落在紫外或紅外光的區域，那我們看元件就是呈現透明狀。

當外加一電場時，對於 $\Delta\epsilon > 0$ 的液晶分子而言，會傾向於外加電場的方向排列，若外加電場較小，此時膽固醇液晶分子將可能呈現指紋紋理(fingerprint texture)，如圖(2-1-2)-(b)所示，可看出液晶分子之螺旋軸平行於元件基板，不過事實上元件基板對液晶分子所造成的錨定效應(anchoring effect)，會使得液晶分子呈現很多區域(domain)之指紋紋理，如圖(2-1-2)-(c)所示，在元件中各個區域之螺旋軸是沒有固定方向的排列，此狀態就稱為是垂直螺旋紋理(focal conic texture)，此時入射光打到元件中會被散射而呈現不透明的狀態。

若外加電場增大到大於臨界電場，此時膽固醇液晶將變成垂直紋理(homeotropic texture)，如圖(2-1-2)-(d)所示，可以看到液晶分子受到外場影響而垂直基板做排列，並且原有的螺旋結構已經被破壞，此時元件將呈現透明的狀態。

2-2 聚合物-液晶混合材料之介紹

液晶與高分子聚合物的混合材料近十幾年來一直都是熱門的研究領域，尤其當液晶中加入了適當比例的高分子單體並均勻混合後，再經由照光、加熱等聚合反應，將使得液晶結構產生改變，進而影響到元件的光電特性，以下我們將分別對兩種熱門的聚合物—液晶混合材料做介紹。

2-2-1 PDLC簡介

聚合物分散液晶(Polymer-dispersed liquid crystal 簡稱 PDLC)^[10,11]，是指在向列型液晶中加入 20wt%~80wt% 的高分子單體(monomer)，使得液晶以奈米級的顆粒大小分散在擔任載體的聚合物中，並利用電場控制液晶排列方向，使其樣品具有光穿透和光散射兩種不同的光學性質。由於在製作 PDLC 樣品時，基板表面不用做配向處理，其製程較為簡便；另外，在顯示方面，具有操作時不需使用偏光板和檢光板等優點，未來更可應用在電子窗簾和光閘元件上。

2-2-2 PSCT元件分類與工作原理

聚合物穩定膽固醇液晶結構(PSCT)，是指在所配製好的膽固醇液晶中加入低濃度(10wt%以下)的高分子單體(monomer)，均勻混合後再經由照光或加熱等方式使得高分子單體形成聚合物(polymer)，而這些聚合物將有助於穩定膽固醇液晶的區域，使得元件整體的狀態更穩定。影響 PSCT 紹理的因素有(1)膽固醇液晶的螺距長短，(2)元件的表面處理，(3)聚合物的分佈狀態，及(4)外加電場大小。根據以上的條件，可以將 PSCT 分成三種不同的操作模式^[12]：

1. Normal mode

當我們在無做任何表面處理的空 cell 中加入配好的液晶混合液後，再經由 UV 光照射，則混合液中的高分子單體會聚合形成網狀結構，由於在照光的同時外加電場，使得液晶分子處在垂直紋理下，因此高分子單體也會順著液晶分子的方向做聚合反應。反應完成且關掉電壓後，液晶分子會受到聚合物網絡(polymer network)垂直於 cell 基板方向的作用力而呈現垂直螺旋紋理，如圖(2-2-1)-(a)所示。此垂直螺旋區域的大小會受到不同螺距及高分子單體濃度而改變，而對入射光而言，會因為不同區域邊界的折射率不同，而產生強烈的散射現象，此時元件將呈現不透明狀。當外加一電壓 $E > E_c$ 時，液晶分子將全部順著電場方向以垂直紋理排列，如圖(2-2-1)-(b)所示，元件呈現透明狀態。上式中的 E_c 代表臨界電場，可寫成



$$E_c = \frac{2\pi^2}{p_0} \sqrt{\frac{\pi K_{22}}{\Delta\epsilon}} \quad (2-2-1)$$

其中 p_0 代表螺距， K_{22} 代表扭曲彈性係數， $\Delta\epsilon$ 為介電異方性常數。

2. Reverse mode

當我們把液晶混合液注入到兩片具有水平配向(homogeneous alignment)，並以反平行(anti-parallel)夾合的樣品中，然後在無外加電場下使用 UV 光照射，聚合成後聚合物網絡約略平行樣品基板，且因為基板表面有平面配向處理，所以液晶分子會呈現平面螺旋紋理排列，如圖(2-2-2)-(a)所示。此時元件具有

布拉格反射的特性，當入射光打入元件時，會反射特定波長的光，以反射紅外光為例，則入射光打進來我們看元件就會是呈現透明態。當外加適當電場時，液晶分子會受到「電場作用力」與「基板表面的錨定效應」影響而呈現垂直螺旋紋理，如圖(2-2-2)-(b)所示，故元件呈現不透明態。如果持續增大電壓，則愈來愈多液晶分子傾向電場方向排列，最終會呈現垂直紋理，元件將再變成透明態。

3. Color reflective bistable mode

當膽固醇液晶分子的螺距較短(可見或紫外光範圍)時，其中的缺陷(defects)自由能較小，此時介於垂直螺旋紋理和平面螺旋紋理之間有一能量屏障(energy barrier)，能阻擋因熱擾動所造成的紋理轉變，因此在無外加電場且適當的表面配向及聚合物網絡情況下，垂直螺旋紋理與平面螺旋紋理都是穩態，所以這種模式下元件具有「雙穩態」(bistable)的性質。

2-3 膽固醇液晶不同紋理之轉換機制

在前面的段落提到說，膽固醇液晶會因為不同的表面配向和聚合物網絡條件下，呈現不同的紋理，而各個膽固醇結構之間的轉換方式，如圖(2-3-1)所示。假如膽固醇液晶在元件中是呈現平面螺旋紋理排列，這時若外加一小電場到元件，則膽固醇液晶分子就會從原本的平面螺旋紋理轉變為垂直螺旋紋理，此時如果持續加大電場，則液晶分子會傾向於電場方向排列，最後會轉變為垂直紋理，此時若外加電壓迅速取消，則膽固醇液晶會轉變為平面螺旋紋理；若外加電壓緩慢取

消，則會轉變為垂直螺旋紋理，因此，我們可以透過控制外加電壓大小的方式，來決定元件所呈現的紋理，而本論文中所討論 PSCT 元件之雙穩態特性便是以此原理為基礎。



第三章 實驗方法

我們目的是在探討 PSCT 元件雙穩態特性之研究，故元件基板的使用是最主要的因素，我們便對不同配向機制之玻璃基板灌注液晶，觀察其光電特性，然後找到最適合的配向機制來當作之後實驗量測所需的樣品。確定了使用的樣品後，接著就是樣品間隙厚度的量測，因為不同的間隙厚度對反射率、穿透率、操作電壓...等都會有影響，因此準確的量測間隙厚度也是很重要的前置工作。

有了固定厚度的空樣品後，接下來就是顯示元件的靈魂—液晶混合液；我們將膽固醇液晶加入適當比例的手性添加物、高分子單體及光起始劑，均勻混合後就成了實驗所需之液晶混合液。再來我們將調製好的液晶混合液灌入空樣品中，並透過照射 UV 光來進行聚合反應，目的就是要讓混合液中的高分子單體能聚合成為高分子聚合物來穩定整個元件結構。照光聚合的步驟完成後，樣品的製備算是告一段落。

對於 PSCT 元件而言，樣品中鍵結的聚合物網格會對液晶分子排列造成很大的影響，而聚合物網格的形成會跟樣品所添加的高分子單體濃度，和聚合反應時的照光強度、照光時間有關，所以我們分別針對不同高分子單體濃度之樣品，在不同的照光時間和強度下，對其進行反射率、穿透率、反應時間...等光電性質的量測。藉由探討以上這些性質，來改善我們的配方並找到最適合使用的製程條件，並實際應用到顯示元件上。

3-1 使用之材料種類與特性介紹

本論文之 PSCT 所使用到的材料包括向列型液晶[MDA-00-3461]、手性添加物[R-811]、高分子單體[RM257]、光起始劑[DMPA]... 等，其材料特性說明如下。MDA-00-3461:向列型液晶，購買自 Merck，其材料之物理參數如表(3-1-1)所示。R-811:手性添加物，購買自 Merck，其化學結構如圖(3-1-1)所示。手性添加物是一種光學活性(optically active)物質，它將對向列型液晶分子造成螺旋畸變，此能力之大小稱為 Helical Twist Power (HTP) 來表示，定義如下：

$$HTP = \frac{1}{p \times c} \quad (3-1-1)$$

其中: p 為膽固醇液晶之螺距， c 為液晶混合液中手性添加物佔的濃度比例。故 HTP 值的大小將會影響膽固醇液晶分子的螺旋程度，而我們所使用的 R-811 之 HTP 值約為 $11.3 \mu m^{-1}$ (對 $25^\circ C$ 之 MDA-00-3461)。RM257:雙炳烯酸酯，是一種高分子單體，購買自 Merck，其單體分子化學結構如圖(3-1-2)所示，為一種主鏈型桿狀高分子單體，且單體兩端具有活性雙鍵，在室溫下為結晶狀態，在光作用下相鄰的單體分子雙鍵透過光聚合反應，而彼此鍵結形成高分子網絡。DMPA:一種光起始劑(photoinitiator)，購買自 Aldrich，會吸收紫外波段的光分解而產生自由基，其化學結構如圖(3-1-3)所示。

3-2 聚合反應過程

PSCT 系統的聚合過程^[13]包含了三個階段，分別依序為「起始(initiation)」、「傳播(propagation)」以及「終止(termination)」。當紫外光照射到光起始劑時，它會分解產生自由基(free radical)，自由基會和高分子單體反應產生具有自由基的單體，此過程如圖(3-2-1)^[14]所示。在「傳播」的過程中，此具有自由基的單體會和其它未反應的單體進行成長反應，而逐漸形成高分子長鏈。最後，會因為高分子單體耗盡或自由基彼此互相作用，降低了自由基的活性而停止反應。在這整個聚合的過程中，是伴隨著一相分離(phase separation)的過程，即在高分子單體聚合成高分子長鏈同時，與互溶的液晶分子發生相分離而彼此分開。相分離的速度會受到高分子單體之聚合速度影響，在本論文中，即討論在不同聚合速度，例如：改變高分子單體濃度、照光強度大小、照光時間長短等，對 PSCT 樣品光電特性的影響。

3-3 PSCT元件製作

(a) 清洗玻璃

1. 本實驗所使用的玻璃基板為勝華科技提供的 ITO 玻璃，厚度為 1.1mm 並將所要使用的玻璃切割為 1.5cm×2cm 的大小，並且使用吹球將玻璃表面的微小灰塵吹乾淨。

2. 將玻璃放入燒杯內，並加入中性玻璃清潔劑，再加水蓋過玻璃，然後將燒杯放入超音波震盪器中震盪清洗 5 分鐘。

3. 將玻璃自燒杯拿出，並用清水將玻璃表面的清潔劑沖洗乾淨後放入另一個燒杯中，再加入丙酮(Acetone)使之蓋過玻璃，然後將燒杯放入超音波震盪器中震盪清洗 5 分鐘，震盪結束後將丙酮回收避免污染。

4. 將玻璃放入另一個燒杯，並加入甲醇(Methanol)至蓋過玻璃，然後將燒杯放入超音波震盪器中震盪清洗 5 分鐘，結束後將甲醇回收以免污染。

5. 將玻璃放入另一個燒杯中，並加入去離子水(DI Water)至蓋過玻璃，再將燒杯放入超音波震盪器中震盪清洗 5 分鐘。

6. 將玻璃拿出並用氮氣吹乾玻璃表面，然後將玻璃放入烤箱中烤乾水氣(烤箱溫度設定 100°C，烤乾時間為半小時)，冷卻備用。(清洗完成的玻璃必須在一天內完成配向劑的塗佈，以免玻璃被污染，配向劑無法附著)

(b) 鍍配向膜

1. 本實驗室所使用的配向劑是 Nissan SE-130B。使用前需將配向劑從冰箱拿出來，待其回復到室溫再開始用。

2. 將清洗完的玻璃放在旋轉塗佈機(Spin-coater)上，並用吹球將玻璃表面上的小灰塵吹乾淨，然後使用微量滴管吸取數滴配向劑並滴在玻璃表面上，並啟動旋轉塗佈機(條件設定:第一步 2000 rpm(1 sec)、2000 pm(15sec)，第二步 4000 rpm(1 sec)、4000 rpm(25 sec))。在塗佈過程中，

空氣溼度控在 42% R.H 以下。

3. 將塗佈好配向劑的玻璃從旋轉塗佈機中取出，並放在加熱平台上軟烤，

溫度設定 80°C，時間為 5 分鐘，目的是使配向劑中的溶劑揮發。

4. 將軟烤完的玻璃放入已經預熱 170°C 的烤箱中硬烤，時間為 1 小時。

5. 硬烤完成後，取出玻璃並放入培養皿中冷卻以備用。

(c) 磨刷配向膜

1. 將鍍好配向膜的玻璃基板放在磨刷機的平移台上，並使用吹球將玻璃表

面吹乾淨。

2. 啟動磨刷機(設定滾輪轉速:900rpm，順時針方向旋轉)，透過絨布磨刷

的方式讓玻璃表的配向膜產生配向效果。



(d) 封裝液晶盒

圖(3-3-1)為封合樣品的示意圖，首先取出兩片已配向好的玻璃基板，並

先將一片玻璃以磨刷面朝上平放在平台上，再取出我們事先已切割好的

間隙物(Mylar)並放置在玻璃表面上，再將另一片玻璃磨刷面朝內以反

平行(Anti-parallel)的方式夾合，並將樣品盒三邊以 AB 膠封合，預留一

邊當做是灌注液晶之缺口，待 AB 膠凝固之後，玻璃空元件即製作完成。

在前面幾節有提到說，PSCT 元件具有布拉格反射特性時，其反射波峰會跟膽固醇液晶的螺距有關，而螺距又跟 HTP 值的大小和手性添加物的濃度多寡有關，由公式 3-1-1 可知如果要求得螺距則必需先知道 HTP 的值和手性添加物的濃度比例，由於手性添加物的濃度比例可自行控制，剩下的工作就是如何求得 HTP 值，以下將介紹我們如何求出 HTP 值。

1. 將 29.96wt%的手性添加物(R-811)和 4.97wt%的高分子單體(RM257)及 0.77%的光起始劑(DMPA)放入棕色瓶中，然後再將 64.5wt%的向列型液晶(MDA-00-3461)加入棕瓶(總重量約 0.3 克)。
2. 將調好的液晶混合液放到試管震盪混合器上，震盪直到粉末與液晶完全混合。
3. 將均勻混合的液晶混合液加熱至各向同性(isotropic)態，並使用微量滴管吸取少量混合液，利用真空注入法的方式將混合液灌入玻璃空樣品內，放置在室溫下使其自然回溫，並靜置約 12 個小時。最後將已灌入液晶混合物之樣品放在 UV 燈(315~400nm)下照光，照光強度: $1\text{mW}/\text{c m}^2$ 。此時高分子單體開始進行光聚合作用，形成之聚合物枝條會順著液晶分子之排列方向生長，聚合完成後將樣品取出 PSCT 元件(此時液晶分子呈現平面螺旋紋理)即製作完成。
4. 將聚合完之樣品放在反射式光譜儀系統，如圖(3-3-2)所示，進行反射光譜的量測(室溫 25°C)。結果如圖(3-3-3)所示，可以看到大約在 481nm 波段有一明

顯的反射波峰，因此利用布拉格反射公式 $\lambda = \bar{n}p$ 可算出膽固醇液晶的螺距，

然後再帶入公式 3-1-1 中即可求出 HTP 值。我們計算結果，R-811 在室溫 25°C

下 HTP 約為 11.3，以後將以此為依據來調配反射不同波段的液晶混合物。

3-4 量測方式

本論文對 PSCT 元件之光電特性量測主要有以下類：

3-4-1 玻璃空樣品間隙量測

對於 PSCT 元件而言，間隙厚度的大小會影響元件的反射率、穿透率、操作電壓...等，因此我們必須準確地量出間隙厚度。實驗裝置如圖(3-4-1)所示，實驗原理如下^[15]：

入射的雷射光經過空樣品後，形成部分反射及部分透射，假設兩道光分別為 Ray 1 與 Ray 2，由圖(3-4-2)可知 Ray 1 為一次穿透光與 Ray 2 為兩次反射穿透光相干涉，本量測方式就是利用改變 Ray 1 與 Ray 2 的入射角度 θ 來量測干涉條紋的強度變化，進而推導出液晶空樣品之間隙厚度。由圖(3-4-1)可知，Ray 1 和 Ray 2 的光程差為：

$$\begin{aligned}\delta &= 2 \cdot \frac{d}{\cos \theta} - 2 \cdot \frac{d}{\cos \theta} \cdot \sin^2 \theta \\ &= 2d \left(\frac{1}{\cos \theta} - \frac{\sin^2 \theta}{\cos \theta} \right) \\ &= 2d \left(\frac{\cos^2 \theta}{\cos} \right) \\ &= 2d \cos \theta\end{aligned}$$

當 Ray 1 與 Ray 2 的光程差為波長的整數倍時，產生建設性干涉，若入射角 θ_1 與 θ_2 均有穿透極大值則：

$$\begin{aligned}2d \cos \theta_1 &= m\lambda \\2d \cos \theta_2 &= (m+n)\lambda, \text{其中 } m, n \text{ 均為整數} \\(m+n)\lambda - m\lambda &= 2d \cos \theta_2 - 2d \cos \theta_1 \\d &= \frac{n\lambda}{2(\cos \theta_2 - \cos \theta_1)}\end{aligned}$$

利用上式， θ_1 與 θ_2 為兩極大值的角度， n 為 θ_1 與 θ_2 間的極小值個數，由此即可算出樣品的間隙厚度。圖(3-4-3)為雷射光入射空樣品因干涉而光強度產生週期性改變，橫軸為旋轉的角度，縱軸為光強度，圖上兩個極大值的角度中所包含的極小值個數就是我們的 n 值。

3-4-2 照光系統及方法



在製作完 PSCT 樣品後，必須將樣品拿去照光，讓加入樣品中的高分子單體能夠聚合成高分子聚合物，來讓我們的元件更加穩定。本實驗所使用的光源是 UVU 型燈管(315~400nm)，最大功率約為 5 mW/cm^2 ，圖(3-4-4)為 UVU 型燈管的反射光譜，在約 365nm 波段的光強度有極大值。樣品照光步驟如下：先打開 UV 燈開關並暖機約 30 分鐘，再來使用光強度檢測器(UVX Radiometer, UVP)並接上感測器(UVX-36)量測實驗所需之光強度並調整其距離。最後將樣品置於 UV 燈下方合適距離處即開始進行光聚合。圖(3-4-5)為感測器之光譜，可以看到在 365nm 附近有極大的靈敏度，確保我們在量測 UV 光強的精準度。

3-4-3 反射光譜及光電性質量測

(a) 反射光譜量測，儀器裝置如圖(3-1-1)所示。使用的光源是鎢絲燈(波長涵蓋範圍:360~850nm)，出來的光會連接到我們的光纖系統，從圖上可看到在周圍的六根小光纖是負責收集光源的光並傳遞至另一端的出光口，而中間的那根光纖則是收集從樣品反射回來的光(接收角為24.8°)，然後再傳回光譜儀(Ocean Optics USB2000)，連結電腦以記錄數據。

(b) PSCT元件對電壓脈衝(voltage pulse)的響應及反應時間量測，儀器裝置如圖(3-4-6)所示。對於PSCT元件而言，雙穩態性質的研究是我們這次的實驗重點，因此我們希望藉由量測其電壓脈衝之反應，進而了解在不同電壓脈衝下所對應到元件之紋理間的轉換，以便日後設計出合適的驅動方式(drive schemes)。圖中所示，入射光源為He-Ne Laser(632.8nm)，光往前進打到反射鏡，反射光再打到我們PSCT元件，由於我們將膽固醇液晶的螺距調整在紅光範圍，所以元件在平面螺旋紋理時會反射相對應波段的光，此時我們將元件連接一訊號產生器(Function Generator, HP33120A)，並由電腦程式控制輸入的外加電壓脈衝，最後再由光檢測器(Detector)接收由元件反射出來的光，並連結電腦以記錄數據。圖(3-4-7)為量測驅動波型之示意圖^[16]，圖中上半部為外加的驅動波形，下半部為元件相對應之反射率的變化。圖(a)所示，我們要讓元件初始狀態都呈現平面螺旋紋理，因此外加驅動脈衝電壓(V_a)之前，必需

先加一個足夠高的重置脈衝電壓($V_{reset} = 100V$)，而脈衝電壓的寬度和驅動脈衝與重置脈衝電壓的時間間距，則會因為元件設計不同而有所調變，使其在施加脈衝電壓的過程中可以轉成垂直紋理，此時元件相對應之反射率為最低，當脈衝結束，液晶分子就回轉回平面螺旋紋理，反射率上升至穩定，然後再加上驅動脈衝電壓(V_a)，脈衝結束，當反射光的強度穩定後即為我們的量測點(視不同元件之反應時間而定)。

若初始狀態為垂直螺旋紋理，如圖(3-4-7)-(b)所示，則需在外加驅動脈衝電壓(V_a)之前，先加上一重置脈衝電壓($V_{H-reset} = 100V$)，使其在脈衝期間能轉為垂直紋理，接著施加一適當低的重置電壓($V_{L-reset} = 40V$)，則元件的初始狀態就會是垂直螺旋紋理，且在取消外加電壓後，仍然是保持垂直螺旋紋理。接著加上驅動脈電壓(V_a)然後取消，等到反射光強度穩定後即為我們的量測點。

PSCT 元件之反應時間(response time)的量測，儀器裝置使用跟量測脈衝電壓同一套系統，如圖(3-4-6)，只是我們在光檢測器後連接一示波器(Oscilloscope)以擷取波型。

當量測反應時間時，由電腦程式控制訊號產生器輸出一脈衝電壓去驅動我們的元件，同時也送出一觸發脈衝去啟動示波器來讀取光檢測器所接收到的訊號，此訊號再經由程式之計算即可得到元件之反應時間。

圖(3-4-8)為元件初始狀態為平面螺旋紋理時量測反應時間之訊號示意

圖，可以看到圖中(a)為訊號產生器輸出至元件的外加電壓波型($V_a=100V$)，(b)為光檢測器所接收到元件響應之反射訊號。圖中當外加的脈衝訊號通過元件時，原本呈現平面螺旋紋理的液晶分子會開始轉變成垂直紋理排列，可以看到反射光強度開始下降，一直到液晶分子全部變成垂直紋理排列時，反射光強度會降至最低，而光強度由 90%降低至 10%(平面螺旋紋理轉至垂直紋理)所需之時間定義為 Turn-on time。脈衝電壓結束後，液晶分子恢復成平面螺旋紋理排列，因此反射光強度開始增加，而光強度由 10%上升至 90%(垂直紋理轉回平面螺旋紋理)所需之時間定義為 Turn-off time，總反應時間為 Turn-on time 和 Turn-off time 相加。



圖(3-4-9) 為元件初始狀態為垂直螺旋紋理時量測反應時間之訊號示意圖，圖中(a)為訊號產生器輸出至元件的外加電壓波型，(b)為光檢測器所接收到元件響應之反射訊號。圖中在較高之電壓脈衝(100Vrms)通過期間，元件完全轉向垂直紋理，然後緊接著較低的電壓脈衝(30Vrms)通過後，元件轉回垂直螺旋紋理。我們一樣定義光強度從 90%降低至 10%(垂直螺旋紋理轉至垂直紋理)所需之時間定義為 Turn-on time，而光強度由 10%上升至 90%(低電壓脈衝取消後轉回垂直螺旋紋理)所需之時間定義為 Turn-off time，總反應時間為 Turn-on time 和 Turn-off time 相加。

(c) PSCT 元件穿透率對電壓脈衝(voltage pulse)的響應及反應時間量測，儀器裝置如圖(3-4-10)所示。使用的光源是綠光雷射(532nm)，由光源發射出來的光經過一偏振片後，行進光的偏振方向會垂直於桌面，然後再往前打到玻璃，這時反射光會被第一個光檢測器接收到來當作參考(reference)訊號，穿透光則往前進經過 PSCT 樣品後被第二個光檢測器接收，並連結電腦以記錄數據，在計算時，我們將第二個檢測器所量得之訊號除上第一個檢測器所量得之參考訊號，所得之值即為實際之光強度，量測方式則和反射式系統的量測方式一樣。

PSCT 元件之反應時間(response time)的量測，儀器裝置如圖(3-4-10)

所示，我們一樣在光檢測器後連接一示波器以擷取波型，量測方式則跟反射式系統量測反應時間的方式一樣。圖(3-4-11)為元件初始狀態為平面螺旋紋理時量測反應時間之訊號示意圖，(a)為訊號產生器輸出至元件的外

加電壓波型($V_a=100V$)，(b)為光檢測器所接收到元件響應之穿透訊號。當外加的脈衝訊號通過元件時，原本呈現平面螺旋紋理的液晶分子會開始轉變成垂直紋理排列，可以看到穿透光強度開始上升，一直到液晶分子全部變成垂直紋理排列時，穿透光強度升至最高，而光強度由 10% 上升至 90%(平面螺旋紋理轉向垂直紋理)所需之時間定義為 Turn-on time。脈衝電壓結束後，液晶分子恢復成平面螺旋紋理排列，因此穿透光強度開始增加，而光強度由 90% 下降至 10%(垂直紋理轉回平面螺旋紋理)所需之時間

定義為 Turn-off time，總反應時間為 Turn-on time 和 Turn-off time 相加。

圖(3-4-12)為元件初始狀態為垂直螺旋紋理時量測反應時間之訊號示意圖，圖中(a)為訊號產生器輸出至元件的外加電壓波型，(b)為光檢測器所接收到元件響應之反射訊號。圖中在較高之電壓脈衝(100Vrms)通過期間，元件完全轉向垂直紋理，然後緊接著較低的電壓脈衝(30Vrms)通過後，元件轉回垂直螺旋紋理。我們一樣定義光強度從 90%降低至 10%(垂直螺旋紋理轉至垂直紋理)所需之時間定義為 Turn-on time，而光強度由 10%上升至 90%(低電壓脈衝取消後轉回垂直螺旋紋理)所需之時間定義為 Turn-off time，總反應時間為 Turn-on time 和 Turn-off time 相加。



第四章 實驗結果與分析

在本章節中，我們將對本論文之實驗結果進行討論與分析。第一部分會針對不同配向機制的 PSCT 元件在灌入液晶後，從肉眼觀察及反射光譜量測之結果，然後在外加不同大小的方波脈衝後，其反射光譜的變化。在第二部分，我們改變了液晶混合液中高分子單體的濃度比例，灌入樣品並製作成元件後，量測其加電壓前後反射光譜的變化，而在一開始也提到過，PSCT 元件的雙穩態性質是很重要的部分，所以接下來我們對於不同高分子單體濃度的樣品，外加不同大小脈衝電壓並觀察其反射率和穿透率的變化，藉由此觀察便可得知元件在不同濃度的條件下，隨著外加電壓的改變其紋理的變化為何，也可印證雙穩態的變換原理。反應時間在顯示元件中也是很重要的因素，所以我們也將元件去做反應時間的量測。

實際上，影響 PSCT 元件的因素除了混合液中的高分子單體濃度外，還有光起始劑濃度，另外在聚合時，不同的照光時間跟照光強度都會影響聚合反應，所以在這部分我們針對不同光起始劑濃度、不同照光時間和強度之樣品，量測其反射光譜以及在偏光顯微鏡下所看到的紋理圖。最後則是應用的部分，我們嘗試將現有的製程技術轉移到軟性基板上，也對軟性基板材料的性質做了些探討，期望可以製作出可撓式的液晶顯示元件。

4-1 不同配向機制對PSCT元件之光電特性量測

對於 PSCT 元件而言，配向機制的不同會對液晶分子在元件中的排列造成很大的影響，所以在本實驗中我們將探討不同的配向機制對 PSCT 光電特性的影響。由於樣品的厚度和均勻度都會對我們的量測造成影響，所以我們實驗室自己製作的 AP 樣品只用在測試液晶混合液的比例調配，以及反射波段的觀察等。爾後實驗所需之空樣品，我們則向勝華公司購買了幾種不同配向機制的玻璃空樣品，在這裡我們使用的是厚度 $6\mu\text{m}$ 的反平行(AP)、垂直配向(VA)及 $7.5\mu\text{m}$ 的無配向之空樣品，在灌入液晶之前，我們使用 3-4 所介紹過之量測間隙厚度的方法來確認我們所使用的樣品厚度並記錄。

我們在各種不同配向機制的空樣品中，灌入已配製好的液晶混合物(樣品製備條件請參考表 4-1-1)，經照光聚合反應後，將樣品拿去進行反射光譜的量測，以反射率 95% 之銀鏡當作 Reference。然後我們將量完的樣品外加 $1\text{kHz}, 100\text{Vrms}$ 之方波脈衝電壓，再拿去量測反射光譜觀察其反射率之變化。

圖(4-1-1)為肉眼觀察所得(樣品背後放黑色絨布當吸收層)，可以看到 AP 樣品都呈現明顯的亮態，因為此樣品是經過有水平配向處理，所以液晶分子呈現平面螺旋紋理排列。而 VA 樣品是做垂直配向處理，所以液晶分子並非呈現平面螺旋紋理，而是比較類似垂直螺旋紋理，打到樣品的光散射後會被樣品背後的黑色吸收層吸收，因此外觀看起來是呈現暗態。對於無配向的樣品言，液晶分子也並非完全的平面螺旋紋理排列，故看起來雖有稍微的亮度，但整體來說還是偏暗。

圖(4-1-2)為未加電壓前反射光譜所量測之結果，從圖中可以明確看到 AP 樣品具有明顯的反射波段，反射波峰約在 515.7nm 處，而 VA 和無配向之樣品(E01)皆無反射波段出現。圖(4-1-3)為外加 1kHz 的方波脈衝電壓後所量到的反射光譜，可以看到圖(a)當外加 100Vrms 的脈衝電壓後 AP 樣品仍然有明顯的反射波段，但是反射率從原本約 45% 降至 20% 左右，這是因為當液晶混合物中的高分子單體經聚合反應形成高分子聚合物後，聚合物網絡會造成液晶分子螺旋軸紊亂而形成區塊的缺陷^[17]。當外加 30Vrms 的脈衝電壓後，液晶分子轉成垂直螺旋紋理排列，會將入射光散射掉，因此反射率降到約只剩 7% 左右。圖(b)中 VA 和無配向之樣品(E01)無論是外加 100Vrms 還是 30Vrms 的脈衝電壓，都不具有反射特性。



從以上的結果我們可以知道，當我們使用 AP 樣品時，PSCT 元件具有明顯的反射特性且具備雙穩態之性質，因此，在接下來的實驗中我們都是使用 AP 樣品來當作元件，並探討影響 PSCT 元件之光電特性的因素。

4-2 不同高分子單體濃度對PSCT元件之光電特性量測

4-2-1 反射光譜

我們針對不同高分子單體濃度之樣品(製備條件請參考表 4-2-1)，在未加電壓之前進行反射光譜的量測，結果如圖(4-2-1)所示。圖中可以看到在未外加電壓之前，各個不同濃度之樣品都是處在平面螺旋紋理，且反射波峰值的大小都差不多，只是在位置上有所偏移，主因是不同樣品中的手性添加物(Chiral dopants)濃度有些許不同，進而影響了峰值的位置(參考公式 3-1-1 及布拉格反射條件)。圖(4-2-2)-(a)為外加 1kHz，100Vrms 之方波脈衝後所量得之反射光譜，可以看到高分子濃度只有 1% 的樣品在加完電壓脈衝後，反射率仍舊和原來差不多，表示元件仍保有完整的平面螺旋結構。隨著高分子濃度的增加，反射率逐漸下降，這是因為當高分子單體愈來愈多時，聚合形成之聚合物網絡會愈強，所造成液晶分子螺旋軸紊亂的區域也會愈大，所以只有少部分沒被聚合物網絡支配到的區域，其液晶分子能轉回平面螺旋紋理。可以看到約 6% 時，反射率降至最低，表示元件已幾乎被聚合物網絡所支配。

圖(4-2-2)-(b)為外加 1kHz，30Vrms 之方波脈衝後所量得之反射光譜，可以看到無論高分子單體濃度為何，反射率都是大約只有 10% 左右，表示此時元件呈現垂直螺旋紋理，入射光會被散射掉並被背景的黑幕吸收。我們從光譜上取其反射波峰值並對高分子單體濃度作圖，如圖(4-2-3)所示，藍色線代表外加 100 Vrms 脈衝關掉後量到的反射波峰，紅色線則是外加 30Vrms 脈衝關掉後量得之反射波

峰，可以看到在高分子濃度只有 1% 時，元件擁有最高的對比度，隨著濃度增加，對比度愈來愈低，而當濃度超過 2.5% 時下降的趨勢漸緩，到 6% 時，藍色線跟紅色線幾乎重疊，此時元件已失去雙穩態之特性。

4-2-2 反射率對電壓脈衝(voltage pulse)的響應

量測不同高分子濃度之 PSCT 元件對電壓脈衝的反應，元件製備條件請參考表 4-2-1。其量測結果如圖(4-2-4)所示^[18]，圖(4-2-4)-(a)為元件初始狀態為平面螺旋紋理對電壓脈衝之響應，縱軸是取消電壓脈衝後所量到之反射率(量測點根據不同元件的反應時間而定)，橫軸是脈衝電壓的振幅，外加電壓脈衝的驅動方式請參考 3-4-3 節。可以看到當高分子濃度只有 1%，在驅動電壓低於 10V 時，元件保持在平面螺旋紋理，反射率仍為最大值，當電壓大於 10V 且逐漸增加，則有愈來愈多的區域轉成垂直螺旋紋理，因而反射率降低。當電壓在 30V 和 35V 之間時，則完全轉為垂直螺旋紋理，其反射率降至最低，且在取消電壓後仍維持垂直螺旋紋理。當電壓大於 35V，則有些區域在脈衝過程中轉為垂直紋理，脈衝取消後便轉回平面螺旋紋理；而有些區域則在脈衝過程中轉為垂直螺旋紋理，取消後仍維持其狀態。隨著脈衝電壓增加，在取消脈衝後轉回平面螺旋紋理的區域愈來愈多，因此反射率跟著增加。當電壓超過 40V，則在脈衝過程中完全轉為垂直紋理，脈衝取消後便轉回平面螺旋紋理，其反射率再次回到最大值。

當高分子濃度約 2% 且電壓脈衝低於 10V 時，元件仍是保持平面螺旋紋理，但反射率最大值卻下降了，原因就如同前一章節說到，高分子單體聚合形成之聚

合物網絡，會造成液晶分子螺旋軸紊亂。當電壓脈衝超過 10V，液晶分子開始轉向垂直螺旋紋理，在 15V 和 35V 之間，則完全轉為垂直螺旋紋理，因而反射率最低，可以發現轉為垂直螺旋紋理的電壓範圍變廣了，我們推測是由於高分子單體濃度增加後，其聚合物網絡所之配到的區域變大，其區域之狀態也變得更加穩定，使得在轉為垂直螺旋紋理後能維持更久，因而電壓範圍變廣。當電壓超過 45V 時，脈衝取消後便轉回平面螺旋紋理，其反射率再次回到最大值，但由於受到高分子單體濃度增加的影響，完全轉回平面螺旋紋理之電壓也比濃度 1% 時還來的高。

當濃度增為 3% 時，可以看到其曲線趨勢和 2% 時差不多，只是反射率又降得更低，而當濃度大於 3% 時，由於聚合物網絡之配的區域已佔據大部分，所以在平面螺旋紋理時的反射率大小都差不多，且平面螺旋紋理和垂直螺旋紋理愈來愈難以區別，尤其在濃度 6% 時，已幾乎無法辨別出這兩種狀態。在這部分的實驗結果，對照 4-2-1 節反射光譜所量測的結果發現是一致的。

圖(4-2-4)-(b)為初始狀態為垂直螺旋紋理的反應。對於高分子單體濃度只有 1% 的元件而言，在電壓脈衝低於 35V 時，都維持垂直螺旋紋理，反射率為最小值。當電壓高於 35V 時，隨著電壓增加，則愈來愈多區域轉為平面螺旋紋理，反射率也跟著增加。當電壓增加超過 40V，則在取消脈衝後，將全部轉回平面螺旋紋理，反射率又回到最大值。

當濃度為 2%時，在電壓脈衝低於 35V 都維持垂直螺旋紋理，35V~45V 之間則逐漸轉向平面螺旋紋理，當電壓增加超過 45V，則在取消脈衝後大部分區域轉回平面螺旋結構(沒被聚合物網絡之配到的區域)。我們可以發現，無論元件的初始狀態為何，對於濃度 1%的樣品而言，若外加電壓脈衝為 35V 時，則驅動液晶為垂直螺旋紋理，若加電壓脈衝為 40V 時，則驅動液晶為平面螺旋紋理，而且只要我們找到不同濃度之樣品，個別的紋理之間的轉換電壓，那這種操作模式就適用於各種不同濃度之元件。

4-2-3 穿透率對電壓脈衝(voltage pulse)的響應

由於我們所製備之 PSCT 元件是調整在反射紅光附近的波段，因此對於入射光為綠光來說，應該是會穿透的，所以我們在穿透式系統下(參考圖 3-4-9)，量測不同高分子濃度之 PSCT 元件對電壓脈衝的反應，元件製備條件請參考表 4-2-1。量測結果如圖(4-2-5)所示，圖(4-2-5)-(a)為元件初始狀態為平面螺旋紋理對電壓脈衝之響應，縱軸是取消電壓脈衝後所量到之穿射率(量測點根據不同元件的反應時間而定)，橫軸是脈衝電壓的振幅。對於濃度 1%的元件而言，在驅動電壓低於 10V 時，元件保持在平面螺旋紋理，穿透率仍為最大值，當電壓大於 10V 且逐漸增加，則有愈來愈多的區域轉成垂直螺旋紋理，因而穿透率降低。當電壓在 30V 和 35V 之間時，則完全轉為垂直螺旋紋理，其穿透率降至最低，且在取消電壓後仍維持垂直螺旋紋理。當電壓大於 35V，則有些區域在脈衝過程中轉為垂直紋理，脈衝取消後便轉回平面螺旋紋理；而有些區

域則在脈衝過程中轉為垂直螺旋紋理，取消後仍維持其狀態。隨著脈衝電壓增加，在取消脈衝後轉回平面螺旋紋理的區域愈來愈多，因此穿透率跟著增加。當電壓超過 40V，則在脈衝過程中完全轉為垂直紋理，脈衝取消後便轉回平面螺旋紋理，其穿透率再次回到最大值。我們發現使用穿透式系統下所量測的實驗結果，和 4-2-2 節中使用反射式系統所量到的結果，幾乎一致，而且對於不同濃度之樣品結果仍然是相當吻合。

圖(4-2-5)-(b)為初始狀態為垂直螺旋紋理的反應。對於高分子單體濃度只有 1%的元件而言，在電壓脈衝低於 35V 時，都維持垂直螺旋紋理，穿透率為最小值。當電壓高於 35V 時，隨著電壓增加，則愈來愈多區域轉為平面螺旋紋理，穿透率也跟著增加。當電壓增加超過 40V，則在取消脈衝後，將全部轉回平面螺旋紋理，穿透率又回到最大值。對照在反射式系統下的量測結果，發現仍然是相當一致。

由以上的討論及 4-2-3 節的實驗結果，我們得知無論元件的初始狀態為何，其反射率及穿透率對電壓脈衝的反應行為都是一致的，這也證實了我們預期元件在穿透式量測下所擁有的轉換機制，不過，雖然在對電壓脈衝響應這方面反射式和穿透式量測結果一致，但在元件的反應時間方面還是有所差別，這部分我們會在 4-2-4 節中做詳細的討論。

4-2-4 反應時間量測

反應時間在顯示器應用中扮演重要的角色，反應時間越短表示顯示器越不容易留下殘像，因此反應時間越短越好。對於我們所使用的 PSCT 元件來說，高分子單體添加的多寡對液晶紋理之間的轉換速度有很大的影響，更是在量測對電壓脈衝響應時的重要指標，因此在這一節裡，我們將對不同高分子單體濃度之元件在反射式與穿透式系統下進行反應時間的量測，元件製備條件請參考表 4-2-1。

根據 3-4-3 節中在反射式系統下量測反應時間的方法，並計算外加電壓脈衝時，反射率從 90%下降至 10%的時間(Turn-on time)，以及脈衝取消時，反射率從 10%上升至 90%的時間(Turn-off time)，最後再將其相加就是全部的反應時間，我們將各個元件之反應時間整理在表 4-2-2，並分別對不同濃度作圖在圖(4-2-6)、(4-2-7)、(4-2-8)。可以看到，不同濃度之元件其 Turn-on time 都差不多，差距只有數個毫秒，表示我們所加的電壓脈衝足夠大來抵抗聚合物網絡對液晶分子的影響。

Turn-off time 方面，濃度 1%和 2%的元件分別約為 31.1 秒、37.8 秒，3%和 4%的元件分別約為 0.18 秒、0.11 秒，5%和 6%的元件則約為 0.037 秒、0.012 秒。可以發現當濃度只有 1%和 2%時，聚合物網絡之支配的區域比較少，沒被支配到的區域比較多，因此較多的液晶分子要從垂直紋理轉回平面螺旋紋理，造成 Turn-off time 較長。當濃度增加時，聚合物網絡支配的區域變多，剩下區域之液晶分子由垂直紋理轉回平面螺旋紋的時間就變得比較短，所以對於濃度 3%和 4%

的元件來說，Turn-off time 明顯的變短。若濃度持續增加到 5%和 6%時，此時大部分的區域都被聚合物網絡所支配，剩餘極少數區域之液晶轉回平面螺旋紋理，因此 Turn-off time 變得非常短。從圖(4-2-8)-(a)我們可以看到，總反應時間幾乎是由 Turn-off time 所控制，在 2%和 3%之間明顯有個落差；圖(4-2-8)-(b)顯示出濃度大於 3%時，總反應時間下降的趨勢。從以上討論結果可以知道，高分子單體的濃度多寡確實會明顯的影響 PSCT 元件的反應時間。

當元件初始狀態為垂直螺旋紋理時，根據 3-4-3 節中在反射式系統下量測反應時間的方法，實際所量得之結果。我們將各元件反應時間整理在表 4-2-3，並分別對不同濃度作圖在圖(4-2-9)、(4-2-10)、(4-2-11)。可以看到，對於 Turn-on time 來說，不同濃度的元件都差不多，而在 Turn-off time 方面，當濃度小於 3%時，隨著濃度的增加 Turn-off time 有明顯下降的趨勢，我們推測是由於當濃度較低時，聚合物網絡支配到的區域外少，因此較多的液晶分子要轉到垂直紋理而造成 Turn-off time 變長。當濃度大於 3%時，發現 Turn-off time 並沒有很明顯的變化，直到增加到 5%~6%時，Turn-off time 才明顯又縮短。以上的結果對照元件在初始狀態為平面螺旋紋理時的量測結果，我們可以發現，無論元件的初始狀態為何，對於 Turn-on time 沒有太大的影響，而 Turn-off time 會隨著濃度增加而下降的趨勢也都是相似的。

當元件初始狀態為平面螺旋紋理時，根據 3-4-3 節中在穿透式系統下量測反應時間的方法，實際所量得之結果，並計算元件從平面螺旋紋理轉到垂直紋理的

時間(Turn-on time)，以及從垂直紋理轉回平面螺旋紋理的時間(Turn-off time)，最後我們將總反應時間(Total response time)加起來並整理在表(4-2-4)，且分別對不同濃度作圖在圖(4-2-12)、(4-2-13)、(4-2-14)。可以看到在 Turn-on time 方面，不同濃度元件都差不多；在 Turn-off time 方面，濃度 1% 和 2% 的元件擁有比較長的 Turn-off time，原因跟之前推測的一樣，應是聚合物網絡支配較少的區域，因而大部分的液晶分子會轉回平面螺旋紋理，造成 Turn-off time 較長。當濃度 3% 時，Turn-off time 明顯的變短，且隨著濃度增加不再有明顯的變化。

當元件初始狀態為垂直螺旋紋理時，根據 3-4-3 節中在穿透式系統下量測反應時間的方法，實際所量得之結果，並計算元件從垂直螺旋紋理轉到垂直紋理的時間(Turn-on time)，以及外加電壓脈衝取消後轉回垂直螺旋紋理的時間(Turn-off time)，最後我們將總反應時間(Total response time)加起來並整理在表(4-2-5)，且分別對不同濃度作圖在圖(4-2-15)、(4-2-16)、(4-2-17)。可以看到各元件的 Turn-on time 依然沒有太大差別，在 Turn-off time 方面，濃度 1% 和 2% 仍然擁有比較長的 Turn-off time，3% 時 Turn-off time 明顯的變短，且濃度再增加時則沒有明顯的變化。

由以上討論，我們比較元件在反射式及穿透式下的量測結果(圖 4-2-18、圖 4-2-19、圖 4-2-20)；在對於初始狀態為平面螺旋紋理的元件來說，其 Turn-on 的時間差距不大(約數個毫秒)，Turn-off time 的趨勢也差不多，但從圖(4-2-19)-(b)可以看到在 3% 時，使用穿透式系統量測到的 Turn-off time 比用反射式系統還快上

許多，而且可以看到濃度逐漸增加時，反射式系統是呈現逐漸下降的趨勢，而穿透式系統則是無太大變化，我們推測是對於反射式系統而言，只有當元件完全恢復成平面螺旋結構時，反射回來的光才會被檢測器所接收到，而對於穿透式系統來說，元件在從垂直紋理轉回平面螺旋紋理途中，光依舊能穿透，並非一定要完全轉回平面螺旋紋理，因此所需的回復時間也比較短，所以從圖(4-2-20)中總反應時間的比較，其趨勢的呈現主要就是受到 Turn-off time 的影響。同樣的，我們也將元件初始狀態為垂直螺旋紋理時所量測的反應時間做比較，如圖(4-2-21)、(4-2-22)、(4-2-23)。在 Turn-on time 仍然差距不大，但在 Turn-off 的時間很明顯可以看到在濃度小於 3%時，使用反射式系統量測到的 Turn-off time 比用穿透式系統還慢上許多，而濃度大於 3%時，則兩邊的量測曲線趨於一致。



總結本節之實驗結果，我們可以歸納出幾個重點：(1)不論元件中高分子單體濃度多寡，且不管元件的初始狀態為何，對於液晶分子從平面螺旋紋理或垂直螺旋紋理轉向垂直紋理的時間(Turn-on time)都是差不多的(數個毫秒)。(2)無論是使用反射式系統還是穿透式系統量測，總反應時間隨著濃度增加而下降的趨勢是一致的；值得注意的是，在濃度約 2%~3%時，反應時間皆產生明顯變化。(3)無論元件初始狀態為何，使用穿透式量測的反應時間都比使用反射式量測還要快。以上這些特點對於我們在元件設計上，都是很重要的參考因素，且在量測外加電壓脈衝之響應時，更是重要的指標之一。

4-3 不同光起始劑濃度之影響

我們在 3-1 節有講到說，在本論文中所使用的液晶混合液是由多種物質均勻混合而成，包含了相列型液晶、手性添加物、高分子單體、光起始劑...等，在上一節中我們討論了元件在不同高分子單體濃度下的光電特性，但並沒有針對光起始劑這個部分做討論；事實上光起始劑可以算高分子單體的一種，其主要功能在幫助形成聚合物網絡，所以光起始劑添加的多寡也會影響到元件的光電特性，因此在這一節裡我們將對不同光起始劑濃度之元件做探討。

本次實驗的元件製備條件如表(4-3-1)所示，我們調配了三種不同的液晶混合物，除了 DMPA 濃度分別為 0.93%、1.91%、3.45%之外，其它混合物的比例大致都一樣，照光條件也相同。圖(4-3-1)是不同光起始劑濃度之元件在未外加電壓之前所量測的反射光譜；可以看到在未外加電壓之前，濃度為 0.93% 及 1.91% 之元件都呈現平面螺旋紋理，其反射波段及反射波峰值都差不多，但濃度為 3.45% 的元件卻在照光聚合完之後結構呈現破碎狀，其反射波峰位置也改變，峰值也變小，說明了元件內部構造已經遭到破壞，重覆做了幾個相同的樣品，發現結果亦同。圖(4-3-2)是元件外加 1kHz, 100Vrms 的方波脈衝關掉後所量到的反射光譜，由於濃度 3.45% 的元件結構遭到破壞，所以在這裡我們就沒去做加電壓的量測。圖中可以看到在加完電壓後，濃度 1.91% 比 0.93% 的元件反射率來的更低，似乎增加光起始劑的量，反而會使得元件在加完電壓後結構變得更混亂。

總結這節的實驗內容，我們可以發現當光起始劑濃度愈高時，加完電壓後反射率會降得更低、結構變得更混亂，而且當濃度太高時(本實驗中為 3.45%)，則元件在照光聚合完後結構會被破壞，因此在本論文其它量測的實驗中，所使用光起始劑濃度都控制在約 1%左右。

4-4 不同照光時間及照光強度之影響

我們知道聚合物網絡形成的速度和枝狀的粗細，跟所添加的高分子單體濃度及照光時間和強度有關，所以在這一節中我們固定高分子單體濃度，改變照光時間和強度，並量測其反射光譜及在偏光顯微鏡下所看到的紋理結構。

一開始我們將液晶混合液調配好之後，分別灌入到不同樣品中，樣品製備條件如表(4-4-1)所示，可以看到各個樣品所灌入的液晶混合液都是一樣的，改變的只有照光時間。經照光聚合完成後的樣品拿去量反射光譜，結果如圖(4-4-1)所示，可以看到照完光後在未外加電壓之前，樣品都呈現平面螺旋紋理，反射率大小都差不多。圖(4-4-2)是樣品外加 1kHz，100Vrms 的方波脈衝關掉後的反射光譜，可以看到當樣品只有照光五秒時，其反射率峰值跟未加電壓前差不多，表示加完電壓後仍會回到平面螺旋紋理，推測是聚合時間太短導致高分子單體還沒全部聚合形成聚合物網絡，所以絕大部分區域的液晶分子還是能轉回平面螺旋紋理；而當照光時間超過十秒以後反射率明顯下降，且隨著照光時間增加，反射率幾乎沒有太大變化。

我們將加完電壓的樣品在偏光顯微鏡底下看其結構，如圖(4-4-3)所示，可以看到照光五秒的樣品，其結構為膽固醇液晶呈現平面螺旋紋理，圖中黑色線條是向錯線(disclination line)，又稱為 oily streaks^[19]。且圖中沒看到聚合物的結構，因此跟我們推測的一樣，高分子單體還未完成聚合反應。當照光時間超過十秒後，圖中明顯可以看到大部分的區域都被聚合物網絡所覆蓋，而且隨著照光時間一直增加到 120 分鐘，其結構不再有明顯變化。將以上的結果對照反射光譜量測結果，發現是相當符合的。

第二部分我們改變照光強度，並針對不同高分子單體濃度的樣品，看其影響為何，樣品製備條件如表(4-4-2)所示。在總能量相同的情況下，我們分別使用  0.2mW/cm^2 ，照 15 個小時、 1mW/cm^2 ，照 3 個小時、 5mW/cm^2 ，照 0.6 個小時。圖(4-4-3)、(4-4-4)分別是樣品加電壓前與加 1kHz ， 100Vrms 方波脈衝後的反射光譜，在未加電壓前樣品都在平面螺旋紋理，反射率為最大;加電壓後可以看到，照光強度愈小的樣品的反射率愈大，尤其是當照光強度為 5mW/cm^2 時，其變化相當明顯。將樣品放在偏光顯微鏡下觀察，結果如圖(4-4-6)所示，圖中可以看到照光強度愈弱的樣品，其聚合物網絡支配的區域愈少，其它區域的液晶分子都呈現平面螺旋紋理，所以反射率愈高，而照光強度為 5mW/cm^2 時，其樣品大都被聚合物網絡支配，故反射率最低。同理，我們別將高分子單體為 3.05%、4.27%、5.25%的樣品拿去做加電壓前後的反射光譜量測，並放在偏光顯微鏡下觀察，結果分別如圖(4-4-9)、(4-4-10)、(4-4-11)、(4-4-12)、(4-4-13)、(4-4-14)、

(4-4-15)所示。結果如同以上討論的一樣，在未外加電壓前，無論樣品的照光強度為何，都呈現平面螺旋紋理，但在加完電壓後，照光強度愈強的樣品反射率愈低。比較圖(4-4-6)、(4-4-9)、(4-4-12)、(4-4-15)，我們發現當高分子單體濃度增加時，此現象更明顯，尤其是當濃度達 4.27%時，其聚合物網絡幾乎佔滿了整個區域，只有在照光強度 0.2mW/cm^2 的樣品，保留了一小區塊讓液晶回到平面螺旋紋理。而當濃度達 5.25%時，無論照光強度為何，其樣品都已經被聚合物網絡整個整滿而反射率降至最低；因為當照光強度愈強時，高分子單體聚合的速度愈快且形成的枝條強度愈強，導致能支配的區域愈大，而濃度愈高表示能形成的聚合物網絡愈廣，這剛好跟我們在 4-1、4-2 節做的實驗結果互相呼應。

總結這節的實驗結果，可以歸納出以下幾個重點：(1)高分子單體濃度為 3.05%的樣品，其照光時間低於五秒時聚合反應尚未完成，加電壓後樣品仍轉回完整的平面螺旋紋理，照光時間高於十秒後，聚合物網絡幾乎支配整個區域，反射率降至低點。(2)在總能量相同情況下，照光強度愈強的樣品，其聚合物網絡支配的區域愈大，且隨著高分子單體濃度增加此現象愈明顯，當濃度增加到 5.25%時，無論照光強度為何，樣品整個區域都已經被聚合物所覆蓋而反射率降至低點。這些重點對於我們在調配液晶混合液和元件的製程都是很重要的參考數據。

4-5 PSCT應用—軟性顯示元件

這節是本論文研究的最後一個部分，是有關於 PSCT 元件的應用—軟性顯示元件，會做此研究的實驗動機是由於國科會的研究計畫(編號:NSC 99-2221-E-007-039 -MY3)，中文名稱為”類紙式軟性觸控顯示器之研發”。此計畫為整合型計畫，我們實驗室負責的部分是”液態晶體奈米配向及軟式顯示器之組裝及光學性質研究”，而我負責的部分是在軟式顯示器之組裝及光學性質研究這方面。在本論文一開始緒論的地方有提到說，PSCT 具有具有高對比、廣視角、雙穩態... 等特性，而且不需要使用偏光板就能達成顯示的目的，這些優點都很適合應用在軟性顯示器上，而從文獻^[20]上發現，國外確實已經有人在做這方面的研究，而在國內則是工研院為其研究大宗。鑑於本實驗室多年來致力於液晶物理研究，以及製程技術的成熟，我們希望能將在玻璃基板上的配方條件與製程技術轉移到軟性基板上，製作出可撓式的軟性顯示元件。以下我們將介紹軟性基板的材質特性以及軟性顯示元件的製作過程及遇到的問題，最後則是目前的研究成果及未來目標。

我們所使用的軟性基板有兩種，一種是愷駿股份有限公司所提供之具有 ITO Film 的 PET(polyethylene terephthalate)，其產品規格如圖(4-5-1)和表(4-5-1)所示。另一種是由冠月公司提供，無 ITO Film 的 PET(無提供產品規格)。會使用兩種不同規格的 PET 基板是因為，一開始我們所使用的是具有 ITO 的 PET，但在製作樣品時，首先遇到的是基板黏合的問題；以往在玻璃基板的封合上都是使用 AB

膠黏合，但相同方法使用在 PET 基板上，當彎折樣品時膠黏著處卻容易裂開，於是我們將 AB 膠換成光學膠(購自 Norland)，並且在基板上做了一些處理，例如：清洗 PET 表面、黏著處表面粗糙化...等，但效果都不彰。後來清大奈微所的羅丞曜教授提供給我們無 ITO，厚度為 $125\mu\text{m}$ 的 PET(購自冠月公司)，去做基板黏合測試發現其黏合度非常高，而且用力彎曲時黏著處也不會裂開，非常適合用在軟性樣品的製作，但由於此 PET 是無導電層的，對於我們要做顯示元件來說是不可用的，因此如果要製作成顯示元件的話，導電層的部分將是未來要解決的地方。

在光學性質上，我們將 PET 放在 conoscopic 顯微鏡下觀察，其結果如圖(4-5-2)所示，可以看到有圖形顯示，表示 PET 表面的分子朝某個方向排列，查閱資料^[21]發現此圖形為雙光軸(biaxial)干涉條紋，說明了 PET 是具有雙光軸的特性，不過對於 PSCT 顯示元件而言，其顯示原理並不需要使用偏振片，因此 PET 的雙光軸並不會對元件的製作上產生影響，這也是 PSCT 技術能應用在軟性顯示器的優勢之一。

圖(4-5-3)為以 PET 當基板的樣品設計圖和實際樣品照，我們製作 2×2.5 大小的樣品，並以 $6\mu\text{m}$ 的 Mylar 當作間隙物，其中基板的清洗條件都和 3-3 節中清洗玻璃的方式一樣，不過在這裡我們不對基板做配向，因為如果要鍍 PI 則硬烤溫度需在 170°C 以上，但根據資料顯示，PET 只要溫度超過 150°C 便會形變，內部結構也會遭到破壞。圖(4-5-4)是 PET 樣品灌入液晶後的實際照片，顯示不

同顏色是因為灌入的液晶混合液配方不同，以上就是目前我們的研究成果。

在未來，我們仍舊會繼續改善我們的製程條件，在材料方面，希望能找到有 ITO Film 並且黏合度良好的 PET 板，然後找到合適的配向方法，並對於灌入液晶的樣品進行光電性質的量測，期望最後可以成功做出可撓式的液晶顯示器。



第五章 綜合討論

經過以上的介紹與實驗過程討論，本實驗是在膽固醇液晶中加入適當比例的手性添加物和高分子單體與光起始劑，均勻混合後即完成實驗所需的液晶混合液，然後將其灌入到製備好的空樣品中，並在紫外光下進行聚合反應，反應完成後即完成 PSCT(polymer-stabilized Cholesteric Texture)的元件製備。

根據不同配向機制的樣品，在觀察加電壓前後的反射光譜變化，得知以反平行(Anti-parallel)的樣品具有最明顯的雙穩態特性。然後我們對於不同高分子單體濃度的樣品，觀察加電壓前後的反射光譜變化，結果發現濃度愈高的樣品，其加完電壓脈衝後聚合物網絡所能支配的區域愈廣，導致反射率愈低。接著，我們分別在反射式系統和穿透式系統下，量測不同濃度樣品對電壓脈衝的響應及反應時間。藉由觀察改變電壓所對應到反射率、穿透率的變化，可以知道樣品在不同電電時的紋理轉換，以及雙穩態的特性呈現，且無論樣品的初始狀態為何，其量測到的反射率和穿透率變化趨勢都是一致的；反應時間則是會隨著濃度增加而下降，且當濃度增加到一定比例時，其變化趨勢漸緩。再來我們改變聚合時的照光時間和強度，並觀察加電壓後其反射光譜的變化以及在偏光顯微鏡所看到的圖形。對於相同濃度的樣品而言，照光時間小於五秒時聚合反應尚未完成，超過十秒後則反射率和樣品結構無再明顯變化；對於不同濃度的樣品來說，照光強度愈強所形成的聚合物網絡也愈強、支配的區域愈廣，且隨著濃度增加聚合物愈密。

集，反射率下降愈明顯。

最後是 PSCT 元件應用的部分，我們將現有在玻璃基板的製程技術轉移到 PET 基板上，克服了基板的黏合問題後，我們成功的製作了以 PET 當基板的空樣品，並且成功的灌入液晶，在未來將對電性量測和可靠度分析上做更多的探討。



第六章 結論與未來展望

本實驗成功製作出具有雙穩態的 PSCT 元件，不過我們發現如果元件要具有高對比度的話，高分子單體的濃度就不能太高，但這卻會造成反應時間太長，反之，濃度過高會使得元件在加完電壓後回不到完整的平面螺旋紋理，反射率也會變得很低，但卻能得到較快的反應時間；另外，當照光時間超過十秒後，樣品結構無再明顯變化，表示所添加的高分子單體對紫外光的吸收度很好，這對於製程的簡化有很大的幫助，而照光強度愈強，會使得聚合物網絡愈穩定，對樣品區域影響的範圍也愈大。因此，如何拿捏在製作元件時所加的高分子單體比例，將是未來還要再深入研究的地方，而在本實驗中只對濃度為 3.05% 之樣品進行不同照光時間的探討，未來可以針對不同濃度的樣品做更詳細的討論。另外，在本實驗中經照光聚合的樣品，我們僅以量測反射光譜和觀察偏光顯微鏡來探討其結構變化，未來可以將樣品拿去照 SEM 就能更瞭解其結構變化為何。

最後，我們希望透過在玻璃基板上所得到的最佳製程條件，將其轉移到軟性基板上，製作出可撓式的液晶顯示元件。

參考文獻

[1] D.-K. Yang, L.-C. Chien, and Y.K Fung, Polymer stabilized cholesteric textures: materials and applications, “Liquid crystals in complex geometries,” ed. By G. P. Crawford and S. Zumer(Taylor & Francis, London, 103-143, 1996)

[2] J. Ma, L. Shi, D. -K. Yang, Appl. Phys. Express 3 021702-1-021702-3 (2010)

[3] D. -K Yang, L. -C. Chien and J. W. Doane, Appl. Phys. Lett. 60, 3102 (1992).

[4] D . -K. Yang, *J. Display Technol.* **2**, 32 (2006)

[5] 葛聰智, 博士論文, 國立成功大學, (1999)

[6] Gregory Philip Crawford and Slobodan Zumer, Liquid Crystals in complex Geometries --- Formed by polymer and porous networks, Taylor & Francis, (1996).

[7] Letter from F. Reintzer to O. Lehmann, reported by H. Keller, Mol. Cryst. Liq. Cryst. **21**, 1(1973)

[8] P. D. de Gennes, “The Physics of Liquid Crystals” Oxford University Press, Oxford (1974)

[9] P. G. de genes and J. Prost: The Physics of Liquid Crystals, (Oxford Science Publications, New York, 1993)

[10] J. W. Doane, Chapter 14, Polymer dispersed liquid crystal displays, “Liquid crystals, applications and uses,” Vol. 1, ed. By B. Bahadur (World Scientific, Singapore, 1990).

[11] H.-S. Kitzerow, Polymer-dispersed liquid crystals, from the nematic curvilinear aligned phase to ferroelectric films, *Liq. Cryst.* **16**, 1 (1994).

[12] Gregory Philip Crawford and Slobodan Zumer, Liquid Crystals in Complex Geometries --- Formed by polymer and porous networks, Taylor & Francis,

(1996).

[13] 朱自強, 王任璠, 蘇顯渝, 現代光學教程, 四川大學出版社, 成都 (1990)

[14] Y. -K. Fung, PhD thesis, Kent state University, (1994)

[15] K. H. Yang, *J.Appl. Phys.* **64**, 4780 (1988)

[16] 黃雅玲, 碩士論文, 國立成功大學, (2005)

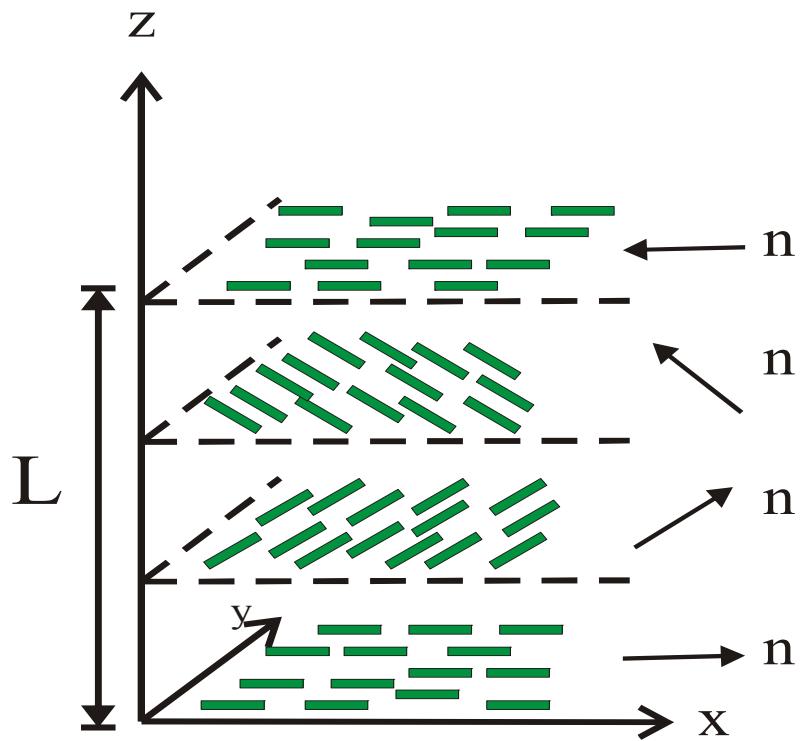
[17] D. -K. Yang, J. L. West, L. C. Chien, and J. W. Doane, “Control of the reflectivity and bistability in displays based on cholesteric liquid crystals,” *J. Appl. Phys.*, vol. 76, no. 1331, 1994.

[18] D. -K. Yang and J. W. Doane. Cholesteric liquid crystal/polymer gel dispersions: reflective displays. *SID Intl. Digest Tech. Papers* **23**, 759 (1992).

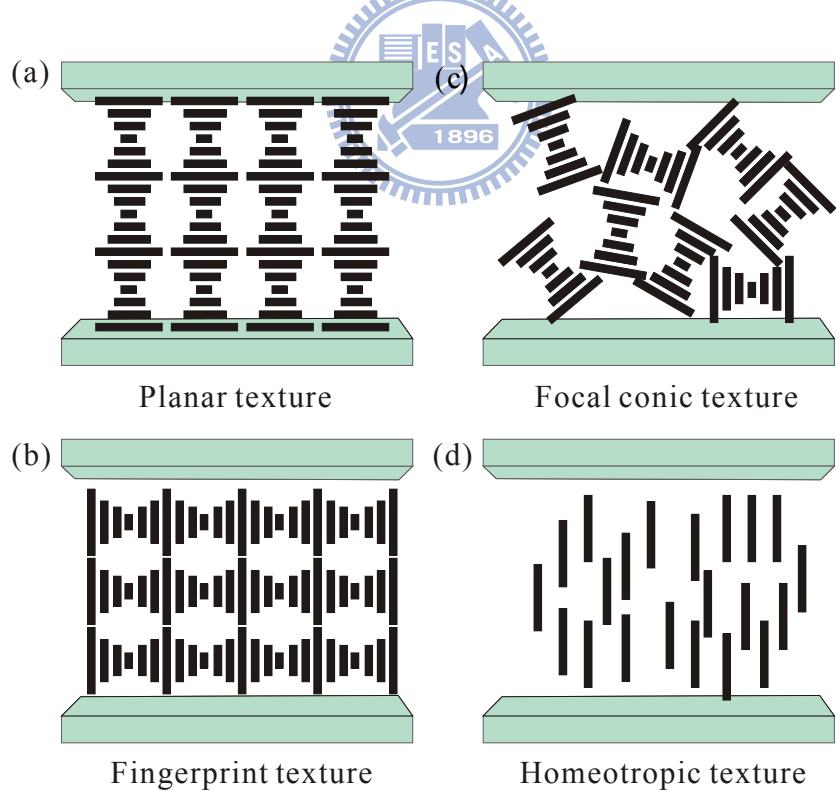
[19] O. D. Lavrentovich and D. -K. Yang, ‘Cholesteric cellular patterns with electric-field –controlled line tension’, *Phys. Rev. E*, **57**, *Rapid Commun.*, R6269 (1998).

[20] K. S. Bae, Y. J. Jang, Y. K. Moon, S. G. Kang, U. Cha, C. J. Yu, J. E. Jang, J. E. Jung and J. H. Kim “ Multicolor Cholesteric Liquid Crystal Display in a Single-Layered Configuration using a Multi-Pitch Stabilizations”, *Jap. Journal of Applied Physics*, **49**, pp. 084103 (2010)

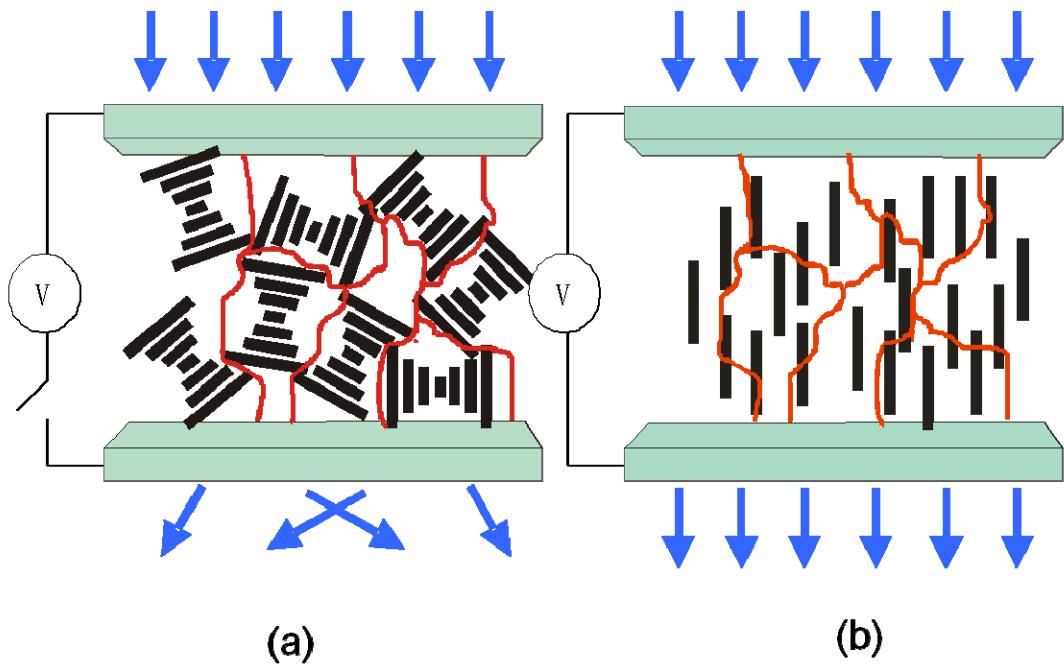
[21] Brett L. Van Horn, and H. Henning Winter, *Macromolecules* **36**, 8513 (2003)



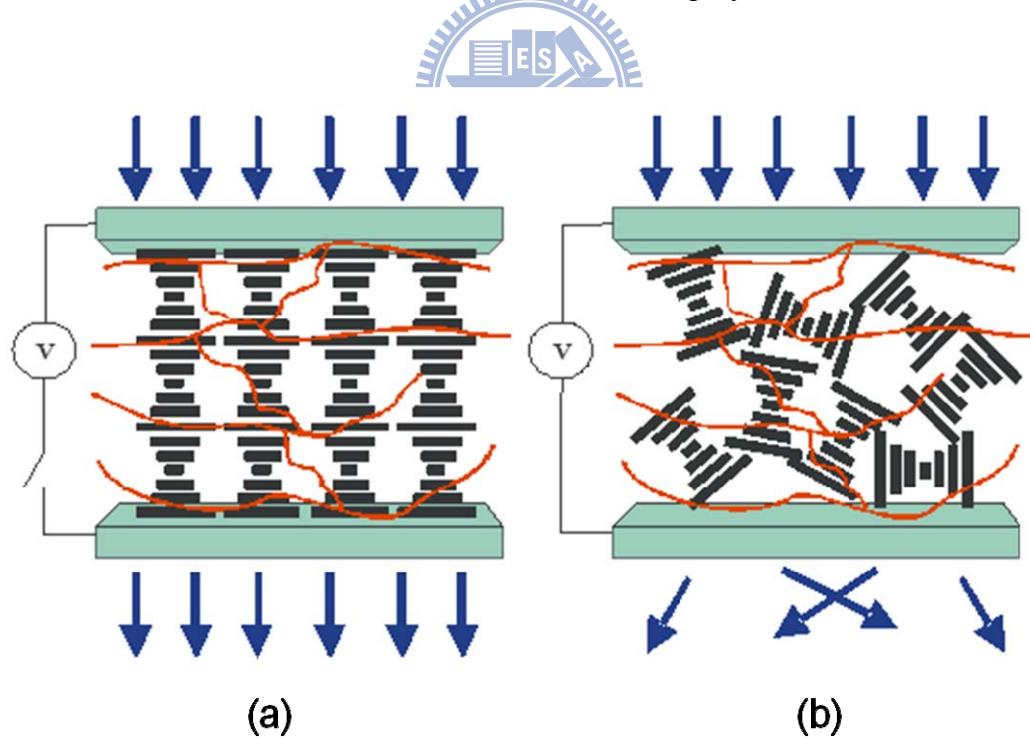
圖(2-1-1) 膽固醇液晶的分子排列示意圖



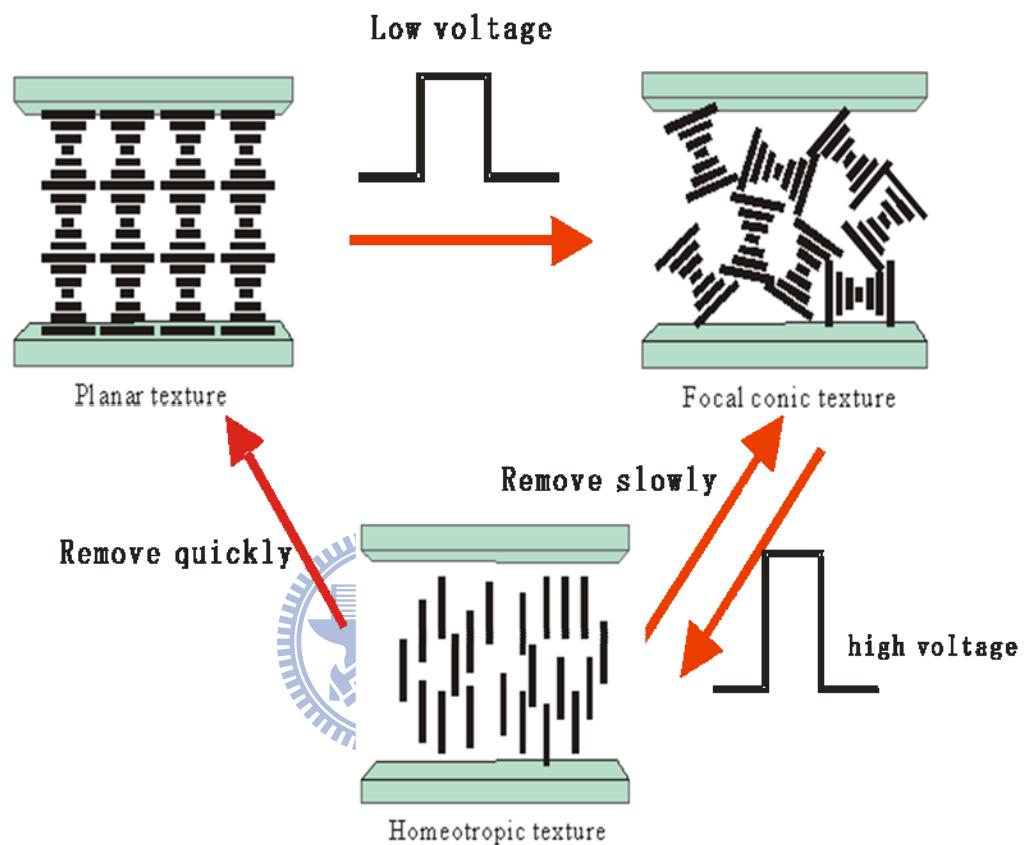
圖(2-1-2) 膽固醇液晶的各種結構



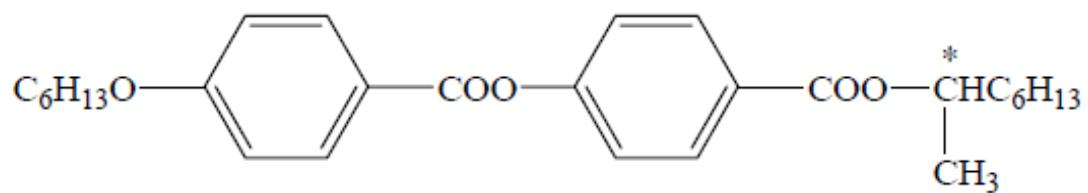
圖(2-2-1) PSCT normal mode 有無外加電壓之texture轉變。(a)不透明態
(b)透明態 藍色箭頭代表入射光，紅色線表示polymer network。



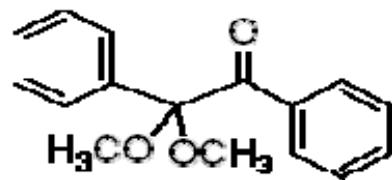
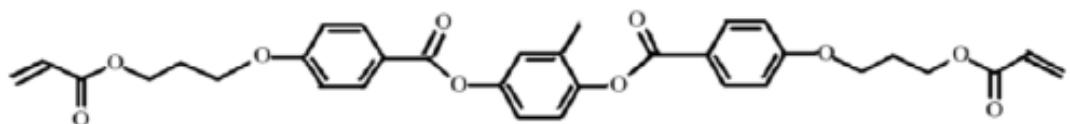
圖(2-2-2) PSCT reverse mode 有無外加電壓之texture轉換。(a)透明態 (b)
不透明態



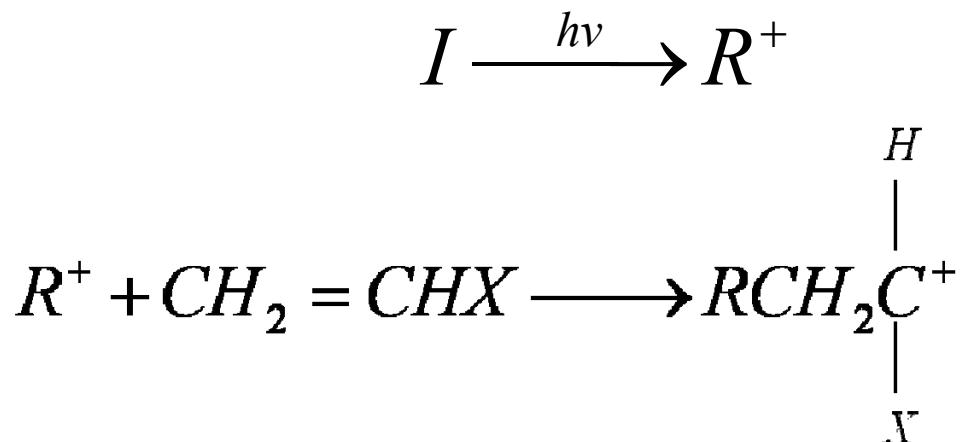
圖(2-3-1) 膽固醇液晶之texture轉換示意圖



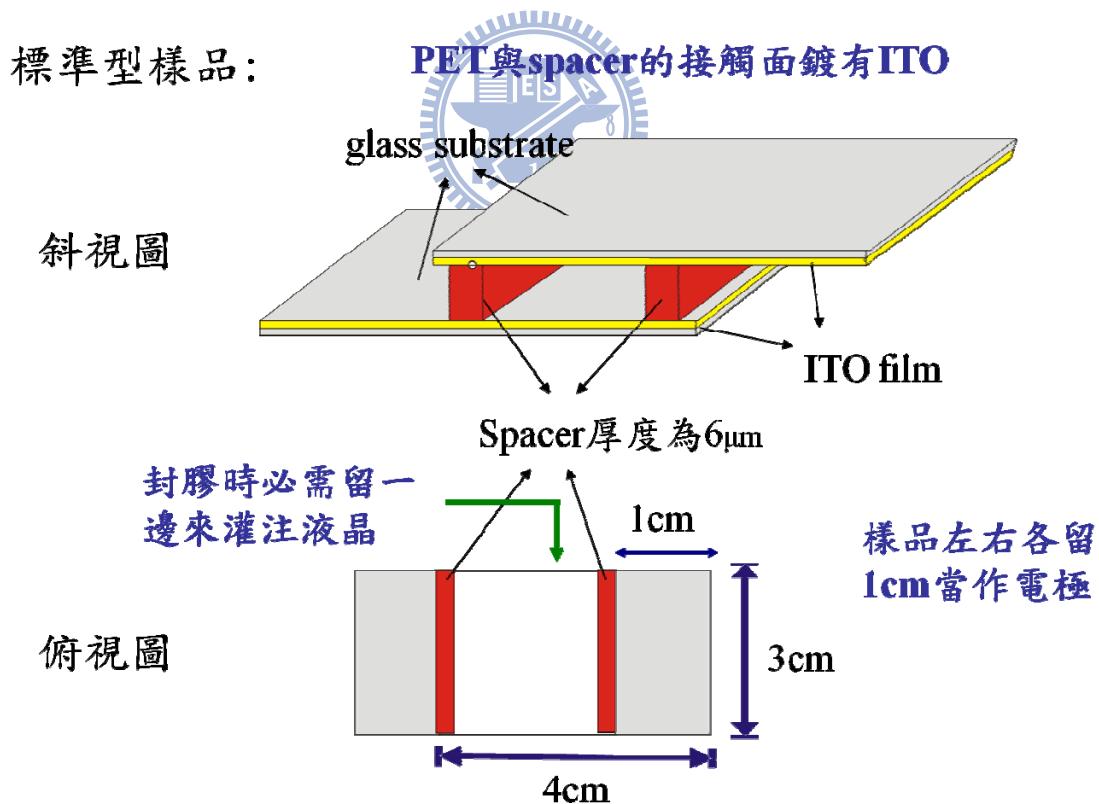
圖(3-1-1) R-811 的化學結構



圖(3-1-3) DMPA的化學結構



圖(3-2-1) PSCT之光起始聚合過程



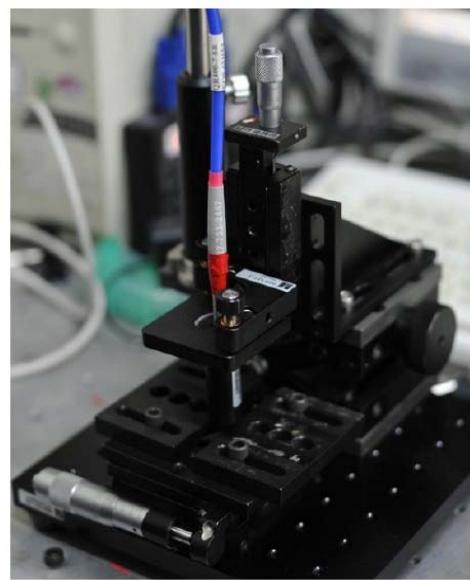
圖(3-3-1) 封合樣品示意圖



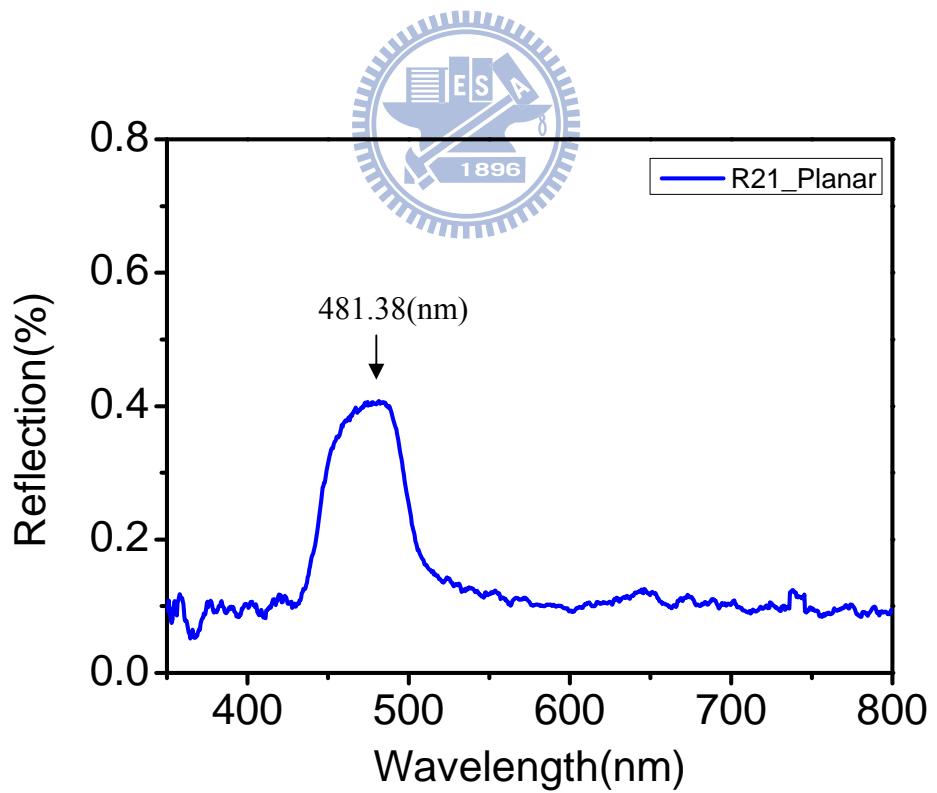
fiber	QR-400-7-SR
光源	ISS-UV/VIS
光譜儀	USB2000



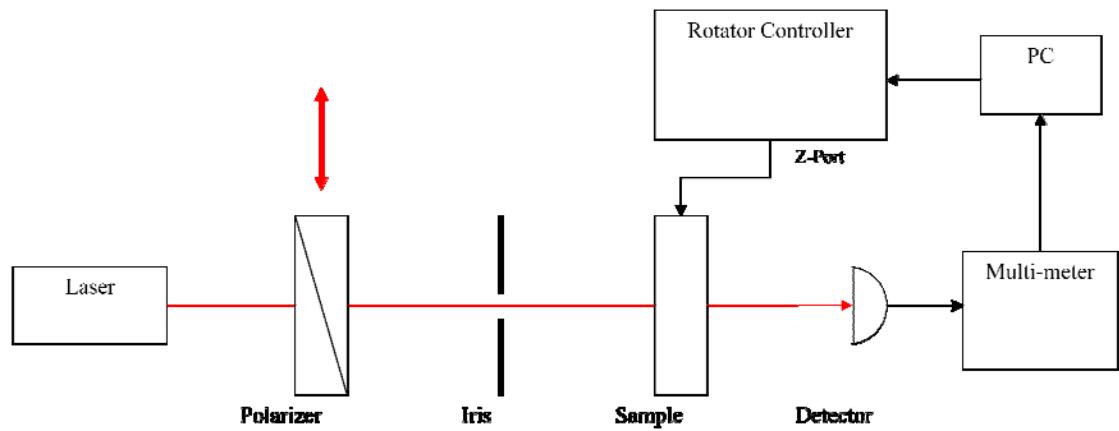
Fiber profile	Step-index multimode
Fiber core	Pure silica core
Fiber cladding	Fluorine-doped silica cladding
Fiber bundle	6 illumination around 1 read
Numerical aperture	0.22 ± 0.02 (acceptance angle 24.8° in air)



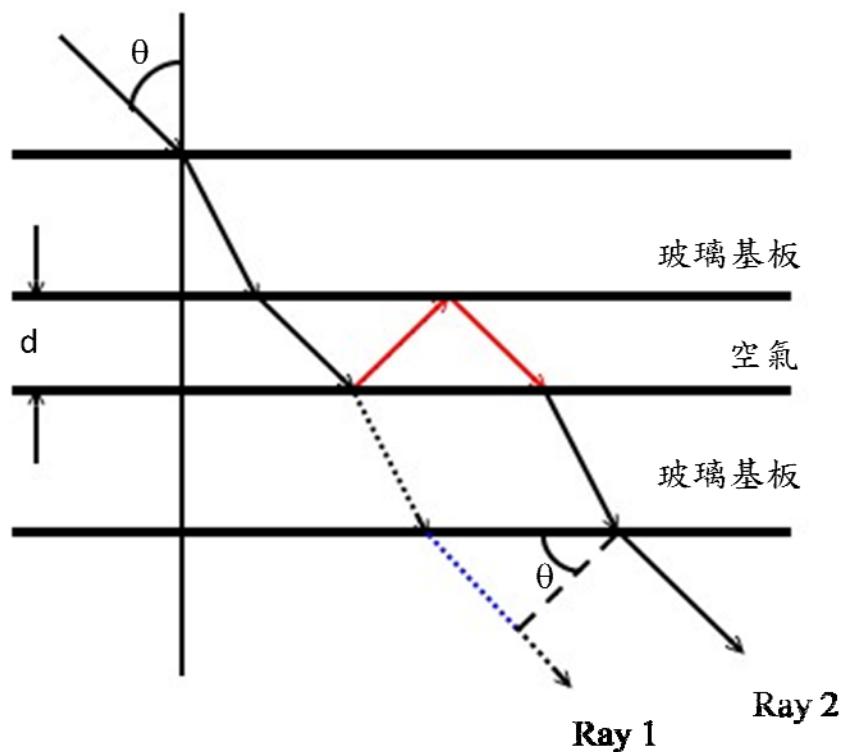
圖(3-3-2) 反射式光譜儀系統



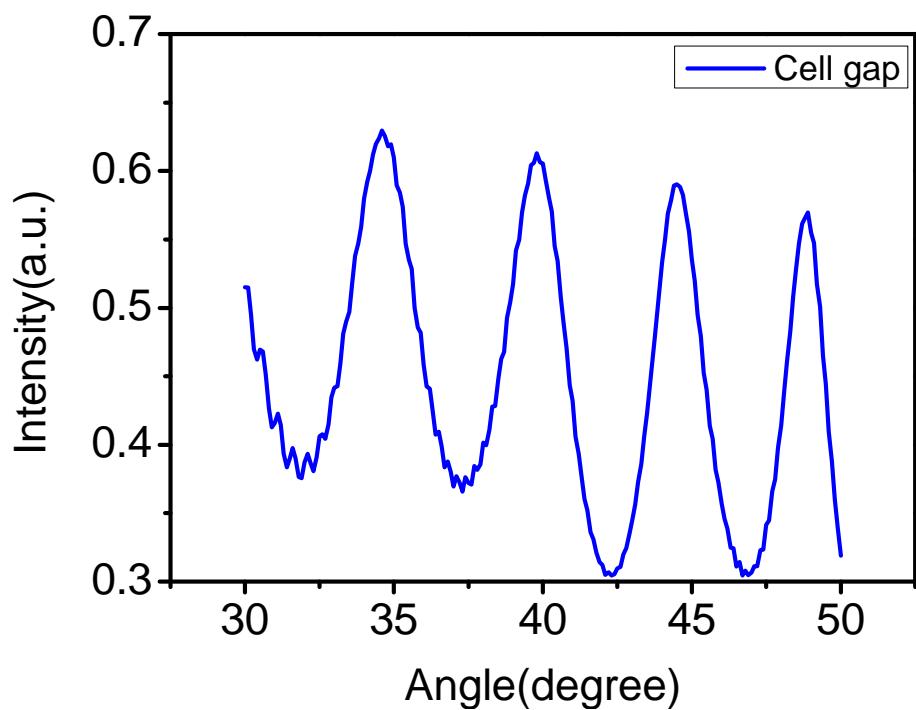
圖(3-3-3) 液晶樣品之反射頻譜(室溫 25°C)



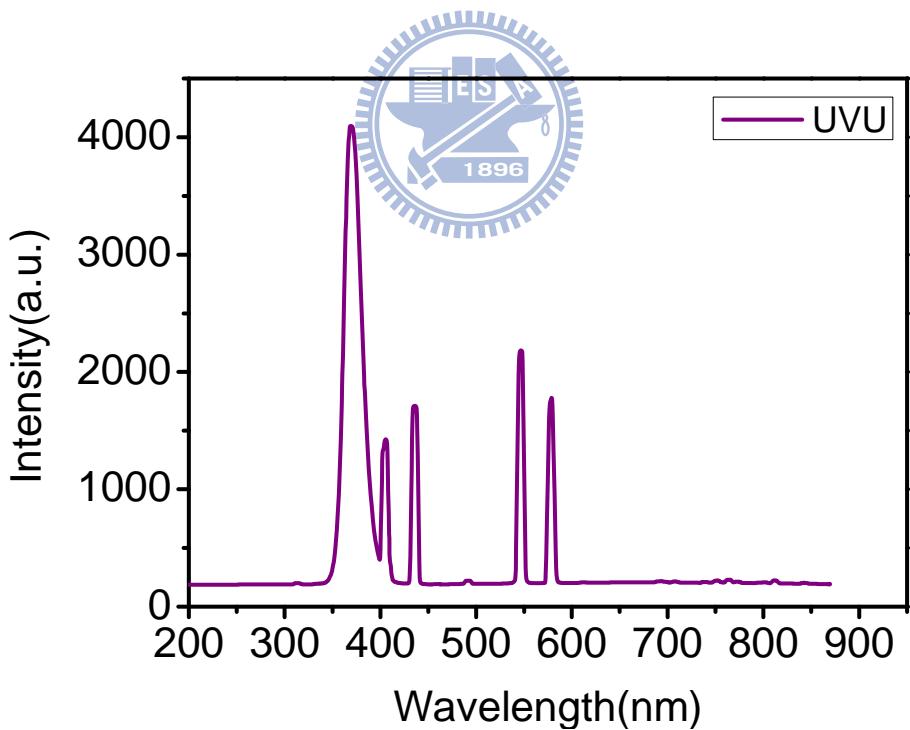
圖(3-4-1) 間隙厚度量測之裝置示意圖



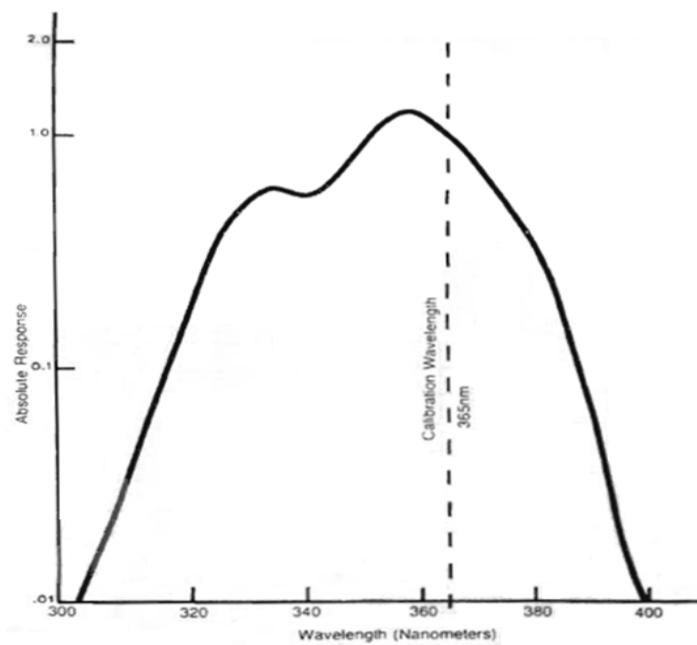
圖(3-4-2) 雷射光入射空樣品的路徑示意圖，Ray1 為一次穿透光(虛線)，Ray2 為二次反射穿透光(實線)。



圖(3-4-3) 空樣品間隙厚度量測圖，光強度對旋轉角度作圖



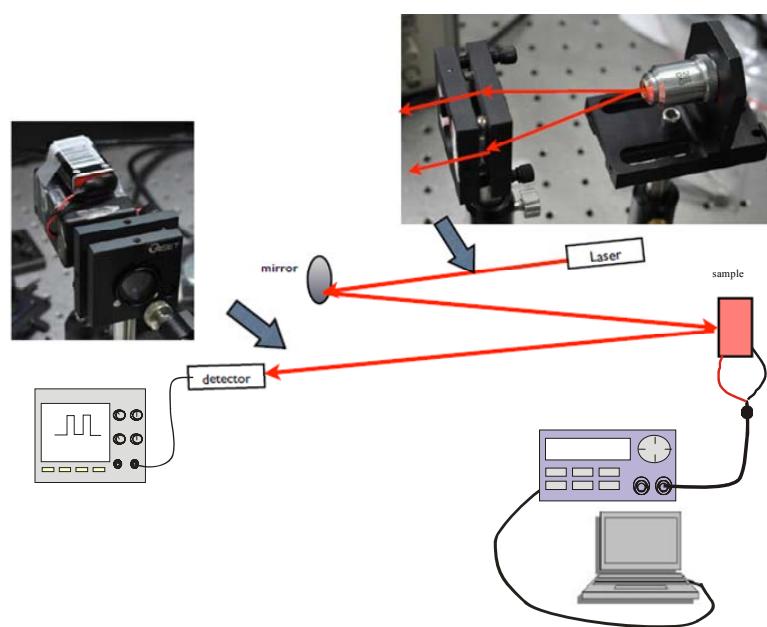
圖(3-4-4) UVU型燈管之反射光譜



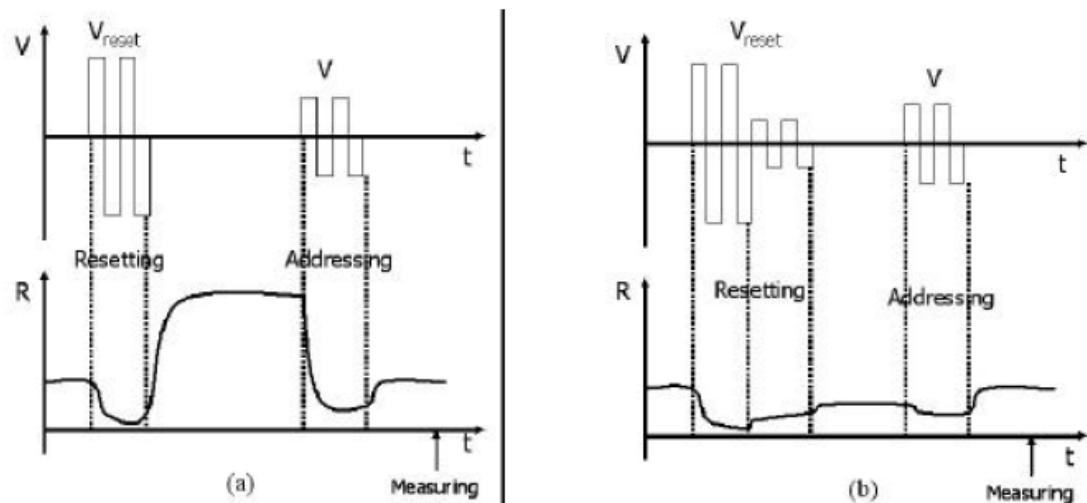
圖(3-4-5) 感測器UVX-36之光譜靈敏度



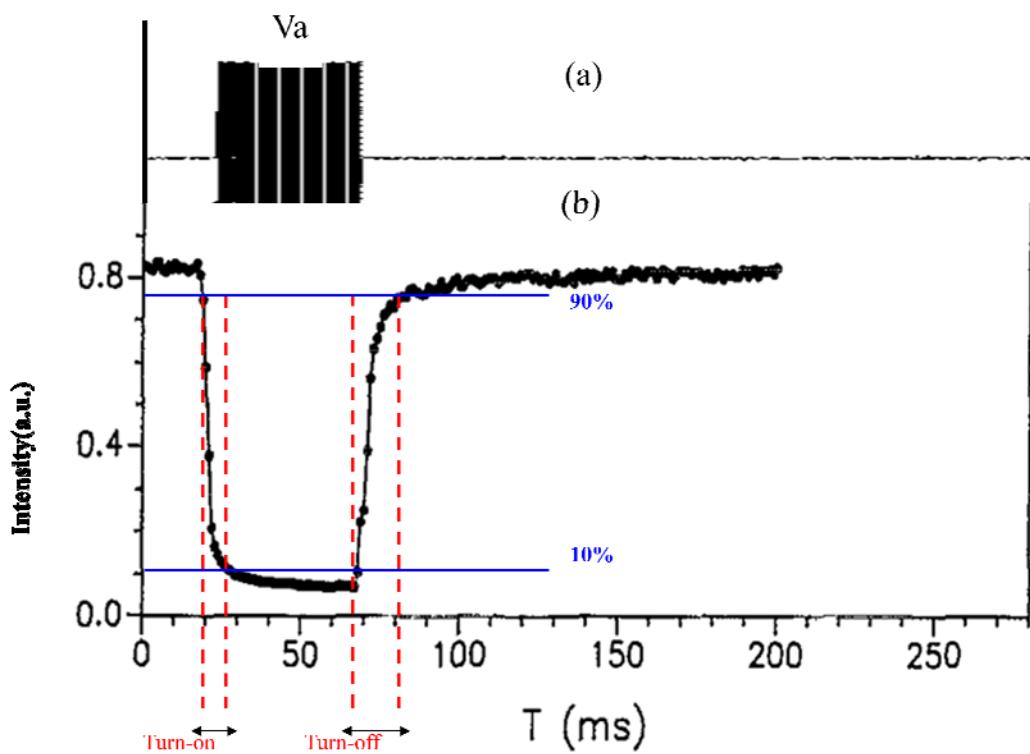
反射式系統:
He-Ne Laser(632.8nm)



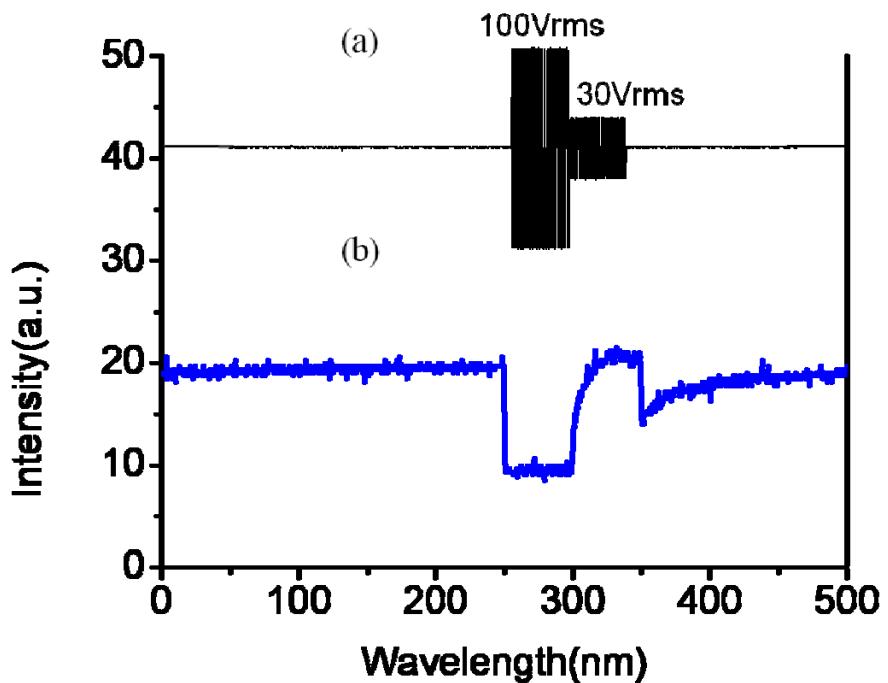
圖(3-4-6) PSCT元件對電壓脈衝(voltage pulse)的反應之量測裝置



圖(3-4-7) PSCT元件對電壓脈衝的反應之量測驅動波型示意圖

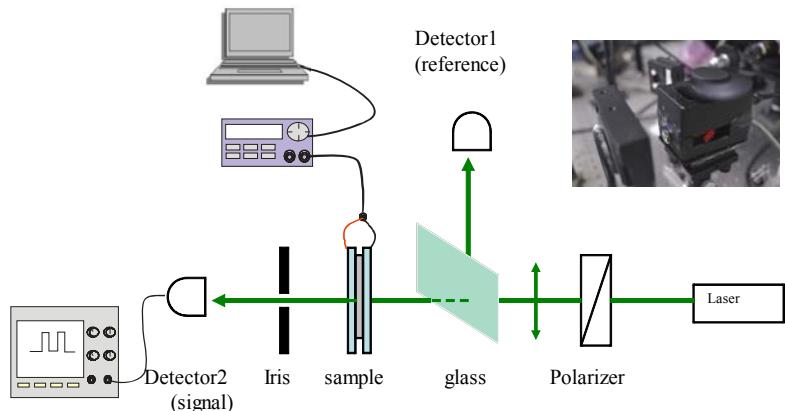


圖(3-4-8) 元件初始狀態為平面螺旋紋理時，量測反應時間之訊號。(a) 輸入之脈衝波型。(b)光檢測器送出之響應波型

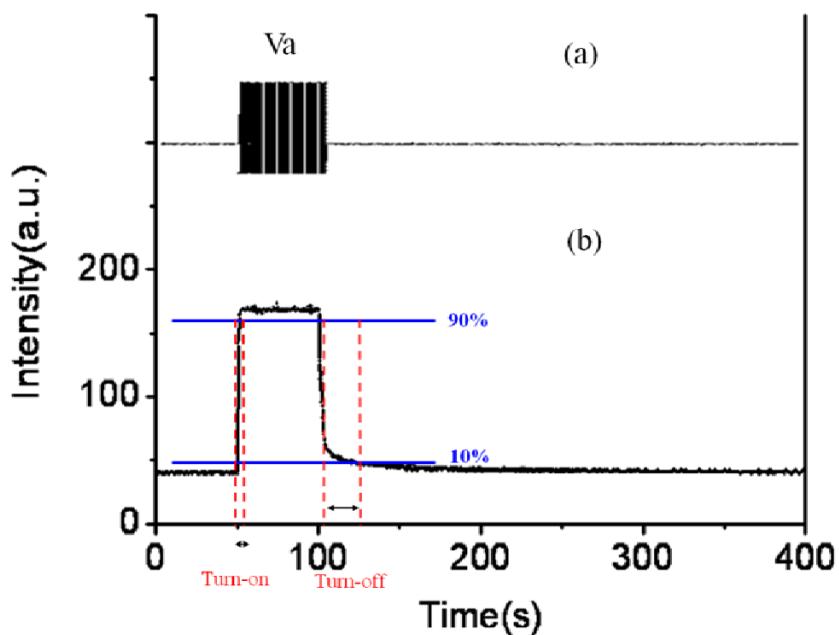


圖(3-4-9) 元件初始狀態為垂直螺旋紋理時，量測反應時間之訊號。 (a)輸入之脈衝波型。(b)光檢測器送出之響應波型

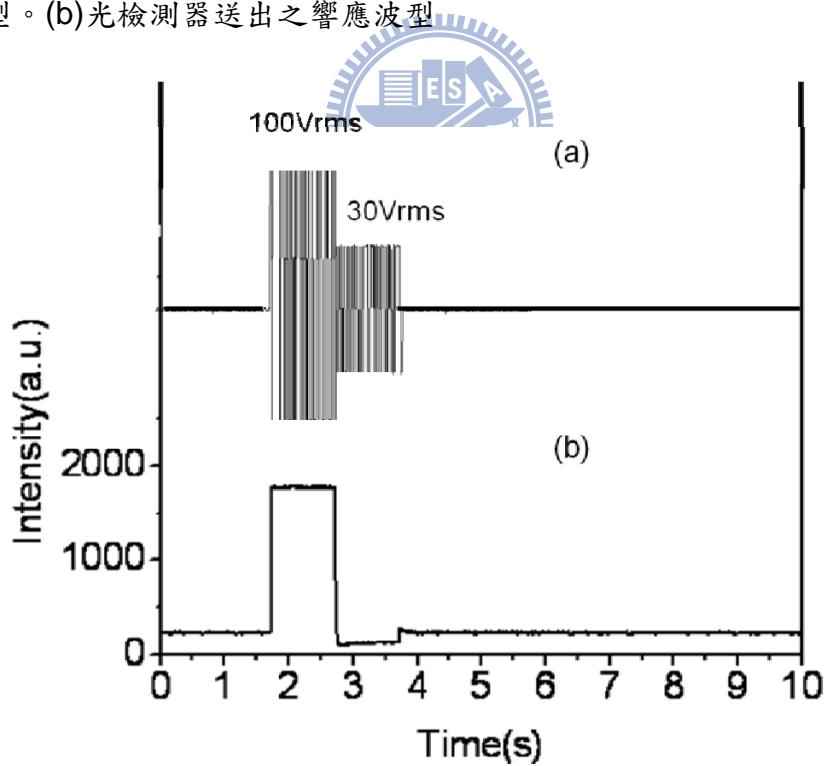
穿透式系統：
綠光雷射(532nm)



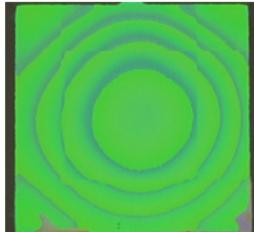
圖(3-4-10) PSCT元件對電壓脈衝(voltage pulse)的反應之量測裝置



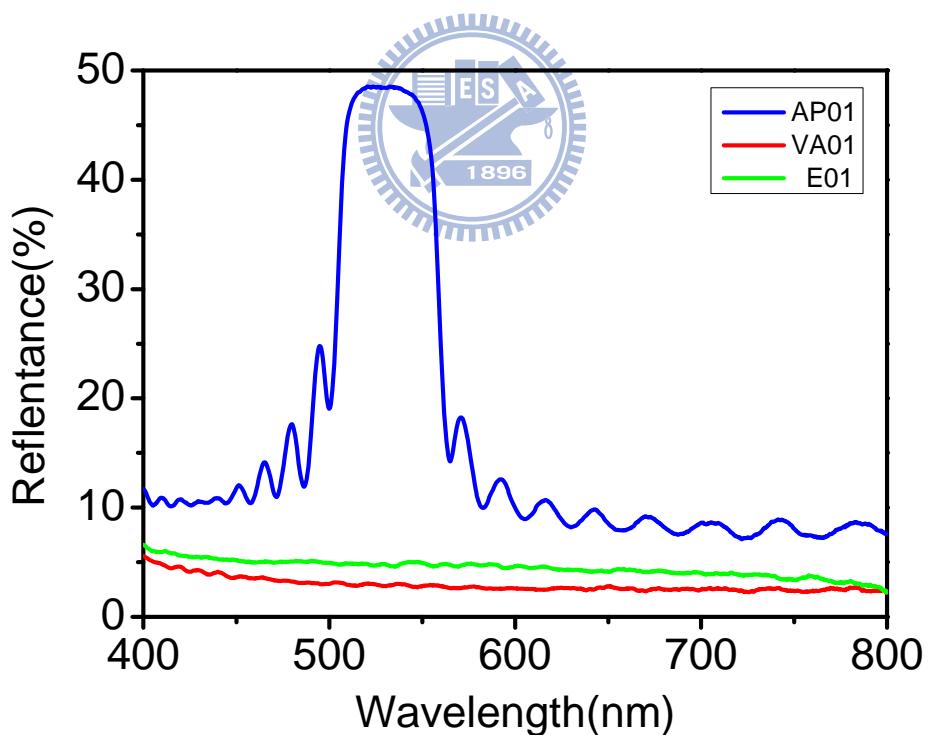
圖(3-4-11) 元件初始狀態為平面螺旋紋理時，量測反應時間之訊號。(a)輸入之脈衝波型。(b)光檢測器送出之響應波型



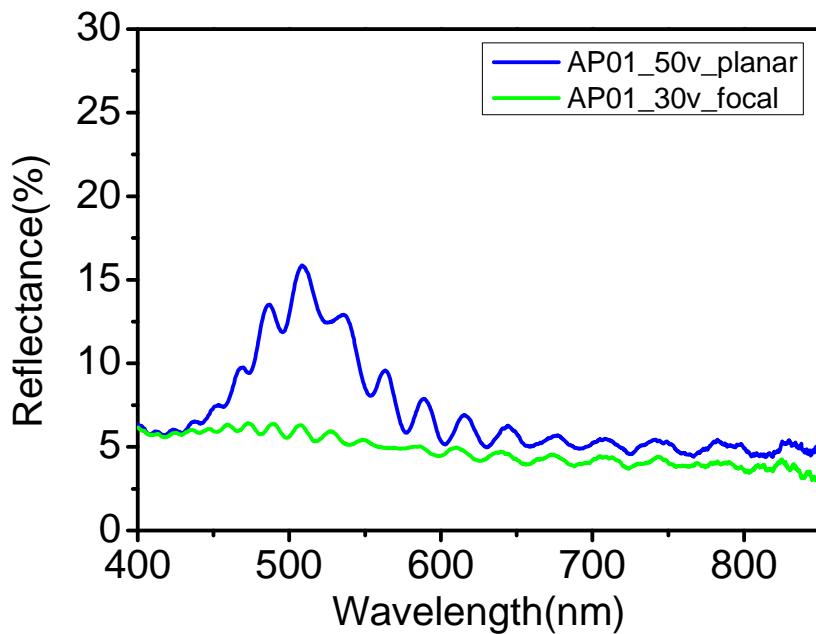
圖(3-4-12) 元件初始狀態為垂直螺旋紋理時，量測反應時間之訊號。(a)輸入之脈衝波型。(b)光檢測器送出之響應波型

配向條件	AP(水平配向)	VA(垂直配向)	無配向
雙穩態	○	×	×
照片			

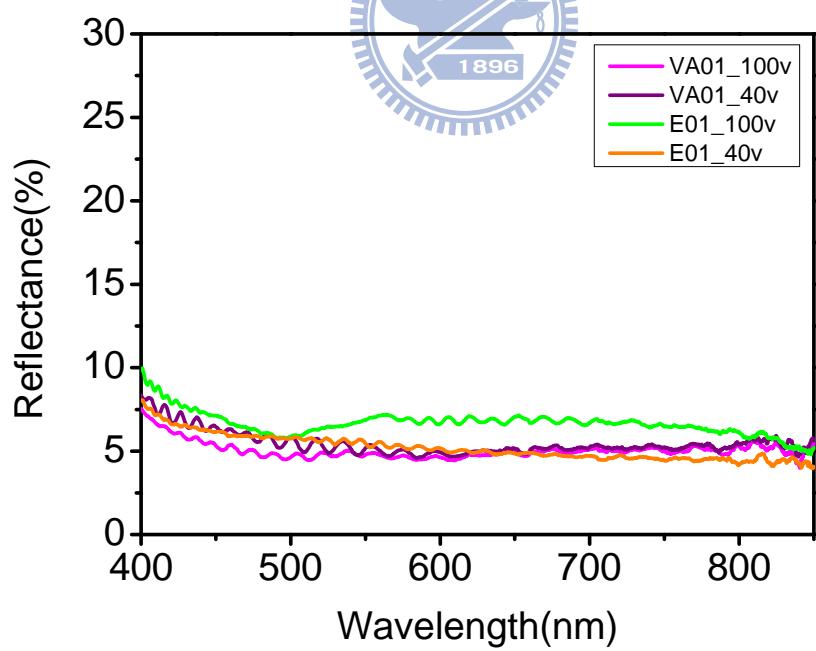
圖(4-1-1) 不同配向條件下的視覺觀察圖



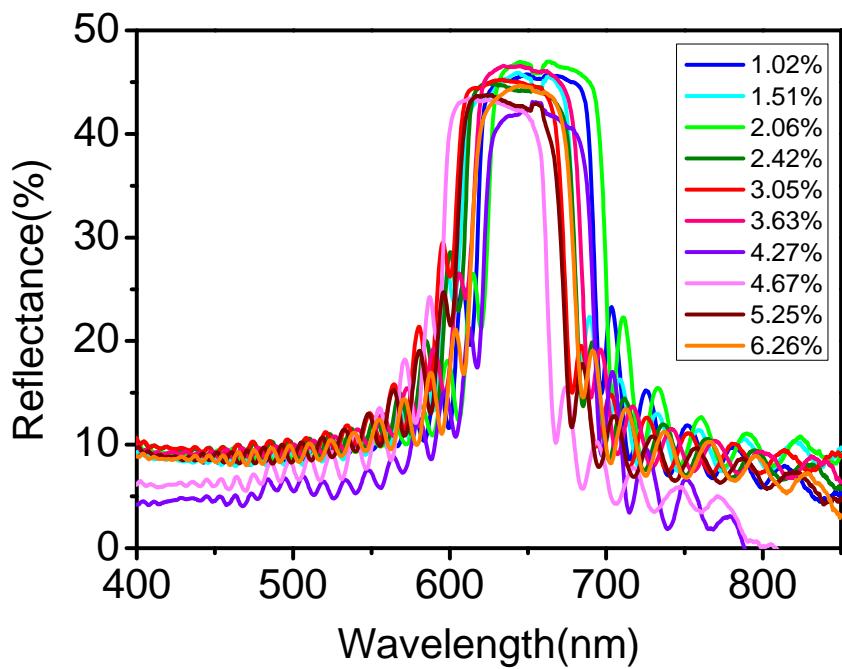
圖(4-1-2) 樣品未加電壓前之反射光譜



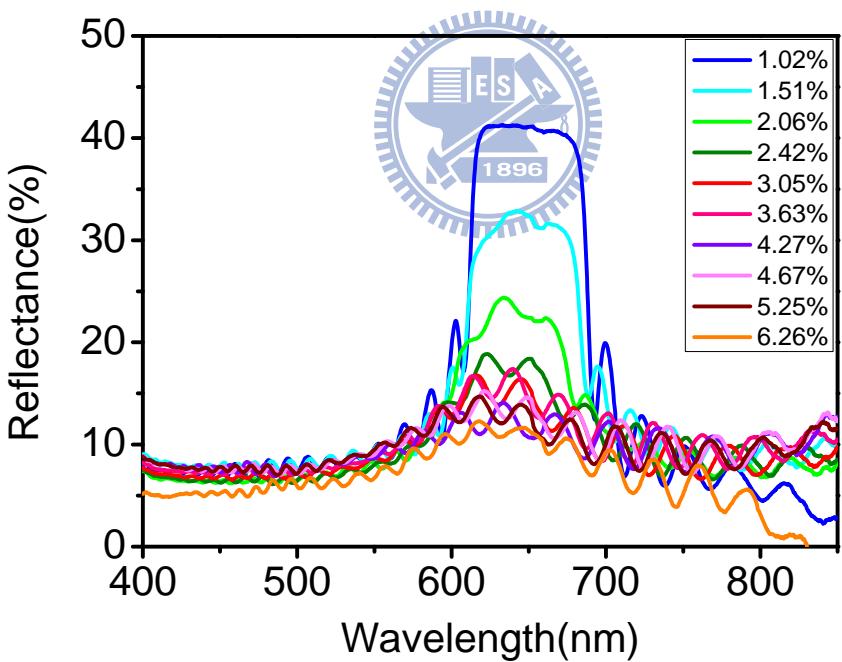
圖(4-1-3)-(a) AP樣品外加電壓後之反射光譜。藍色線代表AP樣品外加1kHz,100Vrms方波脈衝關掉後所量得之反射光譜。綠色線代表 AP樣品外1kHz,30Vrms方波脈衝關掉後所量得之反射光譜。



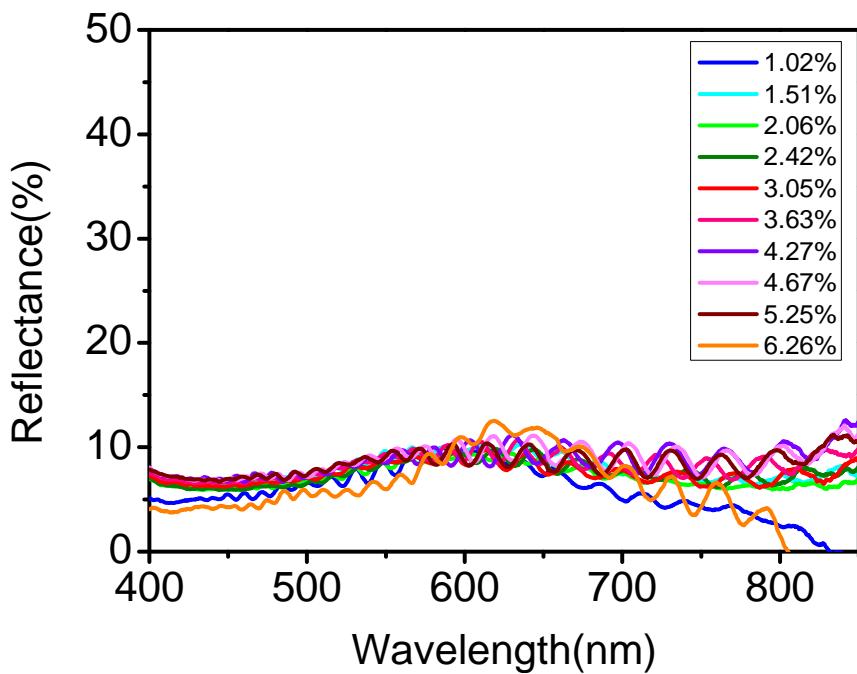
圖(4-1-3)-(b) VA與無配向之樣品(E01)分別外加 1kHz,100Vrms、30Vrms方波脈衝關掉後所量得之反射光譜



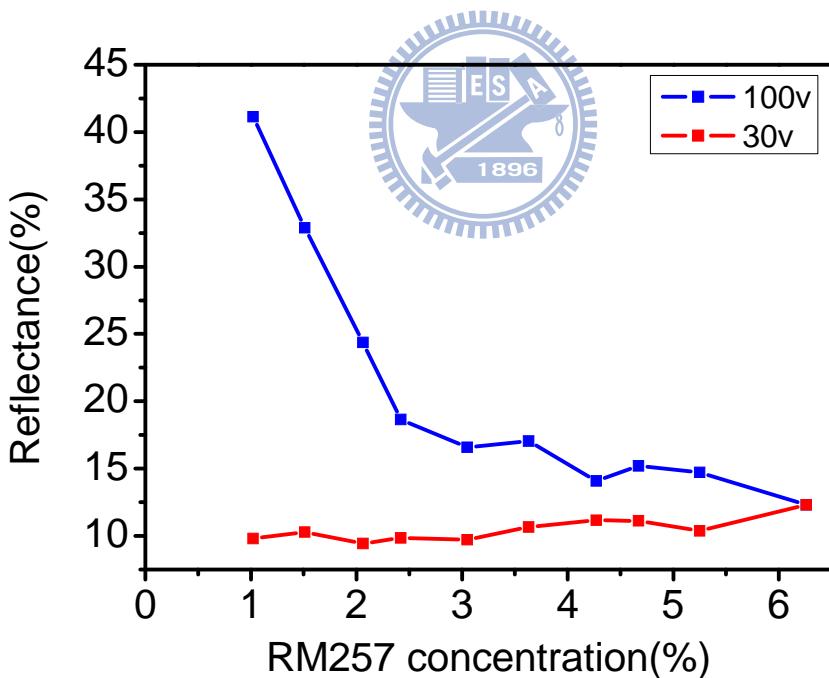
圖(4-2-1) 樣品未加電壓前之反射光譜



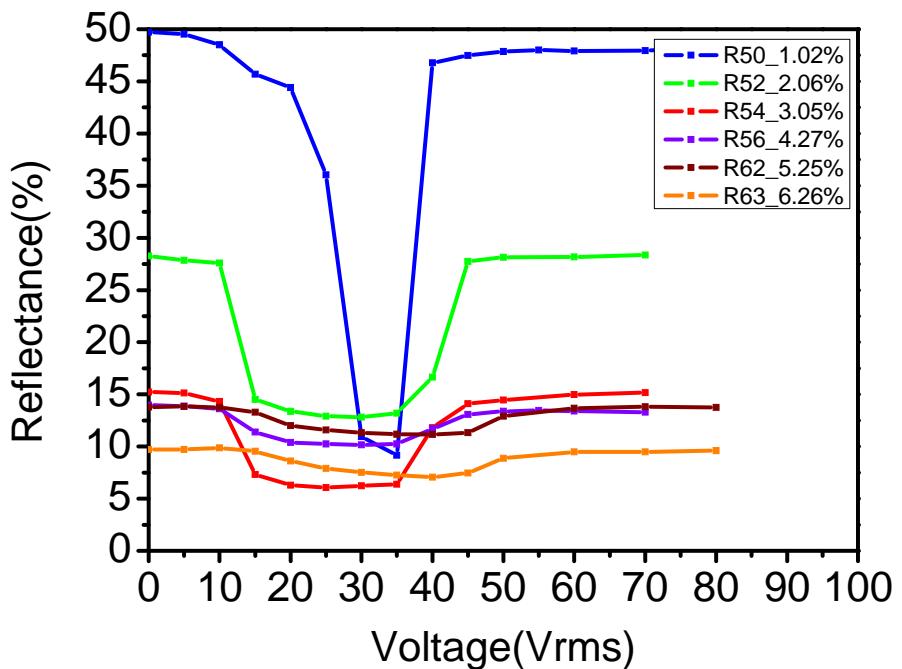
圖(4-2-2)-(a) 樣品外加 1kHz, 100Vrms 方波脈衝關掉後所量得之反射光譜



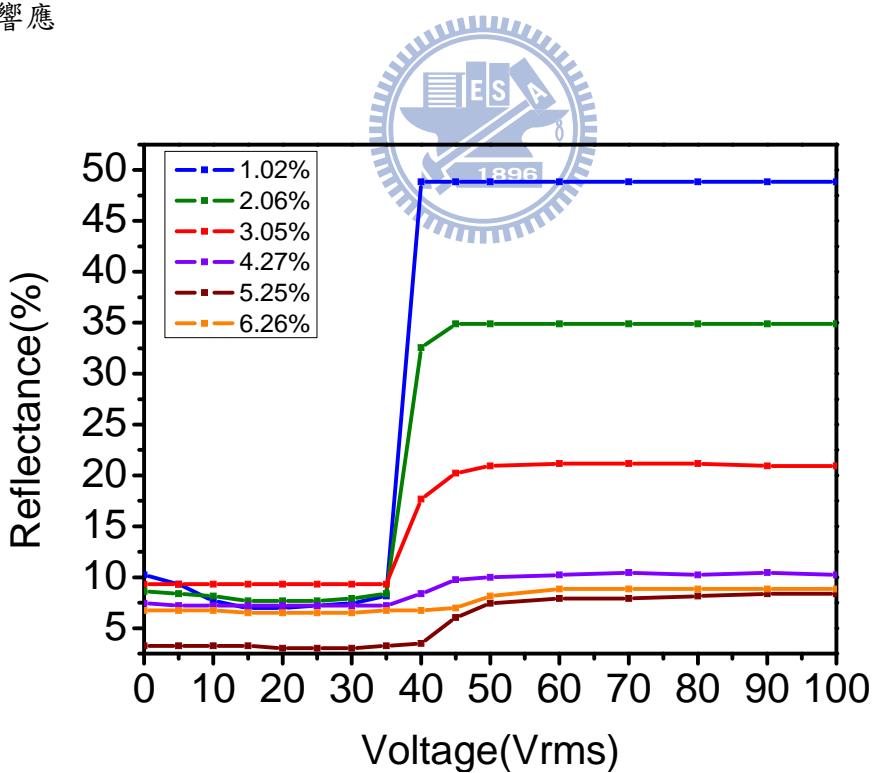
圖(4-2-2)-(b) 樣品外加 1kHz,30Vrms 方波脈衝掉後所量得之反射光譜



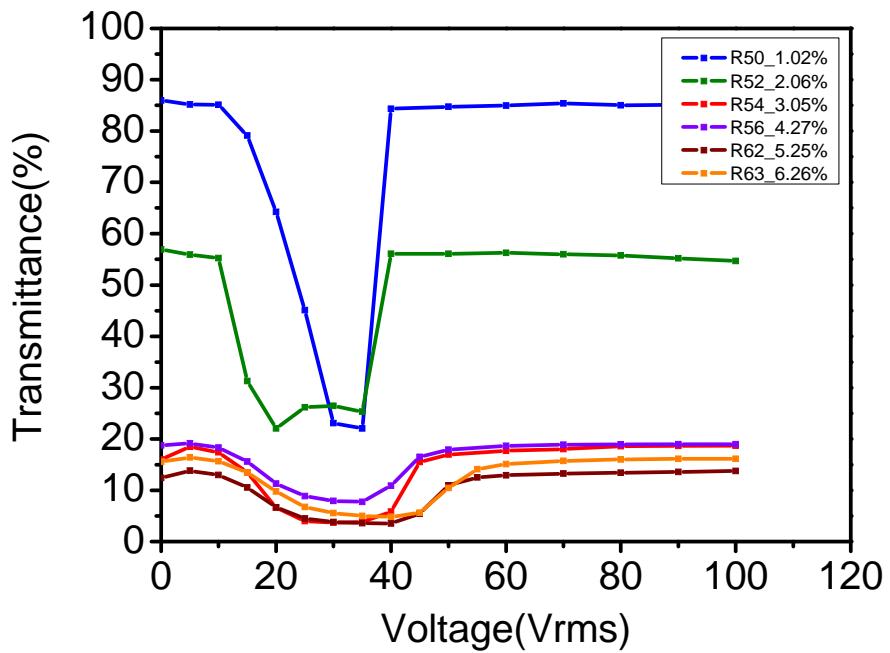
圖(4-2-3) 樣品反射波峰值對高分子濃度圖，藍色線為外加 1kHz,100Vrms 方波脈衝後量得之反射波峰值，紅色為外加 1kHz,30Vrms 方波脈衝後量得之反射波峰值



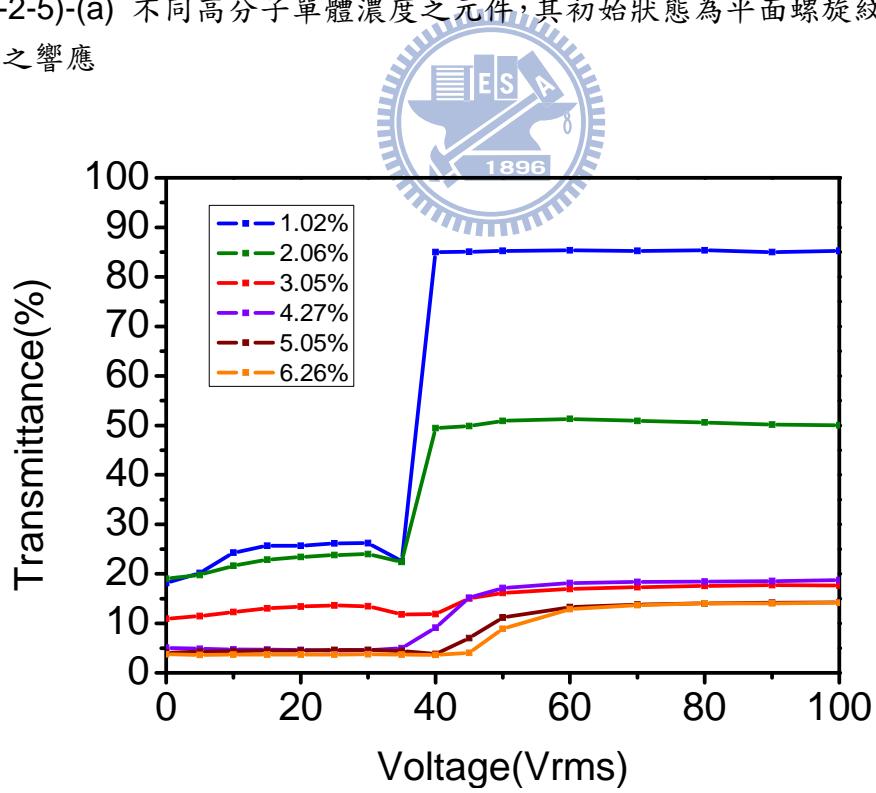
圖(4-2-4)-(a) 不同高分子單體濃度之元件，其初始狀態為平面螺旋紋理對電壓脈衝之響應



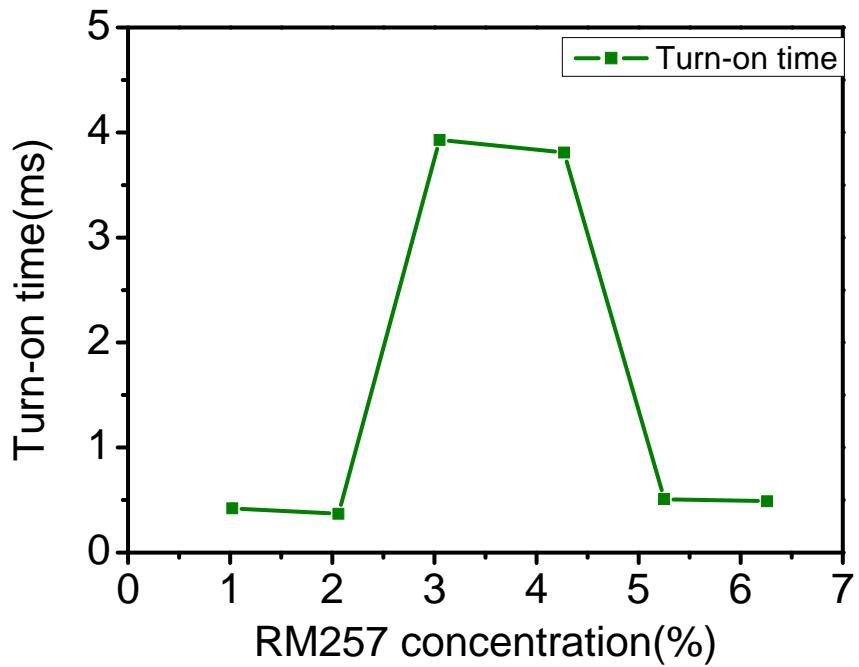
圖(4-2-4)-(b) 不同高分子單體濃度之元件，其初始狀態為垂直螺旋紋理對電壓脈衝之響應



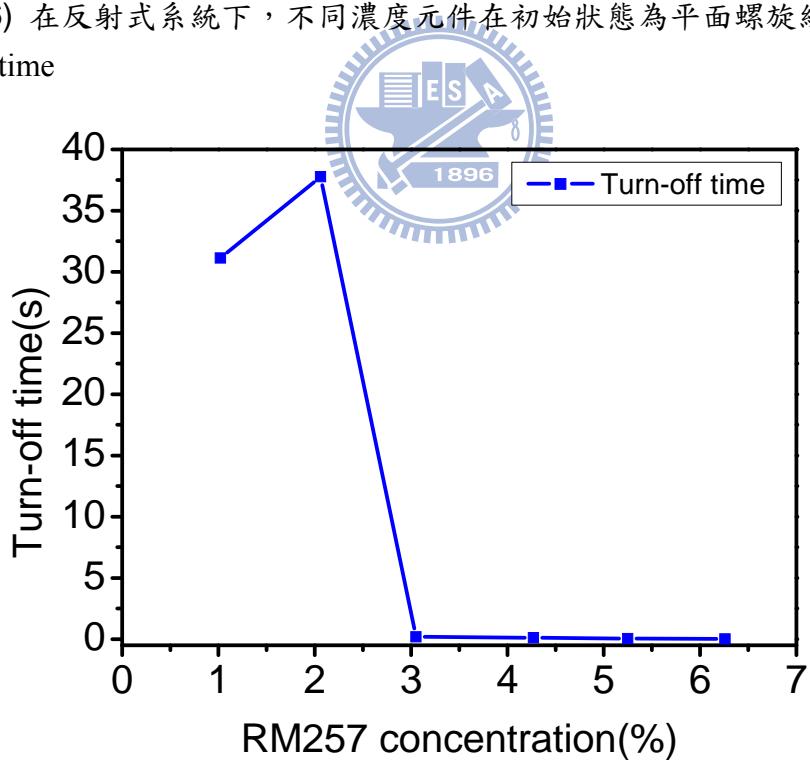
圖(4-2-5)-(a) 不同高分子單體濃度之元件,其初始狀態為平面螺旋紋理對電壓脈衝之響應



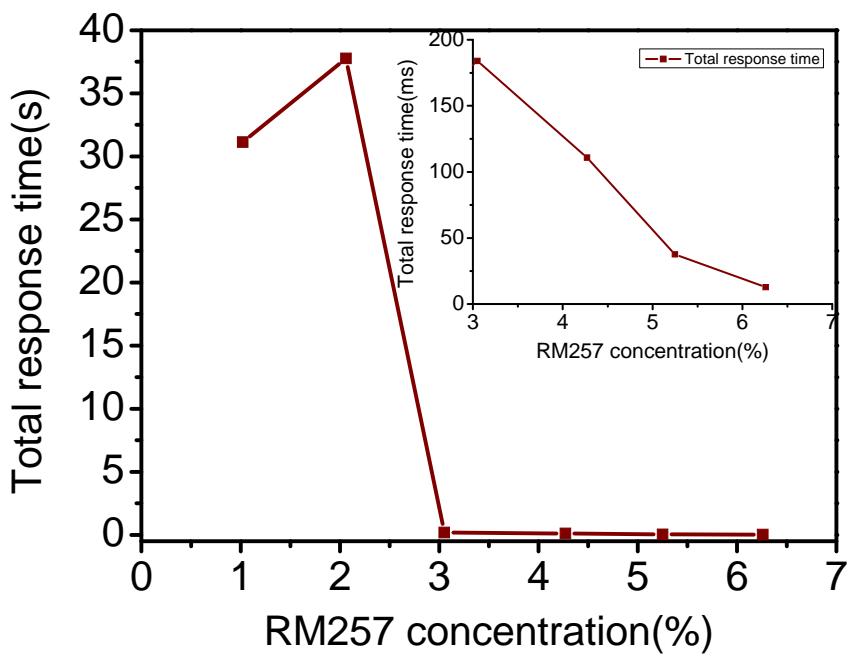
圖(4-2-5)-(b) 不同高分子單體濃度之元件,其初始狀態為垂直螺旋紋理對電壓脈衝之響應



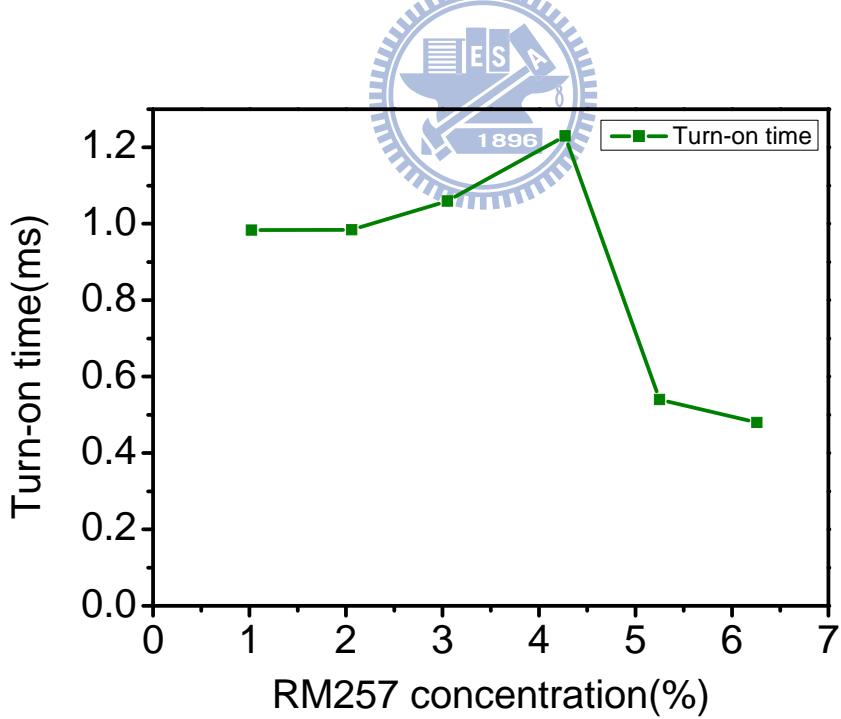
圖(4-2-6) 在反射式系統下，不同濃度元件在初始狀態為平面螺旋紋理時的 Turn-on time



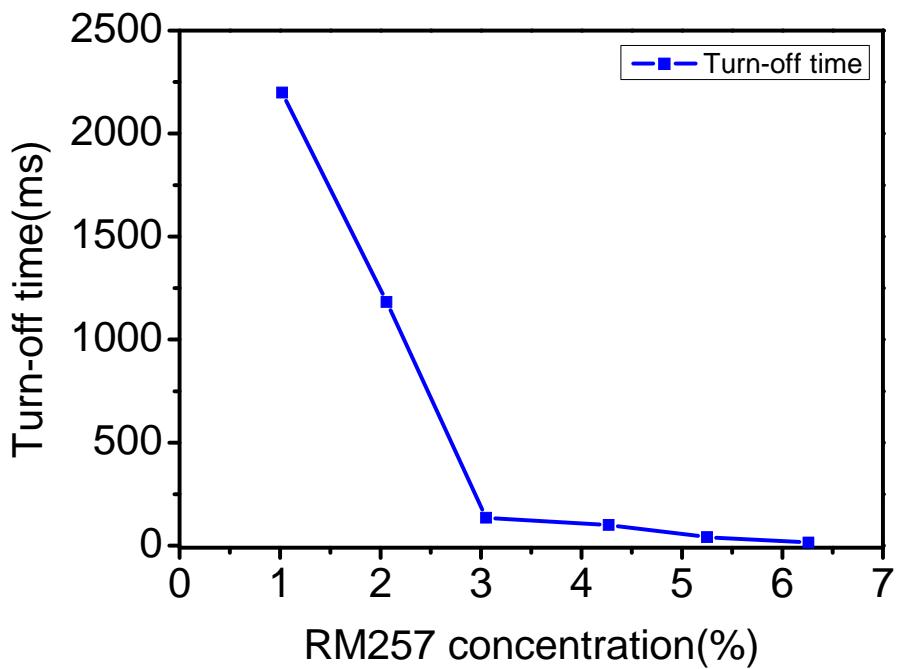
圖(4-2-7) 在反射式系統下，不同濃度元件在初始狀態為平面螺旋紋理時的 Turn-off time



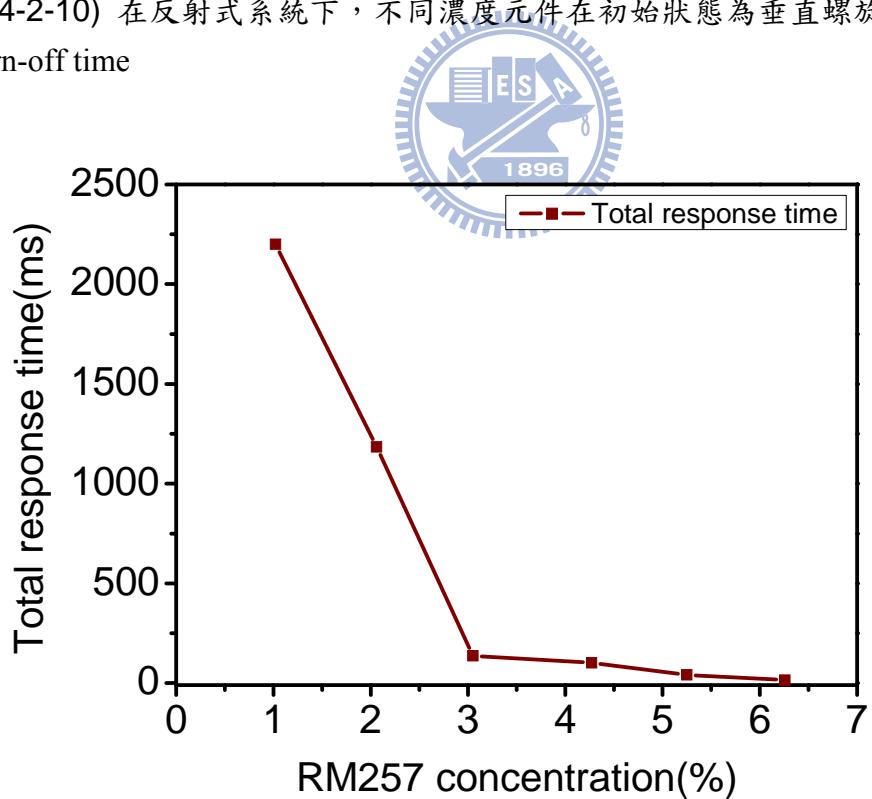
圖(4-2-8) 在反射式系統下，不同濃度元件在平面螺旋紋理時的Total response time (a)濃度從1%~6%的反應時間變化。(b)濃度從3%~6%的反應時間變化。



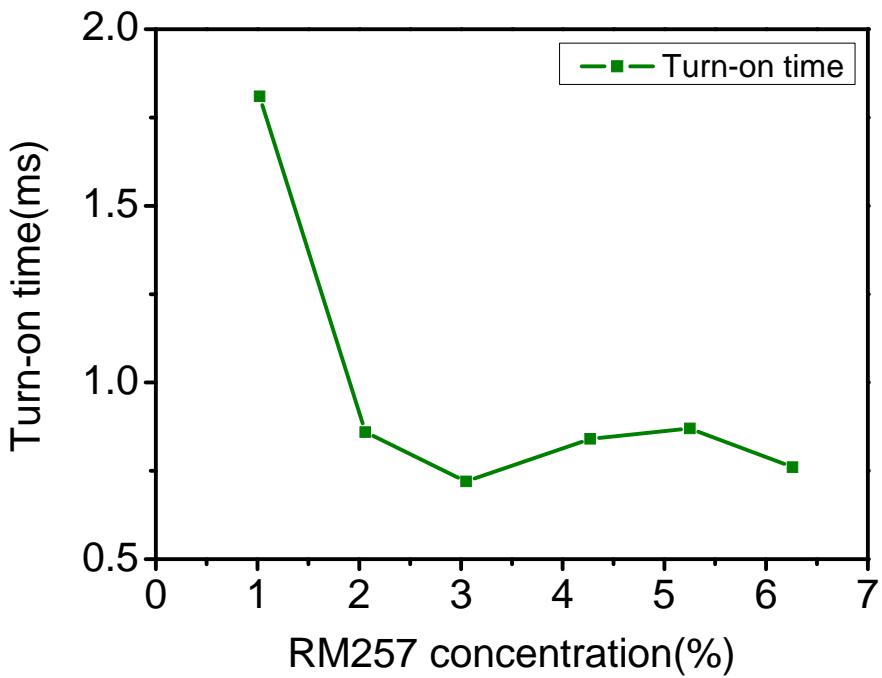
圖(4-2-9) 在反射式系統下，不同濃度元件在初始狀態為垂直螺旋紋理時的 Turn-on time



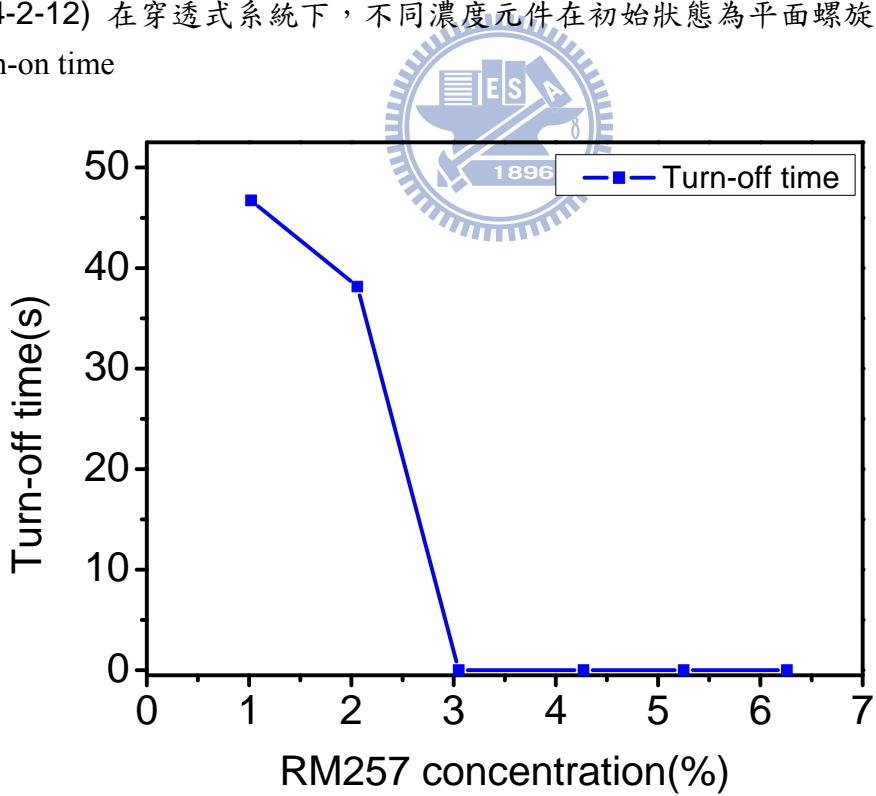
圖(4-2-10) 在反射式系統下，不同濃度元件在初始狀態為垂直螺旋紋理時的 Turn-off time



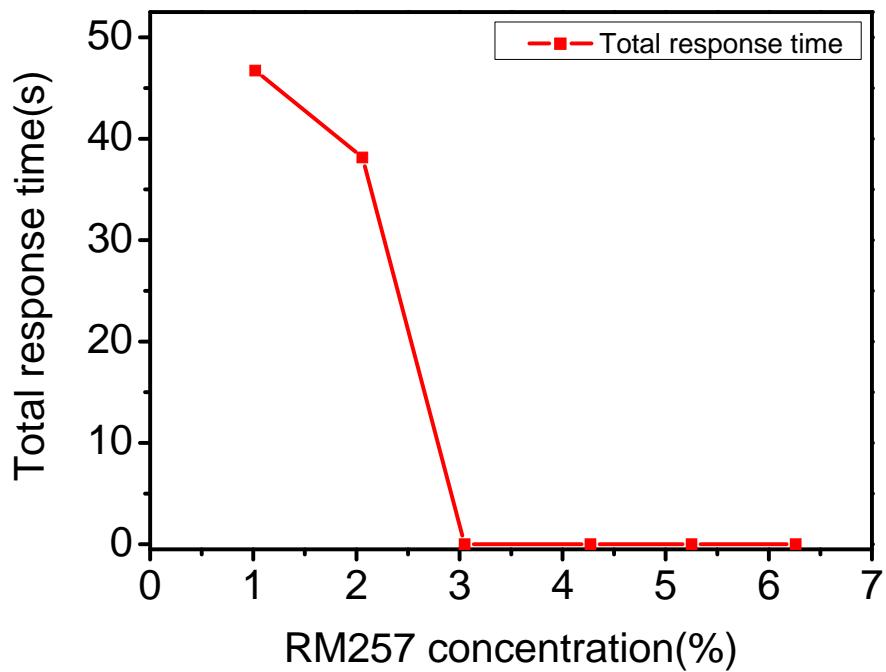
圖(4-2-11) 在反射式系統下，不同濃度元件在垂直螺旋紋理時的Total response time



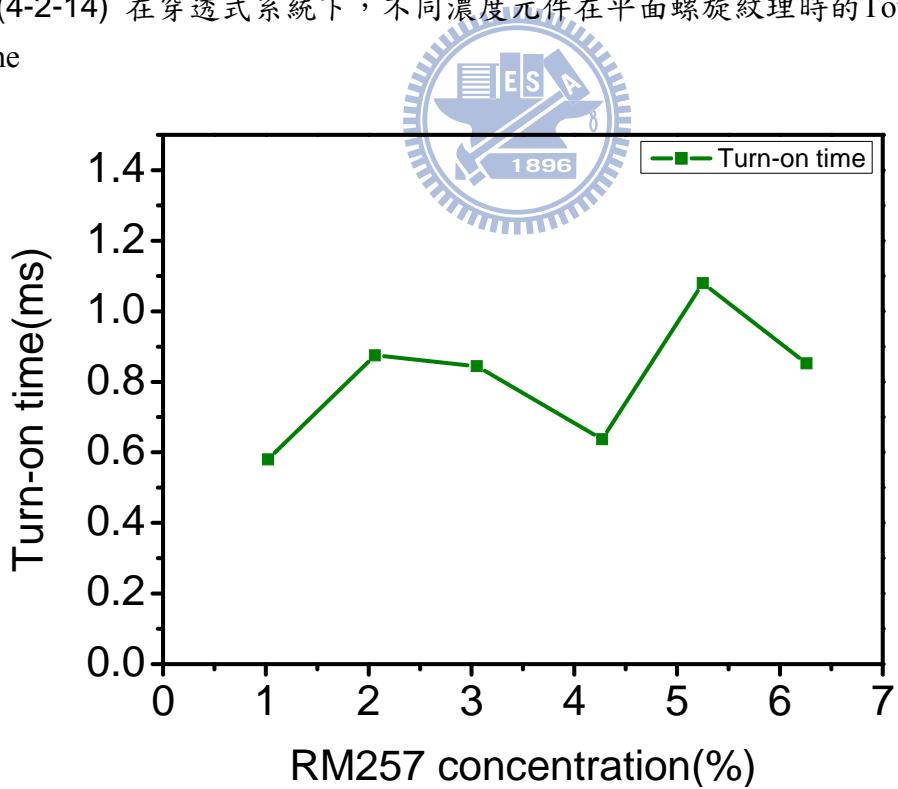
圖(4-2-12) 在穿透式系統下，不同濃度元件在初始狀態為平面螺旋紋理時的 Turn-on time



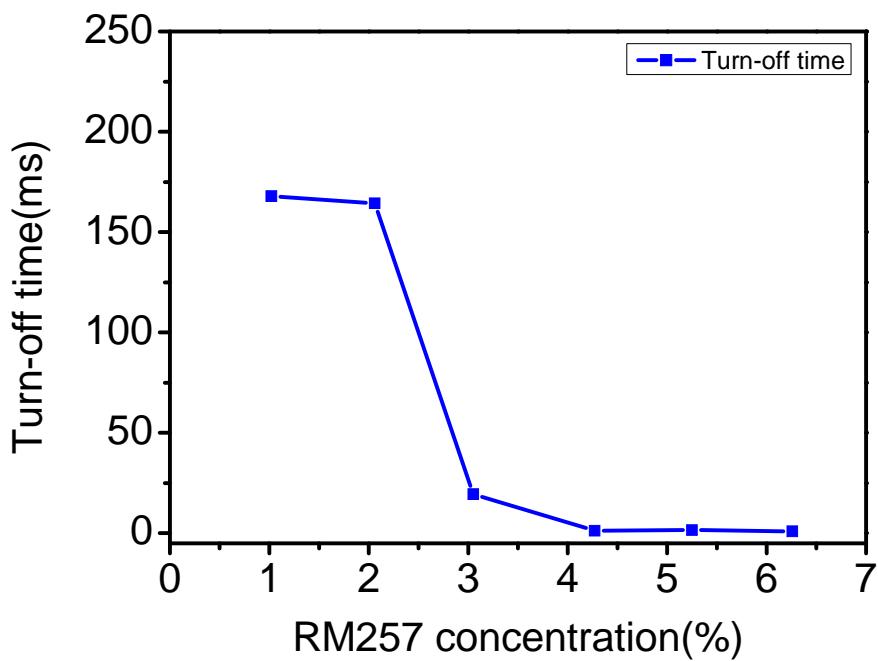
圖(4-2-13) 在穿透式系統下，不同濃度元件在初始狀態為平面螺旋紋理時的 Turn-off time



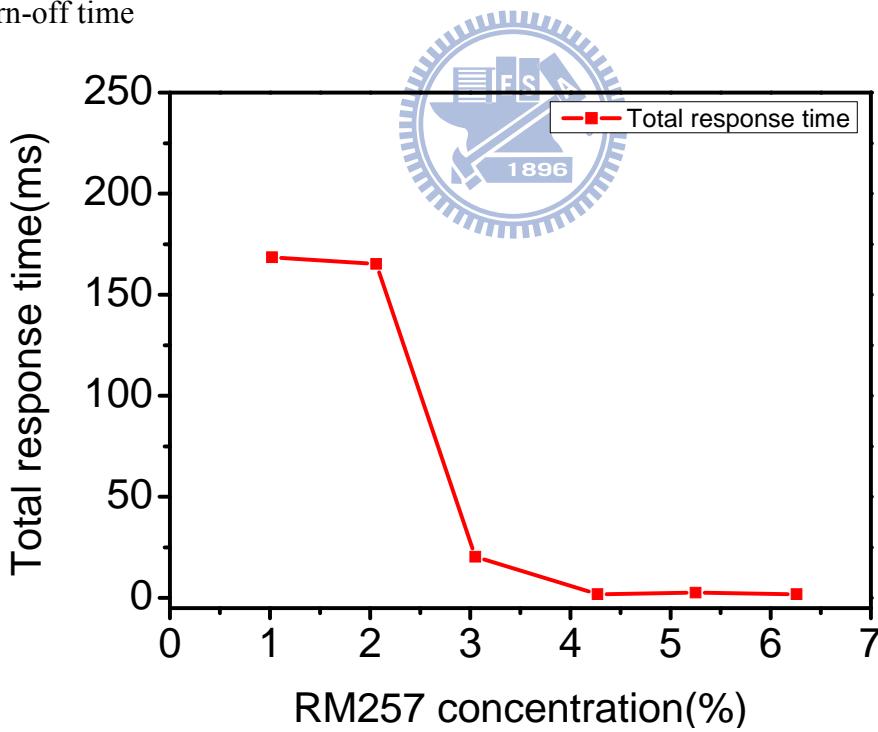
圖(4-2-14) 在穿透式系統下，不同濃度元件在平面螺旋紋理時的Total response time



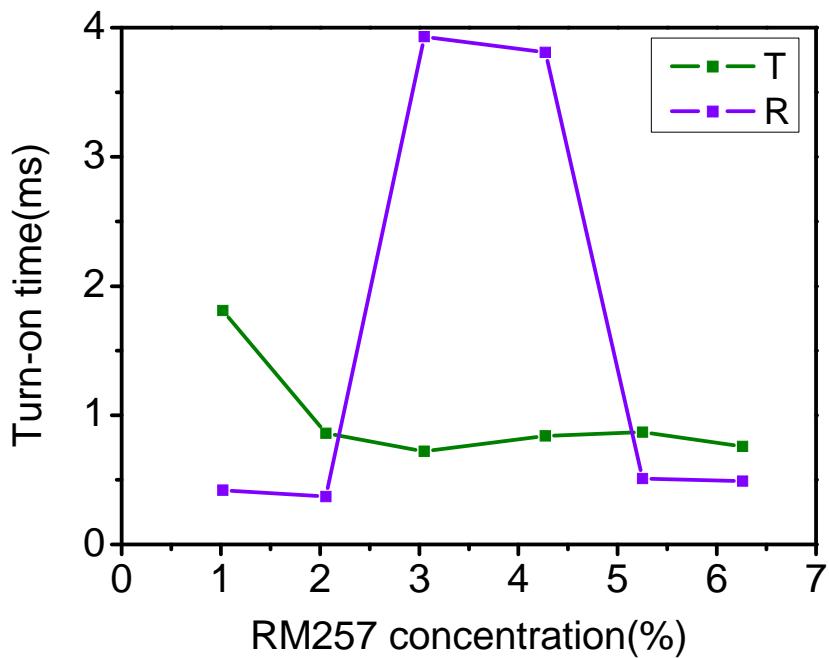
圖(4-2-15) 在穿透式系統下，不同濃度元件在初始狀態為垂直螺旋紋理時的 Turn-on time



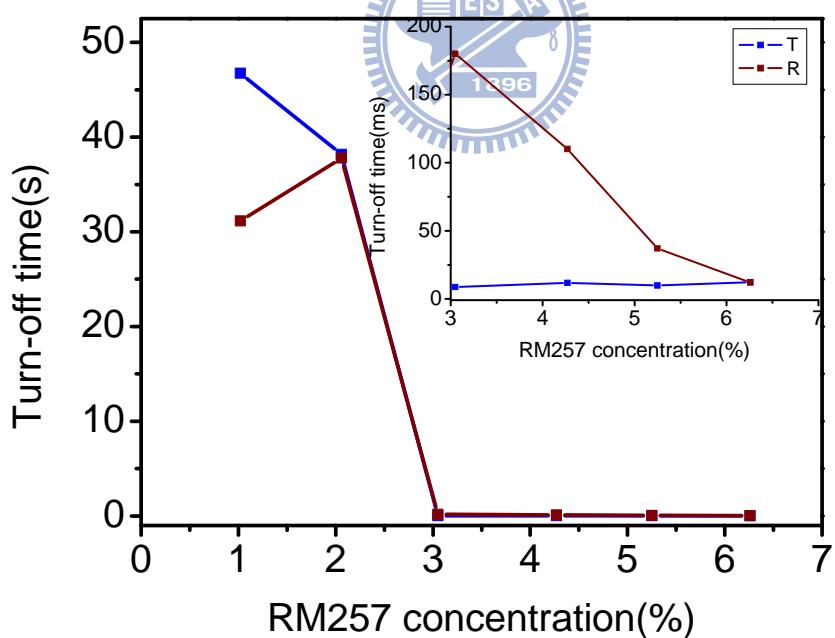
圖(4-2-16) 在穿透式系統下，不同濃度元件在初始狀態為垂直螺旋紋理時的 Turn-off time



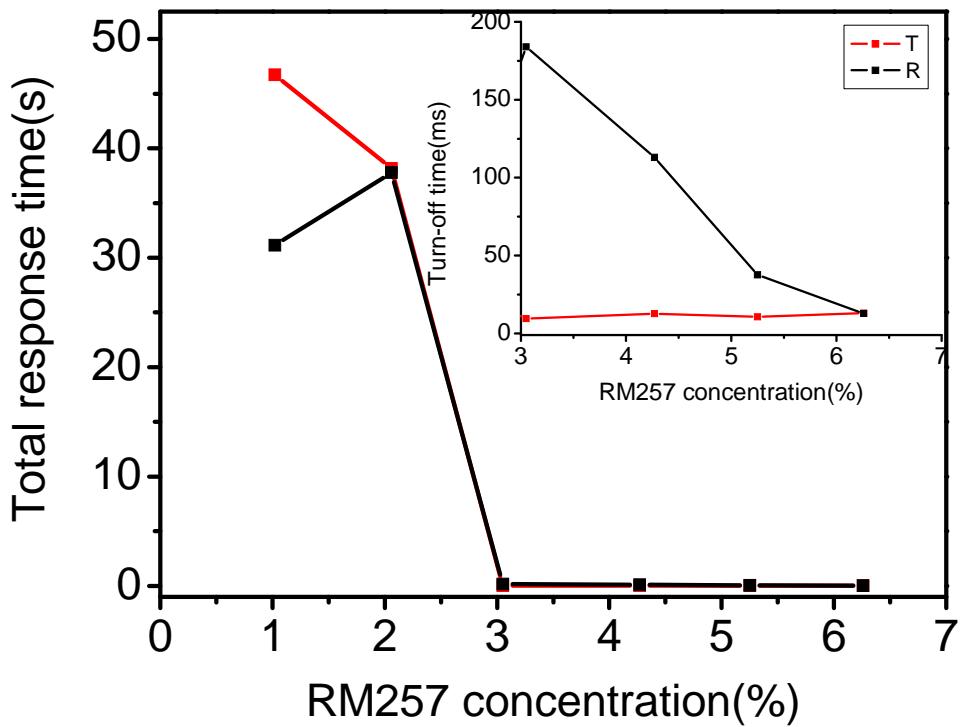
圖(4-2-17) 在穿透式系統下，不同濃度元件在垂直螺旋紋理時的Total response time



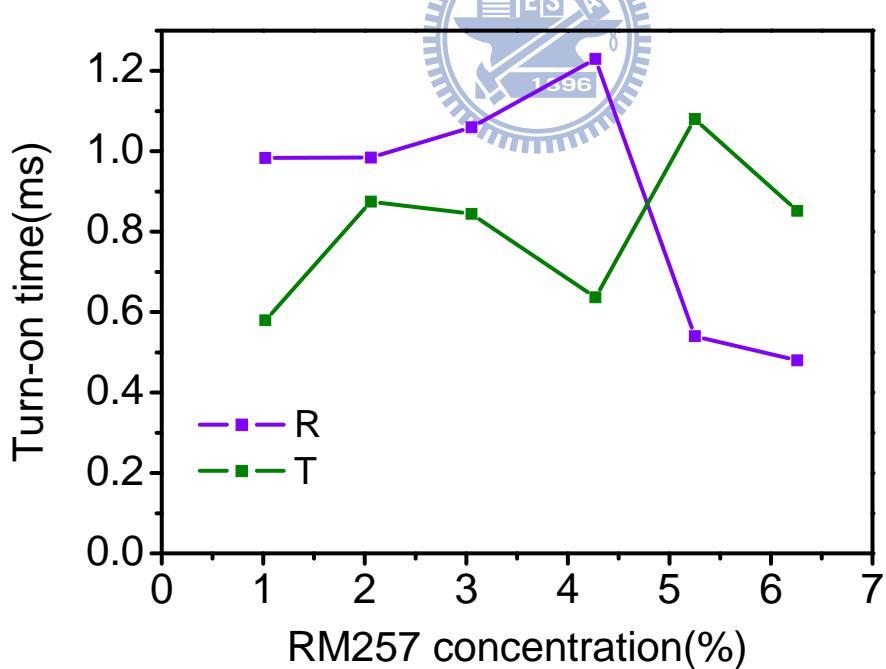
圖(4-2-18) 不同高分子單體濃度的PSCT元件，在初始狀態為平面螺旋紋理下，使用反射式和穿透式系統量測之Turn-on time比較。綠色線為穿透式系統量測，紫色線為反射式系統量測



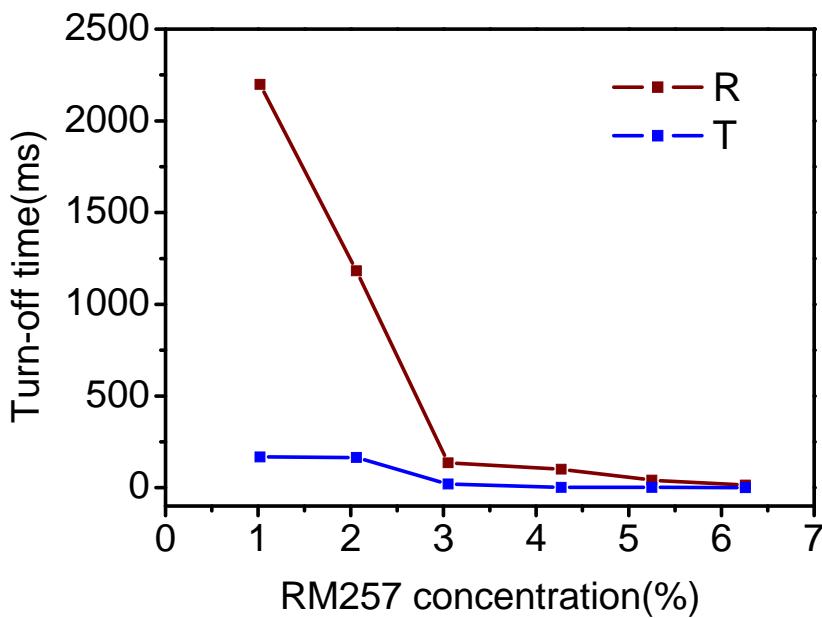
圖(4-2-19) 不同高分子單體濃度的PSCT元件，在初始狀態為平面螺旋紋理下，使用反射式和穿透式系統量測之Turn-off time比較。藍色線為穿透式系統量測，棕色線為反射式系統量測。(a)濃度從1%~6%的反應時間變化。(b)濃度從3%~6%的反應時間變化。



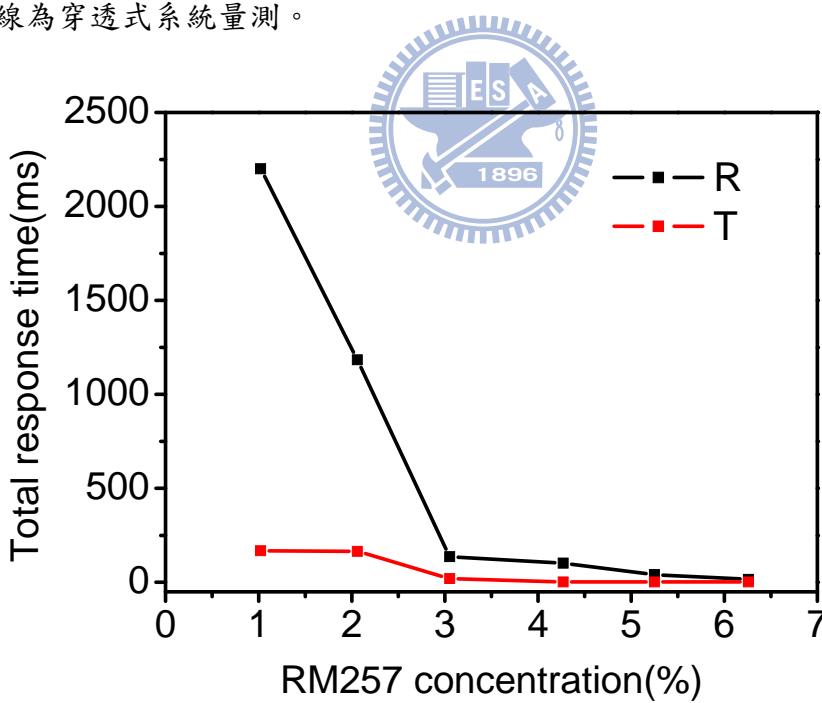
圖(4-2-20) 不同高分子單體濃度的PSCT元件，在初始狀態為平面螺旋紋理下，使用反射式和穿透式系統量測之總反應時間比較。紅色線為穿透式系統量測，黑色線為反射式系統量測。(a))濃度從 1%~6% 的反應時間變化。(b)濃度從 3%~6% 的反應時間變化。



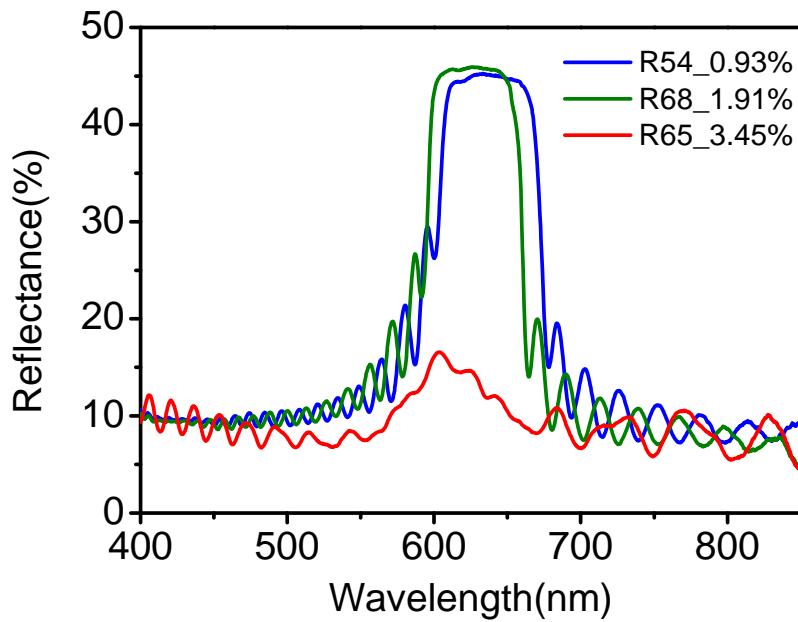
圖(4-2-21) 不同高分子單體濃度的PSCT元件，在初始狀態為垂直螺旋紋理下，使用反射式和穿透式系統量測之Turn-on time 比較。紫色線為反射式系統量測，綠色線為穿透式系統量測。



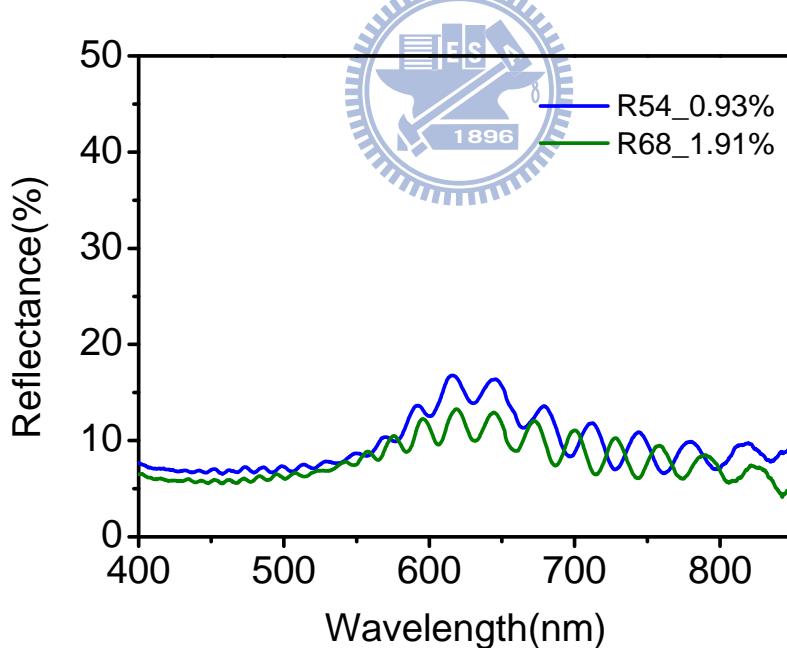
圖(4-2-22) 不同高分子單體濃度的PSCT元件，在初始狀態為垂直螺旋紋理下，使用反射式和穿透式系統量測之Turn-off time比較。棕色線為反射式系統量測，藍色線為穿透式系統量測。



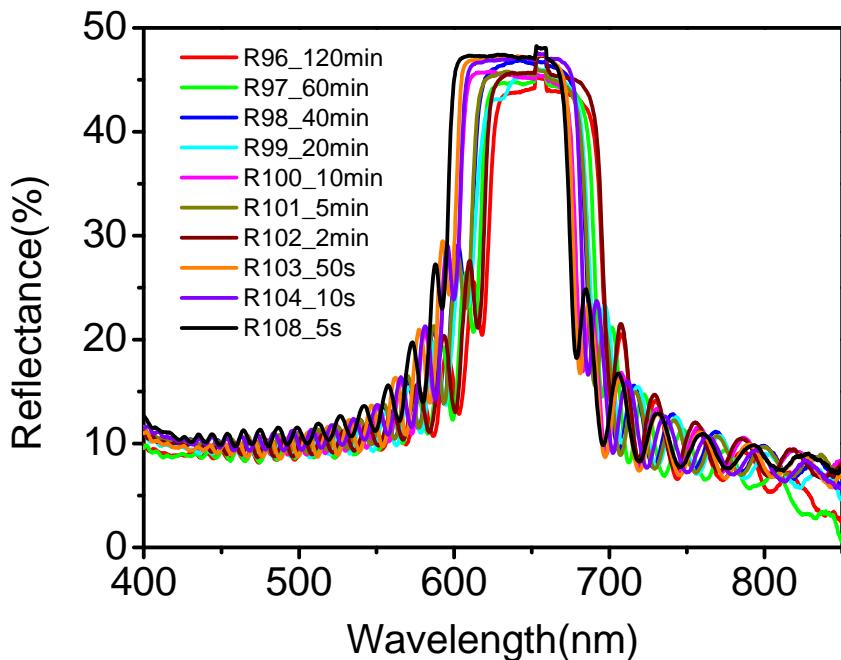
圖(4-2-23) 不同高分子單體濃度的PSCT元件，在初始狀態為垂直螺旋紋理下，使用反射式和穿透式系統量測之總反應時間比較。黑色線為反射式系統量測，紅色線為穿透式系統量測。



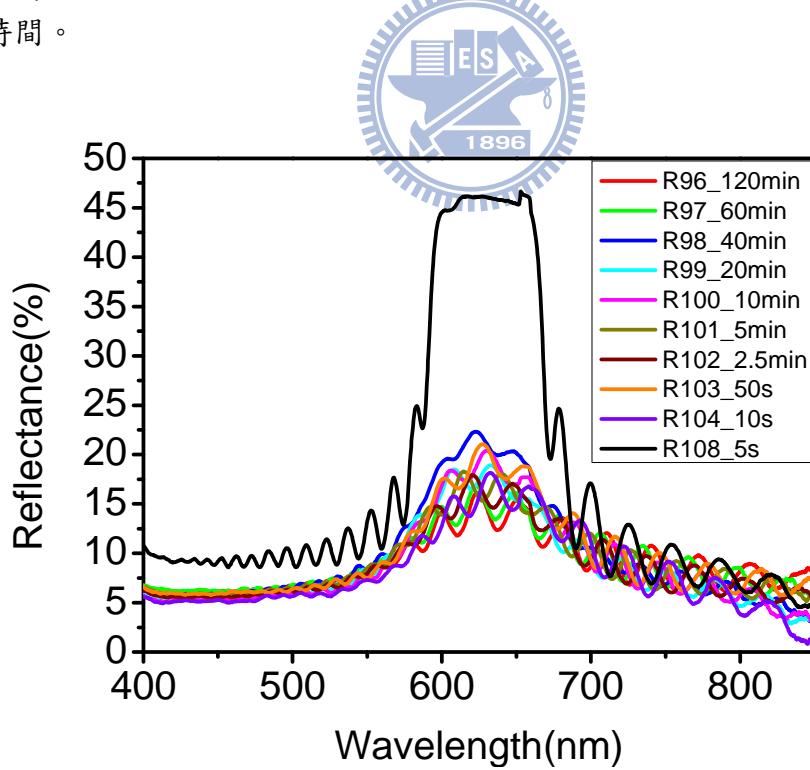
圖(4-3-1) 不同光起始劑濃度之PSCT元件在未外加電壓前的反射光譜。藍線為R54 樣品，光起劑濃度:0.93%，綠線為R68 樣品，光起劑濃度:1.91%，紅線為R65 樣品，光起劑濃度:3.45%



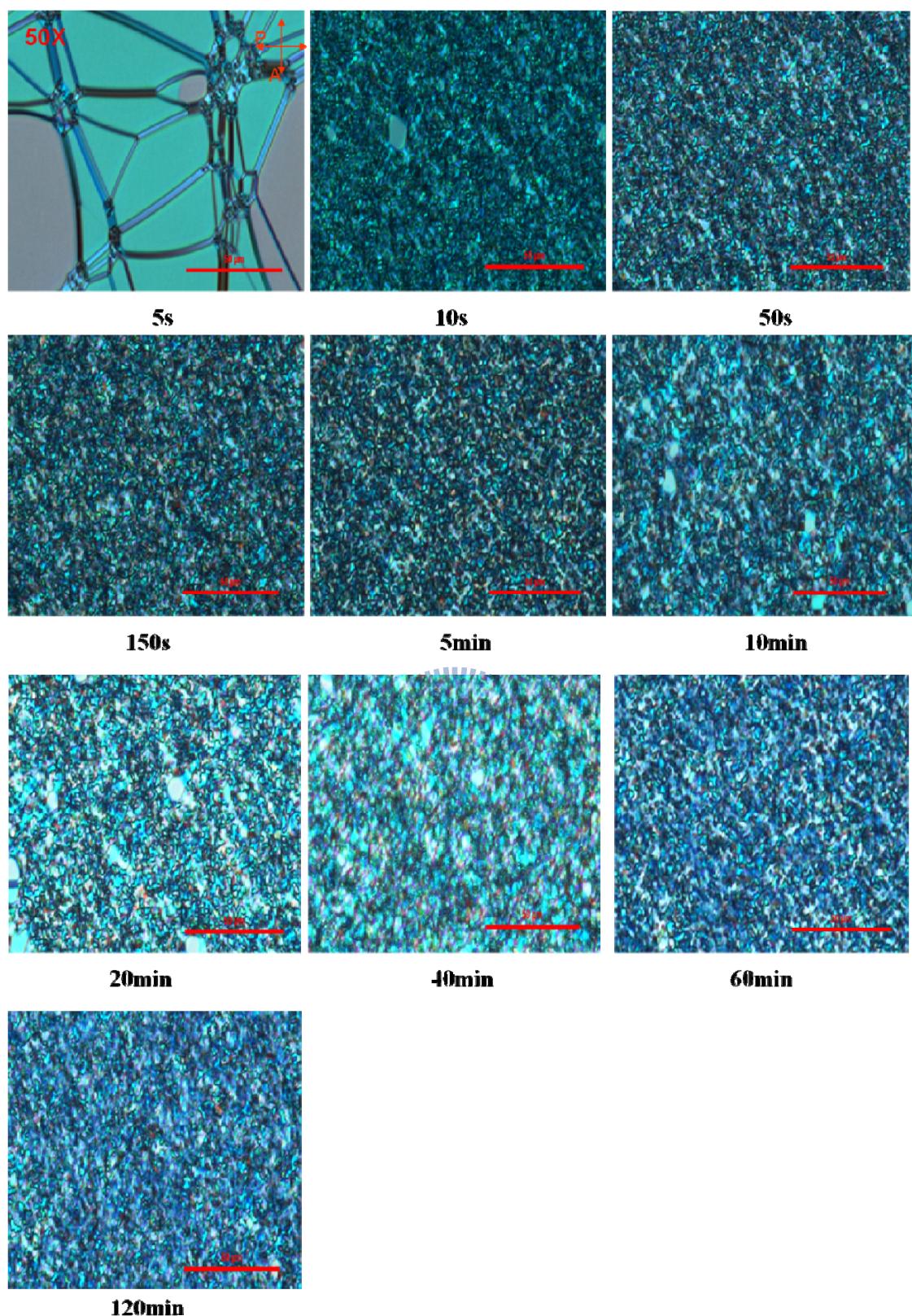
圖(4-3-2) 不同光起始劑濃度之PSCT元件在外加 1kHz，100Vrms的方波脈衝關掉後的反射光譜。藍線為R54 樣品，光起劑濃度:0.93%，綠線為R68 樣品，光起劑濃度:1.91%



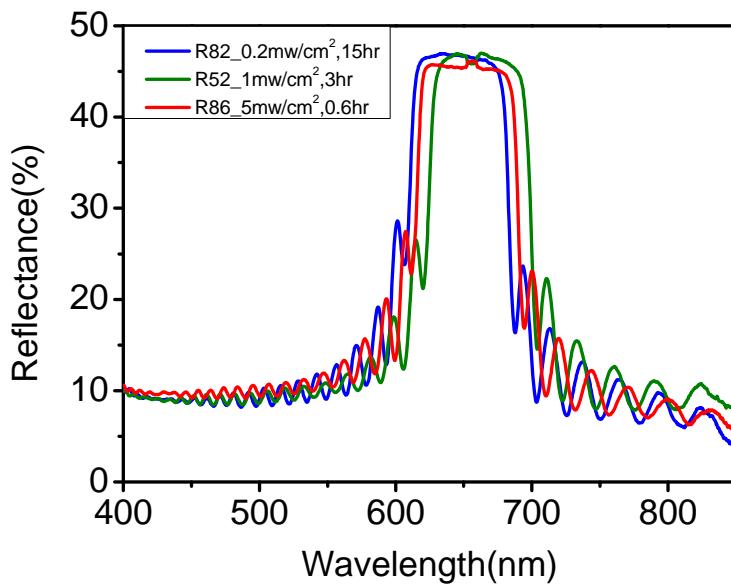
圖(4-4-1) 不同照光時間的樣品在未加電壓前之反射光譜。樣品後面的數字代表照光時間。



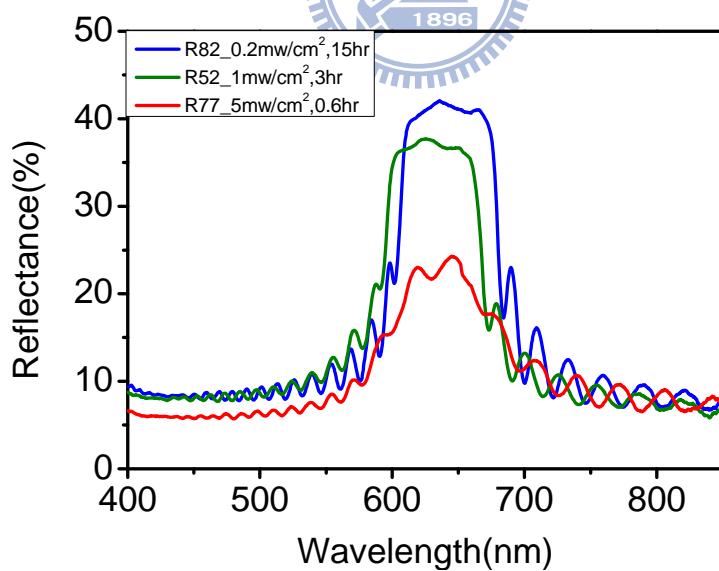
圖(4-4-2) 不同照光時間的樣品在外加 1kHz, 100Vrms 的方波脈衝關掉後的反射光譜。樣品後面的數字代表照光時間。



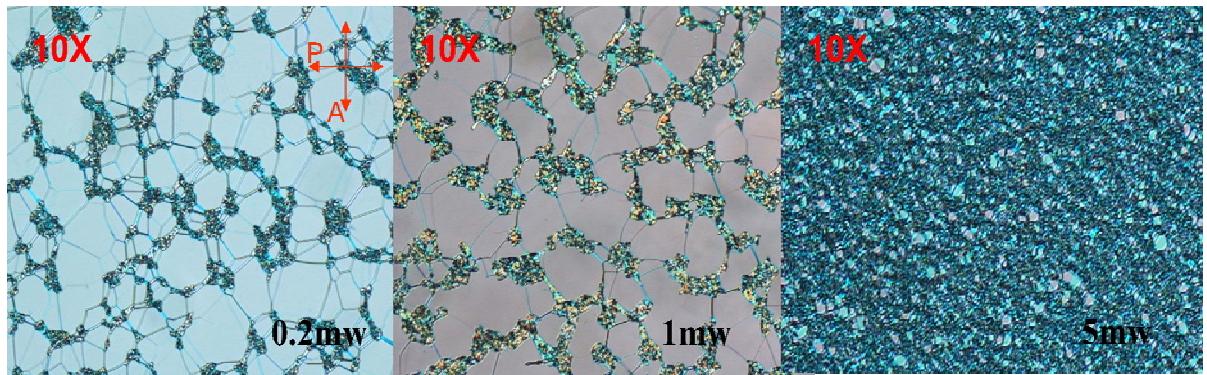
圖(4-4-3) 在正交偏振片下，不同照光時間樣品的偏光顯微鏡圖。放大倍率:50倍，圖下面數字代表照光時間。



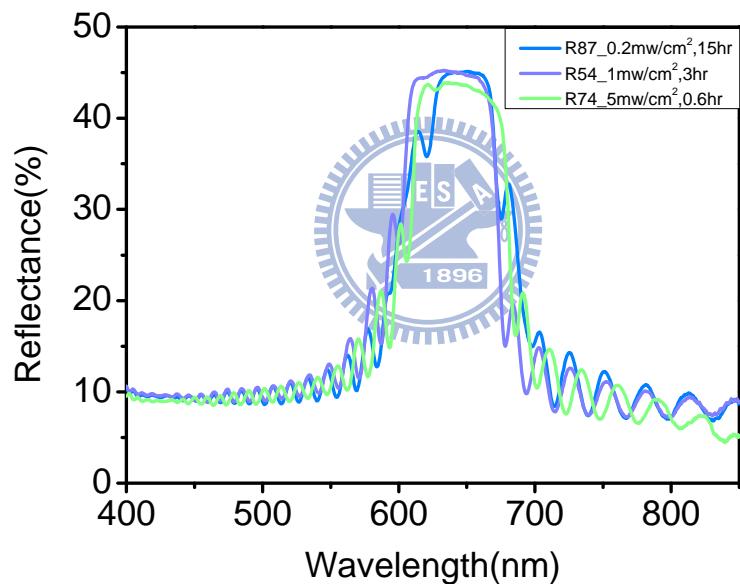
圖(4-4-4) 高分子單體濃度 2.06% 時，樣品在未加電壓前之反射光譜。樣品後面的數字代表照光強度和時間。



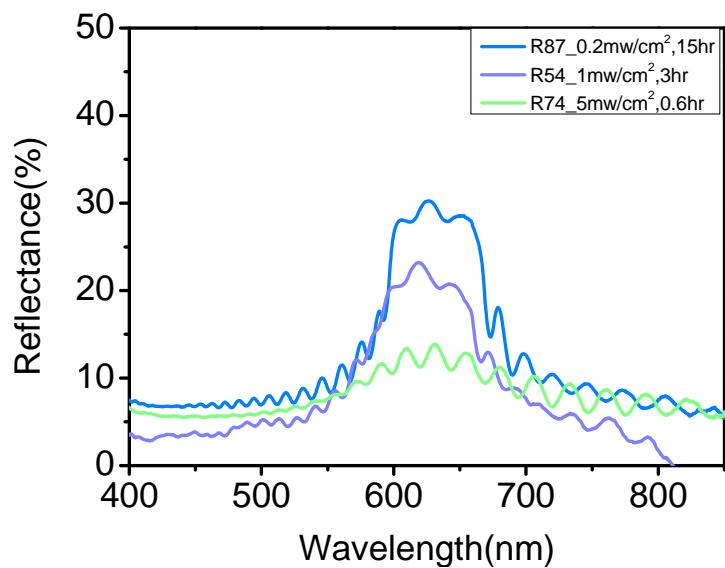
圖(4-4-5) 高分子單體濃度 2.06% 時，樣品外加 1kHz, 100Vrms 方波脈衝後之反射光譜。樣品後面的數字代表照光強度和時間。



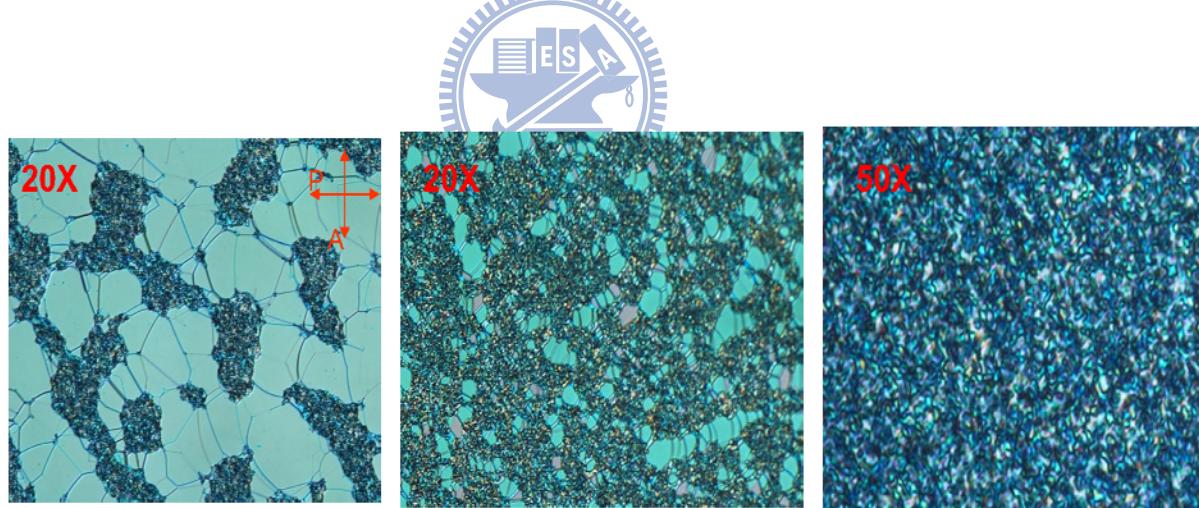
圖(4-4-6) 高分子單體濃度 2.06% 時，在正交偏振片下，不同照光強度樣品的偏光顯微鏡圖。放大倍率:10 倍，圖右下面數字代表照光強度。



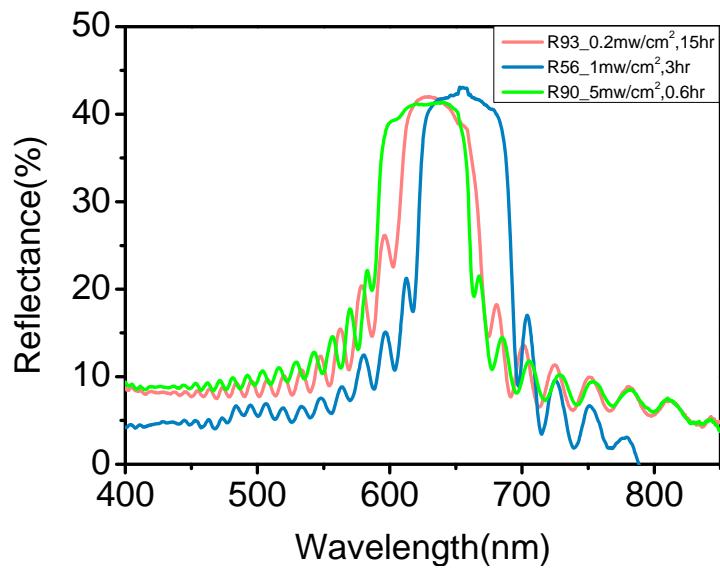
圖(4-4-7) 高分子單體濃度 3.05% 時，樣品在未加電壓前之反射光譜。樣品後面的數字代表照光強度和時間。



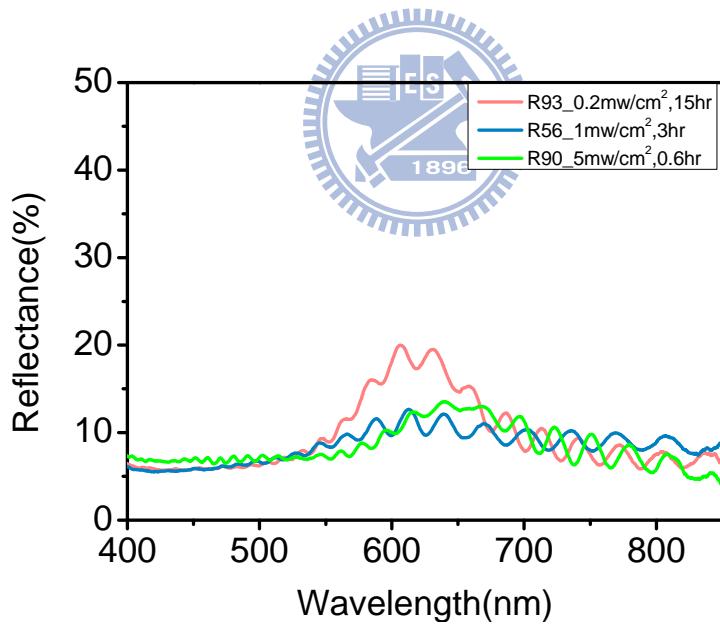
圖(4-4-8) 高分子單體濃度 3.05% 時，樣品外加 1kHz，100Vrms 方波脈衝後之反射光譜。樣品後面的數字代表照光強度和時間。



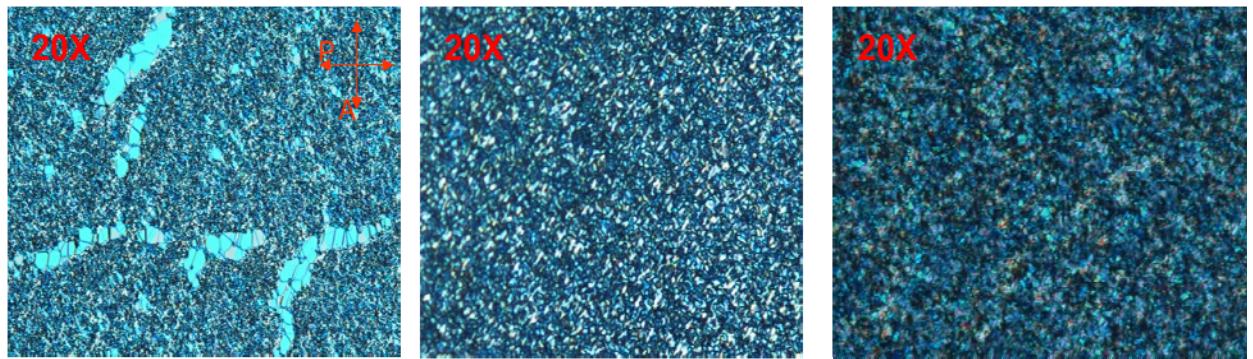
圖(4-4-9) 高分子單體濃度 3.05% 時，在正交偏振片下，不同照光強度樣品的偏光顯微鏡圖。放大倍率:10 倍，圖右下面數字代表照光強度。



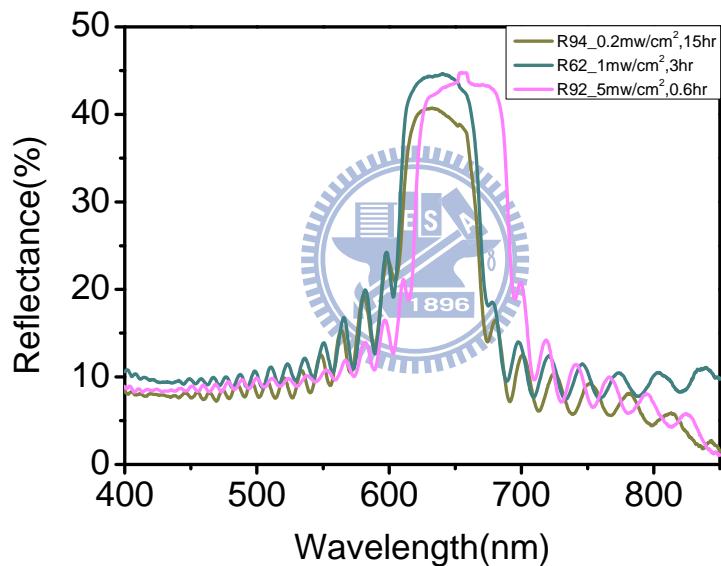
圖(4-4-10) 高分子單體濃度 4.27% 時，樣品在未加電壓前之反射光譜。樣品後面的數字代表照光強度和時間



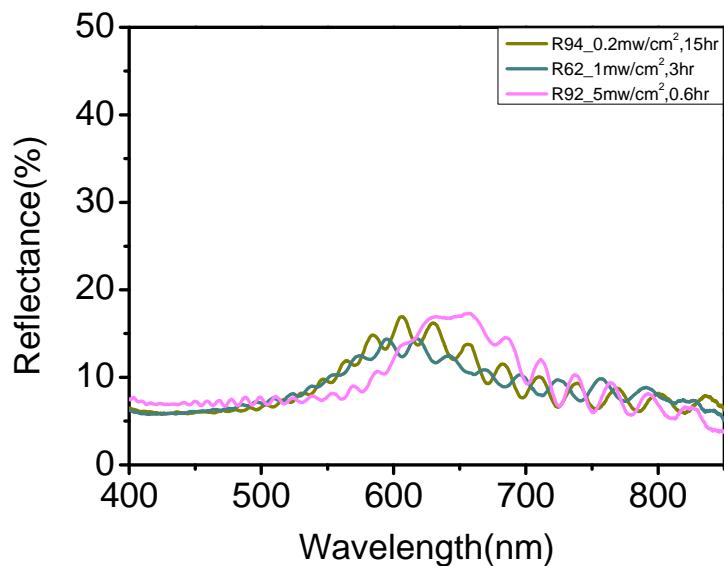
圖(4-4-11) 高分子單體濃度 4.27% 時，樣品外加 1kHz，100Vrms 方波脈衝後之反射光譜。樣品後面的數字代表照光強度和時間。



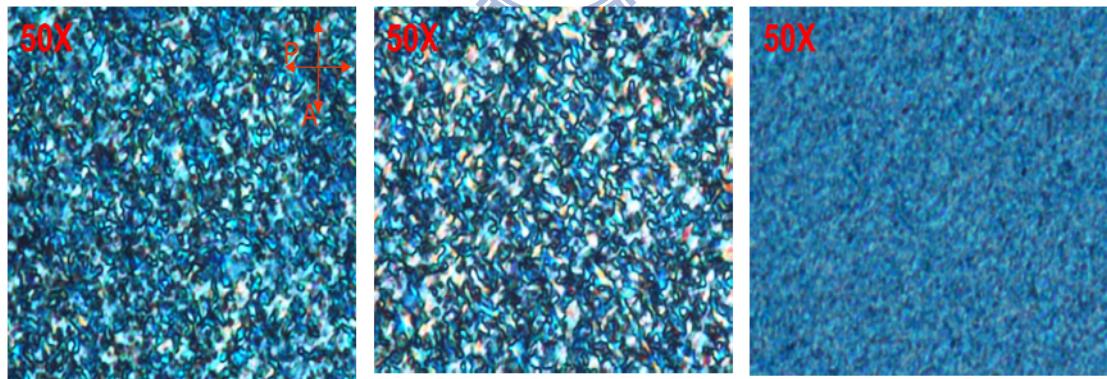
圖(4-4-12) 高分子單體濃度 4.27% 時，不同照光強度樣品的偏光顯微鏡圖。偏振片:正交，放大倍率:10 倍，圖右下面數字代表照光強度。



圖(4-4-13) 高分子單體濃度 5.25% 時，樣品在未加電壓前之反射光譜。樣品後面的數字代表照光強度和時間

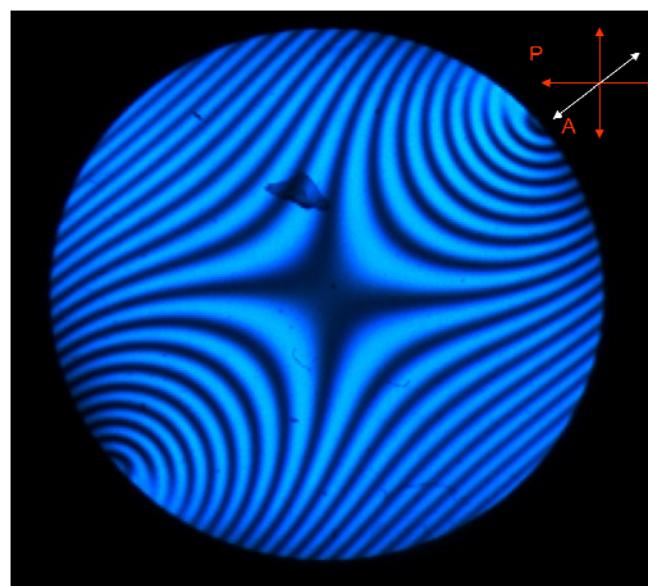
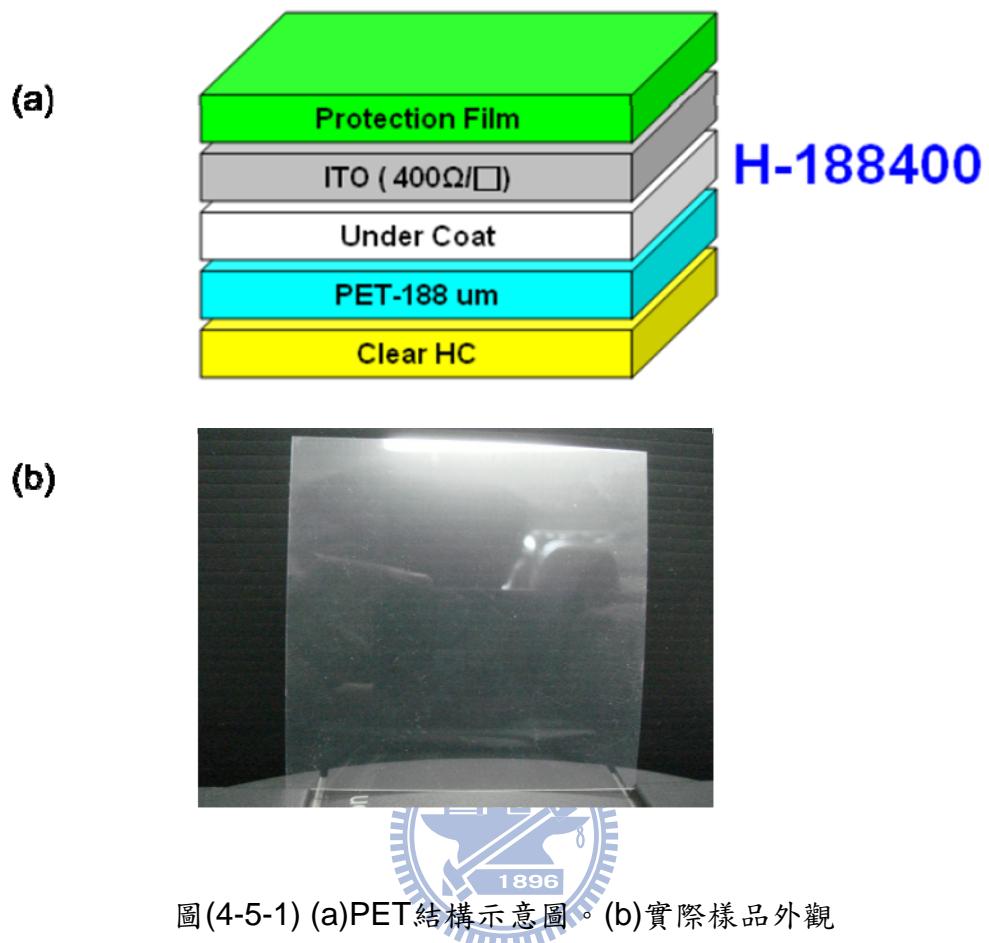


圖(4-4-14) 高分子單體濃度 5.25%時，樣品外加 1kHz，100Vrms方波脈衝後之反射光譜。樣品後面的數字代表照光強度和時間。

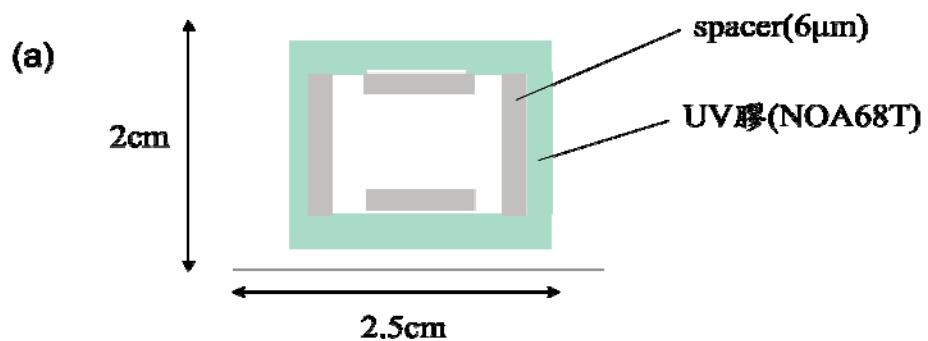


圖(4-4-15) 高分子單體濃度 5.25%時，在正交偏振片下，不同照光強度樣品的偏光顯微鏡圖。放大倍率:10 倍，圖右下面數字代表照光強度。

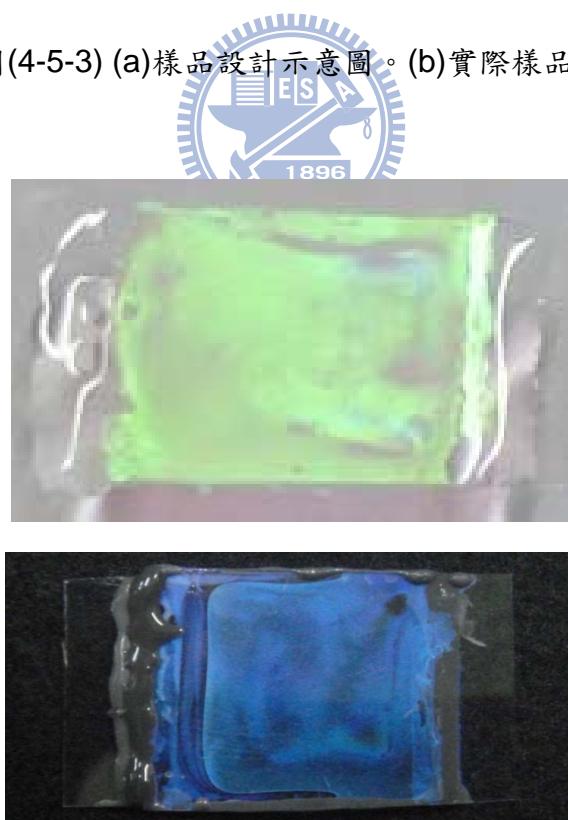
製品材料與結構



圖(4-5-2) PET基板在跟正交偏振片夾 45° 下，所觀察到的conoscopy照片



圖(4-5-3) (a)樣品設計示意圖。(b)實際樣品照



圖(4-5-4) PET樣品灌入液晶後實際照片

表(3-1-1) MDA-00-3461 之物理特性參數。

MDA-00-3461 Characteristic:	
Clear Point T _c (°C)	92
n _e (589.3nm,20°C)	1.7718
n _o (589.3nm,20°C)	1.5140
Δ n(=n _e -n _o)	0.2578
Δ ε (20°C)	11.2
Viscosity (m pa s)	242

表(4-1-1) 樣品編號、液晶混合液之調配比例及照光條件

Sample No	配向膜	Cell gap (μm)	Chemical composition of sample (wt%)	UV curing (1mW/cm ²)
AP01	AL12jb	5.95	26.25% R-811 68.83% MDA003461 3.10% RM257	180mins
VA01	AL60101	6.16	1.82% DMPA	
E01	N/A	7.42		

表(4-2-1) 液晶混合液編號、調配比例及照光條件

液晶混合液	MDA003461 (%)	R-811 (%)	DMPA (%)	RM257 (%)	Curing Intensity (mW/cm ² , at 365nm),hr
com2	76.40	21.95	0.90	1.02	1 mW/cm ² , 3hr
com3	76.00	21.99	0.91	1.51	
com4	75.54	22.03	0.92	2.06	
com5	75.25	22.05	0.92	2.42	
com6	74.73	22.09	0.93	3.05	
com7	74.26	22.13	0.94	3.63	
com8	73.73	22.18	0.95	4.27	
com9	73.40	22.21	0.96	4.67	
com10	72.92	22.25	0.97	5.25	
com11	72.09	22.32	0.98	6.26	

表(4-2-2) 在反射式系統下，初始狀態為平面螺旋紋理的不同高分子單體濃度之PSCT元件，其反應時間量測結果。

RM257(%) Response	1.02	2.06	3.05	4.27	5.25	6.26
Turn-on time (ms)	0.42	0.37	3.93	3.81	0.51	0.49
Turn-off time (ms)	31130	37780	180.94	109.62	37.07	12.25
Total response time (ms)	31130.42	37780.37	184.87	113.43	37.58	12.74

表(4-2-3) 在反射式系統下，初始狀態為垂直螺旋紋理的不同高分子單體濃度之PSCT元件，其反應時間量測結果。

RM257(%) Response	1.02	2.06	3.05	4.27	5.25	6.26
Turn-on time (ms)	0.98	0.98	1.06	1.23	0.54	0.48
Turn-off time (ms)	2198.84	1182.53	135.58	100.30	41.16	14.78
Total response time (ms)	2199.82	1183.51	136.64	101.53	41.7	15.26

表(4-2-4) 在穿透式系統下，初始狀態為平面螺旋紋理的不同高分子單體濃度之PSCT元件，其反應時間量測結果。



RM257(%) Response	1.02	2.06	3.05	4.27	5.25	6.26
Turn-on time (ms)	1.81	0.86	0.72	0.84	0.87	0.76
Turn-off time (ms)	46720	38160	8.73	11.79	9.78	12.25
Total response time (ms)	46721.81	38160.86	9.45	12.63	10.65	13.01

表(4-2-5) 在穿透式系統下，初始狀態為垂直螺旋紋理的不同高分子單體濃度之PSCT元件，其反應時間量測結果。

Response	RM257(%)	1.02	2.06	3.05	4.27	5.25	6.26
Turn-on time (ms)		0.58	0.88	0.84	0.64	1.08	0.85
Turn-off time (ms)		167.91	164.31	19.52	1.20	1.50	1.00
Total response time (ms)		168.49	165.19	20.36	1.84	2.58	1.85

表(4-3-1) 樣品編號、液晶混合液之調配比例及照光條件

Sample No	Cell gap (μm)	MDA003461 (%)	R-811 (%)	RM257 (%)	DMPA (%)	UV curing (1 mW/cm ²)
R54	5.95	74.73	22.09	3.05	0.93	180mins
R68	5.73	72.85	21.99	3.15	1.91	
R65	6.07	72.09	21.60	2.96	3.45	

表(4-4-1) 樣品編號、液晶混合液之調配比例及照光條件

Sample No	Cell gap (μm)	Chemical composition of sample (wt%)	UV curing	
			Intensity (mW/cm^2)	Time
R96	5.82	22.09% 74.73% 3.05% 0.93%	1 mW/cm^2	120min
R97	5.87			60min
R98	5.68			40min
R99	6.02			20min
R100	5.91			10min
R101	5.96			5min
R102	5.88			2min
R103	5.83			5s
R104	5.77			10s
R108	5.72			5s



表(4-4-2) 樣品編號、液晶混合液之調配比例及照光條件

Sample No	Cell gap (μm)	Chemical composition of sample (wt%)	UV curing (mW/cm ² ,hr)
R82	5.85	22.03% R-811 75.54% MDA-00-3461 2.06% RM-257 0.92% DMPA	0.2 mW/cm ² , 15hr
R52	5.87		1 mW/cm ² , 3hr
R86	5.69		5 mW/cm ² , 0.6hr
R87	6.02	22.09% R-811 74.73% MDA-00-3461 3.05% RM-257 0.93% DMPA	0.2 mW/cm ² , 15hr
R54	5.91		1 mW/cm ² , 3hr
R74	5.96		5 mW/cm ² , 0.6hr
R93	5.88	22.18% R-811 73.73% MDA-00-3461 4.27% RM-257 0.95% DMPA	0.2 mW/cm ² , 15hr
R56	5.83		1 mW/cm ² , 3hr
R90	5.77		5 mW/cm ² , 0.6hr
R94	5.72	22.25% R-811 72.92% MDA-00-3461 5.25% RM-257 0.97% DMPA	0.2 mW/cm ² , 15hr
R62	5.81		1 mW/cm ² , 3hr
R92	5.87		5 mW/cm ² , 0.6hr

表(4-5-1) PET產品尺寸、性能規格、物理特性、可靠度測試(愷駿公司提供)

產品尺寸

本產品標準尺寸如下表：

項目	單位	規格值
厚度(不含保護膜)	μm	197 ± 20
寬幅	mm	採購寬幅 ± 5
捲動滑差	mm	≤ 3
長度	M	標示長度/ $+5, -0$

性能規格

光電特性

測試項目		單位	規格值	測試方法
			加熱後	
光學性質	全光線穿透率	%	90.0 ± 3.0	霧度計 (JIS K7361)
	霧度	%	1.0 ± 0.8	霧度計 (JIS K7136)
	色度指數 (b*)	—	2.0 ± 1.0	分光色度計
ITO性質	表面阻抗值	Ω/\square	$R_1=400\pm 80$	4點探針測定 最外圍量測點離邊 30mm
	線性 (MD/TD)	%	≤ 1.5	線性測試

物理特性

測試項目		單位	規格值	測試方法
熱收縮	MD 方向	%	< 1.0	JIS K7133 (150°C \times 30min) MD 與 TD 量測距離: 100mm
	TD 方向	%	< 1.0	
密著性	ITO層	—	100/100	百格測試 (附件.二)
表面硬度	HC層	—	$\geq 3H$	JIS K5600-5-4
翹曲測試		mm	$\leq 20\text{mm}$	150°C \times 30min 靜置時間: 15分鐘 樣品尺寸: 400mm \times 500mm

可靠度測試

測試項目	單位	規格值	測試方法
高溫保存測試 (HTS)	R_2/R_1	1 ± 0.3	$80^\circ\text{C}\times 240\text{hrs}$
高溫高濕測試 (THB)	R_2/R_1	1 ± 0.3	$60^\circ\text{C}/90\% \text{RH}\times 240\text{hrs}$
冷熱衝擊測試 (TST)	R_2/R_1	1 ± 0.3	$-30^\circ\text{C}\sim 85^\circ\text{C}\times 50\text{ cycle}$

※經過加熱後(150°C \times 30min)之 ITO 膜片，進行上表可靠度測試，其規格與測試方法亦如上表。

(R_1 為加熱後 25 點電阻平均值， R_2 為經可靠度測試後 25 點電阻平均值)