

雙頻橫向螺旋膽固醇液晶之光電特性及其應用

學生：楊有承

指導教授：李 偉 教授

國立交通大學 光電系統研究所碩士班

摘 要

本論文針對雙頻膽固醇液晶，首先在不同液晶盒厚度與螺距之比值下，探討橫向螺旋結構（uniform lying helix structure; ULH）於不同的電壓以及頻率條件下之光學紋理圖以及白光光譜特性。其次詳述在初始態為 ULH 態的條件，施加特定電壓以及頻率下，所產生降低液晶盒樣本光穿透率之擾動效應並提出以頻率調變方式呈現線性灰階之技術。另外，本論文將說明雙頻膽固醇液晶之三穩態切換機制設計，即如何在液晶盒之紋理狀態於平面態（planar state）、焦錐態（focal conic state）以及 ULH 態間能夠以單純調變施加電壓之頻率做快速切換。最後以此切換機制提出實際應用於相關光電元件之可行性。

Electrooptical Effects and Applications of Uniform Lying Helix Structure in Dual-Frequency Cholesteric Liquid Crystals

Student: Yu-Cheng Yang

Advisor: Prof. Dr. Wei Lee

Institute of Photonic System
National Chiao Tung University

Abstract

In this study, we firstly investigated optical textures and optical spectra of dual frequency cholesteric liquid crystals (DFCLC) with different thickness-to-pitch ratio (d/p) under the application of electric field with specific amplitudes and frequencies. Secondly, we explain the disturbance effect that lowers the transmission of light of the DFCLC cell with initial ULH state and propose a feasible technique for realizing linear gray-levels of the DFCLC by applying frequency-modulated voltage pluses. On the other hand, we establish a driving scheme to clarify the direct-two-way switching mechanism between the three-stable states (i.e., the planar state, dynamic focal conic state and ULH state) of the DFCLC. Finally, according to our proposed driving scheme, practical applications of this tristable DFCLC are suggested.

致 謝

還記得二年前，第一次踏上台南這片土地，準備朝向說短不短，說長不長的研究所生活啟程。帶著雀躍的心情，臉上難掩興奮的踏入交通大學，期待著未來許多能夠刺激我、激勵我、改變我以及使我成長的各種各樣的人事物。

在學的兩年間，遇到好多讓我高興的人事物、讓我傷心的人事物、讓我成長的人事物、激勵我的人事物以及讓我領悟到人生道理的人事物。雖然從現在看來，這些都已成過去，但我都已完完全全、仔仔細細地收藏於我的人生口袋之中。而我也將會這些寶貴的經驗悄悄地、靜靜地帶離好不容易才熟稔的研究所生活，繼續航向還未執筆撰寫的未來。

覺得自己就像漂流於充滿漩渦、硬石以及魚蝦的汲汲溪流但也卻不斷往前航行的小舟，雖然小舟不斷地遇到就像危險漩渦般的低落心情以及硬石般堅固的研究瓶頸，但也偶有富有生命力的魚蝦般的溫暖悄悄地圍繞著我。小舟繼續不斷前行，但就算再寬再長的亞馬遜河流也終有走道盡頭的一天。轉眼間研究所生活即將畫下句點，如果要問說我還有甚麼事情還沒完成、甚麼語句還未說出，那麼大概只剩下給予帶給我希望以及溫暖的人一襲謝語，盼望待我離開學校的時候也能回敬一絲微不足道的溫暖。

感謝李偉老師的悉心教導，使我不管是研究、學業、心理以及待人處事上都能夠更加純熟。感謝柏昌學長在我研究上遇到瓶頸時能夠拉我一把，使我的研究方向可以避免往錯誤的方向走。感謝昇頡學長能夠在我困惑於膽固醇液晶中時及時告訴我正確的觀念，讓我學習日益漸進。感謝張鎧之前常陪我去逛街以及對決籃球，讓我能夠在無聊的研究生生活更添一筆趣味。感謝建邦這個從大學時代就認識的朋友，能夠在我心情低落的時候聽我訴說心事。感謝將會同在友達光電服務的皓文，能夠在我有難時提供及時的幫助，也希望之後在竹科有空的時候可以時常聚聚。感謝建璋能夠及時提醒我甚麼應該做、甚麼不應該做，讓我能回頭是岸。感謝碩一的所有學弟妹，替實驗室增添需多年輕活潑的氛圍。感謝舜儀哥熱心的款待，讓我們碩二生能夠在尚未適應台南生活前持續在前頭提舉一盞明燈，以盡快融入熱情台南。感謝俊仁哥能夠在我等數據無聊時陪我聊天，讓我忘卻冗長的等待時間。感謝所有在職專班的所有學長們，能夠將職場上豐富的應對經驗帶到液晶實驗室團隊中，使我們能夠早日適應職場生活。

時光匆匆流逝，我將離開笑容可掬的台南。或許會懷念，但何不瀟灑說再會？

”悄悄的我走了，正如我悄悄的來；我揮一揮衣袖，不帶走一片雲彩。”---

徐志摩-再別康橋

目 錄

摘要	i
Abstract	ii
致謝	iii
目錄	v
表目錄	viii
圖目錄	ix
第 1 章 緒論	1
1.1 前言	1
1.2 本論文架構	3
第 2 章 理論背景	5
2.1 雙頻向列型液晶	5
2.2 膽固醇液晶	7
2.2.1. 基本物理特性	7
2.2.2. 膽固醇液晶之紋理	9

2.2.3. 傳統雙穩態轉換機制	18
2.3 雙頻膽固醇液晶.....	19
2.4 橫向螺旋膽固醇液晶結構.....	20
第 3 章 實驗方法.....	22
3.1 樣品製作.....	22
3.2 實驗裝置.....	26
3.2.1. 正交偏光顯微鏡.....	26
3.2.2. 白光穿透光譜.....	27
3.2.3. 電壓對光穿透率圖.....	29
3.2.4. 反應時間.....	29
第 4 章 實驗結果與討論.....	31
4.1 雙頻 ULH 之光電特性	31
4.1.1. 雙頻 ULH 態在不同 d/p 值與不同旋性對掌性材料下之比較	31
4.1.2. 於擾動區間之定電壓變頻率之現象	45
4.1.3. 於擾動頻率下調變電壓之現象	55

4.2 在雙頻 ULH 狀態下之灰階應用	59
4.2.1. 灰階線性頻率區間之選擇	59
4.2.2. 灰階反應時間	62
4.3 雙頻 ULH 於三穩態之應用	62
4.3.1. 雙頻 ULH 於三穩態之機制	62
4.3.2. 雙頻 ULH 於三穩態之應用	65
第 5 章 結論與未來展望	68
參考文獻	72



表 目 錄

表 3.1	基本物理特性表.....	23
表 3.2	雙頻向列型液晶 HEF951800-100 之介電常數參數	23
表 3.3	摻雜 HEB 之樣本參數.....	24
表 3.4	摻雜 R-5011 之樣本參數.....	24
表 4.1	摻雜 HEB 之四種不同 d/p 值之雙頻膽固醇液晶樣本的紋理對表。	34
表 4.2	摻雜 R-5011 之四種不同 d/p 值之雙頻膽固醇液晶樣本的紋理對照 表。	35
表 4.3	參雜 HEB 之雙頻膽固醇液晶樣本之 d/p 值與擾動區間關係表 ...	53
表 4.4	參雜 R-5011 之雙頻膽固醇液晶樣本之 d/p 值與擾動區間關係表	53
表 4.5	灰階對灰階之反應時間表.....	63

圖 目 錄

圖 2.1	雙頻向列型液晶 HCCH951800-100 之介電頻譜圖。.....	6
圖 2.2	膽固醇液晶之結構示意圖。.....	7
圖 2.3	平面態紋理分子排列示意圖。.....	10
圖 2.4	平面態紋理之白光穿透光譜圖。.....	11
圖 2.5	平面態紋理之紋理圖。.....	11
圖 2.6	焦錐態紋理之分子排列示意圖。.....	12
圖 2.7	平面態紋理之白光穿透光譜圖。.....	13
圖 2.8	焦錐態紋理之實際紋理圖。.....	13
圖 2.9	垂直態紋理之分子排列示意圖。.....	14
圖 2.10	垂直態紋理之白光穿透光譜圖。.....	15
圖 2.11	垂直態紋理之紋理圖。.....	15
圖 2.12	指紋態紋理之分子排列示意圖。.....	16
圖 2.13	指紋態紋理之白光穿透光譜圖。.....	17
圖 2.14	指紋態紋理之紋理圖。.....	17

圖 2.15	膽固醇液晶紋理切換機制示意圖。	19
圖 2.16	雙頻膽固醇液晶雙穩態切換機制。	20
圖 2.17	雙頻橫向螺旋膽固醇液晶態紋理圖。	21
圖 3.1	白光光譜儀(Ocean Optics HR2000+)之光源圖。	24
圖 3.2	雙頻膽固醇液晶 HCCH951800-100 之介電頻譜圖。	25
圖 3.3	(a)正交偏光顯微鏡；(b) ULH 態紋理圖。	26
圖 3.4	白光穿透光譜之實驗裝置之示意圖。	27
圖 3.5	波長對光穿透率之白光穿透光譜示意圖。	28
圖 3.6	電壓對光穿透率之實驗裝置示意圖。	28
圖 3.7	利用快速傅立葉濾過雜訊功能 (FFT) 濾過雜訊之示意圖。	30
圖 3.8	計算反應時間之定義圖。	30
圖 4.1	四種摻雜 HEB 但不同 d/p 值之雙頻膽固醇液晶樣本的 ULH 態紋理 存在之電壓區間圖。	36
圖 4.2	四種摻雜 R-5011 但不同 d/p 值之雙頻膽固醇液晶樣本的 ULH 態紋 理存在之電壓區間圖。	37

圖 4.3	摻雜 HEB 之雙頻膽固醇液晶在不同 d/p 值條件下於 ULH 態之紋理圖，圖中 R 為 rubbing 方向。	39
圖 4.4	摻雜 R-5011 之雙頻膽固醇液晶在不同 d/p 值條件下於 ULH 態之紋理圖，圖中 R 為 rubbing 方向。	39
圖 4.5	摻雜 HEB 的四種不同 d/p 值之樣本於 ULH 態時之白光穿透光譜圖： (a) d/p 值為 1；(b) d/p 值為 5；(c) d/p 值為 10；(d) d/p 值為 20。	42
圖 4.6	摻雜 R-5011 的四種不同 d/p 值之樣本於 ULH 態時之白光穿透光譜圖： (a) d/p 值為 1；(b) d/p 值為 5；(c) d/p 值為 10；(d) d/p 值為 20。	43
圖 4.7	不同添加物在不同 d/p 值之雙頻膽固醇液晶樣本在波長為 632.8 nm 之下的光穿透率比較圖。	44
圖 4.8	雙頻膽固醇液晶在擾動現象時之紋理圖。	45
圖 4.9	d/p 值為 5 之添加物為 HEB 的雙頻膽固醇液晶，於維持 ULH 態之電壓且在擾動頻率區間下之紋理圖。	47
圖 4.10	d/p 值為 10 之添加物為 HEB 的雙頻膽固醇液晶，於維持 ULH 態之電壓且在擾動頻率區間下之紋理圖。	48

圖 4.11	d/p 值為 20 之添加物為 HEB 的雙頻膽固醇液晶，於維持 ULH 態之電壓且在擾動頻率區間下之紋理圖。	49
圖 4.12	d/p 值為 5 之添加物為 R-5011 的雙頻膽固醇液晶，於維持 ULH 態之電壓且在擾動頻率區間下之紋理圖。	50
圖 4.13	d/p 值為 10 之添加物為 R-5011 的雙頻膽固醇液晶，於維持 ULH 態之電壓且在擾動頻率區間下之紋理圖。	51
圖 4.14	d/p 值為 20 之添加物為 R-5011 的雙頻膽固醇液晶，於維持 ULH 態之電壓且在擾動頻率區間下之紋理圖。	52
圖 4.15	摻雜 HEB 之樣本之不同 d/p 值間之擾動區間比較圖。	53
圖 4.16	摻雜 R-5011 之樣本之不同 d/p 值間之擾動區間比較圖。	54
圖 4.17	d/p 值為 5 之雙頻膽固醇液晶樣本，在固定擾動頻率的情況下，調變電壓與光穿透率之關係圖：(a), (c), (e) 摻雜 HEB；(b), (d), (f) 摻雜 R-5011。	58
圖 4.18	雙頻膽固醇液晶之不同 d/P 值的頻率對光穿透率光譜圖：(a) 摻雜 HEB；(b) 摻雜 R-5011。	60
圖 4.19	(a) 雙頻膽固醇液晶之三穩態高低頻切換機制之示意圖以及 (b) 對應之紋理圖。	64

圖 4.20 添加物為 HEB 且 d/p 值為 5 之雙頻膽固醇液晶樣本，在施加電壓為 5 V 且頻率為 60 Hz 之白光穿透光譜圖。..... 67



第一章 緒論

1.1 前言

就在十九世紀中後葉，經過三十多年的工業革命的蓬勃發展後，人類發現了一種跨世代的新穎材料—液晶。

當時的人們很難想像，液晶在將近一百年後的二十世紀中葉，由液晶材料所衍伸的各式各樣發現與發明，將人類世界推向嶄新的生活模式，且開始在顯示科技領域逐漸地獨占鰲頭。在競爭激烈的液晶戰爭之中，膽固醇液晶因應而生，並以自身類似膽固醇分子的結構而著名。慢慢地，隨著時間的洪流繼續往下走，大約在二十世紀，膽固醇液晶更將觸角延伸至雙頻的領域，開闢了科學家在雙頻膽固醇液晶疆土的戰場。

雙頻膽固醇液晶，由旋性對掌性材料與雙頻向列型液晶混合調製而成，是一種有別於膽固醇液晶，擁有能以調變頻率的方式達成於雙穩態間切換的一種液晶，故能以相當快速的切換速度於兩個穩態，也就是平面態與焦錐態之間做切換 [1]。

除了雙穩態之外，究竟有沒有第三個穩態（橫向膽固醇液晶結構態，即 ULH 態），或三穩態機制存在於雙頻膽固醇液晶中呢？答案似是而非。因為，就目前吾人所查閱的文獻之中，無獨有偶地搜尋到，僅有以高分子

結構固定住第三態紋理中之液晶分子 [2-5]，使紋理能夠「勉強」地達成第三態的方法。但此方法能算是穩態嗎？或許只能算是「強迫穩定」的一種方式吧！至於三穩態切換機制方面，林宗賢教授的實驗團隊將 ULH 態應用在雙穩態切換機制 [6] 當中，達成三個穩態間的切換機制——但僅限於膽固醇液晶。

吾人所調製的雙頻膽固醇液晶，其橫向螺旋膽固醇液晶結構態，經實驗證實，不靠高分子結構或者是其他物理方法，僅對液晶樣本施加特定條件之電壓頻率，即可將之維持約達二分半鐘左右。除此之外，吾人更將 ULH 穩態應用於雙頻膽固醇液晶的雙穩態切換機制，使舊有雙穩態切換機制蛻變成為三穩態之切換機制。有別於其他相關文獻中，使用一般傳統電壓驅動的膽固醇液晶之三穩態切換機制，吾人提出之機制，能單純以調變頻率之方式達成三穩態間的切換，不僅切換步驟少，切換時間也硬是快上數十毫秒，優點立現。

最後，吾人利用 ULH 態在某些特定條件之下，紫外波段光穿透率低特性，應用於本論文之雙頻膽固醇液晶之三穩態切換機制，希望此切換機制能貢獻社會的不只有僅限於科學研究，而是能夠同時具有實用性與創新性的價值。

1.2 本論文架構

本論文內容分做五個章節。各章節之內容概述分別如下：

第一章 緒論

闡述雙頻膽固醇液晶之沿革，並從此點切入 ULH 態紋理。而後再藉此進而引出本論文之重點—灰階、雙頻膽固醇液晶之三穩態機制以及三穩態機制之應用。

第二章 理論背景

由於吾人之論文的研究主題與膽固醇液晶相關，故本章先從雙頻向列型液晶切入，而後介紹膽固醇液晶。接著，再介紹說明雙頻膽固醇液晶，以及雙頻橫向螺旋膽固醇液晶結構。

第三章 實驗方法

本章首先說明如何製備各種不同條件之雙頻膽固醇液晶樣本，例如摻雜不同之旋性對掌性材料，或不同 d/p 值之樣本。接著敘述實驗裝置與方法如正交偏光顯微鏡、白光透光光譜、電壓對光穿透率圖以及反應時間等。

第四章 結果與討論

起先探討雙頻橫向螺旋膽固醇液晶結構之光電特性。接著詳述，由實驗發現之擾動效應，以及在特定條件下隔絕大部分紫外波段的現象，並將

兩者延伸應用至灰階研究課題。最後，說明吾人設計出目前所知第一個雙頻膽固醇液晶之三穩態切換機制，並如何將其應用於實際用途上。

第五章 結論與未來展望

吾人於此章節大略整理出本論文所研究課題之重點，也提點出本團隊所設計之雙頻膽固醇液晶之三穩態機制及其應用，並為其設下期許，望能將此研究成果應用於實際方面上。



第二章 理論背景

2.1 雙頻向列型液晶

能夠使液晶分子作動的主要推手不外乎就是介電異方性。其中雙頻向列性液晶 [7] 之介電異方性在高低頻各有不同的表現，而使其廣為學者所研究。介電異方性 $\Delta\epsilon$ 之定義為：

$$\Delta\epsilon = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp} \quad (2.1)$$

式(2.1)中， ϵ_{\perp} 為垂直於液晶分子長軸的介電常數； ϵ_{\parallel} 為平行於液晶分子長軸的介電常數。雙頻向列性液晶之介電異方性在頻率改變時亦會隨之改變。當施加頻 f 低於跨越頻率（crossover frequency; f_c ）時，介電異方性為大於零（ $\Delta\epsilon > 0$ ），液晶分子會傾向平行於電場方向排列。反之當 $f > f_c$ 時，介電異方性小於零（ $\Delta\epsilon < 0$ ）[8]，則施加電場時，液晶分子會傾向垂直於電場方向排列。圖 2.1 為本實驗所使用之雙頻向列型液晶 HCCH951800-100 之介電頻譜圖。由圖中得知，此雙頻液晶之 f_c 約為 15 kHz。

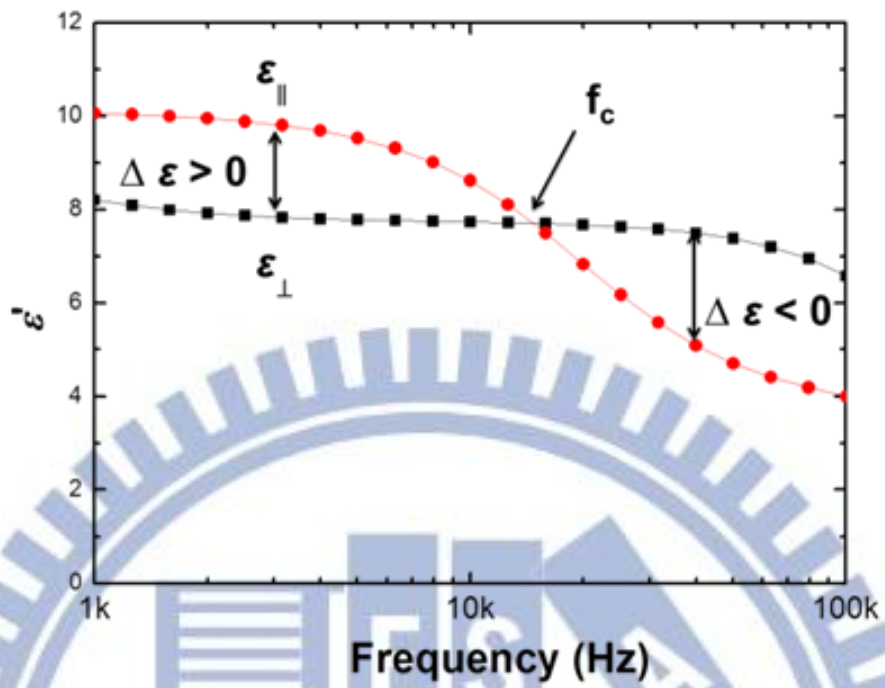


圖 2.1 雙頻向列型液晶 HCCH951800-100 之介電頻譜圖。

2.2 膽固醇液晶

2.2.1. 基本物理特性

膽固醇液晶 [9] 其來有自。因為其分子結構與大自然中的膽固醇分子類似，故將之命名為膽固醇液晶。

膽固醇液晶由旋性對掌性材料以及向列型液晶混合而成，構成類似基因遺傳因子 DNA 的螺旋狀排列，其液晶分子排列結構如圖 2.2 所示。



圖 2.2 膽固醇液晶之結構示意圖（取自參考文獻 [19]）。

由圖中可見，每層的液晶分子導軸 \mathbf{n} 依循 \mathbf{z} 軸繞旋而呈現週期性的結構。在此我們定義液晶分子導軸 \mathbf{n} 繞旋 \mathbf{z} 軸一圈 (2π) 為一個螺距 (helical pitch; p)。

膽固醇液晶的周期性螺旋結構促成布拉格反射 (Bragg reflection) 條件的形成。而布拉格反射定義為

$$\lambda = \frac{\cos \theta (n_e + n_o) p}{2} \quad (2.2)$$

其中 λ 為中心反射波長， θ 為液晶分子螺旋軸與入射光之夾角， n_o 為正常光 (ordinary light) 之折射率， n_e 為異常光 (extraordinary light) 之折射率， p 為膽固醇液晶分子之螺距。如果液晶分子螺旋軸與入射光之夾角 θ 為零，即光源正向入射至膽固醇液晶結構，則布拉格反射公式可簡化為

$$\lambda = \frac{(n_e + n_o)}{2} p = \bar{n} p \quad (2.3)$$

而反射波長之寬度可定義為

$$\Delta \lambda = (n_e - n_o) p = \Delta n p \quad (2.4)$$

在此須注意的是，布拉格反射會反射與材料結構相仿之光線。例如，膽固醇液晶分子結構為左旋結構，則會反射左旋光；若為右旋結構，則會反射右旋光。

欲調製膽固醇液晶，必須了解旋性對掌性材料在膽固醇液晶中所佔之重量百分比濃度。式(2.5)為旋性對掌性材料之重量百分濃度與膽固醇液晶螺距的關係式 [10]：

$$\frac{1}{p \times c} = A + B(T - 22^\circ\text{C}) + C(T - 22^\circ\text{C})^2 + \dots \quad (2.5)$$

式中 p 為膽固醇液晶分子之螺距， c 為旋性對掌性材料之重量百分濃度， A 、 B 與 C 為材料特性參數且 A 遠大於 B 以及 C 。值得一提的是，式(2.5)如要成立，則必須符合重量百分濃度約低於 10 % 之條件。假使環境溫度設為室溫狀態 (22°C)，則式(2.5)可簡化成為

$$\frac{1}{p \times c} \cong A \equiv \text{HTP} \quad (2.6)$$

式中 HTP 為膽固醇液晶分子之螺旋扭轉能 (helical twisting power)。

2.2.2. 膽固醇液晶之紋理

一般膽固醇液晶的紋理可分為四種：平面態紋理 (planar state)、焦錐態紋理 (focal-conic state)、垂直態紋理 (homeotropic state) 以及指紋態結構 (fingerprint state) [11, 12]，分述如下：

(1)平面態紋理

平面態紋理分子排列示意圖如圖 2.3 所示。一般來說，膽固醇液晶分子的螺旋軸垂直於玻璃基板所造成之紋理即稱作平面態紋理。圖 2.4 為平面態紋理之白光穿透光譜。由圖 2.4 可知，平面態紋理在特定波長區間會有反射，其乃因布拉格反射所造成。至於平面態紋理之實際紋理圖如圖 2.5 所示。



圖 2.3 平面態紋理分子排列示意圖（取自參考文獻 [19]）。

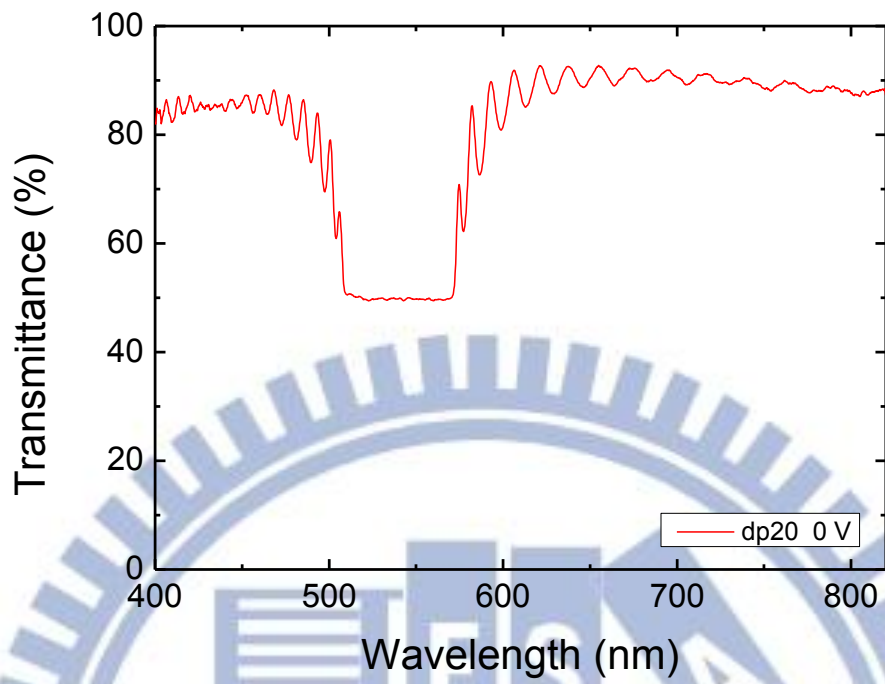


圖 2.4 平面態紋理之白光穿透光譜圖。



圖 2.5 平面態紋理之紋理圖。

(2) 焦錐態紋理

焦錐態紋理之分子排列示意圖如圖 2.6 所示。通常膽固醇液晶分子呈現無秩序之排列所造成之紋理即稱作焦錐態紋理。圖 2.7 為平面態紋理之白光穿透光譜，其實際紋理圖如圖 2.8 所示。因為膽固醇液晶分子無秩序排列的原因，入射光通過液晶盒會造成光散射，使得光穿透率低。



圖 2.6 焦錐態紋理之分子排列示意圖。(圖片來源：林峰慶碩士論文)

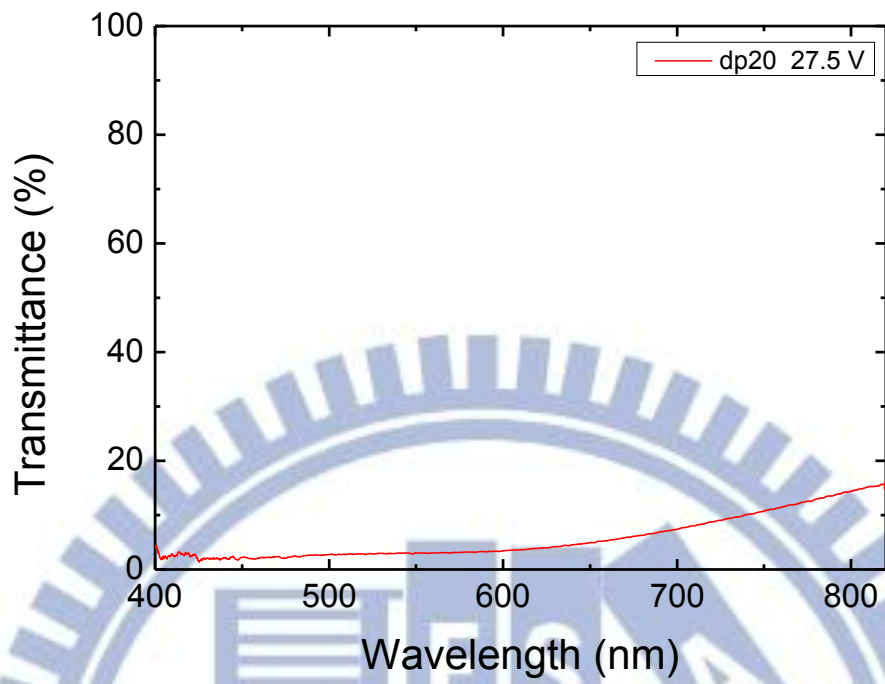


圖 2.7 平面態紋理之白光穿透光譜圖。



圖 2.8 焦錐態紋理之實際紋理圖。

(3)垂直態紋理

垂直態紋理之分子排列示意圖如圖 2.9 所示。當施加於膽固醇液晶樣本之電壓超過一特定電壓，膽固醇液晶分子便會因強大電壓的影響，使液晶分子解螺旋，並迫使解螺旋後之液晶分子的分子長軸平行排列於電場方向，造成垂直態紋理。圖 2.10 為垂直態紋理之白光穿透光譜。如圖所示，垂直態紋理之分子排列結構使入射光穿透率高。至於垂直態紋理之實際紋理圖如圖 2.11 所示。

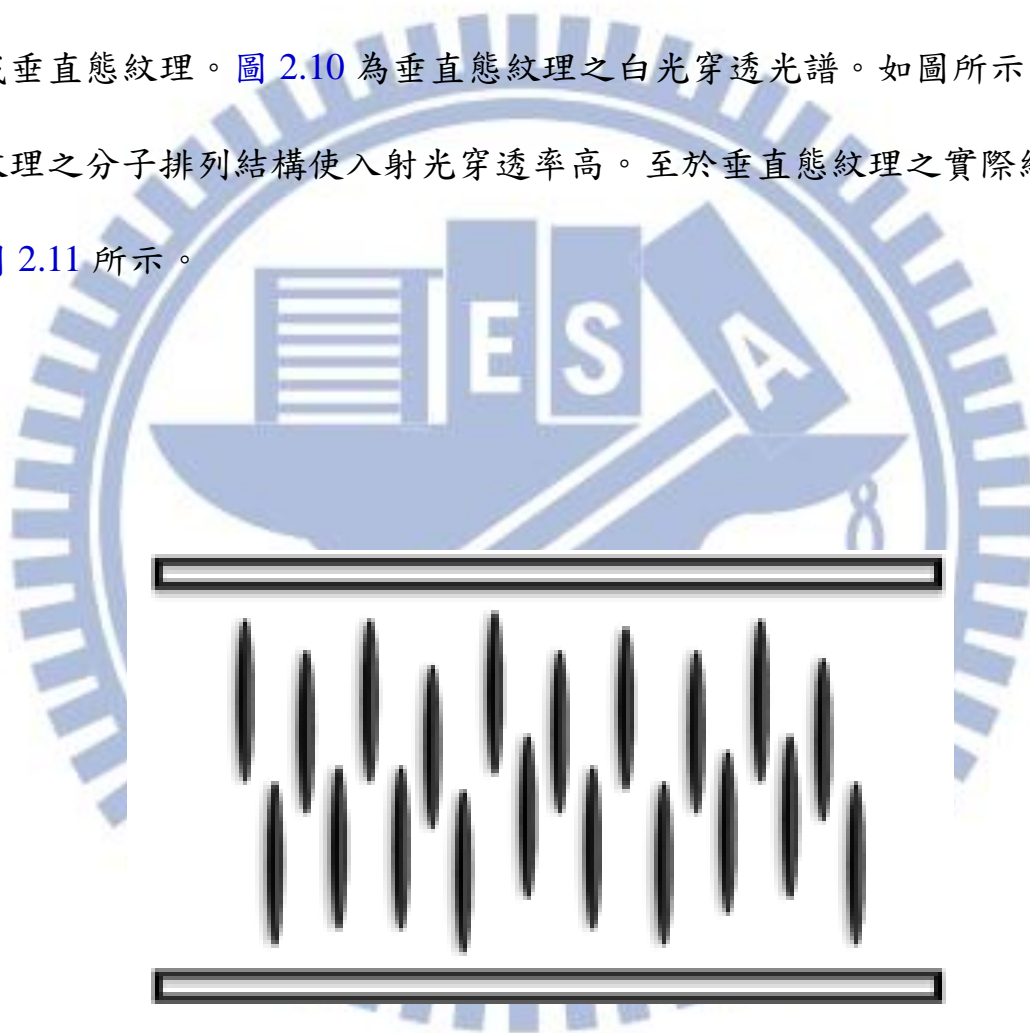


圖 2.9 垂直態紋理之分子排列示意圖。(取自參考文獻 [19])

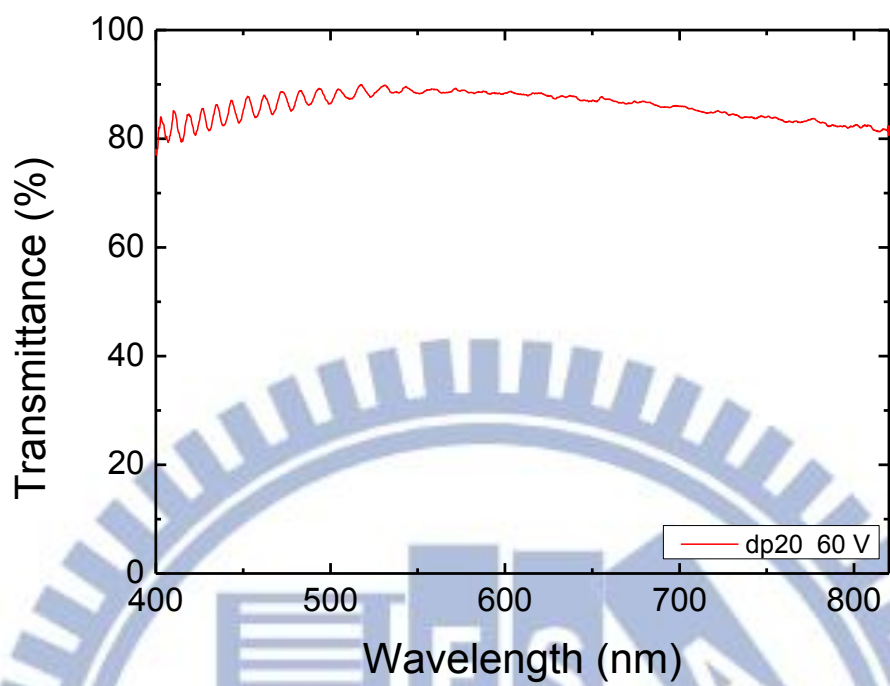


圖 2.10 垂直態紋理之白光透光光譜圖。

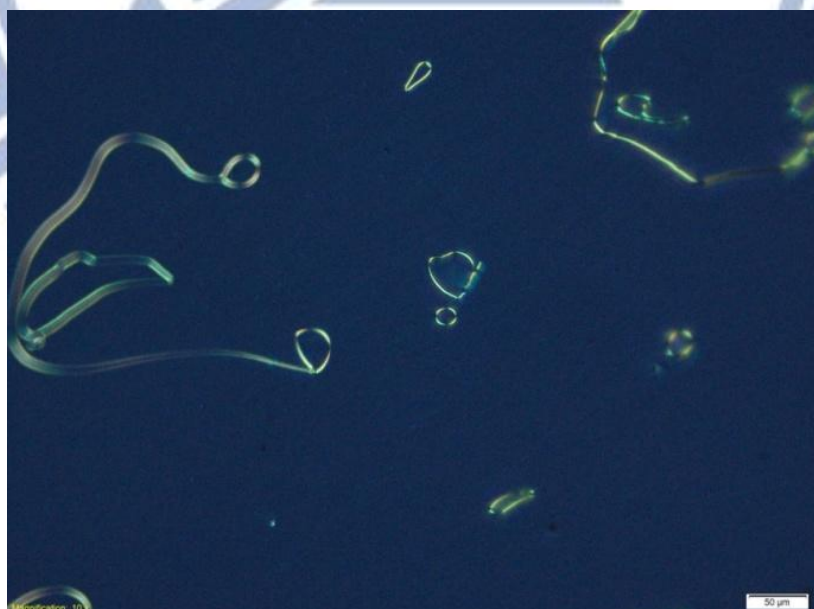


圖 2.11 垂直態紋理之紋理圖。

(4)指紋態紋理

指紋態紋理之分子排列示意圖如圖 2.12 所示。當膽固醇液晶知螺旋軸平行於玻璃基板時所造成之紋理稱作指紋態紋理。圖 2.13 為指紋態紋理之白光穿透光譜。如圖所示，因為螺旋軸平行於玻璃基板，使大部分的入射光穿透。造成高光穿透率。至於指紋態紋理之實際紋理圖如圖 2.14 所示。

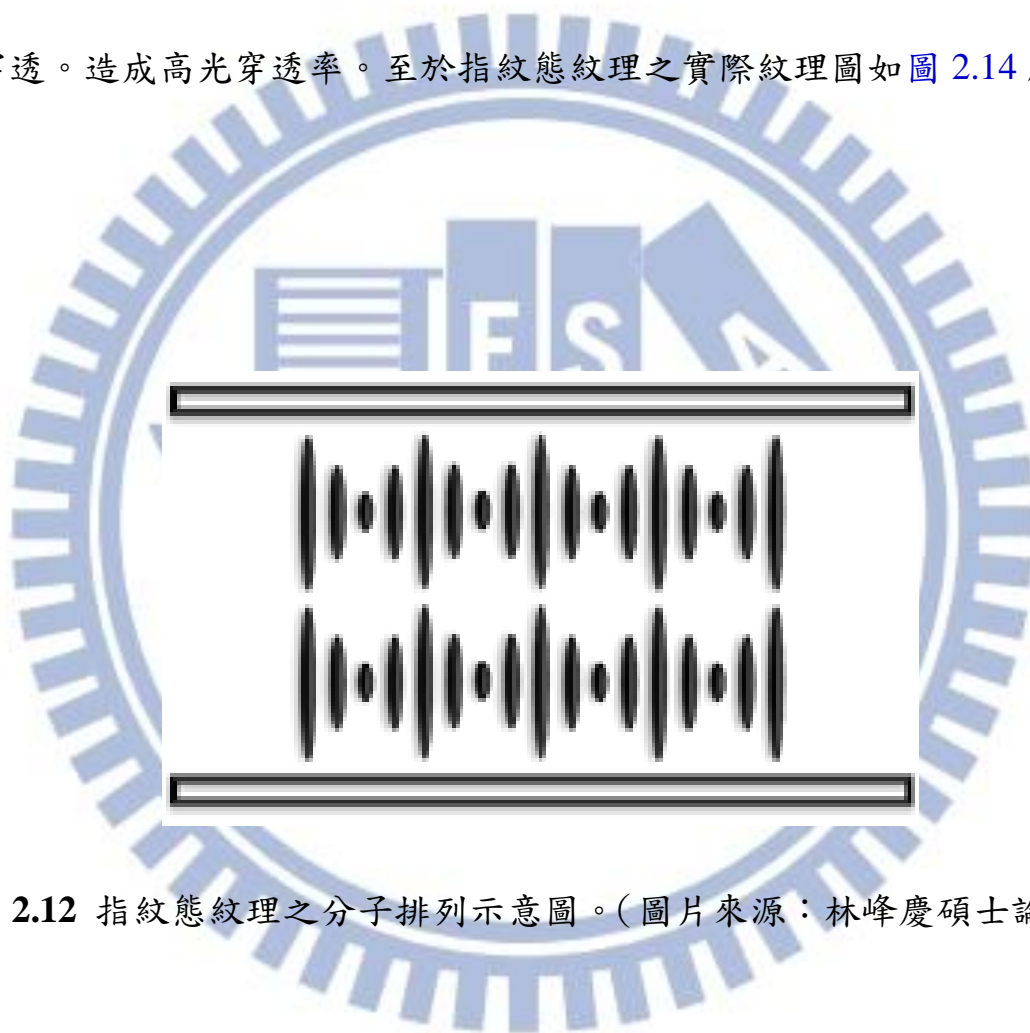


圖 2.12 指紋態紋理之分子排列示意圖。(圖片來源：林峰慶碩士論文)

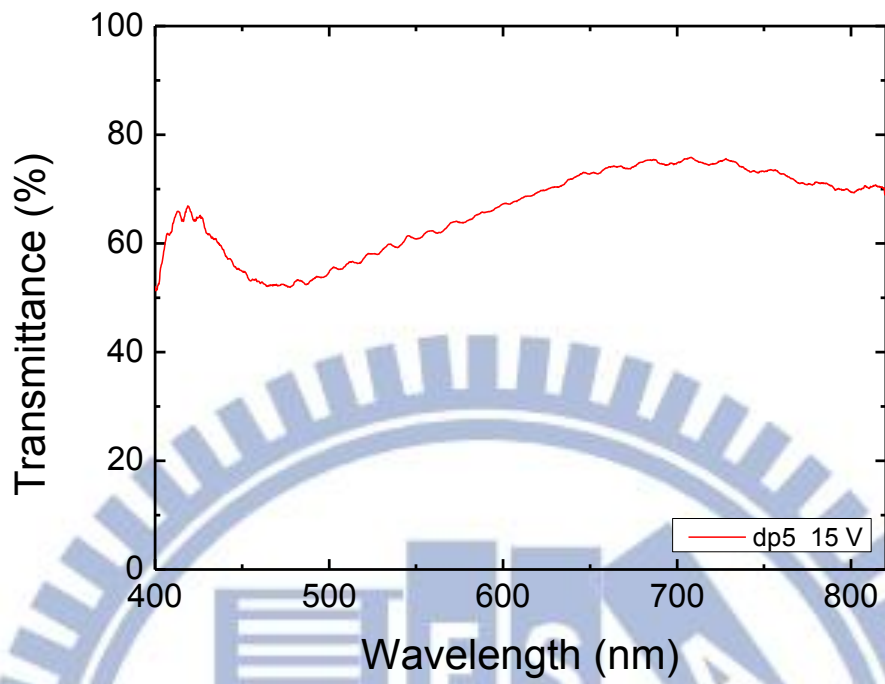


圖 2.13 指紋態紋理之白光透光譜圖。



圖 2.14 指紋態紋理之紋理圖。

2.2.3. 傳統雙穩態轉換機制

存在於膽固醇液晶中之雙穩態分別為平面態以及焦錐態，傳統之驅動方式乃利用調變電壓的方法達成平面態以及焦錐態間之切換。圖 2.15 為膽固醇液晶紋理狀態切換機制示意圖。由圖可知，施加所謂的”適當”電壓後可使平面態紋理切換至焦錐態紋理或者是指紋態紋理。而後，繼續將施加在膽固醇液晶盒樣本之電壓值提高並高過於臨界電壓（critical voltage; V_c ）[13–15]，則焦錐態紋理或指紋態紋理切換至垂直態紋理。

臨界電壓 V_{th} 如下式所示

$$V_c = \frac{\pi^2 d}{p} \sqrt{\frac{K_{22}}{\epsilon_0 \Delta \epsilon}} \quad (2.6)$$

式(2.6)中， p 為膽固醇液晶之螺距， d 為液晶盒厚度， K_{22} 為液晶的扭轉彈性常數（twist elastic constant）。

在垂直態紋理的狀態之下，一旦將施加電壓迅速降低，則垂直態紋理將會轉換成暫態平面態紋理（transient planar state）。如果將施加電壓關閉，則暫態平面態紋理將回到平面態紋理的狀態 [16]。

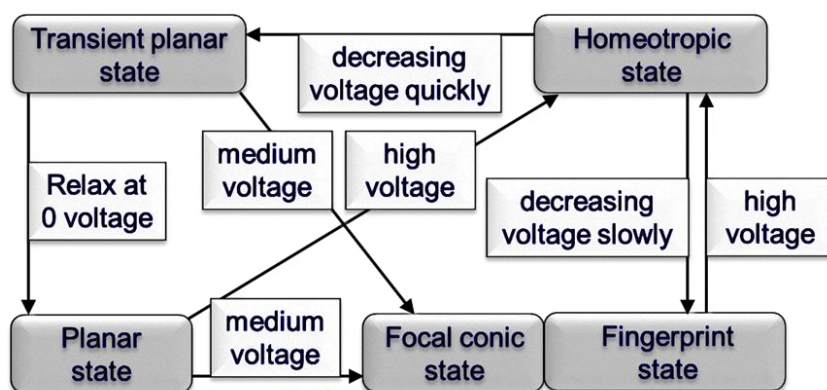


圖 2.15 膽固醇液晶紋理切換機制示意圖。(圖片來源：林峰慶碩士論文)

2.3 雙頻膽固醇液晶

雙頻膽固醇液晶 [17, 18] 與一般膽固醇液晶之雙穩態切換機制的差異在於，前者依靠調變施加電壓之頻率達成雙穩態間之切換，而後者遵循膽固醇液晶之態與態切換機制做切換 [19, 20]。雙頻膽固醇液晶雙穩態切換機制如圖 2.16 所示。圖中，對焦錐態紋理施加高頻電壓 ($f > f_c$)，而液晶樣本之介電異方性將變為負值，造成膽固醇液晶分子之螺旋軸平行於電場，故焦錐態紋理因而切換成為平面態紋理；對平面態紋理施加低頻電壓 ($f < f_c$)，而液晶樣本之介電異方性將變為正值，造成膽固醇液晶分子之螺旋軸指向與排列不規則，故平面態紋理因而切換回焦錐態紋理。

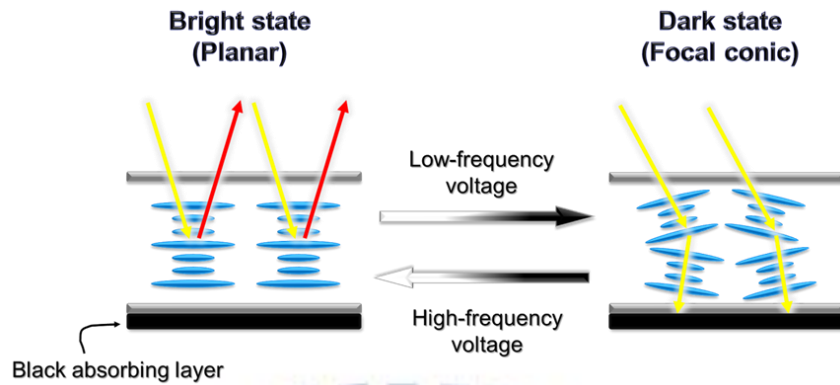


圖 2.16 雙頻膽固醇液晶雙穩態切換機制（取自參考文獻 [19]）。

2.4 橫向螺旋膽固醇液晶結構

橫向螺旋膽固醇液晶態紋理（uniform lying helix state; ULH）[21] 屬於指紋態的一種。液晶盒內的膽固醇液晶之螺旋軸朝著同一方向且平行於玻璃基板，其行為構成雙頻橫向螺旋膽固醇液晶態紋理，如圖 2.17 所示。橫向螺旋膽固醇液晶態其紋理形成條件與 d/p 值、施加電壓以及施加頻率有關。

液晶盒中之膽固醇液晶分子的排列方向與液晶盒配向層之錨定能強弱以及與配向層之距離相關，當膽固醇液晶分子距離配向層越遠，則越不易受配向層之錨定能影響排列。反之，膽固醇液晶分子距離配向層越近，則越容易受配向層之錨定能影響排列。故一般來說，在特定電壓頻率範圍內，

當 d/p 值約在 0.5 至 2 之間液晶分子排列最為整齊； d/p 值約在 2 至 10 間次要。而 d/p 值大於 10 時， d/p 值越大則液晶分子排列越不佳 [22]。

假如使用雙頻向列型液晶調製而成的雙頻膽固醇液晶所形成之橫向螺旋膽固醇液晶結構，則稱為雙頻橫向螺旋膽固醇液晶結構。



圖 2.17 雙頻橫向螺旋膽固醇液晶態紋理圖。

第三章 實驗方法

3.1 樣品製作

本論文所有用於實驗以及觀察之樣品皆為江蘇和成公司所製造之雙頻向列型液晶 HEF951800-100 (基本物理特性以及介電常數參數參見表 3.1 與表 3.2) 摻雜右旋對掌性材料 HEB ($\text{HTP} \sim 28.83 \mu\text{m}^{-1}$), 熔點為 56°C 或 R-5011 ($\text{HTP} \sim 101.97 \mu\text{m}^{-1}$, 熔點為 104°C) 並灌入由美相公司製作的空液晶盒所構成。空液晶盒間隙厚度為 $7 \mu\text{m}$, 且為反平行摩擦之水平配向。

基於了解 ULH 態在各種不同 d/p 值以及不同對掌性材料所呈現之光電和紋理特性, 吾人分別調製了四種摻雜不同濃度的 HEB 以及四種摻雜不同濃度 R-5011 對掌性材料之雙頻膽固醇液晶。針對二種對掌性材料在四種濃度由低到高之雙頻膽固醇液晶分別對應於 d/p 值為 1、5、10 以及 20。所有樣品皆使用加熱平台 (IKA C-MAG HS7) 升溫至均相態 (isotropic state) 並經過約 2 小時且震盪速率為 1500 rad/min 的震盪器 (IKA MS 3 basic) 震盪, 確保旋性對掌性材料能夠均勻地溶解在雙頻向列型液晶中。而調製完成之雙頻膽固醇液晶皆於室溫下利用毛細作用分別注入空液晶盒中 (樣品相關製作參數詳見表 3.3 以及表 3.4)。

表 3.1 基本物理特性表

HEF951800-100	
$T_{S \rightarrow N}$ (°C)	<-40
$T_{N \rightarrow I}$ (°C)	104
Δn (589 nm, 20°C)	0.222
n_e (589 nm, 20°C)	1.718
n_o (589 nm, 20°C)	1.496
Viscosity (mm ² s ⁻¹ , 20°C)	41

表 3.2 雙頻向列型液晶 HEF951800-100 之介電常數參數

Frequency (kHz) (vendor's datasheet, 25°C)	ϵ_{\parallel}	ϵ_{\perp}	$\Delta\epsilon$
0.1	9.1	7.1	+2.0
1	9.1	7.0	+2.1
5	8.7	7.2	+1.5
10	7.6	6.9	+0.7
Frequency (kHz) (lab measurement, 21°C)	ϵ_{\parallel}	ϵ_{\perp}	$\Delta\epsilon$
0.1	10.1	7.6	+2.5
1	10.0	7.5	+2.5
5	9.5	7.5	+2.0
10	8.5	7.5	+1.0
14.3	7.5	7.5	0
50	4.0	7.2	-3.2

表 3.3 摻雜 HEB 之樣本參數

d/p	液晶淨重(g)	HEB 淨重(g)	濃度(wt%)	螺距(nm)
1	0.094222	0.000490	0.518	6698.6
5	0.106778	0.002772	2.531	1370.7
10	0.096844	0.005272	5.165	671.6
20	0.092124	0.010358	10.105	343.3

表 3.4 摻雜 R-5011 之樣本參數

d/p	液晶淨重(g)	R-5011 淨重(g)	濃度(wt%)	螺距(nm)
1	0.106434	0.000156	0.146	6698.6
5	0.137380	0.000990	0.716	1370.7
10	0.127402	0.001888	1.460	671.6
20	0.110164	0.003240	2.857	343.3



圖 3.1 白光光譜儀 (Ocean Optics HR2000+) 之光源圖。

至於各樣品之穿透光譜係由白光光譜儀 (Ocean Optics HR2000+) 所測量，如圖 3.1 所示。

雙頻向列型液晶 HCCH951800-100 於室溫(25°C)下，由 LCR 儀(Agilent E4980A) 所量測之介電頻譜如圖 3.2 所示。由圖可知其介電異方性 $\Delta\epsilon$ 於 100 kHz 左右始有最大值。基於以上結果，本實驗當中需要切換至高頻的部分皆選擇 100 kHz 為高頻切換參數。

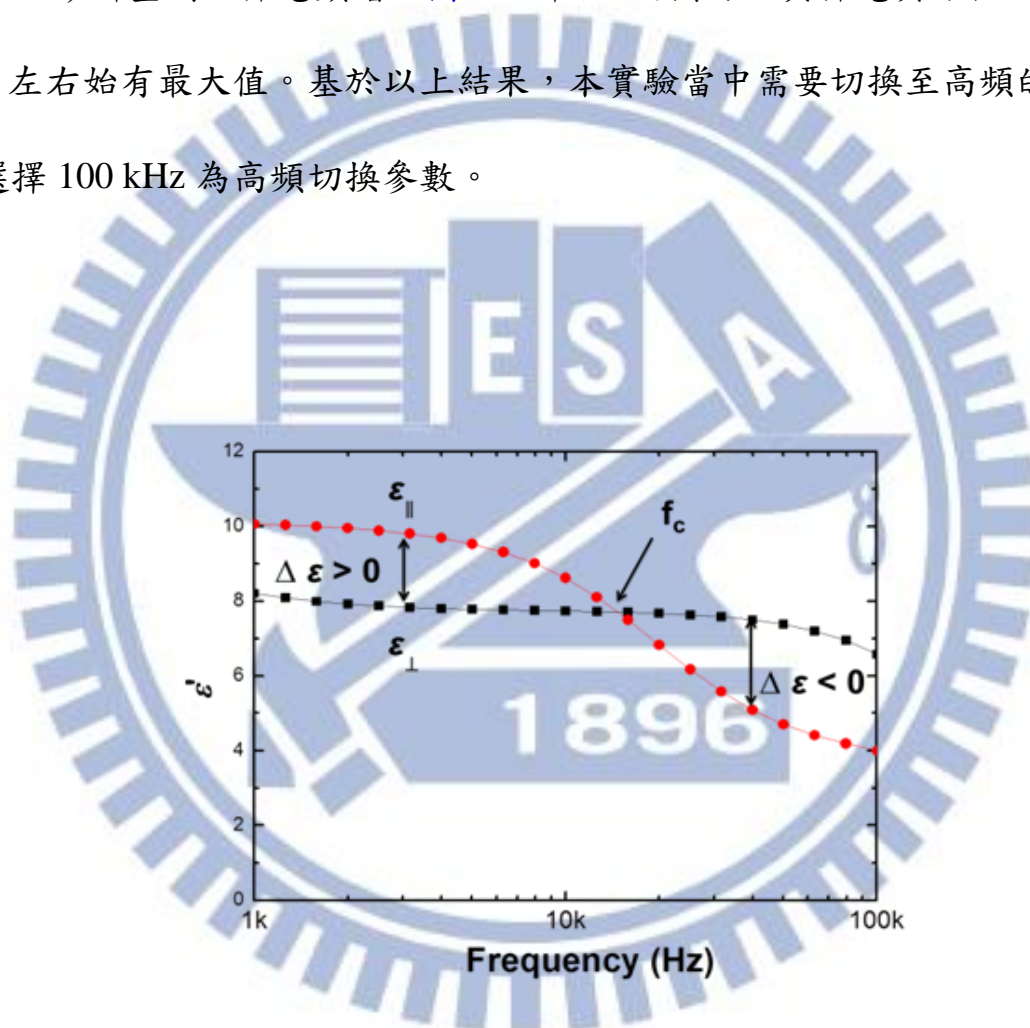


圖 3.2 雙頻膽固醇液晶 HCCH951800-100 之介電頻譜圖。

3.2 實驗裝置

3.2.1. 正交偏光顯微鏡

雙頻膽固醇液晶在 ULH 態之紋理隨變動電壓以及頻率參數所發生的變化可以透過正交偏光顯微鏡做觀察記錄。本實驗使用 Olympus 公司型號為 BX-51 之正交偏光顯微鏡，如圖 3.3(a)。其正交偏光顯微鏡搭配 10 倍率目鏡以及 20 倍率物鏡，以便觀察到細微紋理變化。圖 3.3(b) 為本實驗使用之顯微鏡在放大倍率為 200 倍時所觀察到 d/p 值為 1 在 ULH 態時之紋理。

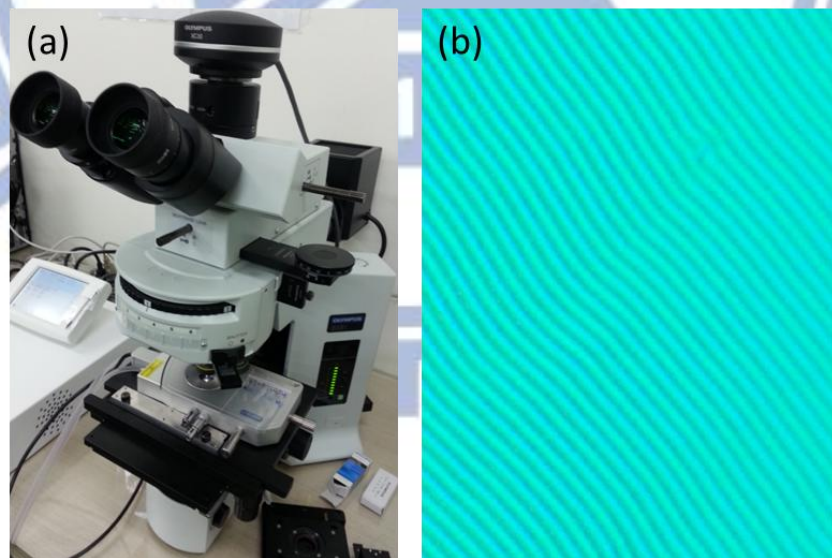


圖 3.3 (a)正交偏光顯微鏡；(b) ULH 態紋理圖。

3.2.2. 白光穿透光譜

欲觀測在不同波段下樣品的穿透率，吾人使用白光光譜儀 (Ocean Optics HR2000+) 當作穿透光源，其波長範圍約落在 350 nm 與 820 nm 之間。由於實驗室所具備之光偵測器在波長約 400 nm 以下會有紊亂不齊的雜訊干擾，故吾人認為將波長取樣範圍在 400 nm 與 820 nm 之間最為合宜。實驗裝置示意圖如圖 3.4 所示，其中代測樣本與光偵測器距離為 $d = 2.1$ cm，而光偵測器之孔徑為 $D = 0.8$ cm。另外，波長對光穿透率之白光穿透光譜示意圖如圖 3.5 所示。

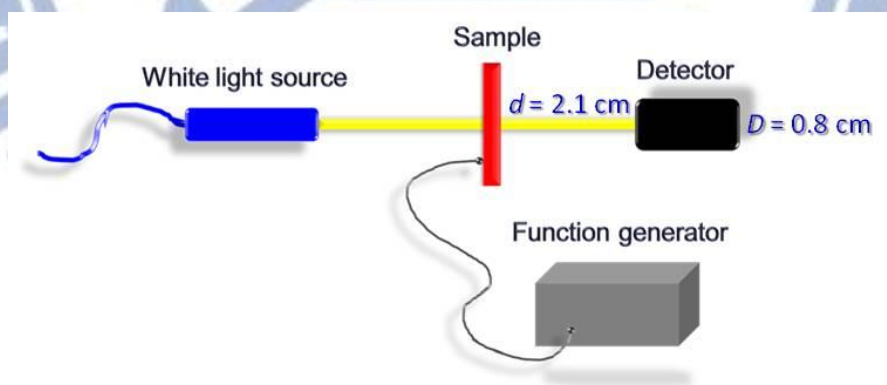


圖 3.4 白光穿透光譜之實驗裝置之示意圖。(圖片來源：林峰慶碩士論文)

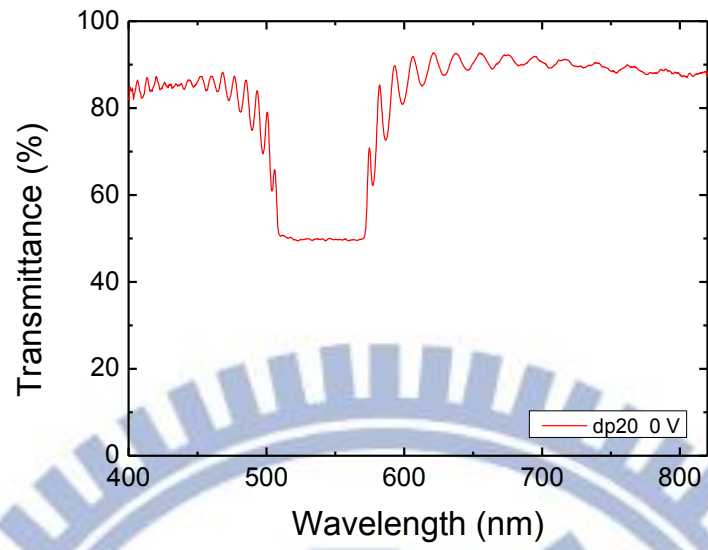


圖 3.5 波長對光穿透率之白光穿透光譜示意圖。

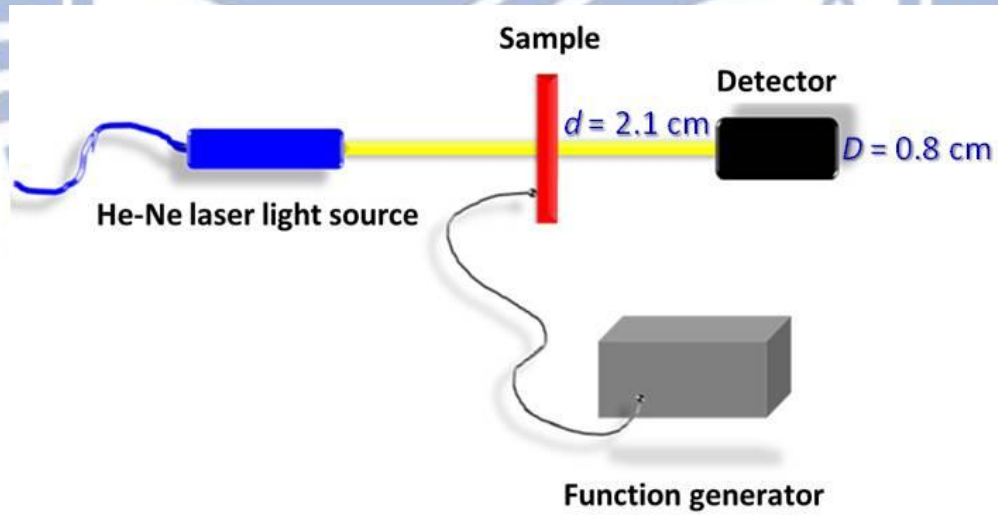


圖 3.6 電壓對光穿透率之實驗裝置示意圖（取自參考文獻 [19]）。

3.2.3. 電壓對光穿透率圖

電壓或頻率的施加以及雷射光源為電壓與光穿透率關係圖 ($V-T$ 圖) 最重要的兩個要素。本實驗使用訊號產生器 (Tektronix AFG 320) 以及訊號放大器 (Trek Amplifier Model 603) 來做為施壓電壓或頻率的提供者，並且選擇波長為 632.8 nm 的氦氖雷射 (He-Ne laser) 作為雷射穿透光源。其實驗裝置設置，除了數據處理軟體以及光源與白光穿透光譜實驗不同之外，基本上儀器以及擺設方式皆與白光穿透光譜實驗裝置相同，如圖 3.6 所示。

3.2.4. 反應時間

如圖 3.6 所示。量測反應時間之雷射光源採用波段為 632.8 nm 的線性偏光氦氖雷射。當雷射光通過樣本後入射至光偵測器使光轉變成數位訊號以便處理，而供給電壓以及頻率之儀器為訊號產生器 (Tektronix AFG 320) 和訊號放大器 (Trek Amplifier Model 603)。由於本實驗用於計算反應時間的原始光譜雜訊過多，導致難以用一般方法判別其反應時間。故吾人利用光譜數據處理軟體 Origin 8 中的快速傅立葉濾過雜訊功能 (FFT) [23] 過濾掉大部分雜訊 (參見圖 3.7) 以便於計算反應時間。圖中黑色曲線為濾過雜訊前之光譜曲線，而紅色曲線為利用 FFT 技術濾過雜訊後之光譜曲線。

如圖 3.8 所示，反應時間 t 定義為最高穿透率的 90% 所在之時間減去最高穿透率的 10% 所在之時間。而反應時間 t 定義為最高穿透率 10% 之時間減去最高穿透率 90% 之時間。

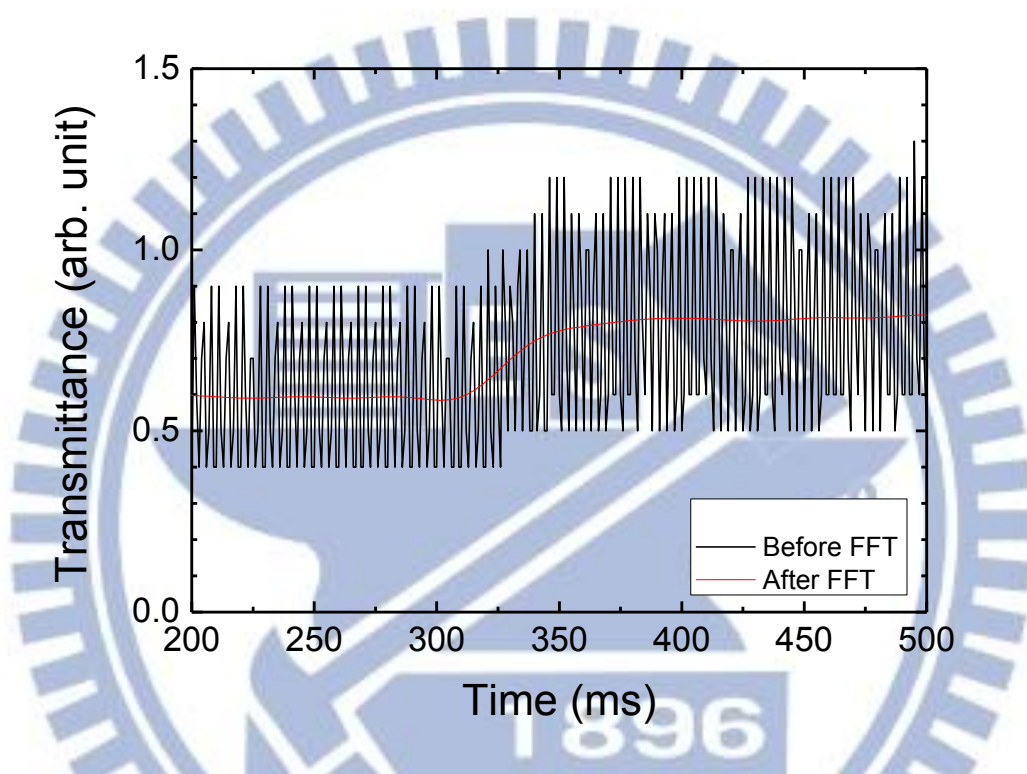


圖 3.7 利用快速傅立葉濾過雜訊功能 (FFT) 濾過雜訊之示意圖。

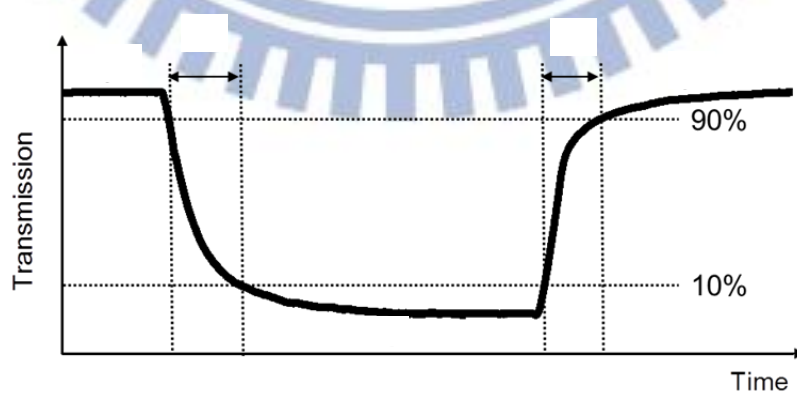


圖 3.8 計算反應時間之定義圖 (取自參考文獻 [19])。

第四章 實驗結果與討論

4.1 雙頻 ULH 之光電特性

d/p 值為促進 ULH 態紋理形成之決定要件，故吾人以 d/p 值為變數，製作出四種不同 d/p 值之摻雜 HEB 的雙頻膽固醇液晶之樣本。而後，因對摻雜不同旋性對掌性材料對 ULH 態紋理表現之影響感興趣，故吾人更進一步調製出四種不同 d/p 值之摻雜 R-5011 的雙頻膽固醇液晶之樣本，以探討之。

4.1.1. 雙頻 ULH 態在不同 d/p 值與不同旋性對掌性材料之比較

吾人分別針對左旋以及右旋對掌性材料 HEB 與 R-5011 個別調製出四種不同濃度之雙頻膽固醇液晶樣本，其濃度對應之 d/p 如表 3.3 與表 3.4 所示。而吾人將於本節就不同 d/p 值以及不同旋性之對掌性材料所觀察到的現象做描述以及比較，並且歸納出以下四大重點來討論。

(1) d/p 值對 ULH 電壓區間之比較

由於 ULH 態為本論文探討之重點，所以首先必須先了解如何驅動樣品，使其達到 ULH 之紋理排列。表 4.1 為摻雜 HEB 之四種不同 d/p 值之雙頻膽固醇液晶樣本的紋理對照表。如表所示， $d/p = 1$ 之樣本於施加電壓為 2.5 V 時，由平面態紋理轉變至 ULH 態紋理。此時的 ULH 態紋理非常整齊劃一，

且螺旋軸幾乎完美地與液晶盒之玻璃基板及玻璃基板之配向方向平行，而施加電壓超過約 4.75 V 時，由 ULH 態紋理轉變為垂直態紋理； $d/p = 5$ 之樣本於施加電壓為 5.5 V 時，由平面態紋理轉變至指紋態紋理；而施加電壓超過約 10 V 時，由指紋態紋理轉變為 ULH 態紋理。此時之雙頻膽固醇液晶分子的螺旋軸仍然整齊地與液晶盒之玻璃基板平行，但與液晶盒之玻璃基板的配向方向是呈現垂直的狀態。 $d/p = 10$ 之樣本於施加電壓為 9 V 時，由平面態紋理轉變至焦錐態紋理；而施加電壓超過約 12.5 V 時，由焦錐態紋理轉變為 ULH 態紋理，此時之雙頻膽固醇液晶分子的螺旋軸大部分與液晶盒之玻璃基板平行，少數區塊則否； $d/p = 20$ 之樣本於施加電壓為 12.5 V 時，由平面態紋理轉變至焦錐態紋理。而施加電壓超過約 20 V 時，由焦錐態紋理轉變為焦錐態與 ULH 態混合之紋理，此時之雙頻膽固醇液晶分子的螺旋軸與液晶盒之玻璃基板平行的區塊，與螺旋軸紊亂排列之區塊則各占一部份。

表 4.2 為摻雜 R-5011 之四種不同 d/p 值之雙頻膽固醇液晶樣本的紋理對照表。表中， $d/p = 1$ 之樣本於施加電壓為 2.6 V 時，由平面態紋理轉變至 ULH 態紋理。此時的 ULH 態紋理非常整齊劃一，且螺旋軸幾乎完美地與液晶盒之玻璃基板及玻璃基板之配向方向平行。唯其紋理較摻雜 HEB 且 d/p 為 1 之樣本不明顯。而施加電壓超過約 2.8 V 時，由 ULH 態紋理轉變為垂直態紋理。 $d/p = 5$ 之樣本於施加電壓為 5.5 V 時，由平面態紋理轉變至指紋

態紋理。而施加電壓超過約 10 V 時，由指紋態紋理轉變為 ULH 態紋理。此時之雙頻膽固醇液晶分子的螺旋軸較摻雜 HEB 且 $d/p = 5$ 之樣本更整齊地與液晶盒之玻璃基板平行，且與液晶盒之玻璃基板的配向方向是呈現垂直的狀態。 $d/p = 10$ 之樣本於施加電壓為 8 V 時，由平面態紋理轉變至焦錐態紋理。而施加電壓超過約 13.5 V 時，由焦錐態紋理轉變為 ULH 態紋理。此時之雙頻膽固醇液晶分子的螺旋軸大部分與液晶盒之玻璃基板平行，少數區塊則否，相較於摻雜 HEB 且 d/p 值為 10 之樣本來說，除了與液晶盒之玻璃基板的配向方向也是呈現垂直的狀態之外，雙頻膽固醇液晶之螺旋軸似乎更平行於液晶盒之玻璃基板。 $d/p = 20$ 之樣本於施加電壓為 9 V 時，由平面態紋理轉變至焦錐態紋理。而施加電壓超過約 20 V 時，由焦錐態紋理轉變為焦錐態與 ULH 態混合之紋理，此時，雙頻膽固醇液晶分子的螺旋軸與液晶盒之玻璃基板平行的區塊，與螺旋軸紊亂排列之區塊則各占一部份。上述同摻雜 HEB 且 d/p 為 20 之樣本，但 ULH 態紋理區塊較多。

由上述可知，ULH 態紋理於提高施加電壓過程中，會在特定的電壓區間內存在，而雙頻膽固醇液晶在摻雜不同的旋性對掌性材料或不同 d/p 值之條件下，ULH 態紋理存在之電壓區間也會跟著改變。為了能更方便比較不同 d/p 值間 ULH 態紋理存在之電壓區間，吾人將 ULH 態紋理之電壓區間彙整並繪製成 d/p 值對電壓圖，如圖 4.1 與圖 4.2 所示。

表 4.1 摻雜 HEB 之四種不同 d/p 值之雙頻膽固醇液晶樣本的紋理對表。


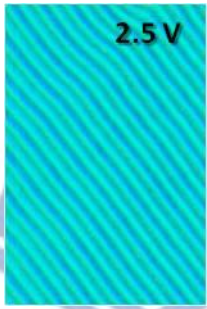



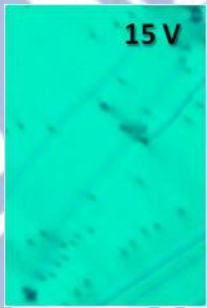

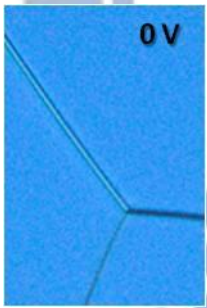
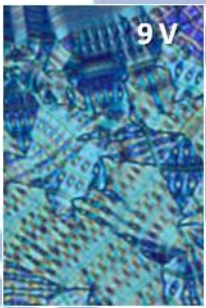



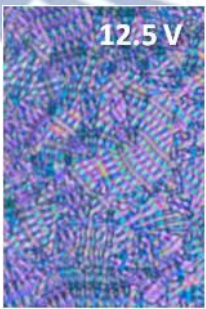
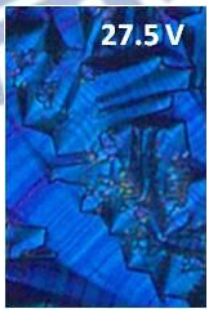





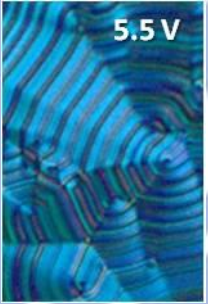
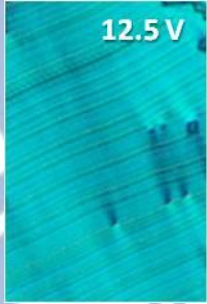

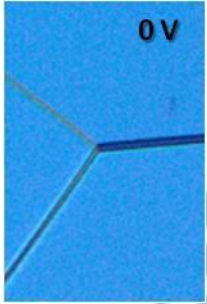



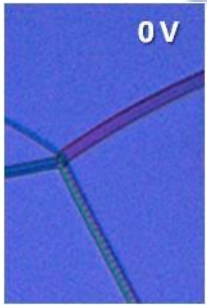
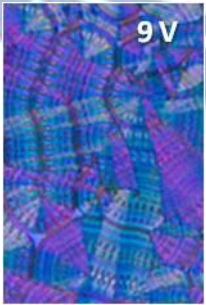


d/p	Planar texture	Focal-Conic texture	Fingerprint texture	ULH texture	Homeotropic texture
1	 0V	N/A	N/A	 2.5V	 4.75V
5	 0V	N/A	 5.5V	 15V	 18.5V
10	 0V	 9V	N/A	 20V	 37.5V
20	 0V	 12.5V	N/A	 27.5V	 62.5V

表 4.2 摻雜 R-5011 之四種不同 d/p 值之雙頻膽固醇液晶的紋理對照表。

d/p	Planar texture	Focal-Conic texture	Fingerprint texture	ULH texture	Homeotropic texture
1	 0V	N/A	N/A	 2.6V	 2.8V
5	 0V	N/A	 5.5V	 12.5V	 16.5V
10	 0V	 8V	N/A	 20V	 35V
20	 0V	 9V	N/A	 27.5V	 60V

其中摻雜 HEB 且 d/p 值為 1、5、10 與 20 之樣本的 ULH 態紋理存在之電壓區間範圍分別為 2.5–4.5 V、10–17.5 V、12.5–35 V 以及 20–60 V。而摻雜 R-5011 且 d/p 值為 1、5、10 與 20 之樣本的 ULH 態紋理存在之電壓區間範圍分別為 2.6–2.75 V、10–14.5 V、13.5–32.5 V、17.5–60 V。

由上述現象知，ULH 態紋理存在之電壓區間範圍隨著 d/p 值增大而增加。雖然 ULH 態紋理存在之電壓區間增加的幅度及範圍，在摻雜不同旋性對掌性材料之雙頻膽固醇液晶之條件下是不盡相同的，但巨觀來看，整體的趨勢是相同的。

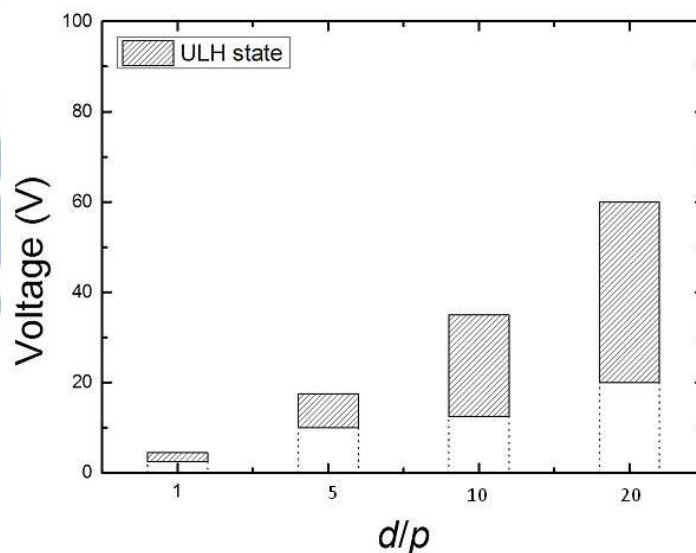


圖 4.1 四種摻雜 HEB 但不同 d/p 值之雙頻膽固醇液晶樣本的 ULH 態紋理存在之電壓區間圖。

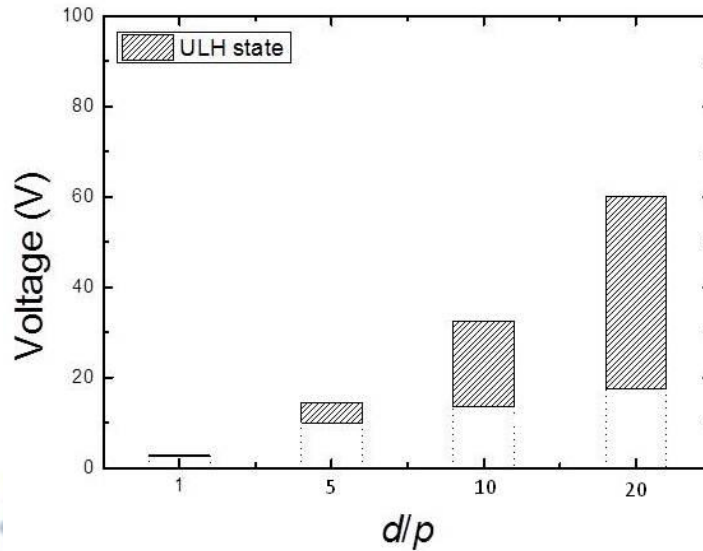


圖 4.2 四種摻雜 R-5011 但不同 d/p 值之雙頻膽固醇液晶樣本的 ULH 態紋理存在之電壓區間圖。

(2) ULH 態液晶分子螺旋軸方向與配向方向的關係

吾人利用正交偏光顯微鏡觀察雙頻膽固醇液晶樣本於 ULH 態，發現膽固醇液晶分子螺旋軸與液晶盒配向方向有相對應的關係，且隨著 d/p 值的增加，其分子螺旋軸與液晶盒配向方向也隨之不同。於 d/p 為 1 之其現象之發生原因可能與配向方向呈現密切關係，但 d/p 值為 5-20 時，其膽固醇液晶分子之螺旋軸與配向方向之關係仍然有待釐清。

圖 4.3 為摻雜 HEB 之四種不同 d/p 值之雙頻膽固醇液晶樣本在正交偏光顯微鏡下，以倍率為 200 倍之放大倍率觀察紀錄的紋理圖；圖中 (a-d) 之樣品 d/p 值分別為 1、5、10 以及 20，而箭頭方向則為液晶盒配向方向。當 $d/p = 1$ 時，其雙頻膽固醇液晶的分子螺旋軸平行於液晶盒配向方向；而 d/p 增加到 5 以上，其液晶的分子螺旋軸轉變為垂直於液晶盒配向方向；隨著 d/p 值慢慢地增加到 10 時，此時液晶的分子螺旋軸仍然垂直於液晶盒配向方向，但開始出現少部分缺陷區塊，且缺陷內之螺旋軸方向無特定方向；接著 d/p 值持續增加為 20 時，其缺陷區塊大量的增加，缺陷內之螺旋軸亦無特定方向。

圖 4.4 為摻雜 R-5011 之四種不同 d/p 值之雙頻膽固醇液晶樣本在正交偏光顯微鏡下，以倍率為 200 倍之放大倍率觀察紀錄的紋理圖。圖中 (a-d) 之樣品 d/p 值分別為 1、5、10 以及 20，其分子螺旋軸與配向方向之間的關係和摻雜 HEB 之樣品相似，皆在 d/p 在 5 以上時，分子螺旋軸會由原本的與配向方向水平轉變為垂直的關係；當 d/p 值增加到 10 以上後，亦會出現缺陷區塊，但比起添加 HEB 的樣本來說缺陷區塊明顯的少了許多。這可能是因為 R-5011 的螺旋扭轉能比 HEB 大得多。故於相同螺距下，所需的濃度相對地較少，因此漸少了過多對掌性分子造成缺陷區塊的影響之因素。

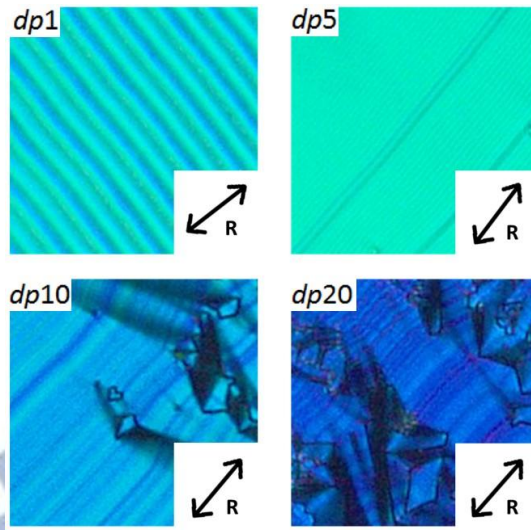


圖 4.3 摻雜 HEB 之雙頻膽固醇液晶在不同 d/p 值條件下於 ULH 態之紋理圖，圖中 R 為 rubbing 方向。

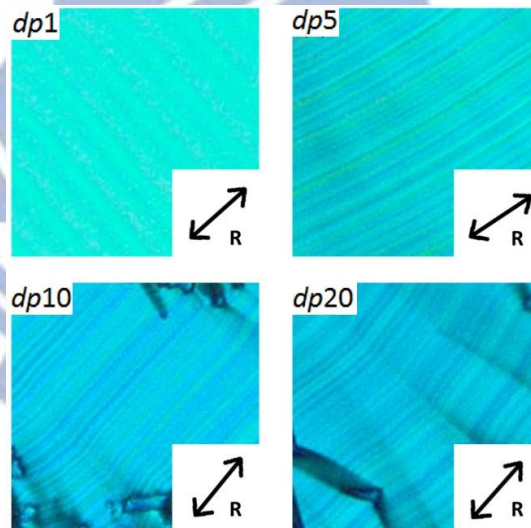


圖 4.4 摻雜 R-5011 之雙頻膽固醇液晶在不同 d/p 值條件下於 ULH 態之紋理圖，圖中 R 為 rubbing 方向。

(3) 以添加物與 d/p 值為變數之紋理圖以及白光穿透光譜之比較

另一方面，吾人不僅將樣本之紋理圖作描述以及比較外，同樣的，也將樣本於 ULH 態時，相對應之白光穿透光譜作一個比較以及描述。根據參考文獻 [18] 可知，因 ULH 態下之膽固醇液晶分子之螺旋軸平行於液晶盒之玻璃基板，造成正向入射光之某些波段的波長之光穿透率高。故 ULH 態紋理越完整或整齊時，可能會有特定光譜曲線，且其白光穿透光譜之光穿透率，就理論上來說，在此條件下應較高。圖 4.5 為摻雜 HEB 的四種不同 d/p 值之樣本於 ULH 態時之白光穿透光譜。由圖可看出，在 d/p 值為 1 之樣本的光譜之中，最高光穿透率接近 85%，位在波長約為 600 nm 處，而光穿透率於波長約 450 nm 以下時有明顯下降趨勢；在 d/p 值為 5 之樣本的光譜之中，最高光穿透率接近 75%，位在波長約為 700 nm 處，而光穿透率於波長約 650 nm 以下時有明顯下降趨勢；在 d/p 值為 10 之樣本的光譜之中，最高光穿透率接近 75%，而光穿透率於波長約 450 nm 以下或 650 nm 以上時有明顯下降趨勢；在 d/p 值為 20 之樣本的光譜之中，最高光穿透率接近 72%，而光穿透率於波長約 570 nm 以下或 660 nm 以上時有明顯下降趨勢。圖 4.6 為摻雜 R-5011 的四種不同 d/p 值之樣本。由圖可看出，在 d/p 值為 1 之樣本的光譜之中，最高光穿透率接近 85%，位在波長約為 600 nm 處，而光穿透率於波長約 450 nm 以下時有明顯下降趨勢。在 d/p 值為 5 之樣本的光譜之中，最高光穿透率接近 70%，略低於摻雜 HEB 且 d/p 值為 5 之樣本，而

位在波長約為 650 nm 處，光穿透率於波長約 650 nm 以下時有明顯下降趨勢。在 d/p 值為 10 之樣本的光譜之中，最高光穿透率接近 75%，而光穿透率於波長約 570 nm 以下或 650 nm 以上時有明顯下降趨勢；在 d/p 值為 20 之樣本的光譜之中，最高光穿透率接近 72%，而光穿透率於波長約 570 nm 以下或 625 nm 以上時有明顯下降趨勢。由各樣本於 ULH 態之紋理圖可知，當 d/p 值為 1 時，其 ULH 態紋理較其他 d/p 值之樣本而言最為整齊，故吾人在此以 d/p 為 1 之樣本的白光穿透光譜之曲線當作 ULH 態紋理明顯程度或整齊與否之依據。如圖 4.5 以及圖 4.6 所示， d/p 為 1 之樣本在 ULH 態時的白光光譜曲線，基本上有著在往短波長之方向，光穿透率越低之特性。而往長波長之方向，則光穿透率減弱較少。因此，假如樣本於 ULH 態下之白光穿透光譜中，其特性越符合

1. 往短波長方向之光穿透率有降低趨勢；
2. 長波長之光穿透率降低較少；
3. 最高光穿透率在較長波長處。

則樣本之 ULH 態理應排列越整齊。由前述對各樣本之白光穿透光譜，以及在對各樣本之在 ULH 態之紋理圖的敘述，即大致可驗證吾人之理論。至於在某些樣本在 ULH 態之白光穿透光譜中，於波長約為 400 nm 處有異常光穿透率突起之現象，吾人認為可能與所摻雜之旋性對掌性材料有關。

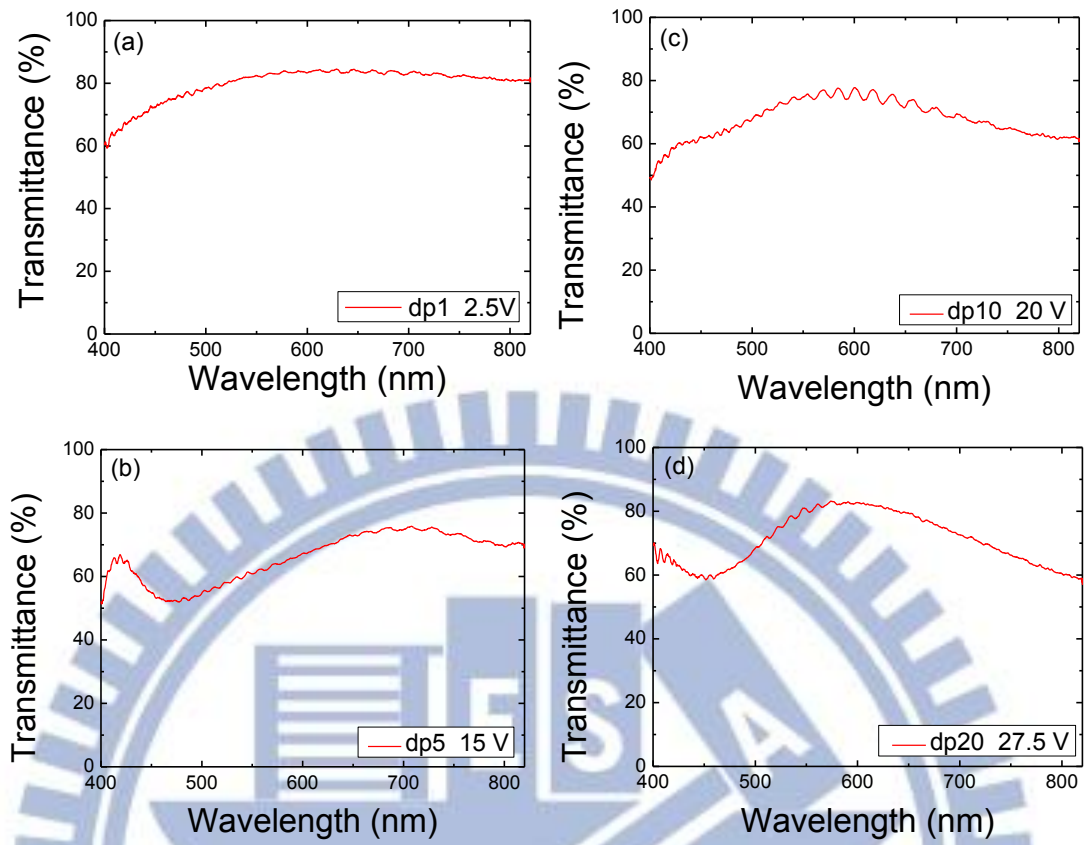


圖 4.5 摻雜 HEB 的四種不同 d/p 值之樣本於 ULH 態時之白光穿透光譜圖：

(a) d/p 值為 1；(b) d/p 值為 5；(c) d/p 值為 10；(d) d/p 值為 20。

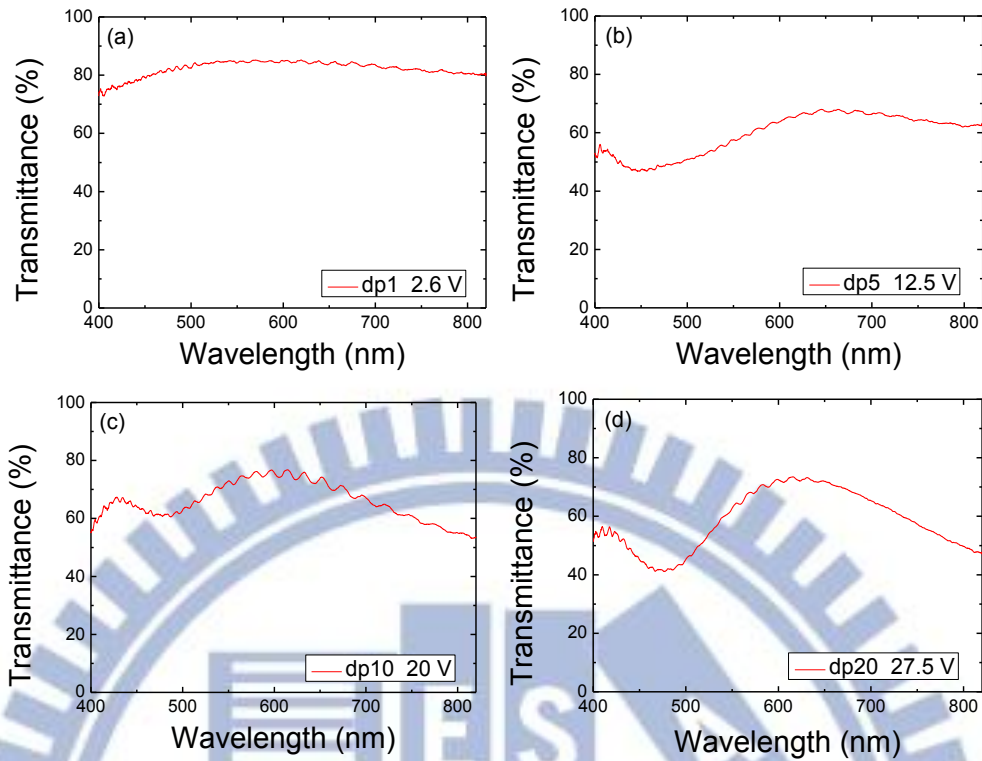


圖 4.6 摻雜 R-5011 的四種不同 d/p 值之樣本於 ULH 態時之白光穿透光譜

圖：(a) d/p 值為 1；(b) d/p 值為 5；(c) d/p 值為 10；(d) d/p 值為 20。

(4) d/p 值對光穿透率之比較圖

由上述可知，不同添加物或不同 d/p 值會影響到入射光之光穿透率的高低。為使不同添加物間之 d/p 值的光穿透率方便比較，吾人繪製了不同添加物間，不同 d/p 值對特定波長之光穿透率圖。圖 4.7 為不同添加物在不同 d/p 值之雙頻膽固醇液晶樣本在波長為 632.8 nm 之下的光穿透率比較圖。由圖可知，雖然對白光穿透光譜而言， d/p 值越小則通常平均光穿透率較高。但由圖看來，就波長為 632.8 nm 之入射光而言，光穿透率並沒有明顯的證據

顯示，光穿透率隨著 d/p 值變大而有隨之降低的跡象的規律，且添加不同旋性對掌性材料之樣本在同樣的 d/p 值間，也沒有特定的趨勢。因此，我們可以知道，或許樣本於白光穿透光譜之平均光穿透率有其規律，但在特定波長為 632.8 nm 之入射光則無明顯之規則。

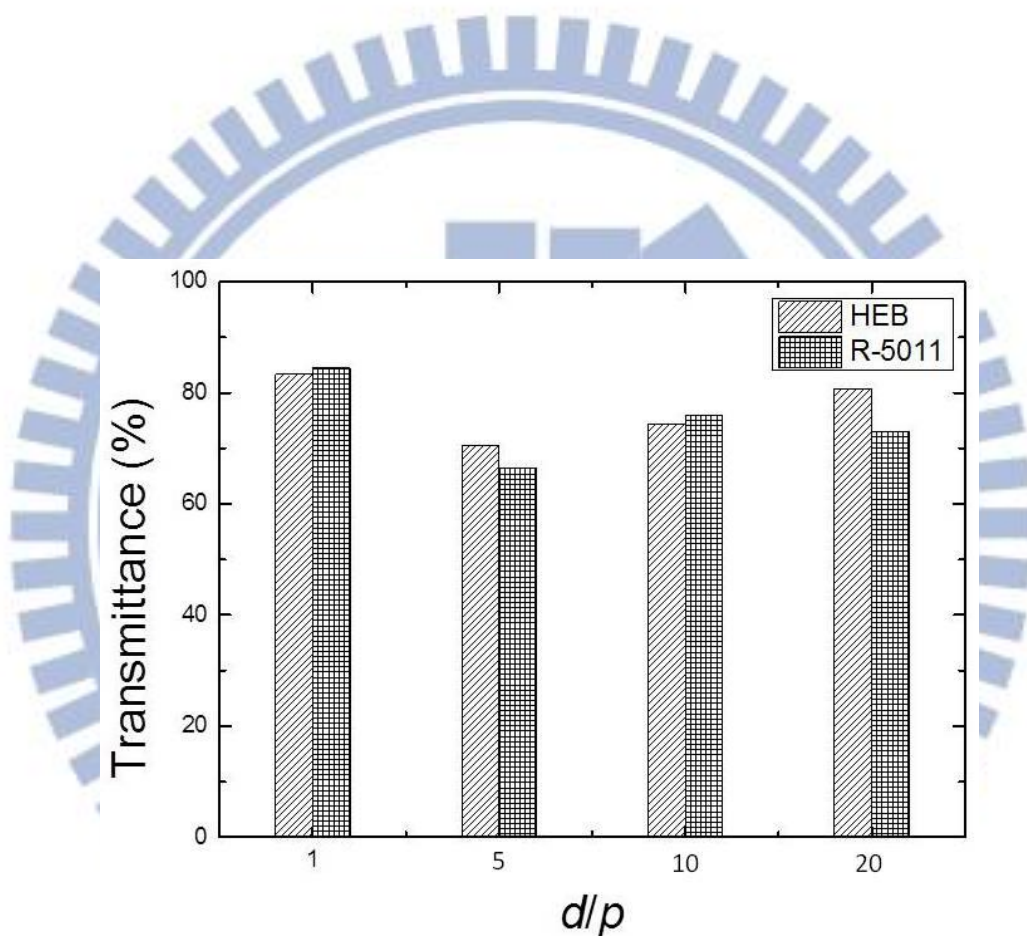


圖 4.7 不同添加物在不同 d/p 值之雙頻膽固醇液晶樣本在波長為 632.8 nm 之下的光穿透率比較圖。

4.1.2. 於擾動區間之定電壓變頻率之現象

吾人在偶然情形之下於實驗中意外發現到，不管是添加 HEB 或者是 R-5011 的雙頻膽固醇液晶，除了 d/p 值為 1 之樣本無擾動情形外， d/p 值為 5、10 以及 20 之樣本皆會於在施加維持 ULH 態且低頻率之電壓的條件之下產生擾動情形。

經觀察，其擾動現象 [24] 類似太陽表面之色球層因熱對流所產生之米粒紋理，如圖 4.8 所示。此擾動現象可能為膽固醇液晶分子本身離子雜質濃度高，使得低頻電壓造成之電流體效應之微電流效應明顯，使得分子螺旋軸做時變且紊亂之動作，因此造成光穿透率大幅降低。而由文獻得知，上述這類擾動現象可為動態散射效應（dynamic scattering effect） [25, 26]。

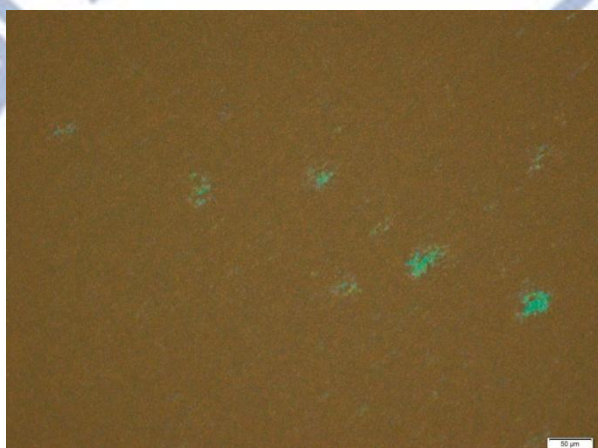


圖 4.8 雙頻膽固醇液晶在擾動現象時之紋理圖。

基於對擾動現象的好奇，吾人做了在維持 ULH 態紋理之電壓下調變頻率 [27–29] 的實驗。針對不同 d/p 值之添加物為 HEB 的雙頻膽固醇液晶之實驗中，於維持 ULH 態之電壓且在擾動頻率區間下，擾動區間之紋理圖及對應之白光穿透光譜圖如圖 4.9、圖 4.10 以及圖 4.11 所示；針對不同 d/p 值之添加物為 R-5011 的雙頻膽固醇液晶之實驗中，於維持 ULH 態之電壓且在擾動頻率區間下，擾動區間之紋理圖及對應之白光穿透光譜圖如圖 4.12、圖 4.13 以及圖 4.14 所示。由實驗結果，吾人將各樣本發生擾動現象以及擾動時的穿透率整理如表 4.3 以及表 4.4。

由上述可知，不同旋性對掌性和不同 d/p 值之雙頻膽固醇液晶樣本，擁有不同的擾動區間範圍以及不同程度的光穿透率。而吾人將此現象更進一步做出摻雜 HEB 以及摻雜 R-5011 之樣本之不同 d/p 值間之擾動區間比較圖，如圖 4.15 以及圖 4.16 所示。

其中摻雜 HEB 之雙頻膽固醇液晶在 d/p 值為 5、10、與 20 時其擾動區間自頻率分別為 20–250 Hz、5–800 Hz 以及 10–200 Hz，以 d/p 值為 20 時範圍最小； d/p 值為 5 之樣本範圍次之； d/p 值為 10 之樣本範圍最大。而摻雜 R-5011 之雙頻膽固醇液晶在 d/p 值為 5、10、與 20 時其擾動區間自頻率分別為 5–200 Hz、5–600 以及 10–300 Hz，又以 d/p 值為 5 時範圍最小； d/p 值為 10 之樣本範圍次之； d/p 值為 20 之樣本範圍最大。

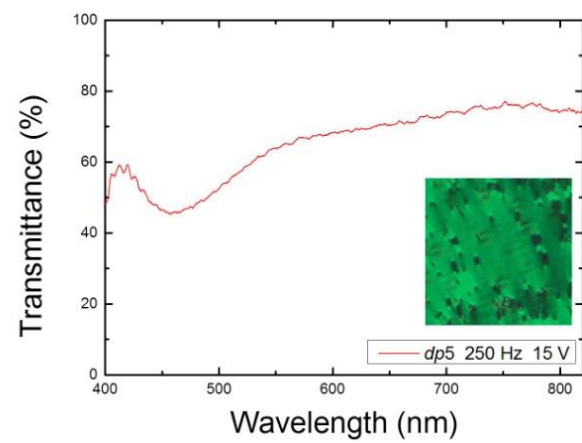
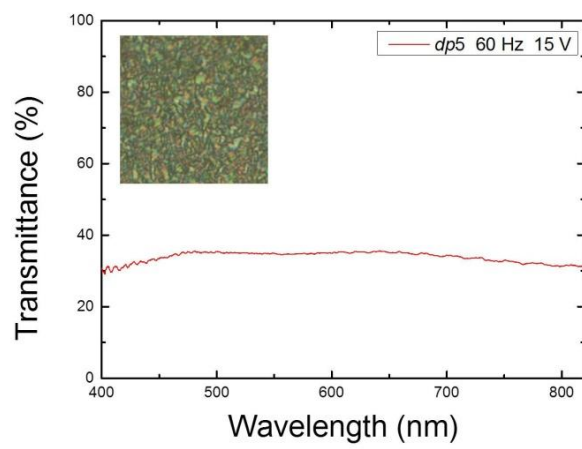
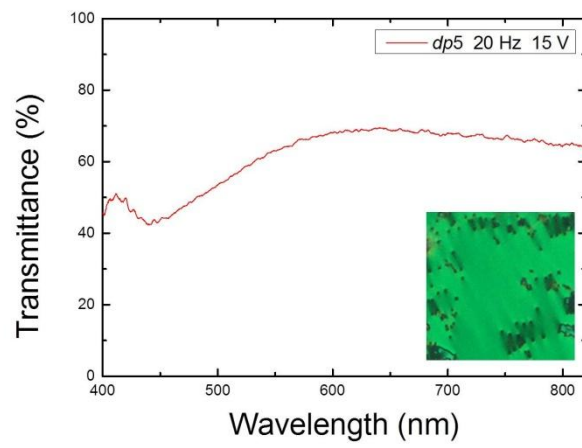


圖 4.9 dp 值為 5 之添加物為 HEB 的雙頻膽固醇液晶，於維持 ULH 態之電壓且在擾動頻率區間下之紋理圖。

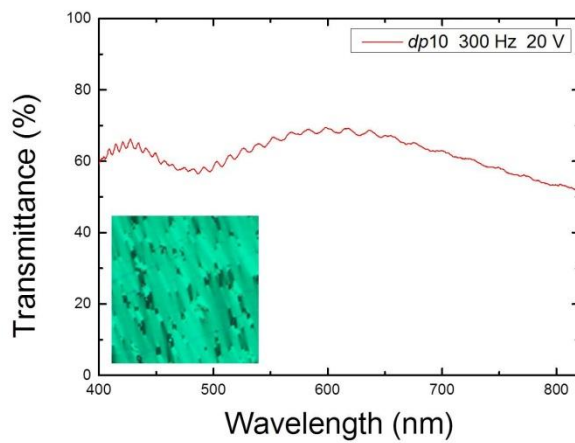
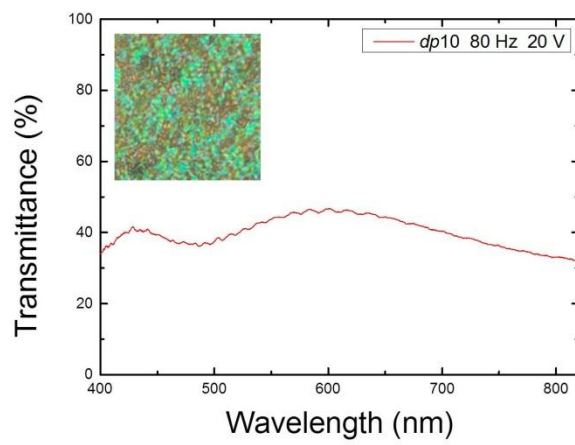
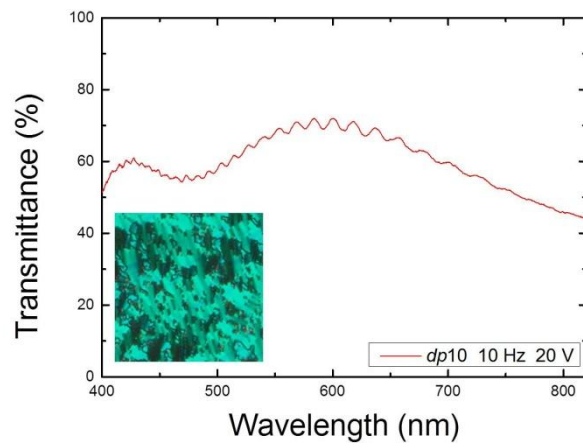


圖 4.10 d/p 值為 10 之添加物為 HEB 的雙頻膽固醇液晶，於維持 ULH 態之電壓且在擾動頻率區間下之紋理圖。

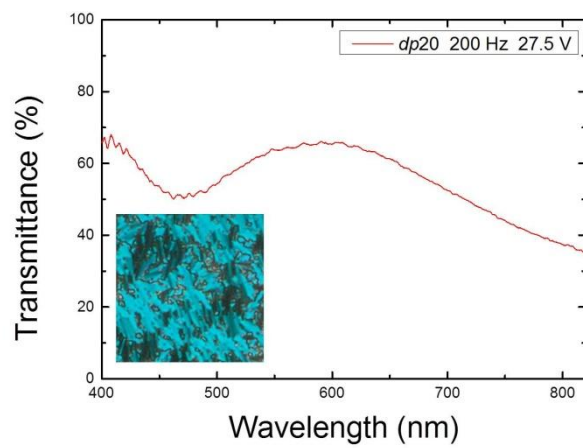
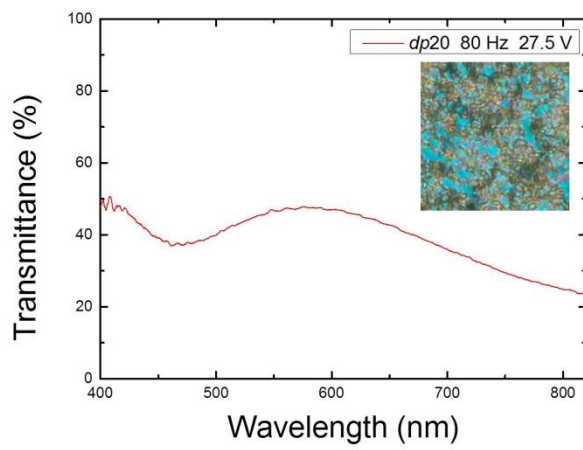
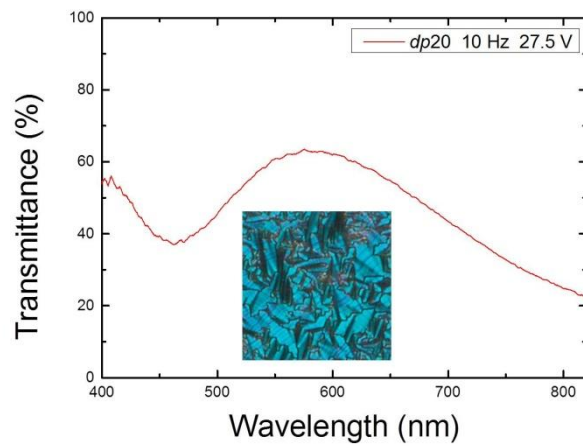


圖 4.11 d/p 值為 20 之添加物為 HEB 的雙頻膽固醇液晶，於維持 ULH 態之電壓且在擾動頻率區間之紋理圖。

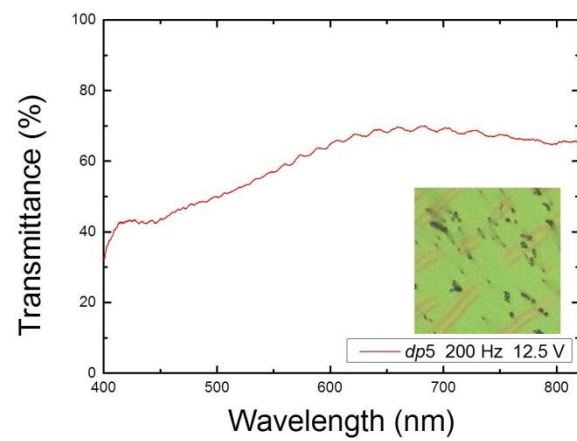
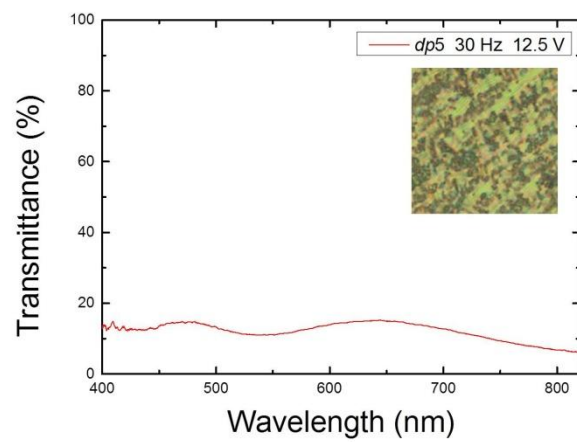
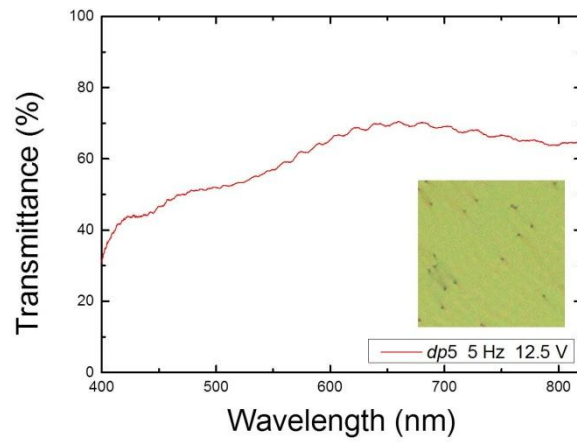


圖 4.12 d/p 值為 5 之添加物為 R-5011 的雙頻膽固醇液晶，於維持 ULH 態之電壓且在擾動頻率區間下之紋理圖。

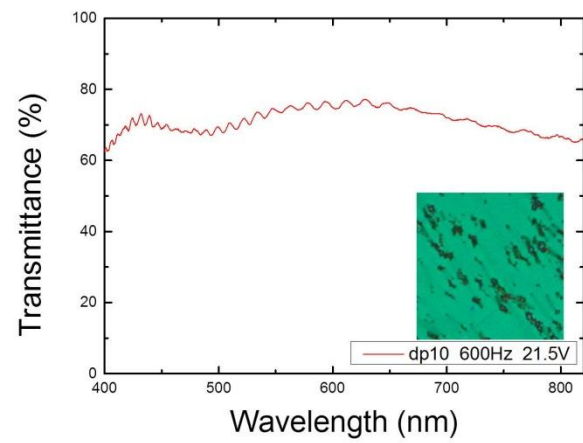
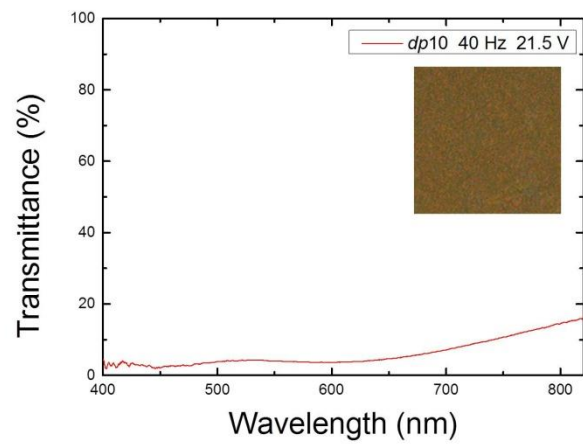
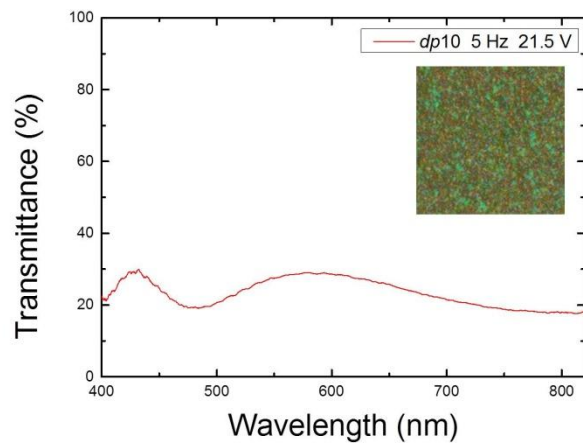


圖 4.13 d/p 值為 10 之添加物為 R-5011 的雙頻膽固醇液晶，於維持 ULH

態之電壓且在擾動頻率區間下之紋理圖。

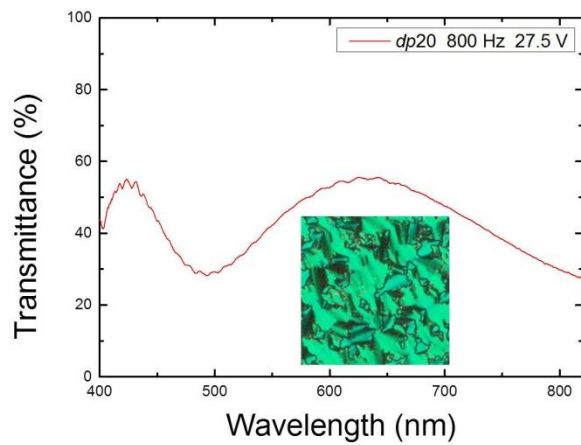
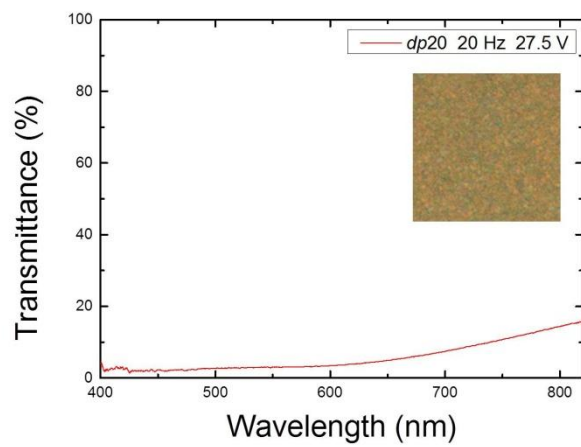
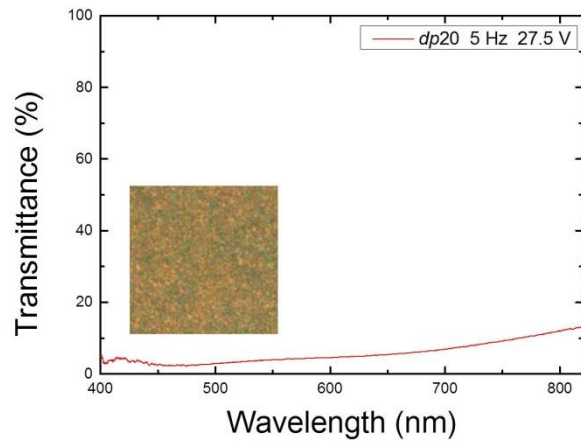


圖 4.14 d/p 值為 20 之添加物為 R-5011 的雙頻膽固醇液晶，於維持 ULH

態之電壓且在擾動頻率區間下之紋理圖。

表 4.3 參雜 HEB 之雙頻膽固醇液晶樣本之 d/p 值與擾動區間關係表

d/p	擾動區間	擾動最劇烈時之 頻率及其光穿透率
5	20–250 Hz	60 Hz, 35 %
10	10–300 Hz	80 Hz, 40 %
20	10–200 Hz	80 Hz, 35 %

表 4.4 參雜 R-5011 之雙頻膽固醇液晶樣本之 d/p 值與擾動區間關係表

d/p	擾動區間	擾動最劇烈時之 頻率及其光穿透率
5	5–200 Hz	30 Hz, 15 %
10	5–600 Hz	40 Hz, 5 %
20	5–800 Hz	20 Hz, 5 %

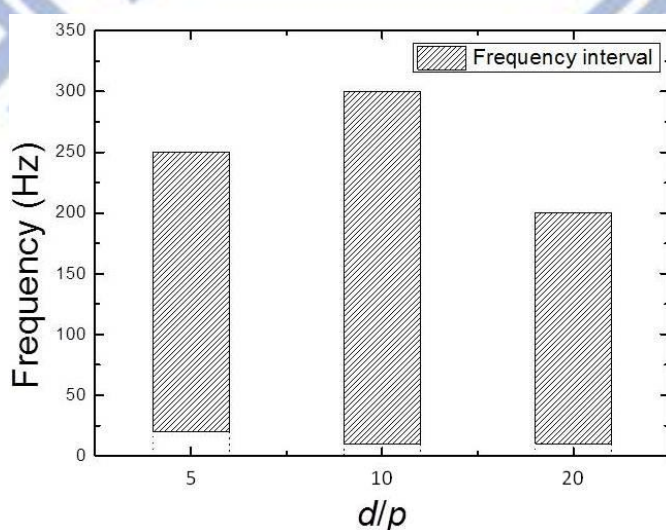


圖 4.15 參雜 HEB 之樣本之不同 d/p 值間之擾動區間比較圖。

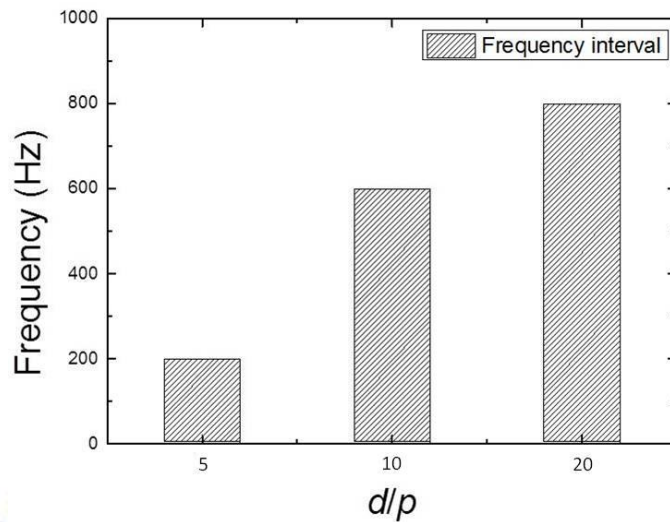


圖 4.16 摻雜 R-5011 之樣本之不同 d/p 值間之擾動區間比較圖。

另外，由圖 4.15 以及圖 4.16 可知，摻雜 HEB 的三種 d/p 值之雙頻膽固醇液晶樣本，其擾動區間屬 d/p 值為 20 之樣本最小， d/p 值為 5 之樣本次之，而 d/p 值為 10 之樣本的範圍最大；摻雜 R-5011 的三種 d/p 值之雙頻膽固醇液晶樣本，其擾動區間屬 d/p 值為 5 之樣本最小， d/p 值為 10 之樣本次之，而 d/p 值為 20 之樣本的範圍最大。

因此，由上述可知，摻雜 HEB 之雙頻膽固醇液晶樣本之擾動頻率區間範圍是無規則可言的，而摻雜 R-5011 之雙頻膽固醇液晶樣本之擾動頻率區間範圍則是隨著 d/p 值增大而增大範圍。

由於可利用在擾動頻率區間內，施加不同頻率之電壓可造成相異之光穿透率 [30, 31]。故吾人突發奇想，設法將此現象應用於灰階調控上。而吾

人已成功地將擾動效應實際地應用於灰階調控上，並能以線性關係調控頻率達成相等光穿透率差值之灰階，想必應能解決目前灰階調控線性程度不足等問題。至於灰階調控之實驗結果與討論將於 4.2 章節做詳述。

另外，經由吾人以雙頻膽固醇液晶與單頻膽固醇液晶（單頻向列型液晶 E7 參雜 HEB 或 R-5011）相比較發現，除了以雙頻向列型液晶添加 HEB 或 R-5011 調製而成之樣本，於特定電壓頻率會產生擾動之外，以 E7 添加 HEB 或是 R-5011 之膽固醇液晶之樣本均無擾動現象發生。

4.1.3. 於擾動頻率下調變電壓之現象

固定擾動頻率調變電壓之實驗為觀察在不同 d/p 值與摻雜不同旋性對掌性材料，在各樣本之擾動頻率下，調變電壓並觀察各施加不同電壓值時，其光穿透率之變化 [32]。

圖 4.17(a)與(b)分別為添加物為 HEB 以及 R-5011， d/p 值皆為 5 之雙頻膽固醇液晶樣本，在固定擾動頻率的情況下，調變電壓與光穿透率之關係圖。摻雜 HEB 之雙頻膽固醇液晶樣本在電壓為 15 V 下之光穿透率約在 7 % 左右；摻雜 R-5011 之雙頻膽固醇液晶樣本在電壓為 12.5 V 之下，其光穿透率約在 18 % 左右。由上述以及 4.1.1 節知， d/p 值為 5 之樣本皆於最佳 ULH 態電壓下之光穿透率最低，即擾動效應最為明顯。而非施加最佳 ULH 態電

壓下之光穿透率則較高，即擾動效應較不明顯。圖 4.17(c)與(d)分別為添加物為 HEB 以及 R-5011 但 d/p 值皆為 10 之雙頻膽固醇液晶樣本，在固定擾動頻率的情況下，調變電壓與光穿透率之關係圖。摻雜 HEB 之雙頻膽固醇液晶樣本在電壓為 20 V 下之光穿透率約在 19 % 左右；摻雜 R-5011 之雙頻膽固醇液晶樣本在電壓為 12.5 V 之下，其光穿透率約在 4 % 左右。由上述以及 4.1.1 節知， d/p 值為 10 之樣本皆於各自最佳 ULH 態電壓下之光穿透率最低，即擾動效應最為明顯。而非施加最佳 ULH 態電壓下之光穿透率則較高，即擾動效應較不明顯。值得一提的是，摻雜 HEB 之樣本，施加電壓為 30 V 之時，其光穿透率與 20 V 時相差無幾，約在 17 % 左右。

圖 4.17(e)和(f)分別為添加物為 HEB 以及 R-5011 但 d/p 值皆為 20 之雙頻膽固醇液晶樣本，在固定擾動頻率的情況下，調變電壓與光穿透率之關係圖。摻雜 HEB 之雙頻膽固醇液晶樣本在電壓為 52.5 V 下之光穿透率約在 12 % 左右；摻雜 R-5011 之雙頻膽固醇液晶樣本在電壓約為 22.5 V 之下，其光穿透率約在 4 % 左右。由上述知，摻雜 R-5011 之樣本在最佳 ULH 態電壓下，其穿透率最低。而摻雜 HEB 之樣本則是於施加電壓為 52.5 V 時的光穿透率最低，在最佳 ULH 態電壓下反而較電壓為 52.5 V 時要來得高，為唯一最低光穿透率不在最佳 ULH 態電壓之條件下的樣本。

除了各樣本調變電壓對光穿透率的數據外，吾人另發現，在本實驗中，摻雜 HEB 且 d/p 值為 5 之雙頻膽固醇液晶樣本之白光穿透光譜中，對紫外波段之光線有著較其他樣本更顯著的吸收率。而這也使得吾人覺得或許能將此發現應用於實際用途。

至於如何應用在實際用途上，將於 4.3.2 節會有詳細論述。



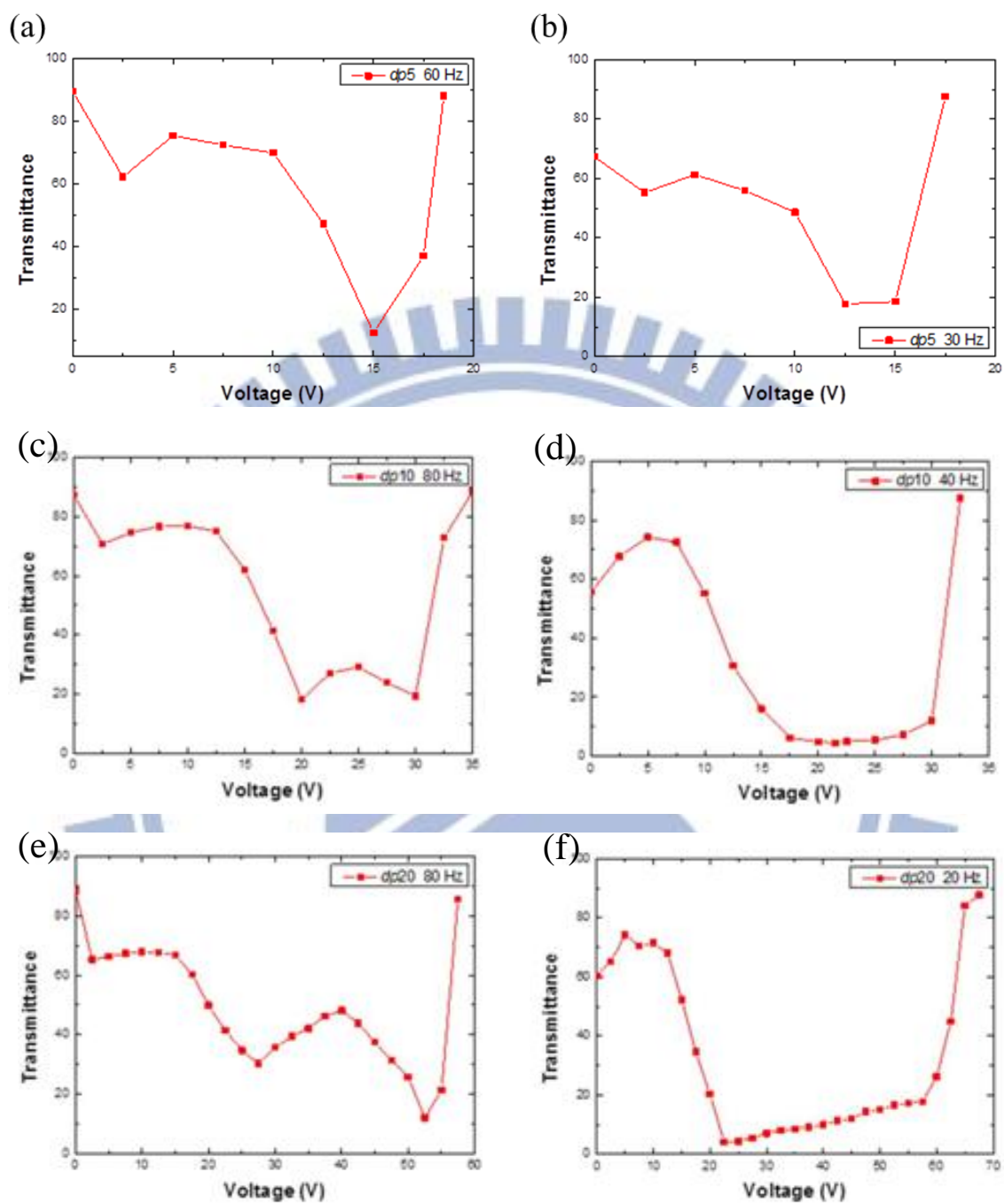


圖 4.17 d/p 值為 5 之雙頻膽固醇液晶樣本，在固定擾動頻率的情況下，調變電壓與光穿透率之關係圖：(a), (c), (e) 摻雜 HEB；(b), (d), (f) 摻雜 R-5011。

4.2 在雙頻 ULH 狀態下之灰階應用

4.2.1. 灰階線性頻率區間之選擇

基於 4.1.2 節所提及，於雙頻膽固醇液晶中，摻雜對掌性材料 HEB 或是 R-5011 在 d/p 值為 5、10 以及 20 的條件之下會有低頻擾動效應 [33]。本實驗所呈現之擾動效應為施加低頻電壓於雙頻膽固醇液晶，造成雙頻膽固醇液晶分子動態紊亂運動而造成光穿透率降低。

故吾人利用因擾動而降低光穿透率的現象設計一套灰階光穿透率之變換機制。雙頻膽固醇液晶擾動效應和 d/p 值有密切相關，且經本實驗測試，在 d/p 值為 1 的條件之下不具有擾動效應，故吾人討論擾動相關現象只專注於在 d/p 值為 5、10 以及 20 條件之下的液晶盒樣本。

圖 4.18(a)與(b)分別為添加 HEB 以及 R-5011 的雙頻膽固醇液晶於不同 d/p 值時頻率對光穿透率的關係。欲作有效且線性之灰階亮度調控，頻率對光穿透率關係曲線必須呈現線性或幾乎線性，且灰階之最低光穿透率與最高光穿透率差值越大越好。

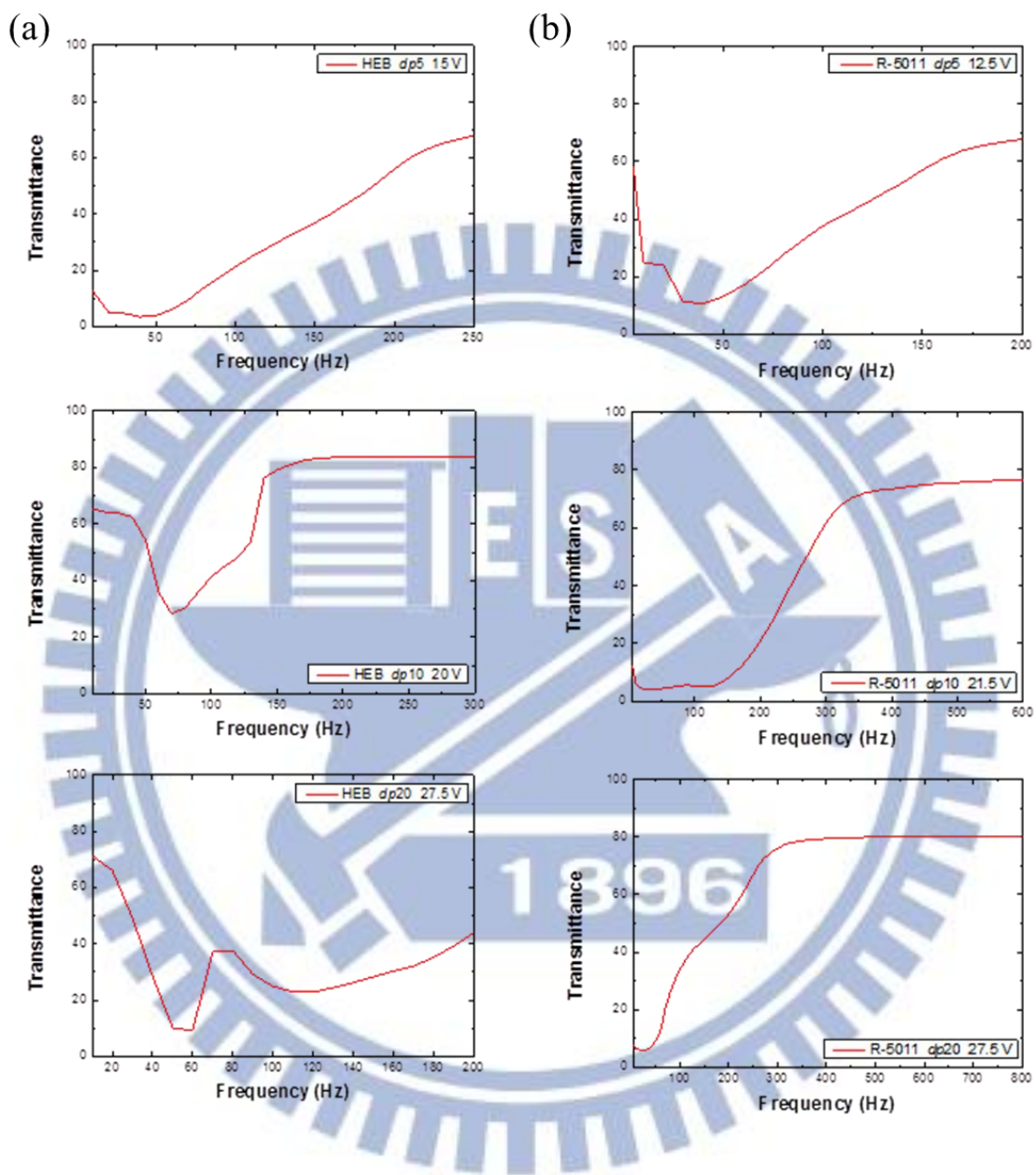


圖 4.18 雙頻膽固醇液晶之不同 d/p 值的頻率對光穿透率光譜圖:(a)摻雜

HEB；(b)摻雜 R-5011。

由圖 4.18(a)可知， d/p 值為 5 的液晶盒之頻率對光穿透率關係圖中，施加頻率範圍約在 50 Hz 和 210 Hz 之間最為線性，且光穿透率範圍約在 5 % 以及 55 % 之間； d/p 值為 10 的液晶盒之頻率對光穿透率關係圖中，施加頻率範圍約在 70 Hz 和 130 Hz 之間最為線性，且光穿透率範圍約在 24 % 以及 50 % 之間； d/p 值為 20 的液晶盒之頻率對光穿透率關係圖中，在擾動頻率範圍內，幾乎無線性關係可言，故無須定義其灰階最高以及最低光穿透率。

由圖 4.18(b)可知， d/p 值為 5 的液晶盒之頻率對光穿透率關係圖中，施加頻率範圍約在 40 Hz 和 180 Hz 之間最為線性，且光穿透率範圍約在 10 % 以及 57 % 之間； d/p 值為 10 的液晶盒之頻率對光穿透率關係圖中，施加頻率範圍約在 150 Hz 和 340 Hz 之間最為線性，且光穿透率範圍約在 5 % 以及 70 % 之間； d/p 值為 20 的液晶盒之頻率對光穿透率關係圖中，施加頻率範圍約在 60 Hz 和 310 Hz 之間最為線性，且光穿透率範圍約在 5 % 以及 70 % 之間。其中添加物為 R-5011 且 d/p 值為 10 之雙頻膽固醇液晶之頻率對光穿透率曲線於 150 Hz 以及 340 Hz 之間最為線性，且線性區間內最大光穿透率達 70 %，而最小光穿透率只有 5 %。故吾人選擇添加物為 R-5011 之雙頻膽固醇液晶且 d/p 值為 10 之液晶盒為灰階調控 [25,26] 機制之實驗樣本。

4.2.2. 灰階反應時間

本灰階反應時間 [34] 之實驗以添加物為 R-5011 且 d/p 值為 10 之雙頻膽固醇液晶當作實驗樣本。其樣本之最小光穿透率約為 5%，而最大光穿透率約為 70%。基於灰階階數的選擇以 2 的正整數次方數為宜，且灰階間光穿透率必須適中，故吾人選擇包含最大光穿透率以及最小光穿透率為 8 種之灰階階數。灰階光穿透率取樣依小至大分別為 5%、10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%，並分別以 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 T_5 、 T_6 、 T_7 以及 T_8 ；而上述之光穿透率對應頻率由小至大依序為 150 Hz、161 Hz、197 Hz、223 Hz、246 Hz、270 Hz、295 Hz、339 Hz。表 4.3 為灰階反應時間表格，由表中可看出灰階光穿透率由高至低（頻率高至頻率低）的反應時間較灰階光穿透率由低至高（頻率低至頻率高）的反應時間要短。

4.3 雙頻 ULH 於三穩態之應用

4.3.1. 雙頻 ULH 於三穩態之機制

一般雙頻膽固醇液晶具有雙穩態高低頻轉換機制 [35–39]，即低頻切換至高頻時紋理自焦錐態紋理轉變至平面態紋理；高頻切換至低頻時紋理自水平態紋理轉變回至焦錐態紋理。

表 4.5 灰階對灰階之反應時間表 (Unit: ms)

	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8
T_1		35.0	43.5	79.5	89.0	137.5	122.5	188.3
T_2	20.8		72.5	68.5	82.9	77.5	115.0	126.5
T_3	16.5	17.0		85.8	43.7	77.3	84.1	107.5
T_4	<u>10.2</u>	12.6	27.8		27.2	33.0	72.2	83.5
T_5	17.3	10.5	11.3	28.7		67.9	30.5	45.8
T_6	14.1	12.1	12.4	13.8	24.9		<u>22.9</u>	34.4
T_7	22.1	16.8	17.1	19.7	23.7	12.0		27.0
T_8	44.7	35.8	20.4	23.6	21.9	26.7	20.0	

經實驗證實，吾人調製出之雙頻膽固醇液晶在 d/p 值在 5 以上時 ULH 態紋理可維持至少大於 100 秒左右，而其中添加物為 R-5011 且 d/p 值為 10 之液晶盒樣本 ULH 態紋理，維持時間更長達 150 秒左右 [40, 41]。吾人提出雙頻膽固醇液晶之三穩態高低頻切換機制，可在平面態紋理、動態焦錐態紋理 (dynamic-FC texture) 以及 ULH 態紋理之間以高低頻切換的方式變換。

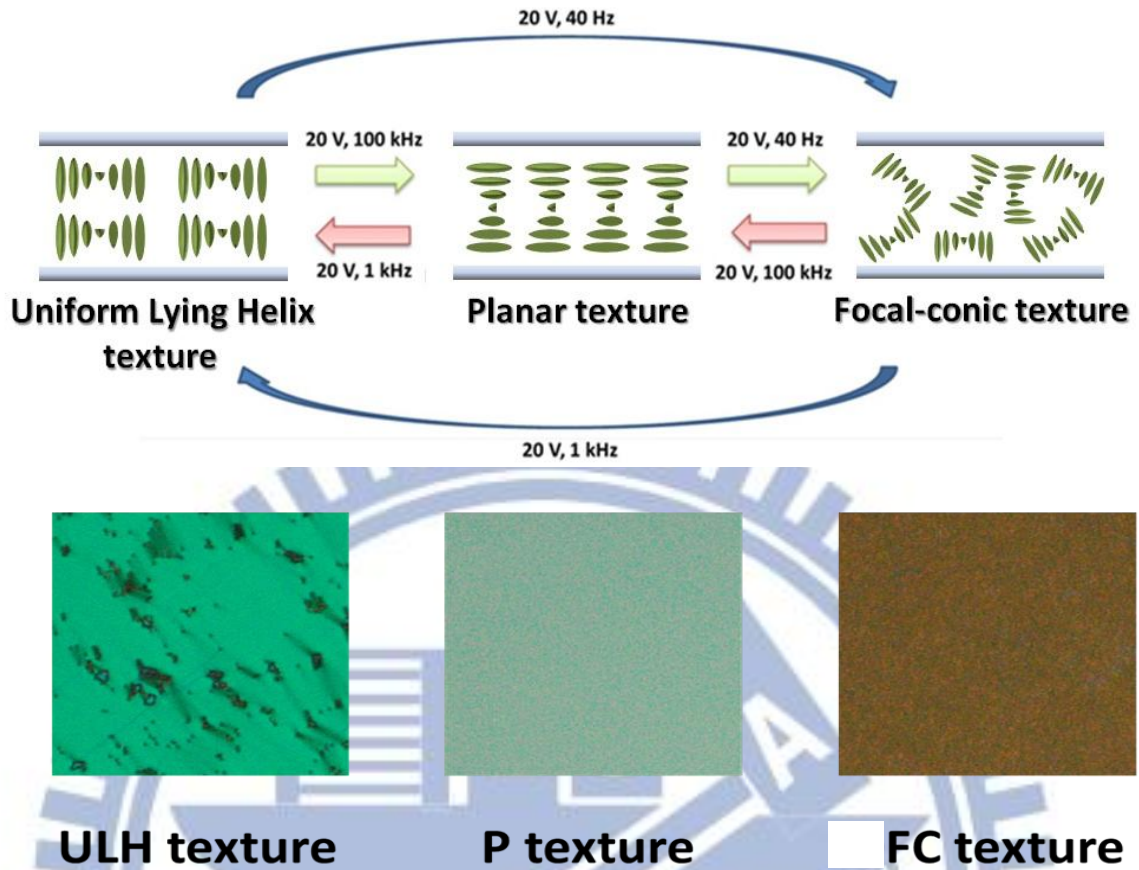


圖 4.19 (a)雙頻膽固醇液晶之三穩態高低頻切換機制之示意圖以及 (b)對應之紋理圖。

本團隊以添加物為 R-5011 且 d/p 值為 10 之雙頻膽固醇液晶為樣本作切換機制之示範。經本實驗團隊之文獻搜尋結果得知，本實驗機制為目前已知第一個設計出三穩態高低頻切換之機制。圖 4.19 為三穩態高低頻切換機制之示意圖及對應之實際紋理圖。

圖 4.19 中，切換機制以施加電壓為 21.5 V 且頻率為 40 Hz 之動態焦錐態紋理為起始狀態，而後維持電壓於 21.5 V 但頻率調變至 100 kHz 則動態

焦錐態紋理迅速變為平面態紋理。如將施加電壓為 21.5 V 且頻率為 100 kHz 之平面態紋理調變至施加電壓為 21.5 V 且頻率為 1 kHz 時，則平面態紋理迅速轉變成為 ULH 態紋理。將施加電壓為 21.5 V 且頻率為 1 kHz 之 ULH 態紋理調變至施加電壓為 21.5 V 且頻率為 40 Hz，則 ULH 態紋理將轉變成為動態焦錐態紋理。假如想要經由相反程序做態與態之間的切換是可行的，只要將目的態紋理所需之電壓以及頻率條件施加至液晶盒樣本即可達成。ULH 態紋理，目前吾人雖然目前仍無法做到永久穩態的一個狀態，但吾人可以利用在 ULH 態紋理穩態逐漸消失的時刻及時施加一個瞬間電壓以及頻率以達成紋理”重生”的一個現象。故由瞬間施加電壓以及頻率的方法可以補償無法維持永久穩態的窘境。而本團隊之後也將持續研究如何使 ULH 態紋理穩定時間拉長，以達成本實驗的終極目標。

4.3.2. 雙頻 ULH 於三穩態之應用

台灣地處亞熱帶，一年之中陽光照射量非常地充沛。充足的陽光不僅可以促進太陽能發電的發展，更能夠使太陽能儲電效率大幅提高。但是，太陽光的紫外線卻造成惱人的問題。紫外波段的光線會造成皮膚病變，使人患上皮膚病以及癌症等嚴重的疾病。目前在市面上能夠抵擋紫外線的的產物不外乎是太陽眼鏡、安全帽護目鏡、汽車防紫外線的擋風玻璃以及防紫外線的窗戶玻璃等。但以上皆非利用與膽固醇液晶方面相關之技術來達

成隔絕紫外線之目的—即目前尚無以膽固醇液晶相關技術來隔絕紫外波段之光線之技術。於是，吾人突發奇想，或許可以將實驗中發現之現象，應用於隔絕紫外線之相關技術上。

誠如 4.1.3 節所述，吾人在實驗時發現 ULH 紋理之白光光譜的波段在低於波長約 400 nm 以下時之光穿透率較 400 nm 波長以上之光穿透率要來的高。但在不同條件之下的 ULH 紋理白光光譜圖則有著不盡相同的白光光譜曲線趨勢，即對低於波長約為 400 nm 之紫外波段的光穿透率不同。

於是吾人對雙頻膽固醇液晶樣本以施加調變電壓但固定頻率的方式，去做更進一步去探討各條件之下的白光光譜曲線趨勢。在經過對雙頻膽固醇液晶樣本施加不同條件之電壓頻率後，發現在添加物為 HEB 且 d/p 值為 5 的膽固醇液晶樣本中，施加電壓為 5 V 以及頻率為 60 Hz 的條件下的白光光譜最能符合紫外波段必須是低光穿透率的要求。

圖 4.20 為添加物為 HEB 且 d/p 值為 5 的膽固醇液晶樣本，在施加電壓為 5 V 且頻率為 60 Hz 之白光光譜圖。圖中波長約 470 nm 以降，光穿透率明顯有降低趨勢，而在波長約在 400 nm 時光穿透率只剩下約 30 % 左右。圖中波長約 470 nm 以上，相較於波長在 470 nm 以降，其光穿透率明顯為高，且平均光穿透率達約 70 %。基於以上所述之觀點，吾人認為添加物為 HEB 且 d/p 值為 5 之雙頻膽固醇液晶樣本可作為有效隔絕紫外波段之元件。

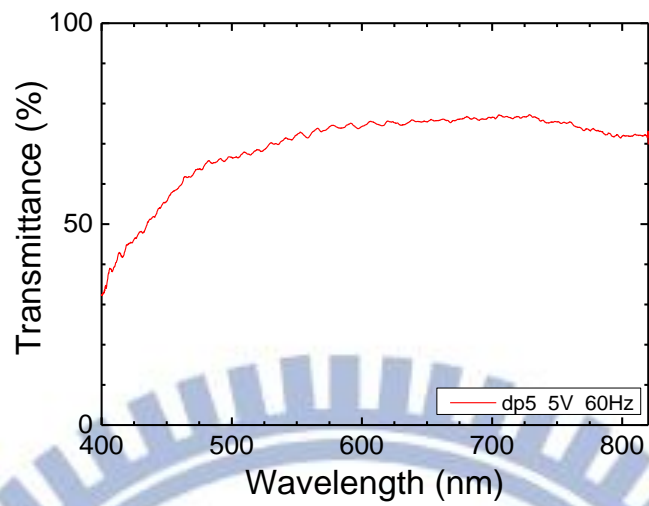


圖 4.20 添加物為 HEB 且 d/p 值為 5 之雙頻膽固醇液晶樣本，在施加電壓為 5 V 且頻率為 60 Hz 之白光穿透光譜圖。

第五章 結論與未來展望

吾人已於前章針對橫向螺旋膽固醇液晶結構態紋理做了光電特性的探討。但礙於第四章份量大，不易歸類出重點，故為讀者將實驗結果與討論，於此章做分節重點結論。重點結論如下：

(1)由本論文 4.1.1 節知， d/p 值以及摻雜旋性對掌性材料的種類，為影響 ULH 態紋理之整齊度之兩大重要的因素。巨觀來說，當 d/p 值小時，ULH 態紋理之整齊度大。而 d/p 值大時，ULH 態紋理之整齊度小。另外，對於摻雜不同旋性對掌性材料之膽固醇液晶樣本來說，摻雜 HEB 之樣本，其 ULH 態紋理於 d/p 值為 1 以及 5 時整齊度以及明顯度較摻雜 R-5011 之樣本佳。而摻雜 R-5011 之樣本，其 ULH 態紋理則是以 d/p 值為 10 以及 20 時整齊度較摻雜 HEB 之樣本佳。最後，因 d/p 值為 1 之雙頻膽固醇液晶樣本，其 ULH 態紋理整齊度最高。故吾人可以由 d/p 為 1 之樣本於 ULH 態之白光穿透光譜之光譜曲線，得知於 ULH 態紋理時，其光譜曲線之大略趨勢與特性。更可以將此節論推廣至其他樣本，以比較不同 d/p 值樣本其 ULH 態之光譜曲線與 d/p 值為 1 之樣本的差異。

(2)由本論文 4.1.2 節知，除了 d/p 為 1 之雙頻膽固醇液晶樣本之外，其他樣本在低頻率之電壓的情況下會產生擾動現象。在進一步探討後，知其擾動現象應可視為動態散射效應之現象。另外，由實驗得知，在電壓不變

之情形下，在擾動頻率區間調變頻率可控制樣本之光穿透率，或許可達成灰階調控的一個實際應用。

(3)由本論文 4.1.3 節知，在固擾動頻率調變電壓實驗發現，在摻雜 HEB 且 d/p 值為 5 之雙頻膽固醇液晶樣本，其白光穿透光譜於紫外波段（約 400 nm 以下）之光穿透率低，故可將其特性應用於隔絕紫外線之實際用途上。而吾人更進一步將此現象與雙頻膽固醇液晶之三穩態切換機制做結合，設計出另一種新的三穩態切換機制。

(4)由本論文 4.2.1 節知，添加 R-5011 的雙頻膽固醇液晶在擾動頻率區間對光穿透率之關係較添加 HEB 之雙頻膽固醇液晶來得線性許多，其中又以添加 R-5011 之雙頻膽固醇液晶且 d/P 值為 5 的樣本最為線性，應可作為灰階調控之元件。由本論文 4.2.1 節知，自光穿透率高之灰階降至光穿透率低之灰階所需的反應時間平均來說較自光穿透率低之灰階至光穿透率高之灰階所需之反應時間長。且灰階差異越大，則所需反應時間大略上有著越長之趨勢。

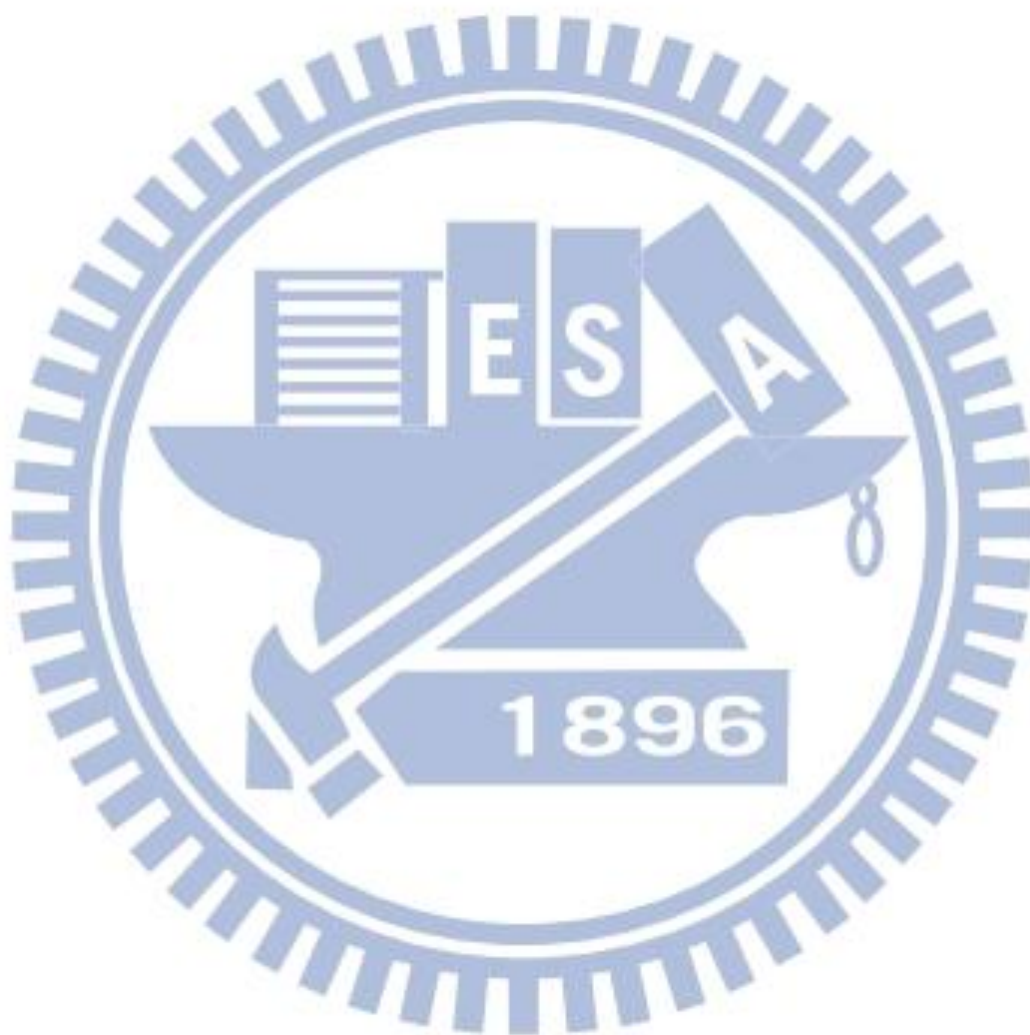
(5)由本論文 4.3.1 節知，吾人設計了雙頻膽固醇液晶之三穩態切換機制。此機制能單純藉由調變頻率而不改變電壓達到 ULH 態、動態焦錐態以及平面態間之切換。當施加 20 V 且頻率為 40 Hz 之電壓時，紋理狀態將會從 ULH 態切換至動態焦錐態；當施加 20 V 且頻率為 1 kHz 之電壓時，紋理狀態將會從動態焦錐態切換至 ULH 態。當施加 20 V 且頻率為 100 kHz 之電壓時，

紋理狀態將會從 ULH 態切換至平面態；當施加 20 V 且頻率為 40 Hz 之電壓時，紋理狀態將會從平面態切換至動態焦錐態；當施加 20 V 且頻率為 100 kHz 之電壓時，紋理狀態將會從動態焦錐態切換至平面態；當施加 20 V 且頻率為 1 kHz 之電壓時，紋理狀態將會從平面態切換至 ULH 態。

(6)由本論文 4.3.2 節知，在擾動頻率下調變電壓實驗中發現，添加物為 HEB 且 d/p 值為 5 之雙頻膽固醇液晶之白光穿透光譜中，紫外波段的光穿透率最低，故最適宜當作隔絕紫外線之元件。不僅如此，吾人將此樣本應用於三穩態機制中，使三穩態中 ULH 態之角色能夠找到實際上的用途。當施加 15 V 且頻率為 60 Hz 之電壓時，紋理狀態將會從 ULH 態切換至動態焦錐態；當施加 5 V 且頻率為 60 Hz 之電壓時，紋理狀態將會從動態焦錐態切換至 ULH 態。當施加 15 V 且頻率為 100 kHz 之電壓時，紋理狀態將會從 ULH 態切換至平面態；當施加 15 V 且頻率為 60 Hz 之電壓時，紋理狀態將會從平面態切換至動態焦錐態；當施加 15 V 且頻率為 100 kHz 之電壓時，紋理狀態將會從動態焦錐態切換至平面態；當施加 5 V 且頻率為 60 Hz 之電壓時，紋理狀態將會從平面態切換至 ULH 態。

就本實驗團隊所搜尋之文獻中得知，本論文為已知第一個提出三穩態之切換機制之文獻，其中 ULH 態的穩態維持時間在添加物為 R-5011 且 d/p 值為 10 之雙頻膽固醇液晶樣本的條件下達到約 150 秒左右。除了上述之三穩態機制，吾人更找出特定樣本，其樣本在 ULH 狀態時只有少部分紫外光

穿過，達到隔絕紫外線的效果。將此樣本應用於三穩態中，即可作為隔絕紫外線、透明以及之多功能元件，以期能應用於業界當中，為市場提供新的商機。



參考文獻

- [1] Y.-C. Hsiao, C.-Y. Tang, and W. Lee, “Fast-switching bistable cholesteric intensity modulator,” *Optics Express* **19**(10), 9744–9749 (2011).
- [2] S. H. Kim, L.-C. Chien, and L. Komitov, “Short pitch cholesteric electro-optical device stabilized by nonuniform polymer network,” *Applied Physics Letters* **86**(16), 161118–1-3 (2005).
- [3] S. N. Lee, L.-C. Chien, and S. Sprunt, “Polymer-stabilized diffraction gratings from cholesteric liquid crystals,” *Applied Physics Letters* **72**(8), 885–887 (1997).
- [4] G. Carbonea, D. Corbetta, S. J. Elstona, P. Raynesa, A. Jesachera, R. Simmondsa, and M. Bootha, “Uniform lying helix alignment on periodic surface relief structure generated via laser scanning lithography,” *Molecular Crystals and Liquid Crystals* **544**(1), 1025–1037 (2011).
- [5] H. Yoshida, Y. Shiozaki, Y. Inoue, M. Takahashi, Y. Ogawa, A. Fujii, and M. Ozaki, “Threshold improvement in uniformly lying helix cholesteric liquid crystal laser using auxiliary π -conjugated polymer active layer,” *Applied Physics Letters* **113**(20), 203105–1-5 (2013).
- [6] C.-T. Wang, W.-Y. Wang, and T.-H. Lin, “A stable and switchable uniform lying helix structure in cholesteric liquid crystals,” *Applied Physics Letters* **99**(4), 041108–1-3 (2011).
- [7] H. Xianyua, S.-T. Wu, and C.-L. Lin, “Dual frequency liquid crystals: a review,” *Liquid Crystals* **36**, 717–726, (2009)
- [8] P. R. Gerber, “Two-frequency addressing of a cholesteric texture change electro-optical effect,” *Applied Physics Letters* **44**(9), 932–934 (1984).
- [9] Y.-C. Hsiao, C.-Y. Tang, and W. Lee, “Fast-switching bistable cholesteric intensity modulator,” *Optics Express* **19**(10), 9744–9749 (2011).
- [10] 黃雅玲，《類紙式膽固醇液晶顯示器》，碩士論文，國立成功大學國立成功大學物理研究所，民94年1月。
- [11] I. Dierking, *Textures of Liquid Crystals* (John Wiley & Sons Inc., 2003).

- [12] M. Pfeiffer, D.-K. Yang, J. W. Doane, R. Bunz, E. Lüder, M. H. Yuan, C. Catchpole, and Z. Yaniv, “A high-information-content reflective cholesteric display,” *SID Symposium Digest of Technical Papers* **26**, 706–709 (1995).
- [13] D.-K. Yang, J. W. Doane, Z. Yaniv, and J. Glasser, “Cholesteric reflective display: Drive scheme and contrast,” *Applied Physics Letters* **64**(15), 1905–1907 (1994).
- [14] X.-Y. Huang, D.-K. Yang, P. J. Bos, and J. W. Doane, “Dynamic drive for bistable reflective cholesteric displays: A rapid addressing scheme,” *Journal of the Society for Information Display* **3**(4), 165–168 (1995).
- [15] X.-Y. Huang, D.-K. Yang, P. J. Bos, and J. W. Doane, “Dynamic drive for bistable reflective cholesteric displays: A rapid addressing scheme,” *SID Symposium Digest of Technical Papers* **26**, 347–350 (1995).
- [16] L. M. Blinov and V. G. Chigrinov, *Electrooptic Effects in Liquid Crystal Materials* (Springer, N. Y., 1993).
- [17] S.-T. Wu and D.-K. Yang, *Fundamentals of Liquid Crystal Devices* (John Wiley & Sons Ltd, England, 2006).
- [18] M. Xu and D.-K. Yang, “Dual frequency cholesteric light shutters,” *Applied Physics Letters* **70**(6) 720–722 (1996).
- [19] 林峰慶，《彩色反射式雙頻膽固醇液晶顯示器及其驅動方式》，碩士論文，中原大學物理研究所，民100年6月。
- [20] J. S. Patel and R. B. Meyer, “Flexoelectric electro-optics of a cholesteric liquid crystal,” *Physical Review Letters* **58**(15) 1538–1540 (1987).
- [21] P. Rudquist, L. Komitov, and S. T. Lagerwall, “Volume-stabilized ULH structure for the flexoelectro-optic effect and the phase-shift effect in cholesterics,” *Liquid Crystals* **24**(3) 329–334 (1998).
- [22] C.-T. Wang and T.-H. Lin, “Bistable reflective polarizer-free optical switch based on dye-doped cholesteric liquid crystal,” *Optical Materials Express* **1**(8) 1457–1462 (2011).
- [23] 于成龍、郝欣、沈清，《Origin 8.0應用實例詳解》，化學工業，民99年1月。

- [24] J.-H. Huh, "Electrohydrodynamic instability in cholesteric liquid crystals in the presence of a magnetic field," *Molecular Crystals and Liquid Crystals* **477**(1) 561–570 (2007).
- [25] S. V. Belyaev, "Electrohydrodynamic instability with isotropic mechanism in cholesteric liquid crystals," *Soviet Physics - JETP* **48**(2) 355–358 (1978).
- [26] W. Helfrich, "Electrohydrodynamic and dielectric instabilities of cholesteric liquid crystals," *Journal of Chemical Physics* **55**(2) 839–842 (1971).
- [27] J.-H. Huh, Y. Akasako, and S. Kai, "New characteristics of electrohydrodynamic instability in a nematic liquid crystal doped with a cholesteric one," *Journal of the Physical Society of Japan* **73**(11) 2975–2978 (2004).
- [28] A. Buka and L. Kramer, *Pattern Formation in Liquid Crystals*, eds., (Springer, N. Y., 1996).
- [29] F. Rondelez, H. Arnould, and C. J. Gerritsma, "Electrohydrodynamic effects in cholesteric liquid crystals under ac electric fields," *Physical Review Letters* **28** (2) 735–737 (1972).
- [30] J. Gandhi, D.-K. Yang, X.-Y. Huang, and N. Miller, "Gray scale drive schemes for bistable cholesteric reflective displays," *Proceedings of Asia Display* **98** 127–130 (1998).
- [31] X.-D. Mi and S. Stephenson, "Gray scale and color cholesteric liquid crystal displays," United States Patent, November 9 2004.
- [32] 李學文，《穩定型橫向螺旋膽固醇液晶光柵之研究》，碩士論文，國立中山大學光電工程學系研究所，民101年7月。
- [33] X.-Y. Huang, D.-K. Yang, and J. W. Doane, "Transient dielectric study of bistable reflective cholesteric display and design of rapid drive scheme," *Applied Physics Letters* **67**(9), 1211–1213 (1995).
- [34] X.-Y. Huang, N. Miller, A. Khan, D. Davis, J. W. Deane, and D.-K. Yang, "Gray scale of bistable reflective cholesteric displays," *SID Symposium Digest of Technical Papers* **29**, 810–813 (1998).
- [35] P. R. Gerber, "Two-frequency addressing of a cholesteric texture change electro-optical effect," *Applied Physics Letters* **44**(9), 932–934 (1984).

- [36] M. Xu and D.-K. Yang, "Electrooptical properties of dual-frequency cholesteric liquid crystal reflective display and drive scheme," *Japanese Journal of Applied Physics* **38**(Part 1, No. 12A), 6827–6830 (1999).
- [37] Y.-M. Zhu and D.-K. Yang, "Cumulative drive schemes for bistable reflective cholesteric LCDs," *SID Symposium Digest of Technical Papers* **29**, 798–801 (1998).
- [38] P. G. de Gennes and J. Prost, *The Physics of Liquid Crystals*. New York: Oxford Univ. Press (1993).
- [39] D.-K. Yang and S.-T. Wu, *Fundamentals of Liquid Crystal Devices*. England: John Wiley & Sons Ltd (2006).
- [40] W. H. de Jeu and T. W. Lathouwers, "Nematic phenyl benzoates in electric fields: i. static and dynamic properties of the dielectric permittivity," *Molecular Crystals and Liquid Crystals* **26**, 225–234 (1973).
- [41] M. Schadt, "Low-frequency dielectric relaxations in nematics and dual-frequency addressing of field effects," *Molecular Crystals and Liquid Crystals* **89**, 77–92 (1982).