

國立交通大學

電子物理系碩士班

碩士論文

高分子安定藍相液晶性質之研究

Study on Polymer-Stabilized Blue Phase Liquid Crystal



研究生：李家圻

指導教授：趙如蘋 教授

中華民國九十九年七月

高分子安定藍相液晶性質之研究

Study on Polymer-Stabilized Blue Phase Liquid Crystal

研究生：李家圻

Student: Chia-Chi Lee

指導教授：趙如頻 博士

Advisor: Dr. Ru-Pin Pan

國立交通大學

電子物理系碩士班



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 2010

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十九年七月


高分子安定藍相液晶性質之研究

學生：李家圻

指導教授：趙如蘋 博士

國立交通大學電子物理系碩士班

摘要



液晶的藍相介於各向同性及膽固醇相之間，溫度範圍約 $1-2^{\circ}\text{C}$ ，因此應用上較為困難。藉由加入高分子單體並進行光聚合作用後，可以藉由高分子聚合物穩定液晶的藍相結構，大幅的增加藍相的溫度範圍，稱為高分子安定藍相液晶。

本實驗中成功的配置並觀察到藍相液晶，並利用加入高分子單體，及使用氙燈或 410nm 波段之 LED 燈進行光聚合作用後，成功的增加了所配置的藍相液晶的溫度範圍。反應時間的測量上也成功的看到次毫秒的反應時間，並且發現以 LED 進行光聚合的樣品總反應時間會小於使用氙燈進行光聚合的樣品。在偏光顯微鏡下進行外加電壓實驗時，發現樣品在外加大電壓時有發生結構受到改變的狀況。

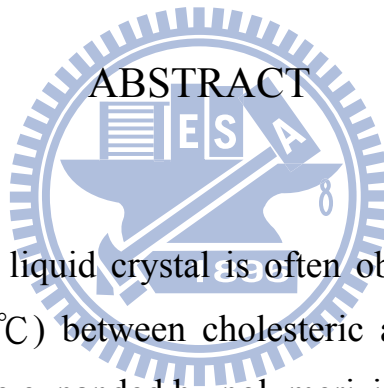
Study on Polymer-Stabilized Blue Phase Liquid Crystal

Student: Chia-Chi Lee

Advisor: Dr. Ru-Pin Pan

Department of Electrophysics

National Chiao Tung University



The Blue phase of liquid crystal is often observed in a very narrow temperature range ($1\sim 2^{\circ}\text{C}$) between cholesteric and isotropic phase. The temperature range can be expanded by polymerizing a mixture of monomer that could localized the at the disclination lines. This liquid crystal is called “polymer stabilized blue phase liquid crystal”.

In this work, the blue phase of liquid crystal has been mixed and observed. After the monomer is polymerized by Xenon arc lamp and 410nm LED, the temperature range of blue phase is successfully expanded. The response time of cell with blue phase liquid crystal is around sub-millisecond. The response time of polymer-stabilized blue phase liquid crystal which is polymerized by 410nm LED is shorter than by Xenon arc lamp. However, the structure of the blue phase observed by the cross polarizing microscope is changed when the strong voltage is applied.

致謝

兩年的碩士生活一轉眼就過去了，感謝趙如蘋老師對我在實驗方面的諸多指導，對於實驗實事求是以及謹慎樂觀的態度，讓我受益良多。

謝謝家任學長在實驗方法上給我的指導，並且對我多方照顧。謝謝宗達學長給我實驗上的各種建議以及分析實驗的各種方法。謝謝孟秋學姊及天昱學長及助理惟嫻，和我分享了許多經驗。

謝謝韋達、正彬、呈暉學長，你們總是讓實驗室充滿了活力以及歡樂的氣息，並且對我多方的照顧及幫忙；和韋達聊電腦相關問題和相聲非常愉快；正彬人很好(遞出)，很幽默！謝謝小白熊常常帶給我好笑的肥皂劇。

謝謝中平、志昌、啟元，討論每天中餐要吃什麼真是辛苦了！和你們在討論實驗及程式軟體的使用方面都讓我受益良多！

謝謝實驗室的學弟們，謝謝阿假(融臻)幫忙我做了許多的實驗，並在討論實驗方面讓我學到許多；耀德則是讓我見識到周邊視野的強大，且凡事要自己來；國豪總是閃到讓大家眼睛都張不開來。

謝謝父母、親戚、爺爺，總是關心我並且給我許多人生上的建議及經驗，讓我在家及嘉義時總是很輕鬆、愉快。

目錄

摘要	I
ABSTRACT	II
致謝	III
目錄	IV
圖目錄	V
表目錄	VII
第一章 緒論	1
1-1 前言	1
1-2 藍相液晶(Blue Phase Liquid Crystal)簡介	2
1-2-1 何謂藍相 ^{8,9}	2
1-2-2 單螺旋及雙螺旋圓柱(Simple twist & Double twist Cylinder)	3
1-2-3 藍相液晶結構	4
第二章 實驗原理及量測系統	5
2-1 高分子安定藍相液晶及克爾效應(Kerr effect)	5
2-1-1 高分子安定藍相液晶的原理	5
2-1-2 高分子安定藍相液晶之克爾效應(Kerr effect) ^{6,10}	5
2-2 穿透光強度量測	6
2-2-1 量測原理	6
2-2-2 量測系統	9
2-3 反應時間量測系統及方法	9
2-4 偏光顯微鏡觀察及溫控系統	10
2-4-1 偏光顯微鏡觀察	10
2-4-2 偏光顯微鏡外加電壓測量穿透光強度之方法	11
2-4-3 溫控系統	11
第三章 實驗方法及量測系統	13
3-1 樣品製作及介紹	13
3-1-1 IPS(in-plane switching)樣品空盒介紹	13
3-1-2 IPS 樣品外加電場之克爾效應介紹	13
3-1-3 AP(anti-parallel)樣品空盒製作	14
3-1-4 混合液晶配製	16
3-1-5 製作液晶樣品	17
3-2 藍相液晶樣品製作結果	18
3-2-1 尋找藍相液晶	18
3-2-2 發現藍相(Blue Phase)液晶	20
3-3 照光系統及方法	21
3-3-1 氬燈照光系統	21

3-3-2 LED 燈照光系統	21
3-4 高分子安定藍相液晶樣品製作結果	22
3-4-1 加入單一高分子單體(RM-257)之樣品製作結果	22
3-4-2 加入高分子單體(RM-257+EHA)之樣品製作結果	23
3-4-3 高分子安定藍相液晶樣品之穿透光譜	24
第四章 實驗結果與分析	26
4-1 RM-257 作為 monomer 樣品之光電特性量測	26
4-1-1 氙燈照光樣品之光電特性量測結果	26
4-1-2 LED 照光樣品之光電特性量測結果	30
4-2 以 RM-257+EHA 作為 monomer 之樣品光電特性量測	31
4-2-1 氙燈照光樣品之光電特性量測結果	31
4-2-2 LED 燈照光樣品之光電特性量測結果	31
4-3 PSBP 樣品反應時間之綜合討論	32
第五章 結論與未來展望	35
參考資料	37

圖目錄

圖 1-2-1 液晶之單螺旋排列(simple twist)示意圖	39
圖 1-2-2 向列型液晶排列(Nematic)之示意圖	39
圖 1-2-3 液晶之雙螺旋排列(Double twist)示意圖	39
圖 1-2-4 雙螺旋圓柱示意圖	40
圖 1-2-5 BPI&BPII 之結構(圓柱為雙螺旋圓柱,Double twist cylinder)與 向錯線(disclination line, 細橢圓柱部分)	40
圖 2-1-1 Blue Phase 在外加大電場後產生之誘發雙折射示意圖	41
圖 2-2-1 座標系定義參考圖	41
圖 2-2-2 外加電壓測量穿透光強度之裝置示意圖	41
圖 2-3-1 反應時間量測系統示意圖	42
圖 2-3-2 反應時間量測結果示意圖	42
圖 2-4-1 偏光顯微鏡量測裝置示意圖, 樣品沿 z 軸方向旋轉	43
圖 2-4-2 Filter1 之穿透率光譜	43
圖 2-4-3 Filter2 之穿透率光譜	44
圖 2-4-4 PI 膜(聚醯亞胺薄膜, Polyimide Film)之穿透率光譜	44
圖 2-4-5 溫控系統示意圖	45
圖 3-1-1 IPS 樣品示意圖(無表面配向)	45
圖 3-1-2 IPS 樣品內部之 PSBP-LC 外加電場後之光學橢球示意圖	46
圖 3-1-3 IPS23 樣品外加電壓之偏光顯微鏡圖	46
圖 3-2-1 R-811 重量百分濃度與 Pitch 之關係	47

圖 3-2-2	7CB 外加 R-811 之灌入 AP 樣品之降溫過程相變圖	49
圖 3-2-3	7CB 外加 R-811 之灌入 AP 樣品之降溫過程相變圖 (局部放大)	50
圖 3-2-4	7CB 外加 R-811 之灌入 AP 樣品之降溫過程相變圖 (局部放大)	51
圖 3-2-5	IPS2 樣品降溫偏光顯微鏡圖	52
圖 3-2-6	IPS3 樣品降溫偏光顯微鏡圖	53
圖 3-2-7	IPS4 樣品降溫偏光顯微鏡圖	53
圖 3-2-8	IPS6 樣品降溫偏光顯微鏡圖	54
圖 3-2-9	IPS7 樣品降溫偏光顯微鏡圖	54
圖 3-3-1	氙燈光譜圖	55
圖 3-3-2	氙燈照光系統示意圖	55
圖 3-3-4	樣品照光之溫度變化之測量方法	56
圖 3-3-5	感測器 UVX-36 之光譜靈敏度	57
圖 3-3-6	LED 照光系統示意圖	57
圖 3-3-7	410nm LED 之光譜圖	58
圖 3-4-1	IPS14 樣品降溫偏光顯微鏡圖	59
圖 3-4-2	IPS15 樣品降溫偏光顯微鏡圖	59
圖 3-4-3	IPS26 樣品降溫偏光顯微鏡圖	60
圖 3-4-4	IPS25 樣品降溫偏光顯微鏡圖	60
圖 3-4-5	IPS19 樣品降溫偏光顯微鏡圖	61
圖 3-4-6	IPS23 樣品降溫偏光顯微鏡圖	61
圖 3-4-7	液晶編號為 com11 之穿透光譜(無加入 EHA)	62
圖 3-4-8	液晶編號為 com13 之穿透光譜(加入 EHA)	63
圖 4-1-1	IPS15 樣品溫度在 23~24°C 之 V-I 圖及偏光顯微鏡圖	64
圖 4-1-2	IPS15 樣品溫度在 26~27°C 之 V-I 圖及偏光顯微鏡圖	65
圖 4-1-3	IPS15 樣品外加大電壓之偏光顯微鏡說明圖	66
圖 4-1-4	IPS15 樣品之	67
(a)	控溫在 23.5°C 下, 1kHz 及 20kHz 之 V-I 圖	67
(b)	(a)圖外加電壓時之樣品溫度變化曲線圖	67
(c)	控溫在 26.4°C 下, 1kHz 及 20kHz 之 V-I 圖	67
(d)	(c)圖外加電壓時之樣品溫度變化曲線圖	67
(e)	控溫在 28°C 下, 1kHz 及 20kHz 之 V-I 圖	67
(f)	(e)圖外加電壓時之樣品溫度變化曲線圖	67
圖 4-1-5	控溫在 23.5°C, 外加電壓頻率為 1kHz 方波時之 V-I 圖及偏光顯微鏡圖	68
圖 4-1-6	控溫在 23.5°C, 外加電壓頻率為 20kHz 方波時之 V-I 圖及偏光顯微鏡圖	69
圖 4-1-7	控溫在 26.4°C, 外加電壓頻率為 1kHz 方波時之 V-I 圖及偏光顯微鏡圖	70

圖 4-1-8 控溫在 26.4°C，外加電壓頻率為 20kHz 方波時之 V-I 圖及偏光顯微鏡圖	71
圖 4-1-9 控溫在 28°C，外加電壓頻率為 1kHz 方波時之 V-I 圖及偏光顯微鏡圖	72
圖 4-1-10 控溫在 28°C，外加電壓頻率為 20kHz 方波時之 V-I 圖及偏光顯微鏡圖	73
圖 4-1-11 IPS15 樣品外加電壓為 20kHz 之 V-T 圖	74
圖 4-1-12 IPS15 樣品之反應時間測量	74
圖 4-1-13 IPS26 樣品外加電壓為 20kHz 之 V-T 圖	75
圖 4-1-14 IPS26 樣品之反應時間測量	75
圖 4-2-1 IPS19 樣品外加電壓為 20kHz 之 V-T 圖	76
圖 4-2-2 IPS19 樣品之反應時間測量	76
圖 4-2-3 IPS23 樣品外加電壓為 20kHz 之 V-T 圖	77
圖 4-3-1 IPS15、IPS26(RM-257)，IPS19、IPS23(RM-257+EHA)樣品之 Rise time	78
圖 4-3-2 IPS15、IPS26(RM-257)，IPS19、IPS23(RM-257+EHA)樣品之 Fall time	78
圖 4-3-3 IPS15、IPS26(RM-257)，IPS19、IPS23(RM-257+EHA)樣品之總反應時間	79



表 3-1-1 樣品名稱與購買公司	16
表 3-2-2 Blue Phase 樣品之混合液晶比例(wt%)	20
表 3-2-3 IPS6、IPS7 樣品之降溫速率表	20
表 3-4-1 PSBP 樣品之混合液晶比例(wt%)	22
表 3-4-2 PSBP 樣品照光條件	22
表 3-4-3 PSBP 樣品之混合液晶比例(wt%)	23
表 3-4-4 PSBP 樣品照光條件	23
表 4-1-1 IPS15 樣品之反應時間測量	29
表 4-1-2 IPS26 樣品之反應時間測量	30
表 4-2-1 IPS19 樣品之反應時間測量	31
表 4-2-2 IPS26 樣品之反應時間測量	32
表 4-3-1 IPS15、IPS26、IPS19、IPS23 樣品之 Rise time	33
表 4-3-2 IPS15、IPS26、IPS19、IPS23 樣品之 Fall time	33
表 4-3-3 IPS15、IPS26、IPS19、IPS23 樣品之總反應時間	33
表 3-2-1 樣品編號，所使用混合液晶比例及照光條件整理	48

第一章 緒論

1-1 前言

近年來液晶顯示器(liquid crystal display, LCD)蓬勃發展，已經漸漸的取代的傳統的陰極射線管(cathode ray tube, CRT)顯示器，成為市場上的主流。目前 TFT-LCD(thin film transistor-base liquid crystal display, 薄膜電晶體液晶顯示器)已經廣泛的用在大型電視、桌上型顯示器、筆記型電腦以及手機上。一般液晶顯示器發展的方向有對比度(contrast ratio)的改善；可視角(viewing angle)的改良，即廣視角技術(wide-view technologies)，如 in-plane switching (IPS)¹、fringe-field switching (FFS)^{2,3} 等等。最後為反應時間的縮短，目前的液晶顯示器反應時間(Response time)約為毫秒(millisecond)等級，假如反應時間過大則會產生影像殘留的問題。

高分子安定藍相液晶(polymer-stabilized blue phase liquid crystal, PSBP-LC)在 2002 年由九州大學的菊池教授提出⁴，不同於傳統的藍相(Blue Phase)液晶的極窄溫度範圍(約 1K)，利用高分子聚合物穩定藍相液晶，使得藍相液晶的範圍大於 60K，因此讓藍相液晶成為了大家注目的焦點。PSBP-LC 的特點為不需要表面配向(surface alignment)、反應時間為次毫秒(sub-millisecond)等級⁵、無外加電壓時為光學上各向同性(optically isotropic)，具備了廣視角。

高分子安定藍相液晶雖然有著如此多的優點，不過到目前為止卻面臨到一個主要的問題：驅動電壓過大。因此如何降低趨動電壓為目前的主要研究方向^{6,7}。

本論文第一章後半先簡單的介紹 Blue Phase，第二章介紹高分子安定藍相液晶的製作原理，受外加電場後之克爾效應(Kerr effect)，以及實驗系統架設及實驗方法。第三章介紹樣品製作方法，以及藍相液晶及高分子安定藍相液晶之製作結果。第四章為高分子安定藍相液晶之 V-I 曲線圖以及反應時間測量結果。第五章為結論以及未來發展。

1-2 藍相液晶(Blue Phase Liquid Crystal)簡介

1-2-1 何謂藍相^{8,9}

液晶(Liquid Crystal)中的藍相(Blue Phase)存在於自旋螺距(Pitch)小於 $1\mu\text{m}$ 的膽固醇相(Cholesteric Phase)或手性向列相(Chiral Nematic Phase)與各向同性相(Isotropic Phase)之間，且一般來說藍相液晶具有以下特性：

1. 溫度範圍較窄(約 1K)。
2. 光學上各向同性(Optical isotropic)。
3. 隨著溫度增加分別具有 BPI(Blue Phase I)、BPII(Blue Phase II)、BPIII(Blue Phase III)三種相。
4. BPI 為體心立方(Body-center cubic)對稱結構，BPII 為簡單立方(Simple cubic)對稱結構，BPIII 為各向同性(Isotropic)對稱結構。

5. BPI 及 BPII 之單位晶格約為 200-300nm，並在紫外光及可見光波段有布拉格繞射。

1-2-2 單螺旋及雙螺旋圓柱(Simple twist & Double twist Cylinder)

前面提到了藍相介於手性向列相及各方同性相之間，接下來介紹手性向列相的結構。如圖 1-2-1，手性向列相之液晶分子呈現單螺旋結構，這是在自然界中常見的分子排列方式。一般來說具有螺旋結構的液晶態可能是由手性分子(Chiral molecular)或是在向列型液晶(圖 1-2-2)中加入手性添加物(Chiral dopant)，使得棒狀的液晶分子傾向延著單一長軸扭轉排列，而非向列型液晶的平行排列。這種情形下，由單一長軸所構成的分子扭轉結構稱為單螺旋，棒狀的液晶分子排列方向與螺旋軸垂直。

當膽固醇液晶之螺距小於 $1\mu\text{m}$ 時，其螺旋特性在非常強的情形下，液晶分子不只是沿著單一長軸旋轉，而是在兩個垂直方向的軸都發生旋轉，此時之結構稱為雙螺旋，如圖 1-2-3。

完整的雙螺旋結構只在結構的中心及其周圍存在，當分子遠離中心時雙螺旋的效應會減弱。此結構在空間中能夠穩定存在的區域即為雙螺旋圓柱(Double Twist Cylinder)，如圖 1-2-4。雙螺旋結構無

法在整個空間中無限延伸，如同前面所提，雙螺旋在遠離中心結構時效應會減弱，因此雙螺旋圓柱有其邊界存在，分子超過其邊界時則並非穩定排列。而這種雙螺旋圓柱即為藍相液晶構成的基本要件。

1-2-3 藍相液晶結構

如 1-2-1 小節所提到藍相分為 BPI、BPII、及 BPIII。BPI 及 BPII 的結構如圖 1-2-5 所示，BPI 及 BPII 單位晶格的結構分別為體心立方對稱及簡單立方對稱結構，由雙螺旋圓柱互相推疊而成，在空間中的缺陷(disclination)是由液晶分子排列不完全而產生。藍相液晶的光學上各向同性的性質就是因為這種立方對稱的結構在空間中週期性排列而產生的。



第二章 實驗原理及量測系統

2-1 高分子安定藍相液晶及克爾效應(Kerr effect)

2-1-1 高分子安定藍相液晶的原理

高分子安定藍相液晶(Polymer-Stabilized Blue Phase Liquid

Crystal，簡稱為 PSBP-LC)是一種增加藍相液晶溫度範圍的方式，於 2002 年由九州大學的菊池(Kikuchi)教授提出，並且成功的用這種方式將藍相的溫度範圍由傳統的 1K 增加到 60K。

Kikuchi 教授等人將微量的高分子單體加入液晶中，在液晶態為藍相時照光讓高分子單體進行光聚合作用鍵結成為高分子聚合物，他們認為照光後的高分子聚合物會延著藍相液晶內的缺陷(disclination)進行鍵結，而達成固定藍相液晶結構之效果⁴。不過目前尚未有實驗能證明這一點，且在 SEM 下也無法明顯看出高分子聚合物只在缺陷處進行鍵結¹¹。

2-1-2 高分子安定藍相液晶之克爾效應(Kerr effect)^{6,10}

沒有外加電場時，高分子安定藍相液晶的體心對稱結構造成光學上各向同性，但是當外加一個很強的電場時，會出現誘發雙折射(induced birefringence)的特性而造成各向異性(anisotropic)。這種誘發雙折性的物理機制被認為是外加電場造成雙螺旋圓柱內的液晶分子

重新改變排列方向的結果，但是詳細的物理機制目前尚為完全了解。

藍相液晶這種由各向同性轉變成為各向異性的特性可用克爾效應(Kerr effect)來描述。當電場為零時，藍相液晶呈現光學上各向同性；當施加一個很強的外加電場時，將會誘發雙折射的特性且折射橢球(refractive ellipsoid)的光軸與電場向量 \mathbf{E} 的方向一致，如圖

2-1-1。這種誘發雙折射($\Delta n_{\text{induced}}$)可以由以下公式來表示

$$\Delta n_{\text{induced}} = \lambda K E^2 = (\Delta n_{\text{induced}})_0 \left(\frac{E}{E_s} \right)^2 \quad (2-1-1)$$

其中 λ 為波長， K 為克爾常數(Kerr constant)， $(\Delta n_{\text{induced}})_0$ 為最大之誘發雙折射，當外加電場時， $\Delta n_{\text{induced}}$ 之值會飽和到 $(\Delta n_{\text{induced}})_0$ 。

為了避免高分子網狀聚合物(polymer network)被破壞，高分子安定藍相液晶之外加電壓 E 須小於 $(E < E_s)$ 。

2-2 穿透光強度量測

2-2-1 量測原理

下面會用到瓊斯矩陣(Jones matrix)表示光電場穿過液晶樣品時的相位延遲。

先定義起偏器(Polarizer)的偏振方向為圖 2-2-1 中 x - y 座標系的 x 軸方向，液晶分子之光軸與起偏器夾了 θ 角，所以我們在液晶光軸的方向定義新的座標系 x' - y' 。

穿過起偏器的光電場偏振方向以瓊斯向量(Jones vector)表示為

$$E_p = \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = E_0 \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}_{xy} \quad (2-2-1)$$

接著將電場之偏振方向由 x-y 座標轉換到 x'-y' 座標，並加入轉移矩陣 R：

$$R = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \quad (2-2-2)$$

$$E_p' = RE_p = E_0 \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2-2-3)$$

$$\Rightarrow E_p' = E_0 \begin{pmatrix} \cos\theta \\ -\sin\theta \end{pmatrix}_{x'y'} \quad (2-2-4)$$

電場分量通過液晶分子後的相位延遲為：($n_{//} = n_e$ 、 $n_{\perp} = n_o$)

$$\Rightarrow E_{LC}' = E_0 \begin{pmatrix} e^{in_{//}kd} & 0 \\ 0 & e^{in_{\perp}kd} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\theta \\ -\sin\theta \end{pmatrix} \quad (2-2-5)$$

$$= E_0 \begin{pmatrix} e^{in_{//}kd} \cos\theta \\ -e^{in_{\perp}kd} \sin\theta \end{pmatrix} \quad (2-2-6)$$

再將 E_{LC}' 由 x'-y' 座標系轉換回 x-y 座標系

$$E_{LC} = R^{-1} E_{LC}' = E_0 \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{in_{//}kd} \cos\theta \\ -e^{in_{\perp}kd} \sin\theta \end{pmatrix} \quad (2-2-7)$$

$$= E_0 \begin{pmatrix} e^{in_{//}kd} \cos^2\theta + e^{in_{\perp}kd} \sin^2\theta \\ e^{in_{//}kd} \sin\theta \cos\theta - e^{in_{\perp}kd} \sin\theta \cos\theta \end{pmatrix}_{xy} \quad (2-2-8)$$

接著通過檢偏器(analyzer，偏振方向與起偏器垂直)後的電場分量為

$$E_A = E_0 \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{in_{//}kd} \cos^2\theta + e^{in_{\perp}kd} \sin^2\theta \\ e^{in_{//}kd} \sin\theta \cos\theta - e^{in_{\perp}kd} \sin\theta \cos\theta \end{pmatrix} \quad (2-2-9)$$

$$= E_0 \begin{pmatrix} 0 \\ e^{in_{//}kd} \sin \theta \cos \theta - e^{in_{\perp}kd} \sin \theta \cos \theta \end{pmatrix}_{xy} \quad (2-2-10)$$

最後只剩 Y 方向偏振的電場到達光檢器(Photo Detector)：

$$\bar{E}_A = E_0 (e^{in_{//}kd} \sin \theta \cos \theta - e^{in_{\perp}kd} \sin \theta \cos \theta) \hat{y} \quad (2-2-11)$$

$$= E_0 e^{inkd} \sin \theta \cos \theta \left(e^{i\frac{\Delta n}{2}kd} - e^{-i\frac{\Delta n}{2}kd} \right) \hat{y} \quad (2-2-11)$$

$$= E_0 e^{inkd} \sin \theta \cos \theta \left(2i \sin \frac{\Delta n kd}{2} \right) \hat{y} \quad (2-2-12)$$

$$= E_0 e^{inkd} \times \sin 2\theta \times \left(i \sin \frac{\Delta n kd}{2} \right) \hat{y} \quad (2-2-13)$$

$$\bar{n} = \frac{n_{//} + n_{\perp}}{2} \quad \Delta n = n_{//} - n_{\perp}$$

因此光檢器所接收到的光強度為

$$I = |\bar{E}_A|^2 = I_0 \sin^2(2\theta) \sin^2\left(\frac{\Gamma}{2}\right) \quad (2-2-14)$$

$$\Gamma (\text{相位延遲}) = \Delta n kd = \Delta n \frac{2\pi}{\lambda} d$$

由於我們實驗中所使用的 PSBP 樣品，外加電壓後因為克爾效應所產生的 Δn 為電場誘發雙折射(electric-field induced birefringence)，表示

為 $\Delta n_{\text{induced}} = \lambda K E^2$ ，故光強度改為

$$I = I_0 \sin^2(2\theta) \sin^2\left(\frac{\pi d \Delta n_{\text{induced}}}{\lambda}\right) \quad (2-2-15)$$

若將液晶光軸方向與起偏器之夾角為 45° ， $\sin(2\theta)=1$ ，則可將(2-2-15)

改為

$$I = I_0 \sin^2 \left(\frac{\pi d \Delta n_{\text{induced}}}{\lambda} \right) \quad (2-2-16)$$

2-2-2 量測系統

量測穿透光強度的系統架設如圖 2-2-2，兩片偏振片分別與水平夾 $+45^\circ$ 以及 -45° ，將樣品外加電場的方向與水平面垂直，則 PSBP 樣品夾在垂直偏振片之間且 $\Delta n_{\text{induced}}$ 與偏振片夾 45° 角，則穿透光強度即符合公式(2-2-16)。


2-3 反應時間量測系統及方法

我們量測反映時間的系統如圖 2-3-1，基本架設如同加電壓測量穿透光強度之系統，但在這個實驗中將光偵測器的訊號傳到示波器 (Oscilloscope)，並同時將訊號產生器 (Function Generator) 的訊號也傳送到示波器，之後將訊號由 GPIB 擷取至電腦。實驗中所使用的波形為方波 (Square)

將數據分析後所得到的結果如圖 2-3-2，將樣品外加電壓後穿透光強度由 10% 上升至 90% 的時間定義為 Rise time，關閉外加電壓後樣品穿透光強度由 90% 下降至 10% 的時間定義為 Fall time。總反應時間 (Total response time) 定義為 Rise time + Fall time。

2-4 偏光顯微鏡觀察及溫控系統

2-4-1 偏光顯微鏡觀察

1. 裝置示意圖如圖 2-4-1。將製作完成的樣品放置於偏光顯微鏡下，令偏光顯微鏡上下兩片偏振片互相垂直(Cross polarizer)，下方裝濾光片(Filter)，此處使用 Filter1，此濾波片之穿透率光譜如圖 2-4-2；在量側偏光顯微鏡外加電壓穿透光強度時所使用的濾光片為 Filter2，其穿透光譜如圖 2-4-3，。若是拍攝未照光樣品之偏光顯微鏡照片時，會在 Filter1 上額外加一層隔絕 UV 光之 PI 膜(聚醯亞胺薄膜，Polyimide Film)，以避免樣品因顯微鏡光源進行光聚合反應，PI 膜之穿透率光譜如圖 2-4-4。
2. 樣品沿著 z 軸方向旋轉， θ 為 IPS 樣品之外加電場方向與下方偏振片偏振方向之夾角。
3. 利用 CCD 及影像擷取卡記錄下影像。
4. 偏光顯微鏡中可更動的參數中最主要的為 CCD 之曝光時間，由於 Blue Phase 為光學上各向同性(optically isotropic)，在上下偏振片互相垂直的形況下，較 Chiral nematic & Nematic & Sematic 態難以觀察(曝光時間 1 秒)，因此觀測 Blue Phase 時需要加長曝光時間(曝光時間 6 秒)。
5. 本實驗中皆固定使用 Nisson 放大率為 40X 之物鏡，N.A. 值為 0.4。

2-4-2 偏光顯微鏡外加電壓測量透光強度之方法

1. 實驗裝置基本上同圖 2-4-1，但是將下方的 Filter 改為使用 Filter2，Filter2 之透率光譜如圖 2-4-3。令 $\theta=45^\circ$ ，此時外加電壓後樣品的透光強度即符合(2-2-16)式。
2. 將樣品外加電壓後的照片以 CCD 紀錄下來。
3. 將照片轉為灰階。
4. 計算照片之平均亮度後紀錄，即可得到 I。
5. 畫出 V-I 曲線圖。

本實驗可以在外加電壓測量透光強度的同時紀錄溫度，並可以得到樣品在偏光顯微鏡之照片。



2-4-3 溫控系統

我們在拍攝偏光顯微鏡照片時所使用的溫控系統如圖 2-4-5，由 MK1(Instec, Temperature control, MK1 Version 2.52)控制加熱平台(Hot Plate)內之目標溫度；MK1 會自動測量溫度，假如目前的溫度小於目標溫度，則將加熱平台加熱，但是 MK1 只有升溫的功能，因此我們外加了 TEC 冷卻水循環系統，讓溫控系統增加降溫的功能。

TEC 冷卻水循環系統由幫浦(Pump)和 3 組的 TE cooler(TEC)組成，並由電源供應器(Power Supply)提供電力讓系統運作。

水循環系統內灌入去離子水(Deionized Water, DI water)，並由幫浦讓系統內之去離子水得以循環。TEC 外加電壓之後會形成冷端以及熱端，將冷端那一面與水冷頭(Water Blocks)相接，如此一來循環水通過水冷頭時即可降溫；而熱端那一面貼上外加散熱片(Heatsink)並且外加風扇(Fan)將 TEC 熱端產生的熱帶走，以免熱端的熱傳到冷端而減低降溫效果。

我們在實驗中記錄溫度時，由熱敏電阻貼在樣品上來記錄樣品表面之電阻，並由電腦換算成溫度。這是由於 MK1 所記錄的溫度為並非樣品上之實際溫度，因此使用熱敏電阻來記錄樣品表面的正確溫度。



第三章 實驗方法及量測系統

3-1 樣品製作及介紹

3-1-1 IPS(in-plane switching)樣品空盒介紹

IPS 樣品空盒為 Instec 公司的 IPS 樣品，如圖 3-1-1。基板為玻璃，沒有做表面處理；ITO pattern 只鍍在下基板，電極區域為 $0.9 \times 1.3 \text{cm}^2$ ；IPS 之電極間距為 $10 \mu\text{m}$ ，電極寬度 $10 \mu\text{m}$ ，樣品厚度(cell gap)為 $7.5 \mu\text{m}$ 。

3-1-2 IPS 樣品外加電場之克爾效應介紹

高分子安定藍相液晶在 IPS 樣品內部外加電場之克爾效應如圖

3-1-2，在電極與電極間的電場最大，並由 $\Delta n_{\text{induced}} = \lambda K E^2$

可知電場誘發雙折射的數值與電場平方成正比，因此在電極與電極中之 $\Delta n_{\text{induced}}$ 值最大，當方向與垂直偏振片(Cross polarizer)夾 45° 時為亮態；而電極上方之電場相對較低，因此 $\Delta n_{\text{induced}}$ 也相對較低，而接近原本 PSBP-LC 之性質：光學上各向同性，在垂直偏振片下為暗態。偏光顯微鏡下之觀察結果可參考圖 3-1-3。

而無外加電場時則樣品內部之 PSBP-LC 全部為光學上各向同性，在垂直偏振片下可以達到很好的暗態，因此 PSBP-LC 具備了廣

視角的優點，不會有暗態不暗的情形。因此可以利用此種方法來對 PSBP-LC 來做光學性質測量。

3-1-3 AP(anti-parallel)樣品空盒製作

A. 清洗玻璃

1. 本實驗使用勝華科技提供的 ITO 玻璃，厚度為 1.1mm，並將所要使用的玻璃切割為 20×25mm。
2. 將玻璃放入燒杯內，加入中性玻璃清潔劑，在加水蓋過玻璃，將燒杯放入超音波震盪器中用超音波清洗 5 分鐘。
3. 用自來水將清潔劑沖洗乾淨。
4. 將樣品放入另一空燒杯並加入丙酮(Acetone)，將燒杯放入超音波震盪器中用超音波震盪 5 分鐘，之後將丙酮回收避免污染。
5. 將樣品放入另一空燒杯並加入甲醇(Methanol)，將燒杯放入超音波震盪器中用超音波震盪 5 分鐘，之後將甲醇回收避免污染。
6. 將樣品放入另一空燒杯並加入去離子水(DI Water)，將燒杯放入超音波震盪器中用超音波震盪 5 分鐘。
7. 將樣品以去離子水沖洗，用氮氣吹乾後將樣品放到烤箱中將水氣烤乾，冷卻備用（清洗完成的玻璃必須在同一天內鍍上配向劑，以免玻璃被污染，使配向劑無法附著）。

B. 磨刷配向基板之製作

1. 本實驗中使用之磨刷配向劑為 Nisson -130B。
2. 將 Nisson-130B 由冰箱取出，待其回到室溫再行使用。
3. 將 ITO 玻璃放在旋轉塗佈機(spin-coater)上，用微量滴管取 Nisson-130B 滴在 ITO 玻璃的 ITO 面上，旋轉分為兩步驟，條件為第一步驟 2000rpm(15 sec)，第二步驟 4000rpm(25 sec)。
4. 將玻璃取下平放於加熱平台上軟烤 5 分鐘。
5. 將軟烤後的玻璃放入 170°C 的烤箱硬烤 60 分鐘。
6. 硬烤完成後，將玻璃取出後放入培養皿中冷卻備用。
7. 將冷卻後之玻璃基板，放上磨刷機器(Rubbing Machine)進行磨刷，磨刷過程中平台的移動速度固定為 210，磨刷布旋轉速度固定為 900rpm。
8. 磨刷完成後紀錄磨刷方向備用

C. AP 樣品空盒組裝

1. 將磨刷完成的基板以上下基板相互平行的方式夾合，中間以 Mylar 作為間隔，本實驗所用之 Mylar 厚度為 6 μ m。
2. 將夾有 Mylar 之區域以 AB 膠封合，並留下兩個缺口以便灌入液晶。

3. 待 AB 膠硬化後，將樣品空盒放置備用

3-1-4 混合液晶配製

本篇論文中所使用的液晶、手性添加物(Chiral dopant)、高分子單體(monomer，照光過後鍵結變成 polymer：高分子聚合物)、光起始劑(photoinitiator)如表 3-1-1：

種類	名稱	常溫下(300k)	購買公司
Liquid Crystal	5CB	液晶態	Merck
Liquid Crystal	7CB	液晶態	BDH
Liquid Crystal	E7	液晶態	Merck
Liquid Crystal	MDA-00-3461	液晶態	Merck
Chiral dopant	R-811(ZLI-3786)	粉末	Merck
Chiral dopant	S-811(ZLI-811)	粉末	Merck
Monomer	RM-257	粉末	Merck
Monomer	EHA	液態	Aldrich
photoinitiator	DMPA	粉末	Aldrich

表 3-1-1 樣品名稱與購買公司

(EHA: 2-ethylhexyl acrylate, DMPA: 2,2-dimethoxy-2-phenyl acetophenone)

調配混合液晶之順序如下

1. 將濾紙放至電子天秤，歸零後將粉末放至濾紙上直到目標重量，
並記錄重量
2. 將濾紙上的粉末放入棕色瓶
3. 重複 1、2 步驟
4. 將裝有粉末之棕色瓶放至電子天秤上後歸零，灌入液晶或液體後

記錄重量

5. 重複步驟 4
6. 若混合液晶內有加入 monomer 或 photoinitiator，則在棕色瓶外額外包覆一層鋁箔紙，以避免液晶受到光線影響
7. 將調配好的混合液晶放到試管震盪混合器上，震盪直到粉末與液晶完全混合
8. 將混合液晶放到超音波震盪器上，調整至 De-gas 模式將震盪完後產生的氣泡消除
9. 放入防潮箱備用

3-1-5 製作液晶樣品

1. 將調配好之混合液晶加熱至各向同性(isotropic)態，並同時將樣品空盒加熱
2. 將混合液晶灌入樣品空盒
3. 用 AB 膠將樣品缺口封起
4. 若所灌之液晶有加入 monomer 或 photoinitiator，則將樣品放入包覆鋁箔紙之培養皿內；反之則放入普通培養皿
5. 放入防潮箱備用



3-2 藍相液晶樣品製作結果

本實驗中樣品編號開頭為 AP 的樣品代表此樣品使用實驗室自製的水平配向樣品；樣品編號為 IPS 開頭的樣品代表使用向 Instec 公司所購買的 IPS 樣品。實驗中的 AP 樣品只有在尋找藍相液晶的實驗中使用，後面的藍相液晶以及 PSBP 樣品皆為使用無表面配向的 IPS 樣品。

3-2-1 尋找藍相液晶

圖 3-2-1 中列出當 R-811 重量百分濃度對於自旋螺距(Pitch)的關係，由 $HTP(\text{Helical Twist Power})=100/(P*C)$ ，以及 R-811 之 Typical HTP range 為 +8.1~+14.5(右旋)計算得出。C 為 R-811 之重量百分濃度，P 為自旋螺距(Pitch)，表示 Chiral Nematic 液晶旋轉 360 度的距離。

由於 Blue Phase 會出現在 Pitch 約為 $0.5\mu\text{m}$ 的 Chiral Nematic Phase 與 Isotropic Phase 間¹⁴，因此我們以此作為參考將向列型液晶 7CB 加入 chiral dopant R-811，液晶之混合比例參考表 3-2-1。

首先我們將向列型液晶 7CB 加入不同重量百分比的 R-811 (Chiral dopant)，灌入 AP 樣品，在偏光顯微鏡下觀察的結果如圖 3-2-2~圖 3-2-4。

圖 3-2-2 之橫軸為混合液晶中 R-811 之重量百分濃度(wt%)，縱軸為溫度，可以大致看出 Isotropic 的溫度會隨著 R-811 的濃度上升而下降。

圖 3-2-3 中可以看出在 R-811 為 24wt%時，在降溫過程中可以明顯的發現 Chiral Nematic 的紋理(texture)¹³；在圖 3-2-4 中可以看出在 R-811 為 28.5%時，可再降溫過程中發現 Chiral Nematic 的紋理。

於是我們將 24wt%R-811+7CB & 28.5%R-811+7CB 的混合液晶分別灌入無表面處理的 IPS2、IPS3 樣品中，觀察樣品降溫過程的偏光顯微鏡圖，結果如圖 3-2-5、圖 3-2-6。

圖 3-2-5 中發現 IPS2 樣品從 Isotropic 態降溫後直接出現 SmecticA 之紋理。圖 3-2-6 中發現 IPS3 樣品在 Isotropic 與 Chiral Nematic 中出現了一個不確定的態，其溫度範圍約 2.6°C，我們認為其紋理有些類似 Blue Phase；在溫度低於 Chiral Nematic 時則發現 SmecticA*的紋理。

我們以相近比例的 S-811+7CB 灌入 IPS4 樣品，所得到的降溫顯微鏡為圖 3-2-7，與圖 3-2-6 相類似，也約在 2°C 的範圍內發現類似 Blue Phase 的紋理；並且可以發現降溫速率越慢其類似 Blue Phase 的紋理也越大。

3-2-2 發現藍相(Blue Phase)液晶

樣品編號	混合液晶編號	R-811	S-811	5CB	MDA-00-3461
IPS6	Com5		O	O	O
IPS7	Com6	O		O	O

表 3-2-2 Blue Phase 樣品之混合液晶比例(wt%)

IPS6	溫度區間	降溫速率(°C/min)	IPS7	溫度區間	降溫速率(°C/min)
	31.5~29°C	0.02		31.5~30°C	0.01
	29~17°C	0.12		30~19.5°C	0.16

表 3-2-3 IPS6、IPS7 樣品之降溫速率表

我們之後把 7CB 換成 5CB 及 MDA-00-3461，並將所調配的混合液晶灌入 IPS 樣品，成功的在偏光顯微鏡底下看到藍相液晶漂亮的小板紋理(platelet texture)，如圖 3-2-8、圖 3-2-9。較為漂亮的小板紋理溫度範圍為 1°C，並且也可以由表 3-2-3、圖 3-2-8 及圖 3-2-9 發現降溫速率越慢，小板紋理的範圍也會越大。持續降溫後小板紋理出現了一些變化，但是依然維持類似 Blue Phase 的小板紋理超過 8°C 以上，之後才出現 Chiral Nematic(N*) Phase。

由表 3-2-2、圖 3-2-8 及圖 3-2-9 中也同樣可以發現不管 Chiral dopant 是使用右旋的 R-811 或左旋的 S-811，只要濃度接近及所加入之液晶重量百分濃度接近，即可得到類似的結果，因此我們在高分子安定藍相液晶(PSBP-LC)的實驗中將使用右旋的 R-811 來做為主要使用的 Chiral dopant。

3-3 照光系統及方法

在製作 PSBP 樣品時需要對樣品所加入的高分子單體進行光聚合，使其鍵結成為高分子聚合物後穩定 BP 的結構，這部份將介紹我們樣品的照光系統及方法。

3-3-1 氙燈照光系統

第一部分使用的紫外光源為氙燈(Newport xenon arc lamp, model 6269)，其光譜為圖 3-3-1。

照光系統如圖 3-3-2，將樣品放在 Sample 處用氙燈進行光聚合。圖中的 Liquid Filter 的用處為吸收紅外波段的光，Long wavelength filter 及 ITO 玻璃的用處為吸收低於 300nm 的紫外光並降低照光強度。空樣品照光之後的溫度變化如圖 3-3-3，測量溫度的方法如圖 3-3-4，以熱敏電阻的電阻值換算成溫度來記錄樣品表面的溫度變化。

測量照光強度時使用 UVX Radiometer(UVP)並接上感測器(UVX-36)，將圖 3-3-2 之樣品換成感測器。感測器之光譜靈敏度如圖 3-3-5，用以測量氙燈之紫外光光強度。

3-3-2 LED 燈照光系統

第二部分使用的照光系統為 LED 燈照光系統，實驗裝置示意圖如圖 3-3-6，用 410nm 之 LED 對樣品進行光聚合，LED 之光譜圖請參考圖 3-3-7。本系統的好處為可以在觀察樣品之偏光顯微鏡圖的同

時進行照光，也就是可以將樣品之溫度控制在 Blue Phase 時進行光聚合。照光時所使用的 Filter1 之穿透率光譜如圖 3-3-2，PI 膜之穿透率光譜如圖 3-3-4。

3-4 高分子安定藍相液晶樣品製作結果

3-4-1 加入單一高分子單體(RM-257)之樣品製作結果

樣品編號	混合液晶編號	R-811	5CB	MDA-00-3461	RM257	EHA	DMPA
IPS14	Com11	O	O	O	O	X	O
IPS15							
IPS26							

表 3-4-1 PSBP 樣品之混合液晶比例(wt%)

樣品編號	照光裝置	照光強度(mW/cm ² , in 365nm)	照光時間
IPS14	無	無	無
IPS15	氙燈	10.9	20mins
IPS26	LED 燈	0.03	360mins

表 3-4-2 PSBP 樣品照光條件

此節之高分子安定藍相液晶使用 RM-257 當作高分子單體、DMPA 為光起始劑，詳細之比例如表 3-4-1。表 3-4-2 列出沒有照光的 IPS14 樣品，以氙燈進行光聚合的 IPS15、在 Blue Phase 下以 LED 燈進行光聚合的 IPS26 樣品的照光條件；圖 3-4-1~圖 3-4-3 分別為 IPS14、IPS15、IPS26 樣品的降溫偏光顯微鏡圖。

圖 3-4-1 可以發現未照光前的樣品降溫時之 Blue Phase 的範圍為 10°C 內，且溫度為 26.9~29.8°C 時樣品出現了 Blue Phase 與 Chiral

Nematic Phase 共存的情形。由圖 3-4-2、圖 3-4-3 中可以發現以氙燈或在 Blue Phase 下以 LED 燈進行光聚合，其 Blue Phase 的範圍皆超過了 10°C，成功的增加了此混合液晶之 Blue Phase 的範圍，且可以發現光聚合後之樣品其 Blue Phase 範圍皆涵蓋室溫，因此我們可以在室溫下進行 IPS15(氙燈照光)及 IPS26(LED 燈照光)樣品之光電性質測量。

3-4-2 加入高分子單體(RM-257+EHA)之樣品製作結果

樣品編號	混合液晶編號	R-811	E7	MDA-00-3461	RM257	EHA	DMPA
IPS25	Com13	O	O	O	O	O	O
IPS19							
IPS23							

表 3-4-3 PSBP 樣品之混合液晶比例(wt%)

樣品編號	照光裝置	照光強度(mW/cm ² , in 365nm)	照光時間
IPS25	無	無	無
IPS19	氙燈	12.80	20mins
IPS23	LED 燈	0.03	360mins

表 3-4-4 PSBP 樣品照光條件

此部分使用了兩種不同的高分子單體：RM-257 & EHA，並將 5CB 換成 E7，詳細之混合液晶比例如表 3-4-3。表 3-4-4 列出沒有照光之 IPS25 樣品、以氙燈進行光聚合之 IPS19 以及 LED 燈進行光聚合之 IPS23 號樣品；圖 3-4-4~圖 3-4-6 分別為 IPS25、IPS19 以及 IPS23 樣品降溫時之偏光顯微鏡圖。

圖 3-4-4 可以發現降溫過程中出現與圖 3-2-5、圖 3-2-6 相同之類似 Blue Phase 紋理，且涵蓋的範圍達到 17°C 以上，溫度低於 18.3°C 時出現 Chiral Nematic Phase。

圖 3-4-5 為使用氙燈進行光聚合之樣品，可以發現偏光顯微鏡下所觀察到的結果與 Blue Phase 不太相同，有些類似 Chiral Nematic，其降溫時涵蓋之溫度範圍達 19°C，且包含室溫。

圖 3-4-6 為使用 LED 燈照光之樣品，降溫時可以發現有兩種不同的相態，較高溫時猜測為光聚合後之 Blue Phase，溫度範圍也達 15°C 以上且包含室溫；溫度低於 22.7°C 時則出現類次 Chiral Nematic 的結果。

3-4-3 高分子安定藍相液晶樣品之穿透光譜

圖 3-4-7、圖 3-4-8 為在本實驗中之 PSBP 以及空的 IPS 樣品之穿透光譜，Reference 為空氣。在沒有灌入液晶的 IPS Cell 中可以看到樣品有出現干涉條紋的狀況：灌入液晶後，可以發現樣品之干涉條紋消失，應該是受到藍相液晶影響造成。

圖 3-4-7 中，IPS14 樣品之穿透光譜為將樣品升溫後降溫為 Blue Phase 後再進行測量，IPS15、IPS26 號樣品則在室溫下進行測量。可以發現當樣品的穿透率在光波長為 450nm 以上時，與沒有灌入液晶的空 IPS Cell 相似，這是因為 Blue Phase 為 Optically isotropic，因此

穿透率除了沒有干涉條紋外，差異較小。

圖 3-4-8 中，IPS25 樣品之穿透光譜為將樣品升溫後降溫為 Blue Phase 後再進行測量，IPS19、IPS23 號樣品則在室溫下進行測量。未照光的 IPS25 號樣品之穿透率也與空 Cell 類似，而 IPS19 及 IPS26 樣品之穿透光譜有穿透率較低的情形，這兩個樣品在偏光顯微鏡下的照片也與傳統的 Blue Phase texture 有所不同，其中又以 IPS19 樣品差異較大，IPS26 樣品則介於中間。



第四章 實驗結果與分析

4-1 RM-257 作為 monomer 樣品之光電特性量測

4-1-1 氙燈照光樣品之光電特性量測結果

第一部分將以使用單一高分子單體 RM257 的混合液晶 (Com11)，以氙燈進行光聚合之 IPS15 樣品來進行實驗(樣品製備條件請參考表 3-3-1、表 3-3-2)。IPS15 樣品在溫度為 23~24°C 時外加電壓測量光強度所得到之 V-I 圖及在偏光顯微鏡下所拍之照片如圖

4-1-1，外加 1kHz 之方波。

圖 4-1-1 中可以看出樣品外加電壓後樣品之穿透光強度無法恢復成原本的暗態(穿透光強度 $\neq 0$)；由偏光顯微鏡底下觀察可以發現 PSBP-LC 的結構受到外加電壓影響而改變，變成類似 Chiral Nematic Phase；因此雖然關閉外加電壓，但是改變後的結構會讓光線通過，因此無法與原本光學上各向等性的 BP 結構一樣，在垂直偏振片下為暗態。此處值得一提的是遭到外加電壓改變後的結構加熱至 isotropic phase 並回溫之後，可以恢復成原本的 PSBP-LC 結構。

IPS15 樣品在室溫為 26~27°C 時測量之 V-I 圖及偏光顯微鏡之照片如圖 4-1-2，外加 1kHz 之方波。圖 4-1-2 可以發現 IPS15 樣品在此溫度範圍時之 V-I 曲線出現了外加電壓結束後，樣品可以恢復成暗態；由偏光顯微鏡的照片可以看出在外加電壓時 BP 的結構一樣產生

變化，但是在降低外加電壓的同時，受外加電壓影響而被改變的部分也漸漸的恢復成為 BP 的結構，我們推測是樣品在溫度較接近 Isotropic Phase 時，排列結構較易維持 Blue Phase 的原因所致。圖 4-1-3 說明 PSBP-LC 之電極方向與 Polarizer 平行時，外加電壓時，因克爾效應產生之 Δn 與電場平行，也與 Analyzer 平行，因此在電極間距的部分為暗態；而電極上之 BP 結構遭受外加電壓影響而改變，因此呈現亮態，。且 IPS15 樣品受到外加電壓後被改變的排列結構可以將樣品加溫至 Isotropic 後回溫或者將樣品放在室溫下過幾天之後，樣品也會恢復成原本的排列狀態。

第二部分直接將 IPS15 樣品放置在偏光顯微鏡下外加電壓，並分別將樣品控溫在三種不同的溫度下進行實驗，外加頻率分別為 1kHz 及 20kHz 的方波，實驗結果如圖 4-1-4~圖 4-1-10。

圖 4-1-4 之(a)、(c)、(e)分別為 IPS15 號樣品控溫在 23.5°C、26.4°C 及 28°C 之 V-I 曲線圖，橫軸為外加電壓(V_{rms})、縱軸為光強度大小；而(b)、(d)、(f)分別為外加電壓為(a)、(c)、(e)時樣品表面之溫度之變化圖，橫軸為時間(分鐘)，縱軸為溫度(攝氏)。並且每種控溫條件下都分別外加 1kHz 及 20kHz 的方波，並比較其中之差異。

首先比較圖 4-1-4 之(b)、(d)、(f)，可以發現在三種不同的控溫情形之下皆可發現以下結果：(1)當 IPS15 樣品外加電壓頻率為 1kHz

時，樣品表面的溫度隨外加電壓變化而上升，上升範圍 0.2°C 以內。

(2)當外加電壓之頻率為 20kHz 時，樣品表面溫度卻會有顯著的上昇，約為 0.8°C 。(3)樣品表面溫度隨著外加電壓增大而上升，並隨著外加電壓減小時而下降。

接著將三種不同溫度下的 V-I 圖及時間-溫度曲線圖進行比較：

- (1) 樣品控溫在 23.5°C ，比較圖 4-1-4 之(a)、(b)圖，可以發現雖然外加電壓頻率為 20kHz 時樣品表面有明顯的溫度上升的情形，但是 V-I 曲線圖的結果與 1kHz 時沒有太大的差異，樣品 IPS15 原本的 Blue Phase 之結構都會在外加電壓後改變，無法恢復至原本之 Blue Phase，外加電壓過程之偏光顯微鏡照片請參照圖 4-1-5 及圖 4-1-6。
- (2) 樣品控溫在 26.4°C ，比較圖 4-1-4 之(c)、(d)圖，可以發現在外加 1kHz 之方波時，其結果與 23.5°C 時相同；外加電壓為 20kHz 時，溫度表面溫度一樣出現上升的趨勢，但在穿透率變化部分與 1kHz 時有顯著的不同，在外加電壓時穿透率在高電壓時出現震盪，且當關閉外加電壓時樣品可以回到暗態，我們認為是 IPS15 樣品在溫度接近 Isotropic 時，Blue Phase 的之雙螺旋結構較為穩定所造成。外加電壓過程之偏光顯微鏡照片請參照圖 4-1-7 及圖 4-1-8。
- (3) 樣品控溫在 28°C ，比較圖 4-1-4 之(e)、(f)圖，方波頻率為 1kHz

之透光強度變化曲線來回較為重疊，且外加電壓後回復到無外加電壓狀態時，樣品依然可以保持暗態，各外加電壓下之偏光顯微鏡之照片如圖 4-1-9；20kHz 時，樣品在外加電壓時溫度持續升高，穿透率的最大值出現在 55V，之後穿透率則持續下降，外加電壓至 100V 後關閉外加電壓為止樣品皆呈現暗態，我們認為是樣品脫離 Blue Phase 即將相變至 Isotropic 的結果；而當外加電壓下降時，隨著樣品溫度的下降，透光強度在外加電壓低於 60V 時有出現微小的上昇，如圖 4-1-10。

第三部分在室溫為 26°C 下測量 IPS15 樣品之 V-T 圖及反應時間，實驗中將 He-Ne 雷射通過兩片平行偏振片的光強度定為穿透率 100%，外加 20kHz 之方波，實驗結果分別為圖 4-1-11 及圖 4-1-12。

圖 4-1-11 之結果可由圖 4-1-8 來解釋，樣品外加電壓後造成溫度上升，使得樣品透光強度出現不穩定的狀況，且樣品升溫後較接近 Isotropic，因此樣品較易維持 Blue Phase 之結構，因此可以得到關閉外加電壓後透光強度接近 0 的結果，臨界電壓(threshold voltage) 為 25V。

反應時間(μ s)	1st	2nd	3rd	平均	標準差
Rise time	639.7	600.2	559.9	599.9	39.9
Fall time	470.3	470.2	479.3	473.3	5.2
Total response time	1110.0	1070.4	1039.2	1073.2	35.5

表 4-1-1 IPS15 樣品之反應時間測量，

外加電壓 100Vrms，20kHz 方波，室溫 26°C

表 4-1-1 中列出 IPS15 之反應時間，可以發現樣品之 Rise time 及 Fall time 皆為次毫秒等級，且 Rise time 大於 Fall time，實驗測量結果圖如圖 4-1-12。

4-1-2 LED 照光樣品之光電特性量測結果

圖 4-1-13 中可以發現以 LED 燈照光之 IPS26 樣品第一次與第二次測量之 V-T 曲線有明顯不同：第一次測量時有臨界電壓存在，而第二次測量時則無臨界電壓的存在；第一次進行測量時最大穿透光強度較高，第二次測量時最大穿透光強度下降；第一次進行測量降電壓曲線與第二次測量結果相同，猜測是第一次測量時外加電壓超過藍相液晶結構所能承受的最大電壓而造成樣品結構破壞，之後趨於穩定。

反應時間(μs)	1st	2nd	3rd	平均	標準差
Rise time	189.8	179.8	179.7	183.1	5.8
Fall time	620.0	629.7	650.0	633.2	15.3
Total response time	809.8	809.5	829.7	819.3	11.6

表 4-1-2 IPS26 樣品之反應時間測量，
外加電壓 80Vrms，20kHz 方波，室溫 26°C

IPS26 樣品之反應時間如表 4-1-2 所式，可以發現此樣品之總反應時間為次毫秒，優於使用氬燈進行光聚合之 IPS15 樣品，且可以發現此樣品之 Rise time 的時間較 Fall time 低，實驗測量結果圖如圖

4-1-14。

4-2 以 RM-257+EHA 作為 monomer 之樣品光電特性量測

4-2-1 氙燈照光樣品之光電特性量測結果

圖 4-2-1 中可以看出 IPS19 樣品在第一次測量 V-T 曲線時就已經沒有臨界電壓的存在，且外加電壓後樣品無法恢復成原本的暗態，我們推測是樣品的結構受到外加電壓的破壞。

反應時間(μ s)	1st	2nd	3rd	平均	標準差
Rise time	149.2	149.9	159.5	152.9	5.8
Fall time	1249.5	1090.4	1149.8	1163.2	80.4
Total response time	1398.7	1240.3	1309.3	1316.1	79.4

表 4-2-1 IPS19 樣品之反應時間測量，
外加電壓 100Vrms，20kHz 方波，室溫 26°C

表 4-2-1 為 IPS19 樣品之反應時間測量結果，可以發現 Rise time 為次毫秒等級，但是 Fall time 超過了 1 毫秒，實驗測量結果圖如圖 4-2-2。

4-2-2 LED 燈照光樣品之光電特性量測結果

本小節之 IPS26 樣品使用兩種高分子單體且在 Blue Phase 下進行光聚合，所測量之 V-T 圖如圖 4-2-3。圖 4-2-3 中可以發現剛開始外加電壓時穿透光強度呈現下降的趨勢，外加電壓超過 45V 後穿透

光強度開始上升，100V 為最大光強度，之後降低外加電壓時曲線與增加外加電壓時幾乎完全相同，且重複性佳，第一次及第二次測量結果幾乎完全相同，猜測是結構沒有受到外加電壓破壞。圖中也可以發現此樣品並沒有達到最大光強度，想得到最大光強度可能增加外加電壓之最大值。

反應時間(μs)	1st	2nd	3rd	平均	標準差
Rise time	340.3	589.8	480.4	470.2	125.1
Fall time	59.8	60.0	60.1	60.0	0.2
Total response time	400.1	649.8	540.5	530.1	125.2

表 4-2-2 IPS26 樣品之反應時間測量，
外加電壓 100Vrms，20kHz 方波，室溫 26°C

表 4-2-2 列出 IPS26 樣品之反應時間測量結果，此樣品之總反應時間為次毫秒等級，且可以注意到此樣品之 Fall time 非常的低，為 60 微秒附近，在圖 4-2-4 中可以清楚發現這樣的情形。如此短的反應時間在文獻上有出現過⁸。

4-3 PSBP 樣品反應時間之綜合討論

表 4-3-1~表 4-3-3 分別為 4 個 PSBP 樣品之 Rise time、Fall Time 以及總反應時間，使用 20kHz 之方波，室溫為 26°C。圖 4-3-1~圖 4-3-3 以圖片分別表示表 4-3-1~表 4-3-3 之 Rise time、Fall Time 以及總反應時間(Total response time)，橫軸為樣品編號，縱軸之單位為微秒

(microsecond)。

樣品編號	混合液晶	照光方式	Rise time(μ s)			平均	標準差
IPS15	Com11	氙燈	639.7	600.2	559.9	599.9	39.9
IPS26		LED 燈	189.8	179.8	179.7	183.1	5.8
IPS19	Com13	氙燈	149.2	149.9	159.5	152.9	5.8
IPS23		LED 燈	340.3	589.8	480.4	470.2	125.1

表 4-3-1 IPS15、IPS26、IPS19、IPS23 樣品之 Rise time。

樣品編號	混合液晶	照光方式	Fall time(μ s)			平均	標準差
IPS15	Com11	氙燈	470.3	470.2	479.3	473.3	5.2
IPS26		LED 燈	620.0	629.7	650.0	633.2	15.3
IPS19	Com13	氙燈	1249.5	1090.4	1149.8	1163.2	80.4
IPS23		LED 燈	59.8	60.0	60.1	60.0	0.2

表 4-3-2 IPS15、IPS26、IPS19、IPS23 樣品之 Fall time。

樣品編號	混合液晶	照光方式	Total response time(μ s)			平均	標準差
IPS15	Com11	氙燈	1110.0	1070.4	1039.2	1073.2	35.5
IPS26		LED 燈	809.8	809.5	829.7	816.3	11.6
IPS19	Com13	氙燈	1398.7	1240.3	1309.3	1316.1	79.4
IPS23		LED 燈	400.1	649.8	540.5	530.1	125.2

表 4-3-3 IPS15、IPS26、IPS19、IPS23 樣品之總反應時間。

圖 4-3-1 及表 4-3-1 中可以清楚的看到這四種樣品在 Rise time 方面的測量結果皆為次毫秒等級，IPS26 及 IPS19 樣品則是小於 200 微秒，由於 IPS26 樣品在外加電壓後，臨界電壓會消失(圖 4-1-13);IPS19

樣品並不存在臨界電壓(圖 4-2-1)，因此克爾效應可以在感受到電場的同時立即產生，進而降低的 Rise time 的時間。

圖 4-3-2 及表 4-3-2 中可以發現，除了 IPS19 在測量過程中出現超過 1 毫秒的反應時間外，樣品的平均 Fall time 也皆為次毫秒的水準，而 IPS23 樣品則小於 100 微秒，平均為 60 微秒。

圖 4-3-3 及表 4-3-3 中可以很清楚的看出不管混合液晶編號為 Com11(只使用 RM-257 當 monomer)或 Com13(使用 RM-257 及 EHA 作為 monomer)，使用氙燈照光的樣品(IPS15、IPS19)之總反應時間皆會超過 1 毫秒(1000 微秒)，而在藍相下以 LED 燈進行光聚合的樣品(IPS26、IPS23)總反應時間皆為次毫秒等級，因此往後要製作 PSBP 樣品時，將樣品控溫在藍相下照光會比較好的選擇。

第五章 結論與未來展望

本實驗中成功的找出液晶中的藍相，並且在加入高分子單體進行光聚合成為高分子聚合物之後，成功的增加藍相的溫度範圍。並且成功的觀察到 PSBP 樣品之次毫秒的反應時間；且將樣品溫控在 Blue Phase 下進行光聚合的樣品，其反應時間較使用氬燈進行光聚合的樣品短。在溫控下測量樣品穿透率的部份則發現樣品在外加電壓頻率不同時有出現溫度上升的情形，這部分在未來會對其他種類的液晶進行測試，確定是否在任何情形下都會發生。

本實驗將樣品控溫在 Blue Phase 下使用 410nm LED 燈進行光聚合，未來可以考慮將 LED 燈換成紫外光雷射或是其他較強的紫外光光源，在不劇烈影響樣品溫度的情形下，當樣品為 Blue Phase 時以較強的功率對樣品進行光聚合，以縮短樣品的光聚合時間。

本實驗中的樣品分析都只以偏光顯微鏡下的圖樣來判斷，未來可以測量樣品的反射式光譜，或是穿透式電子顯微鏡的照片¹²，增加判斷樣品相態的基準，如較難判斷的 Blue Phase III。

本實驗中並未對 PSBP 樣品的外加電壓-穿透率部份做理論分析，這部分當製作出的 PSBP 樣品可以測量出較完整的 V-T 圖、外加電壓較穩定(可重複性)時，即可開始進行 V-T 圖之理論分析。

本實驗中所製作的 PSBP 樣品有著外加電壓時重複性低(IPS15、IPS19、IPS26)或是所需之外加電壓過大而無法測量到 V-T 圖之峰值(IPS23)，未來期望以調整樣品配方以及照光方式來找出所需外加電壓較低、穩定性高的 PSBP 樣品。



參考資料

- [1] Masahito Oh-e, Katsumi Kondo, “Electro-optical characteristics and switching behavior of the in-plane switching mode”, Appl. Phys. Lett. 67(26), 1995
- [2] S. H. Lee, S. L. Lee, and H. Y. Kim, “Electro-optic characteristics and switching principle of a nematic liquid crystal cell controlled by fringe-field switching”, Appl. Phys. Lett. Vol. 73, 20, 1998
- [3] Seung Ho Hong, In Cheol Park, Hyang Yul Kim and Seung Hee Lee, “ Electro-Optic Characteristic of Fringe-Field Switching Mode Depending on Rubbing Direction”, Japan. J. Appl. Phys. Vol. 39(2000), pp.L527-L530
- [4] Hirotsugu Kikuchi, Masayuki Yokota, Yoshiaki Hisakado, Huai Yang and Tisato Kajiyama, “Polymer-stabilized liquid crystal blue phase”, Nature Mater., vol. 1, pp. 64-68, 2002
- [5] Kuan-Ming Chen, Sebastian Gauza, Haiqing Xianyu and Shin-Tson Wu, “Submillisecond Gray-Level Response Time of a Polymer-Stabilized Blue-Phase Liquid Crystal”, J. Disp. Technol., Vol. 6, No. 2, 2010
- [6] Zhibing Ge, Linghui Rao, Sebastian Gauza and Shin-Tson Wu, “Modeling of Blue Phase Liquid Crystal Displays”, J. Disp. Technol., Vol. 5, No. 7, 2009
- [7] Miyoung Kim, Min Su Kim, Byeong Gyun Kang, Mi-Kyung Kim, Sukin Yoon, Seung Hee Lee, Zhibing Ge, Kinghui Rao, Sebastian Gauza and Shin-Tson Wu, “Wall-shaped electrodes for reducing the operation voltage of polymer-stabilized blue phase liquid crystal displays”, J. Phys D: Appl. Phys. 42(2009)
- [8] Hirotsugu Kikuchi, “Liquid Crystalline Blue Phases”, Struc. Bond., vol. 128, page 99-117, 2008
- [9] Dierking, Ingo., ”*Textures of Liquid crystals*”, WILEY-VCH, Weinheim,

2003

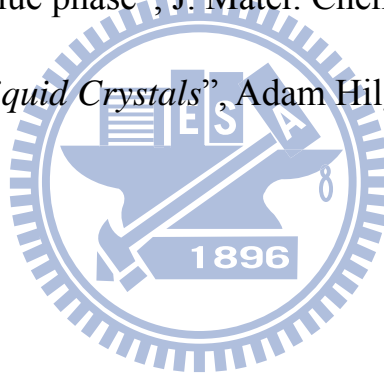
[10] A. Yariv and P. Yeh, “*Optical Waves in Crystal: Propagation and Control of Laser Retardation*”, Wiley-Interscience, New Jersey, 2003

[11] Shin-Ting Lu and Liang-Chy Chien, “Electrically switched color with polymer-stabilized blue phase liquid crystals”, *Optics letters*, vol.35, No.4, 2010

[12] J. A. N. Zasadzinski, S. Meiboom, M. J. Sammon, and D. W. Berreman, “Freeze-fracture electron –microscope observations of Blue Phase III”, *Phys. Rev. Lett.* 57, Vol.57, No.3, 1986

[13] Atsushi Yoshizawa, Yutaro Kogawa, Keiko Kobayashi, Yoichi Takanishi and Jun Yamamoto, “A binaphthyl derivative with a wide temperature range of a blue phase”, *J. Mater. Chem.*, 2009

[14] Peter J. Colling, “*Liquid Crystals*”, Adam Hilger, New Jersey, 1990



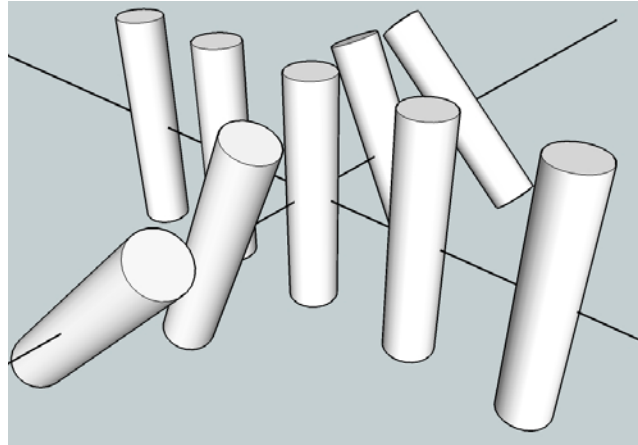


圖 1-2-1 液晶之單螺旋排列(simple twist)示意圖

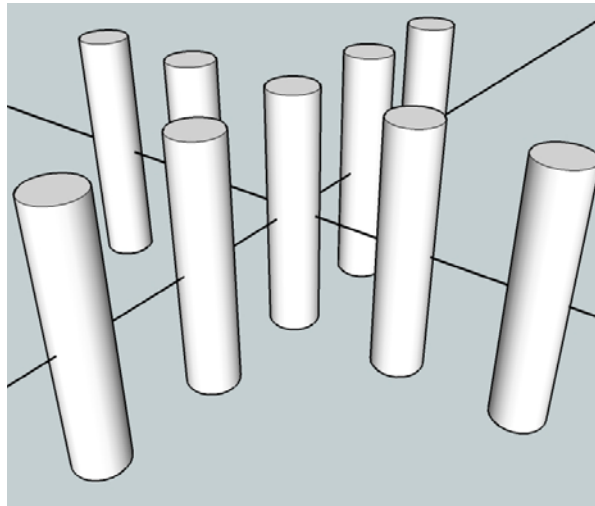


圖 1-2-2 向列型液晶排列(Nematic)之示意圖

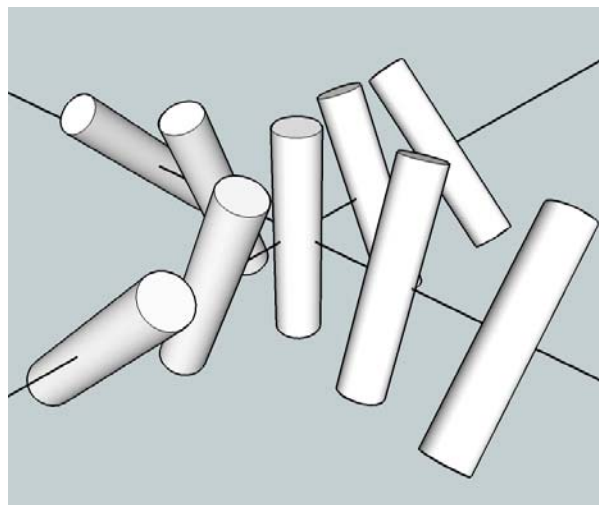


圖 1-2-3 液晶之雙螺旋排列(Double twist)示意圖

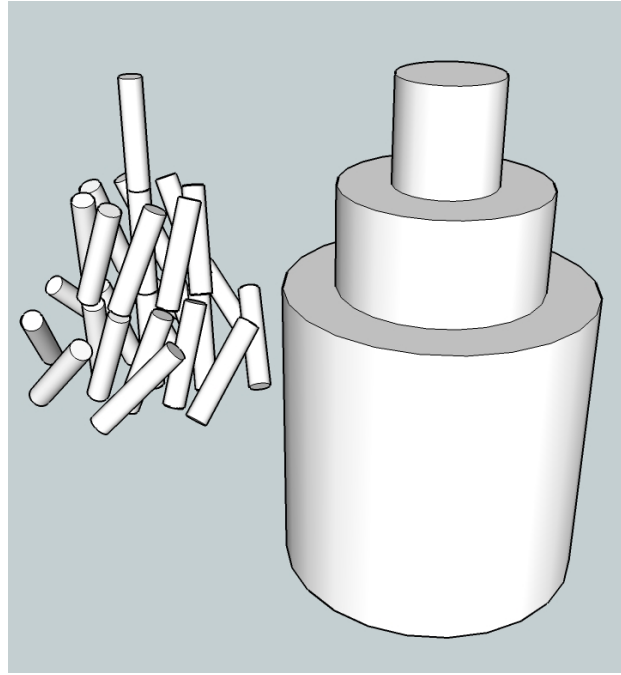


圖 1-2-4 雙螺旋圓柱示意圖

	Double Twist Cylinders Structure	Disclination Line
Blue Phase I Body-center Cubic Unit cell		
Blue Phase II Simple Cubic Unit cell		

圖 1-2-5 BPI&BPII 之結構(圓柱為雙螺旋圓柱,Double twist cylinder)與向錯線(disclination line, 細橢圓柱部分)

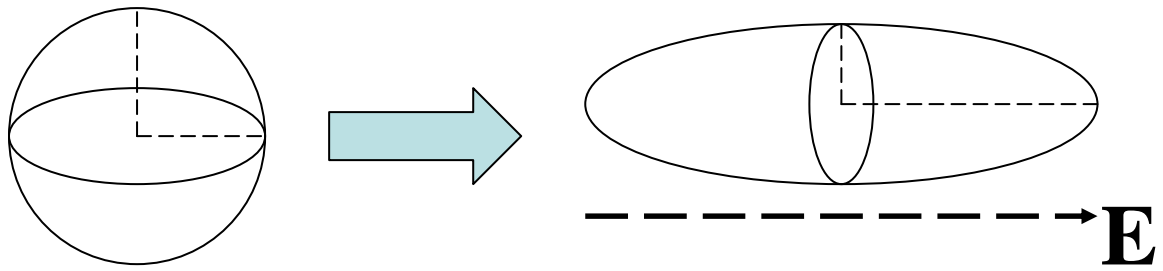


圖 2-1-1 Blue Phase 在外加大電場後產生之誘發雙折射示意圖

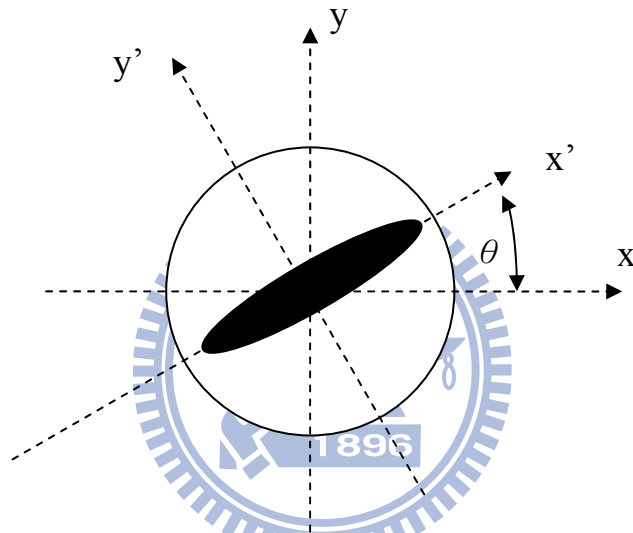


圖 2-2-1 座標系定義參考圖

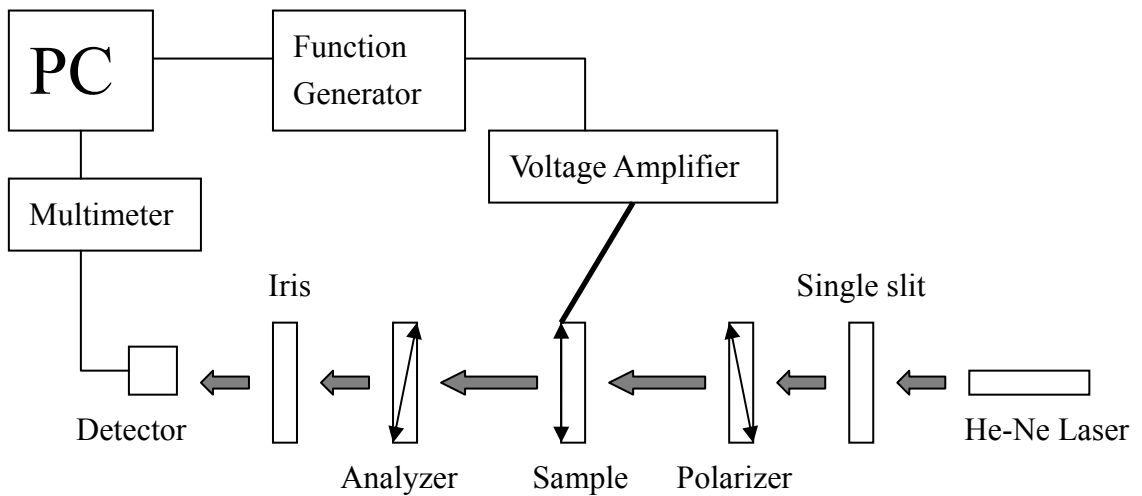


圖 2-2-2 外加電壓測量穿透光強度之裝置示意圖

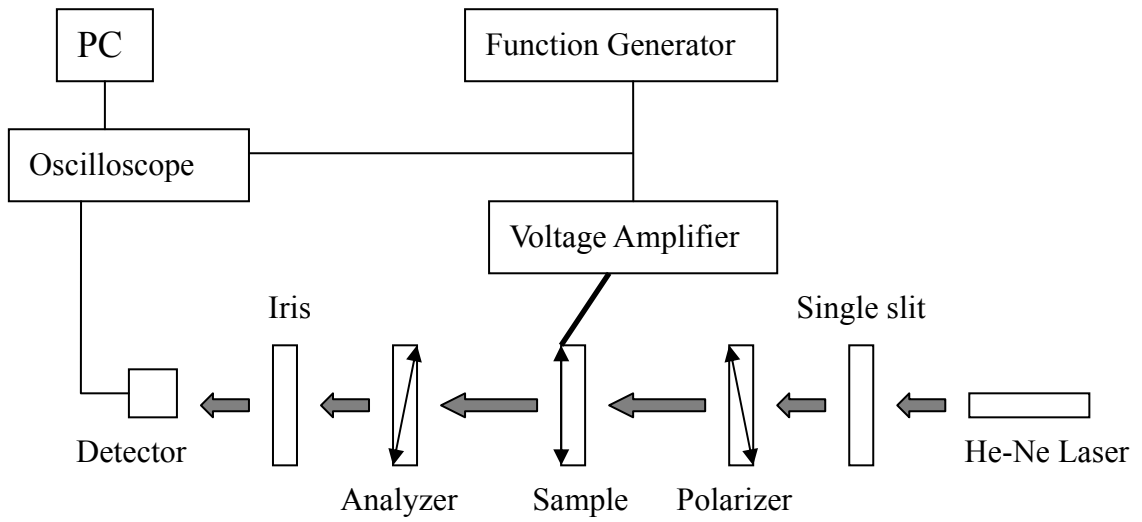


圖 2-3-1 反應時間量測系統示意圖

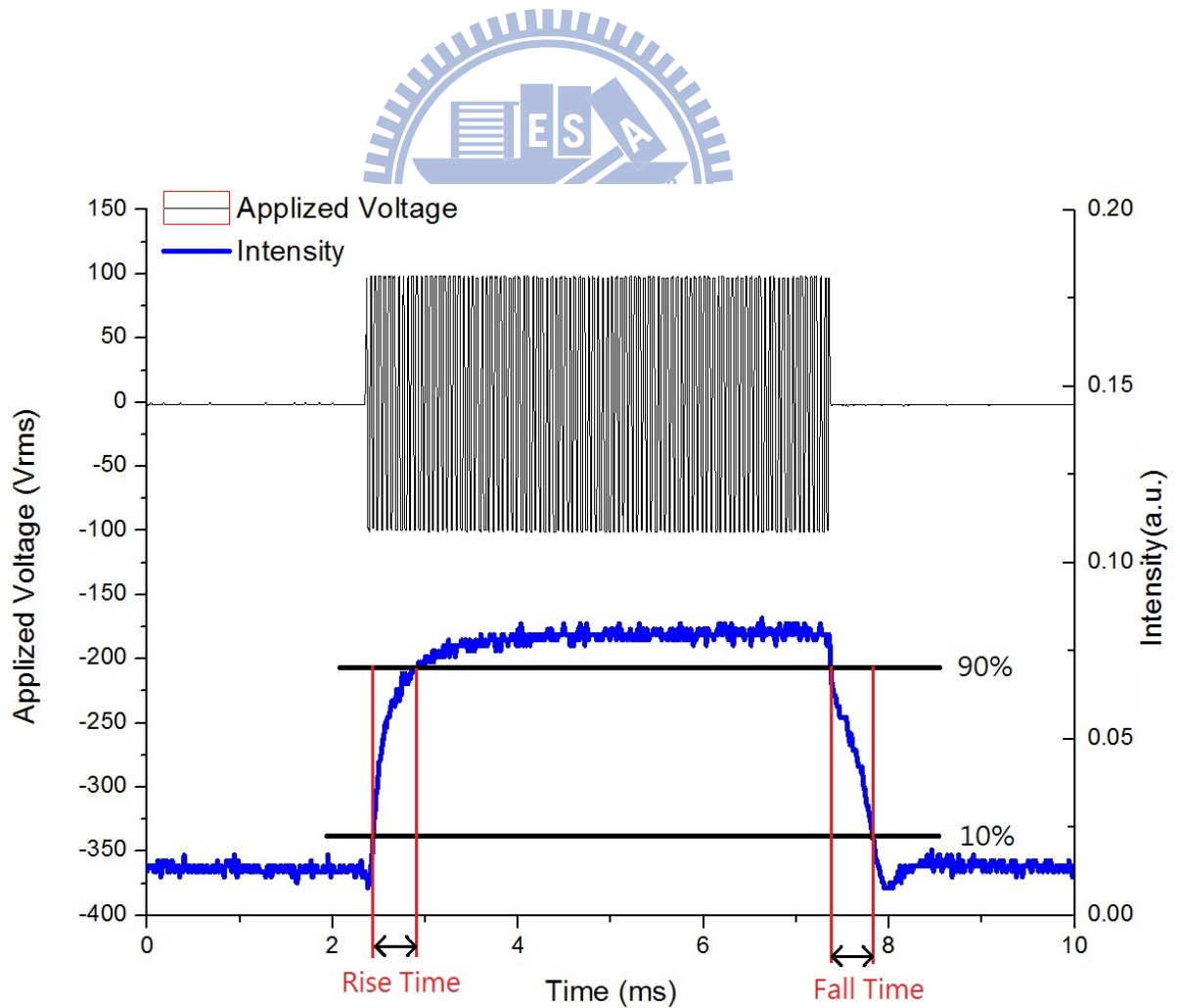


圖 2-3-2 反應時間量測結果示意圖

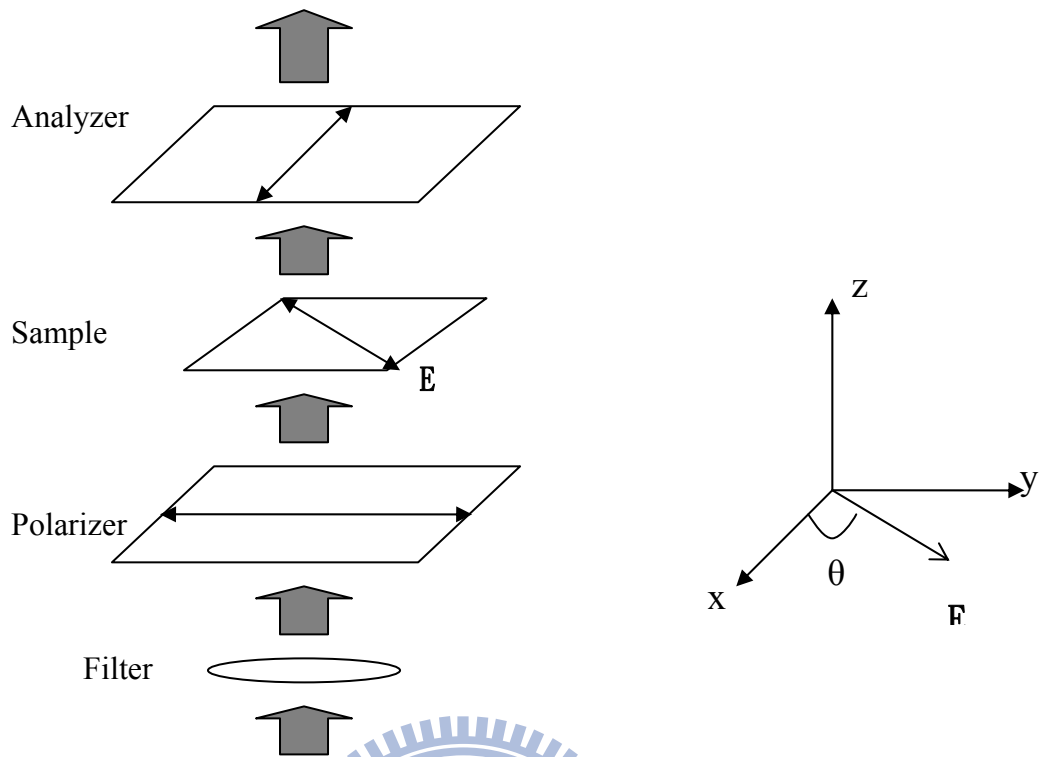


圖 2-4-1 偏光顯微鏡量測裝置示意圖，樣品沿 z 軸方向旋轉

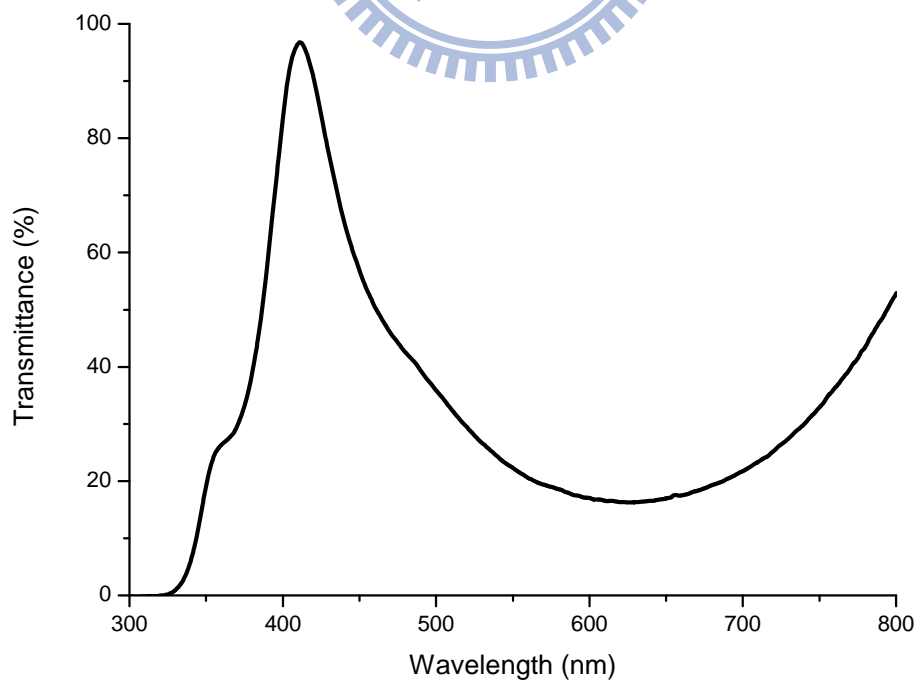


圖 2-4-2 Filter1 之穿透率光譜

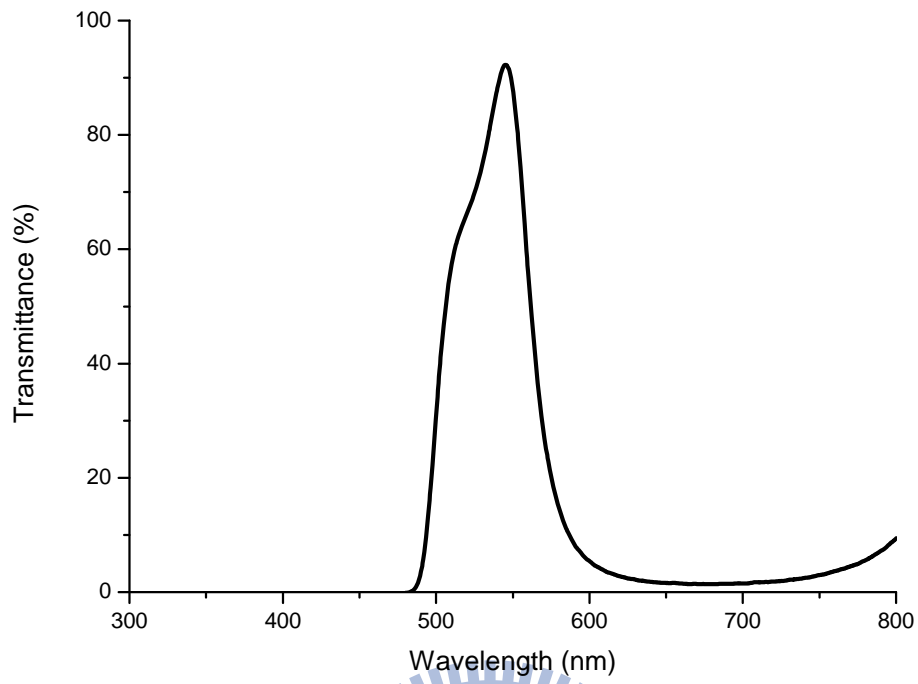


圖 2-4-3 Filter2 之穿透率光譜

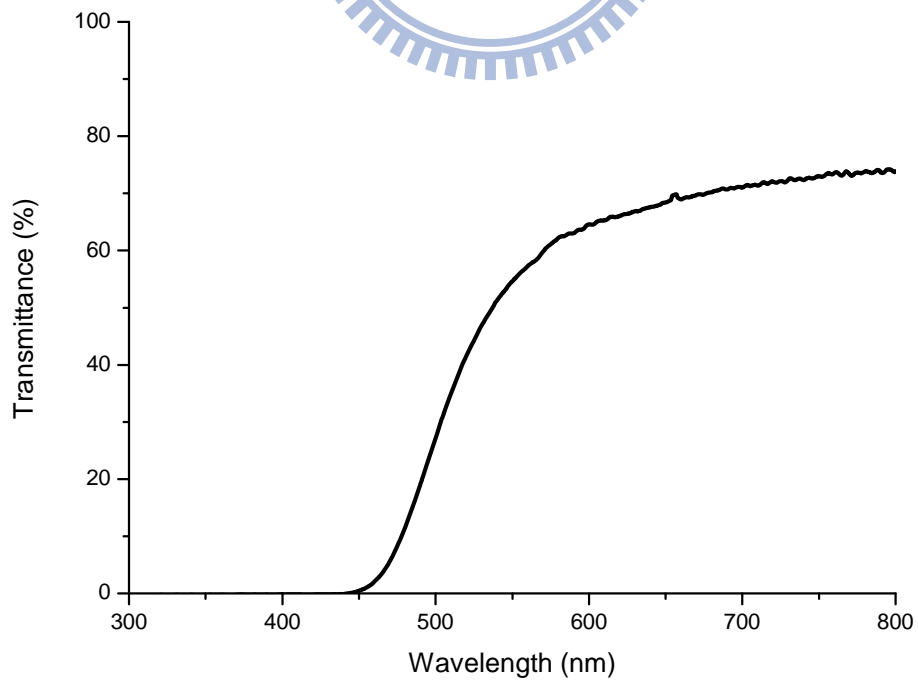


圖 2-4-4 PI 膜(聚醯亞胺薄膜，Polyimide Film)之穿透率光譜

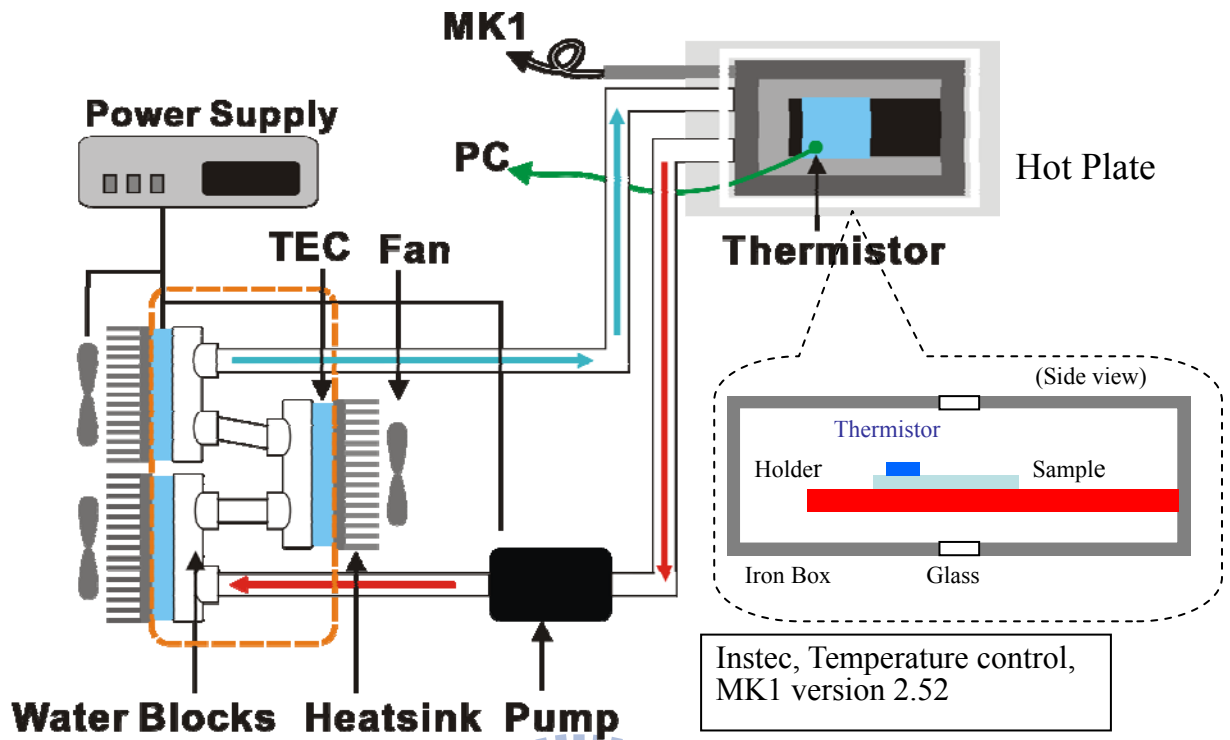


圖 2-4-5 溫控系統示意圖

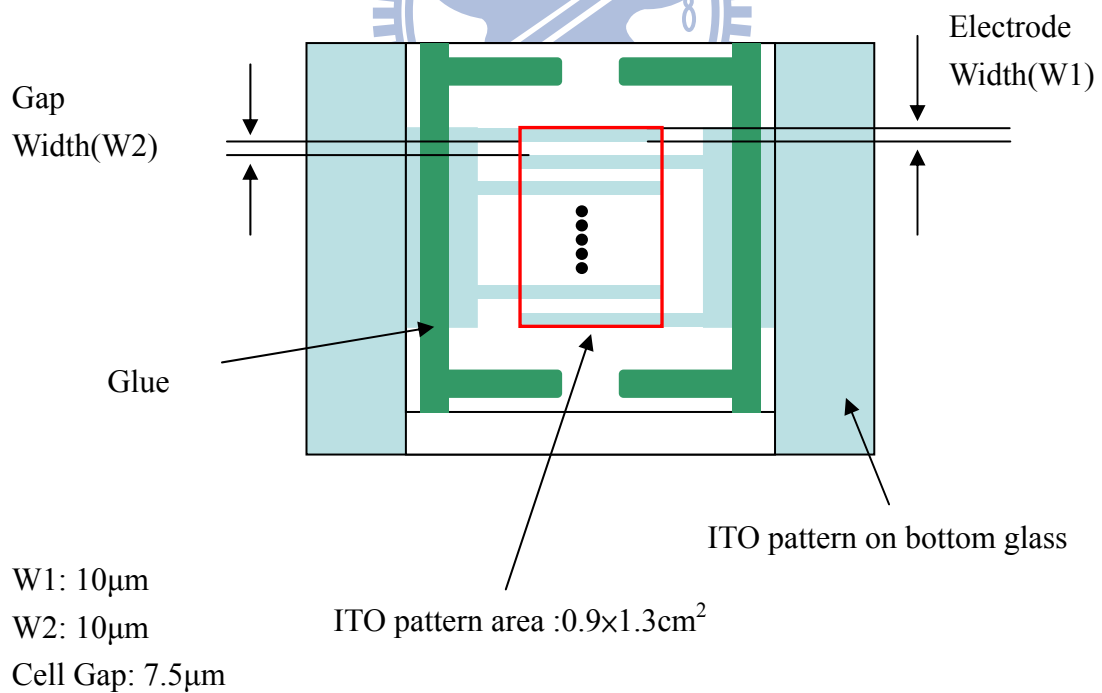


圖 3-1-1 IPS 樣品示意圖(無表面配向)

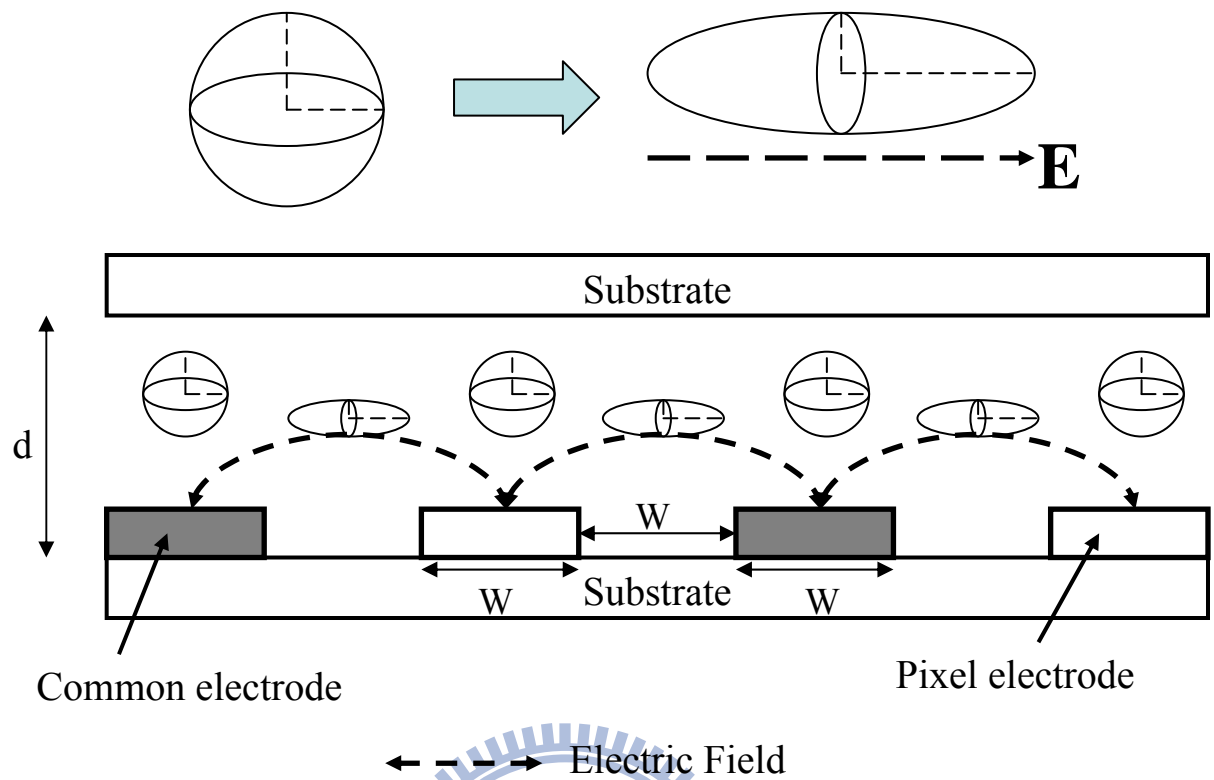


圖 3-1-2 IPS 樣品內部之 PSBP-LC 外加電場後之光學橢球示意圖

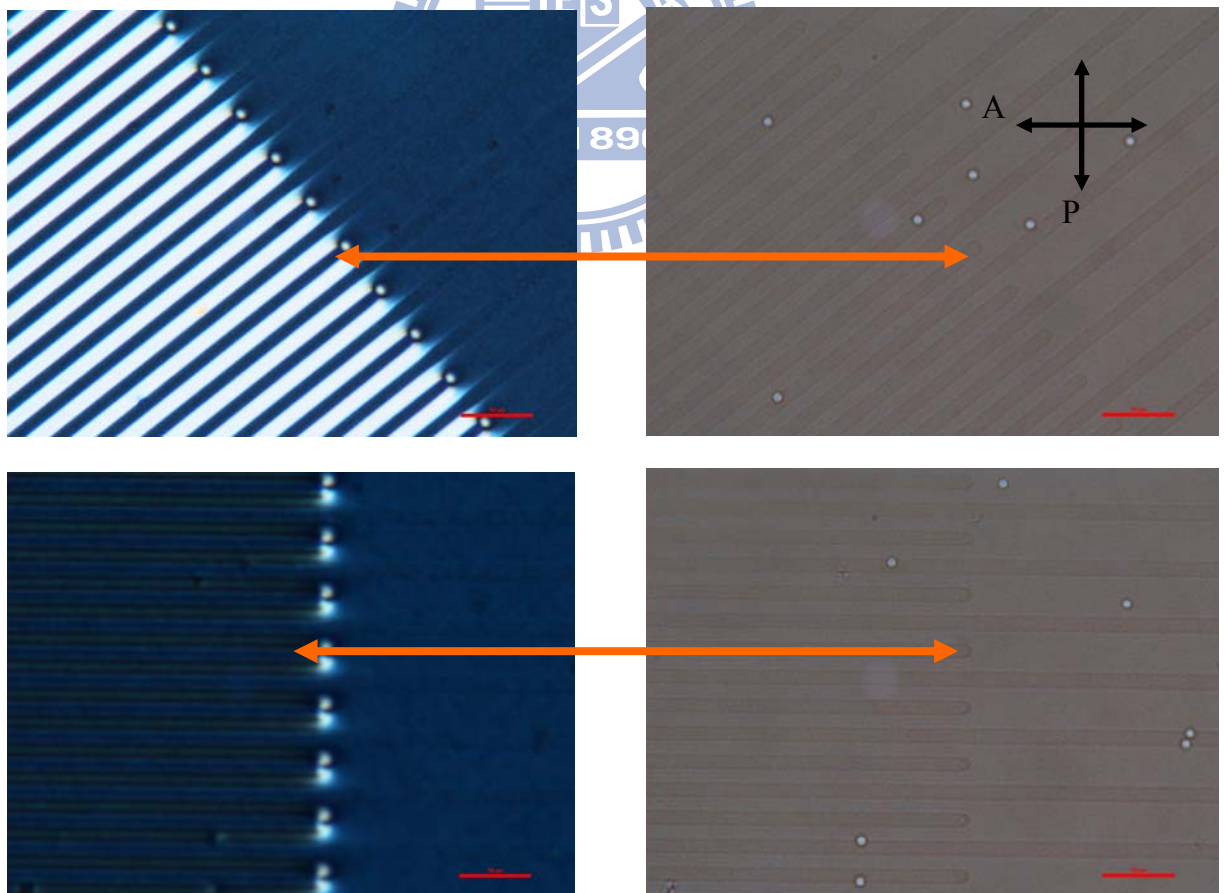


圖 3-1-3 IPS23 樣品外加電壓之偏光顯微鏡圖。

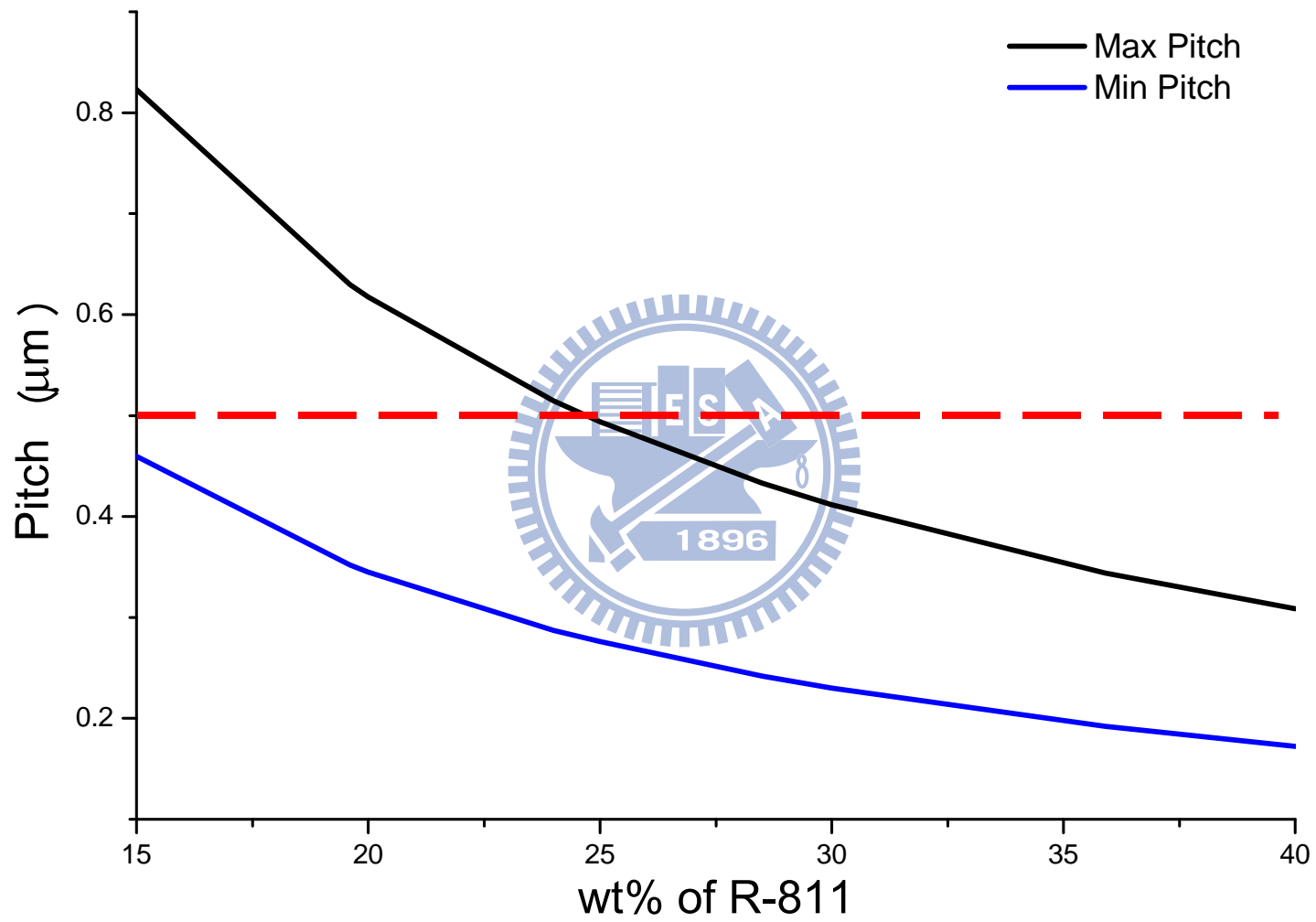


圖 3-2-1 R-811 重量百分濃度與 Pitch 之關係

混合液晶濃度比例(wt%)													
混合 LC 編號	樣品編號	Chiral dopant		Liquid Crystal				Monomer		Initiator	光聚合	光強(mW/cm ² ,365nm)	照光時間
		R-811	S-811	5CB	MDA-00-3461	7CB	E7	RM-257	EHA	DMPA			
19.6%R-811	AP01	19.6				80.4					N	N	N
24%R-811	AP03										N	N	N
	IPS2	24				76					N	N	N
28.5%R-811	AP02										N	N	N
	IPS3	28.5				71.5					N	N	N
35.9%R-811	AP04	35.9				64.1					N	N	N
com4	IPS4		o			o					N	N	N
com5	IPS6		o	o		o					N	N	N
com6	IPS7	o		o		o					N	N	N
com11	IPS14										N	N	N
	IPS15										氙燈	10.9	20mins
	IPS26	o		o		o			o	o	LED 燈	0.03	360mins
com13	IPS25										N	N	N
	IPS19										氙燈	12.8	20mins
	IPS23	o				o	o	o	o	o	LED 燈	0.03	360mins

表 3-2-1 樣品編號，所使用混合液晶比例及照光條件整理。
 數字為藥品之重量百分濃度，若為 o 則表示有使用此樣品進行實驗。

7CB&R-811混合樣品之R-811重量百分濃度與溫度之關係

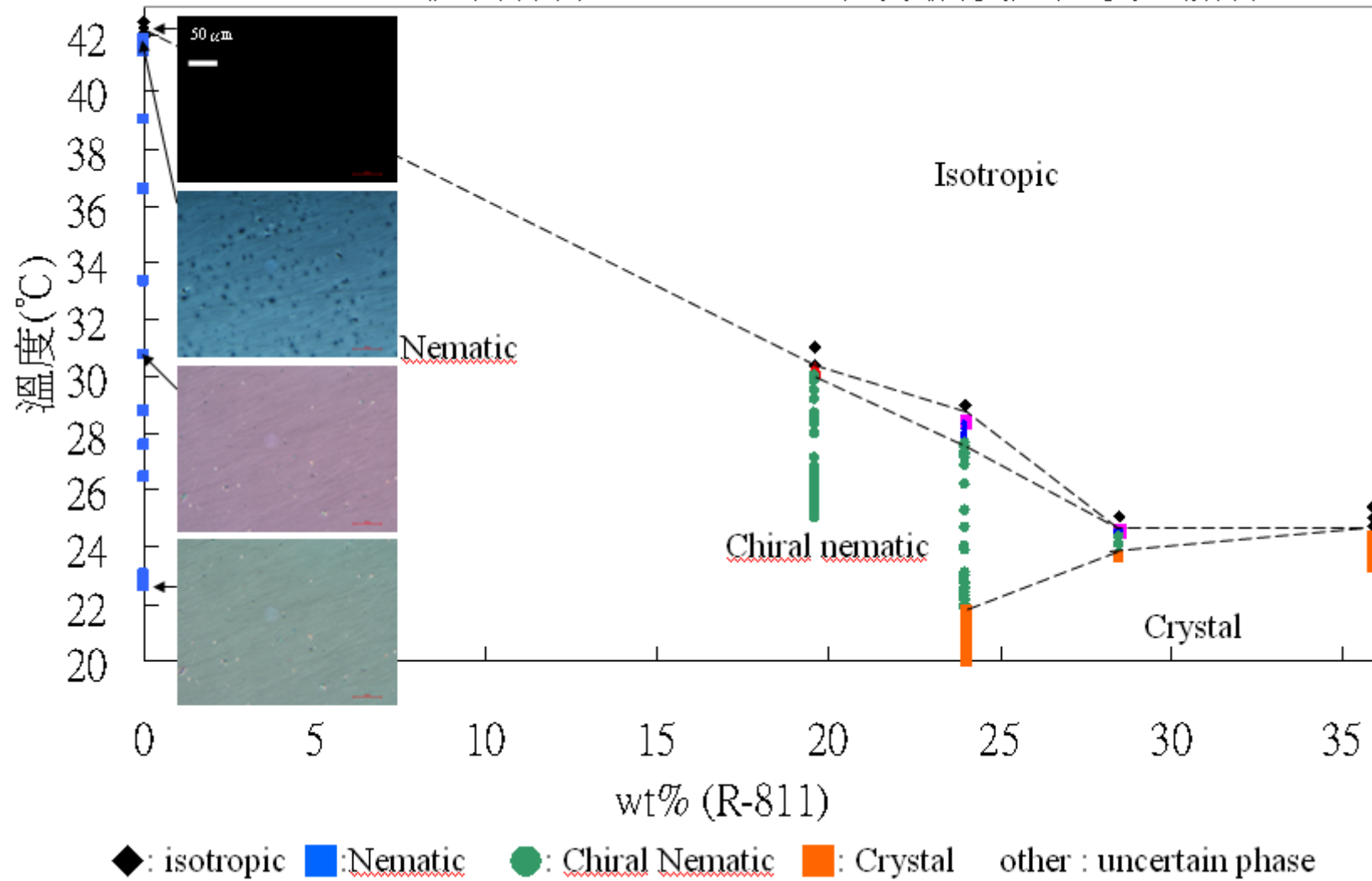


圖 3-2-2 7CB 外加 R-811 之灌入 AP 樣品之降溫過程相變圖
 左方為 100% 7CB 在不同溫度下之偏光顯微鏡圖

7CB&R-811混合樣品 之R-811重量百分濃度與溫度之關係
(局部放大)

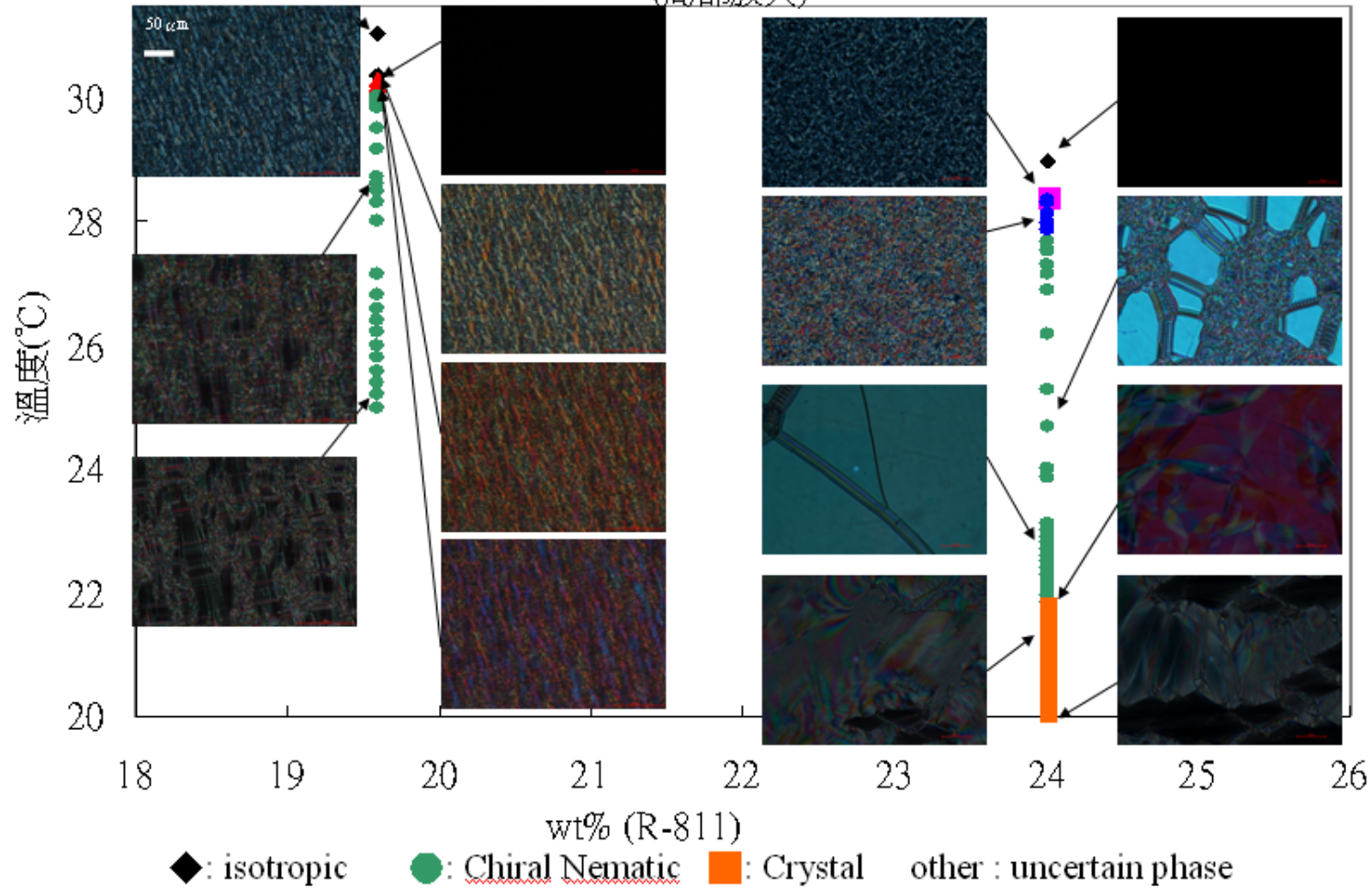


圖 3-2-3 7CB 外加 R-811 之灌入 AP 樣品之降溫過程相變圖 (局部放大)。
左方為 19.6%R-811、右方為 24.0%R-811 在不同溫度下之偏光顯微鏡圖。

7CB&R-811混合樣品 之R-811重量百分濃度與溫度之關係
(局部放大)

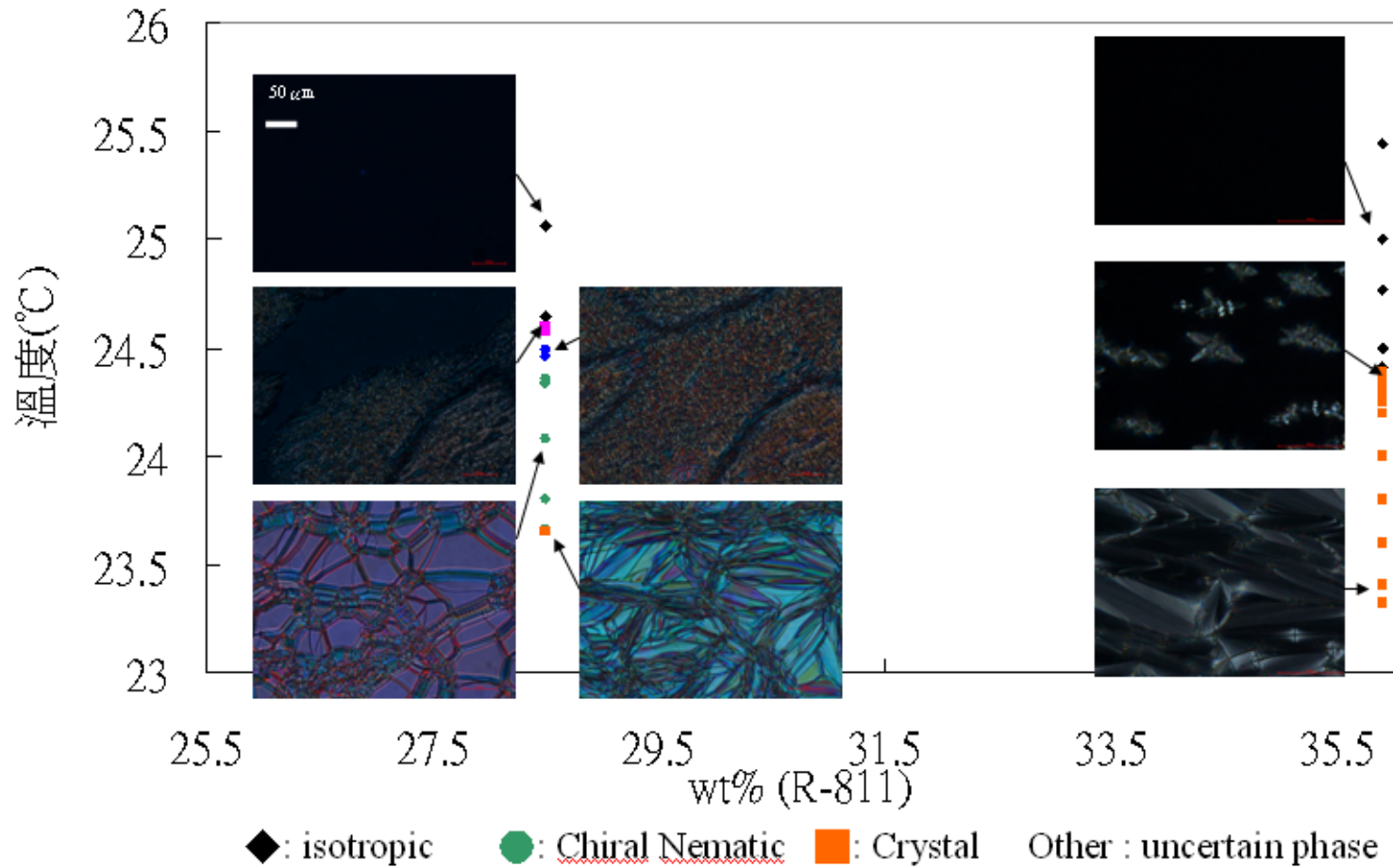


圖 3-2-4 7CB 外加 R-811 之灌入 AP 樣品之降溫過程相變圖 (局部放大)
左方為 28.5%R-811、右方為 35.9%R-811 在不同溫度下之偏光顯微鏡圖。

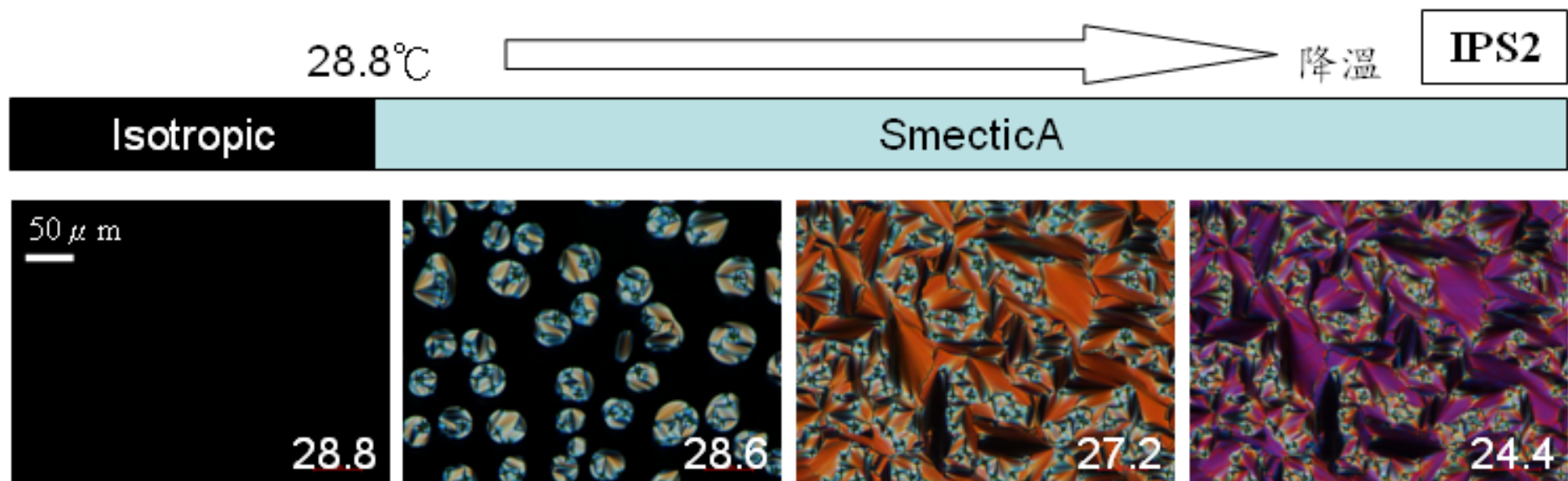


圖 3-2-5 IPS2 樣品降溫偏光顯微鏡圖 降溫速率：0.05°C/min

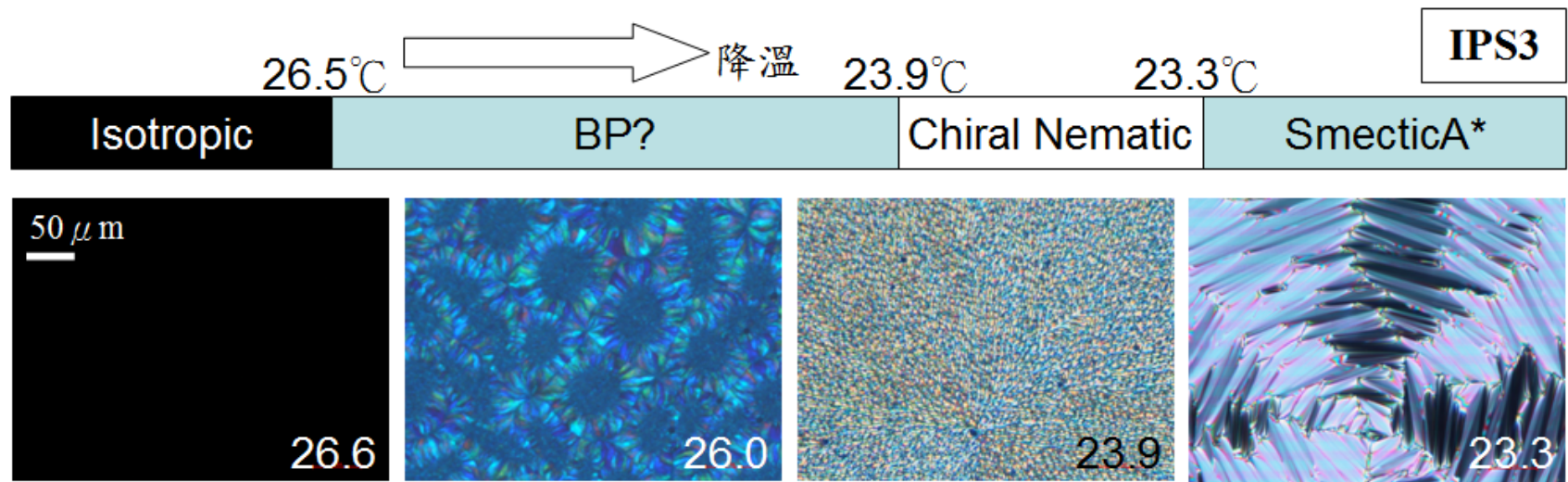


圖 3-2-6 IPS3 樣品降溫偏光顯微鏡圖 降溫速率： $0.01^{\circ}\text{C}/\text{min}$

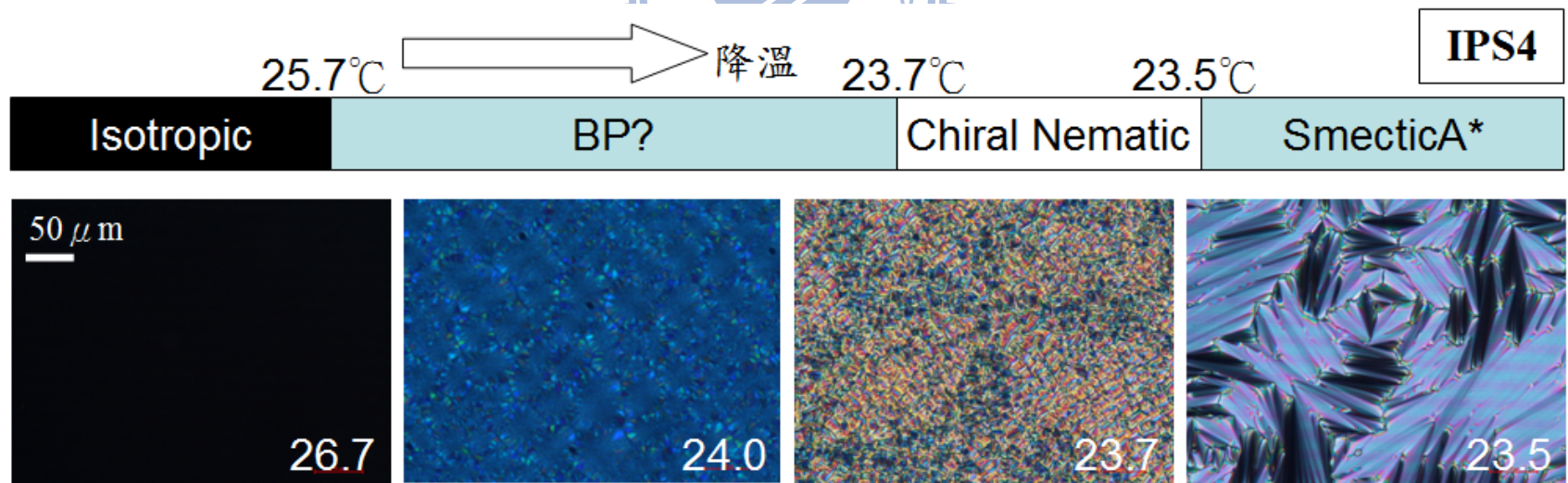


圖 3-2-7 IPS4 樣品降溫偏光顯微鏡圖 降溫速率： $0.03^{\circ}\text{C}/\text{min}$

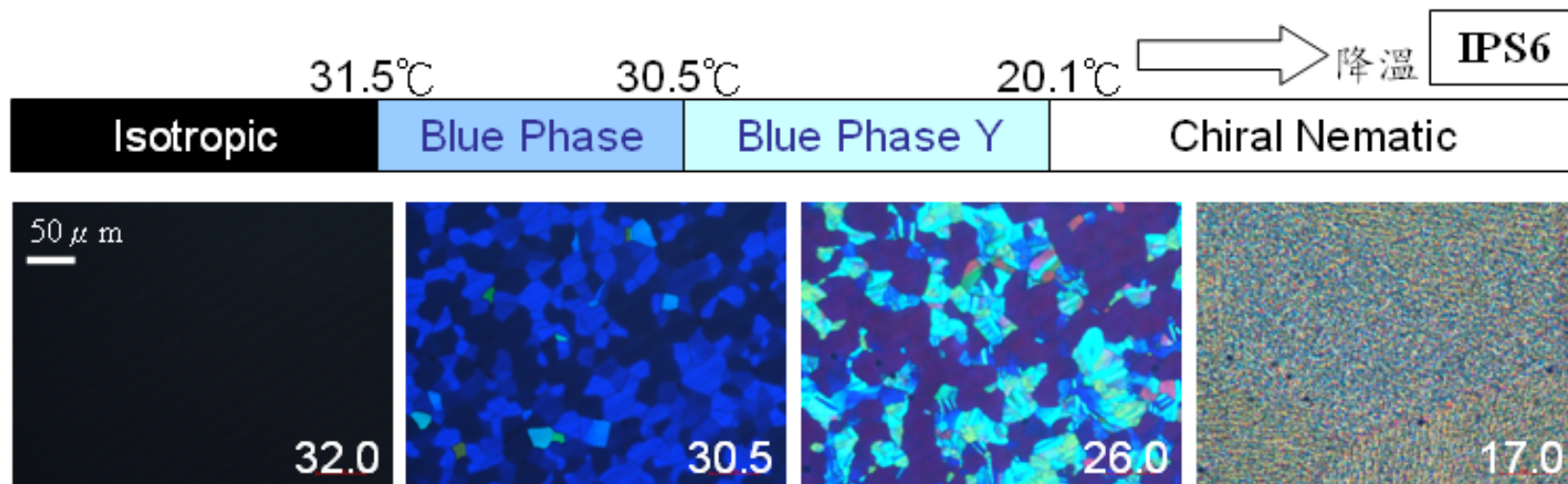


圖 3-2-8 IPS6 樣品降溫偏光顯微鏡圖 降溫速率：表 4-1-2

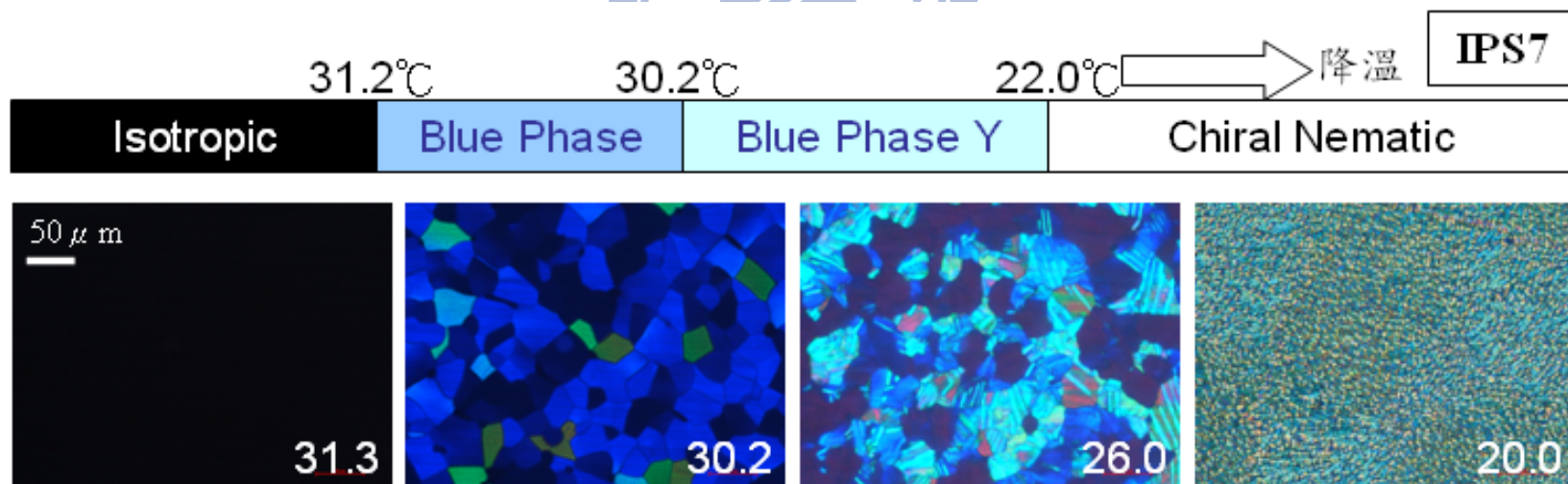


圖 3-2-9 IPS7 樣品降溫偏光顯微鏡圖 降溫速率：表 4-1-2

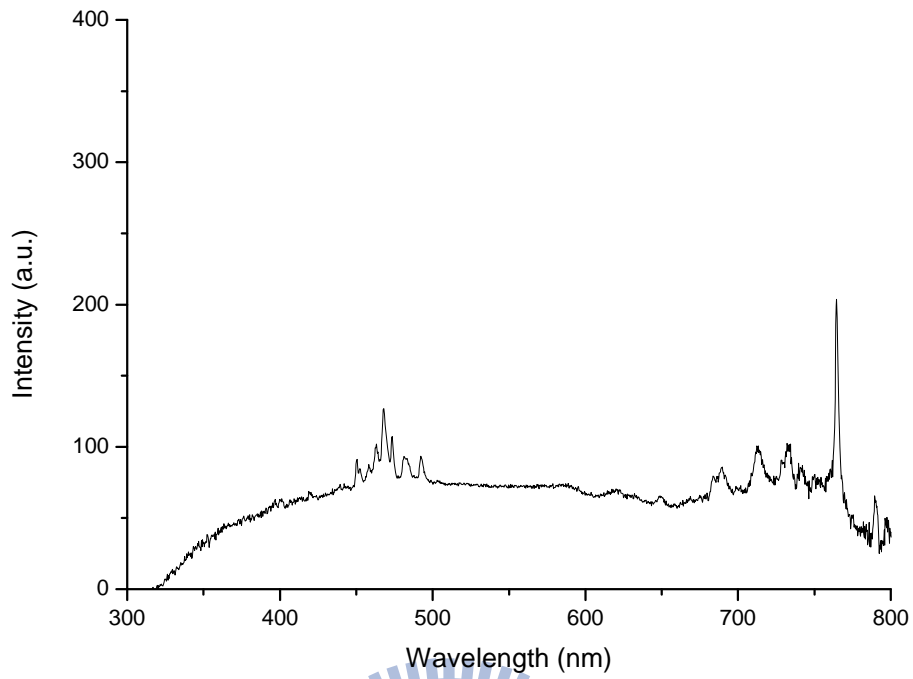


圖 3-3-1 氙燈光譜圖

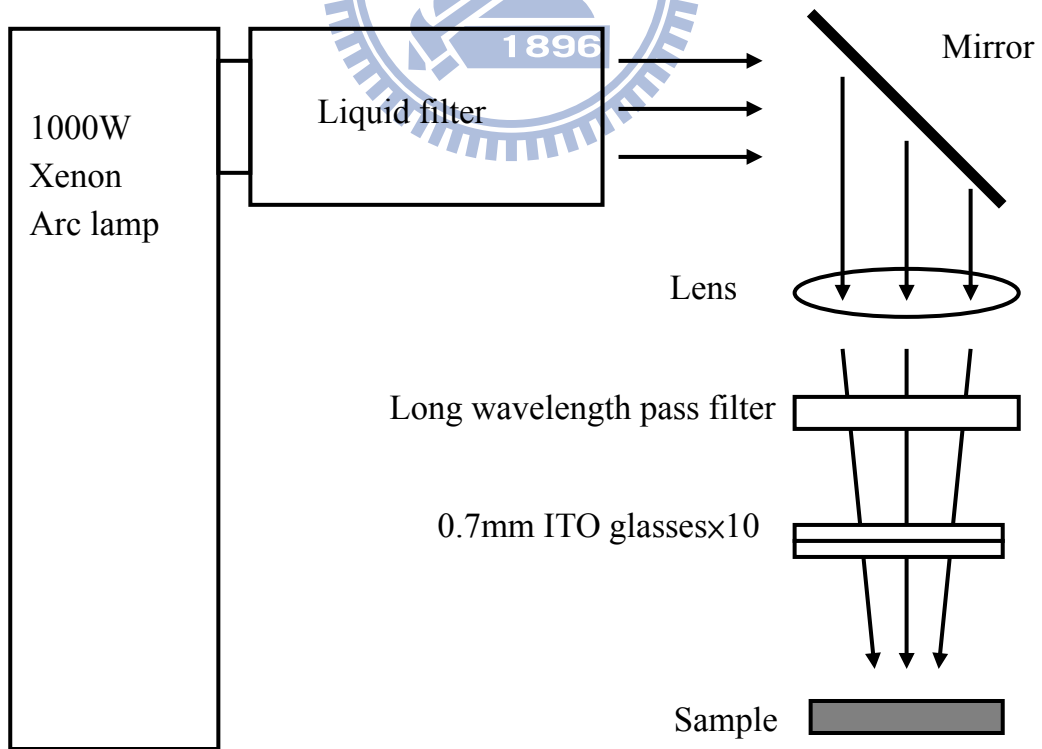


圖 3-3-2 氙燈照光系統示意圖

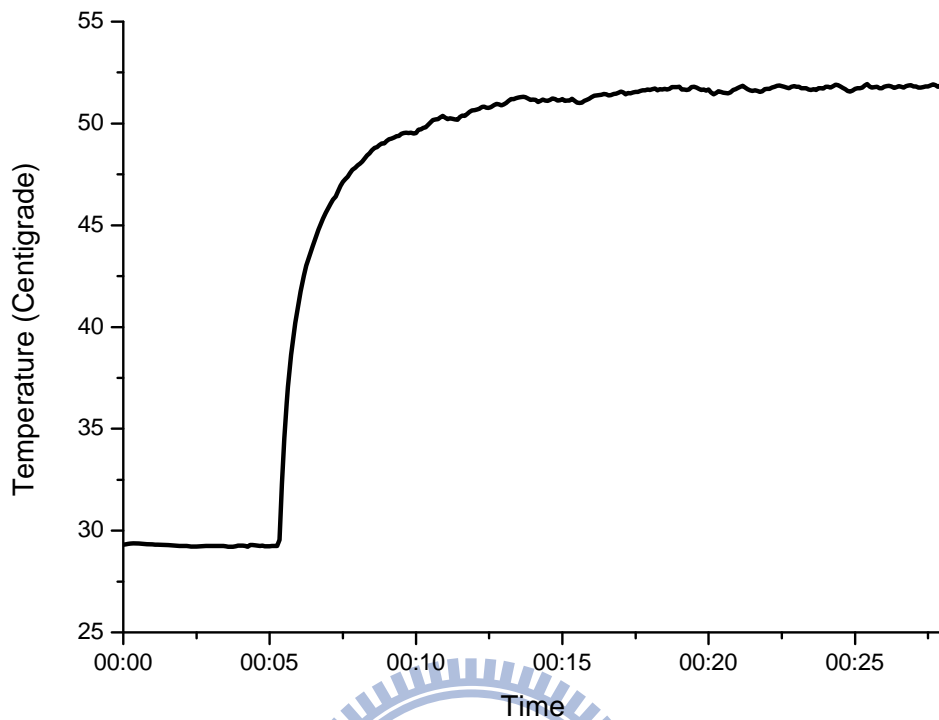


圖 3-3-3 空樣品照光後之溫度變化

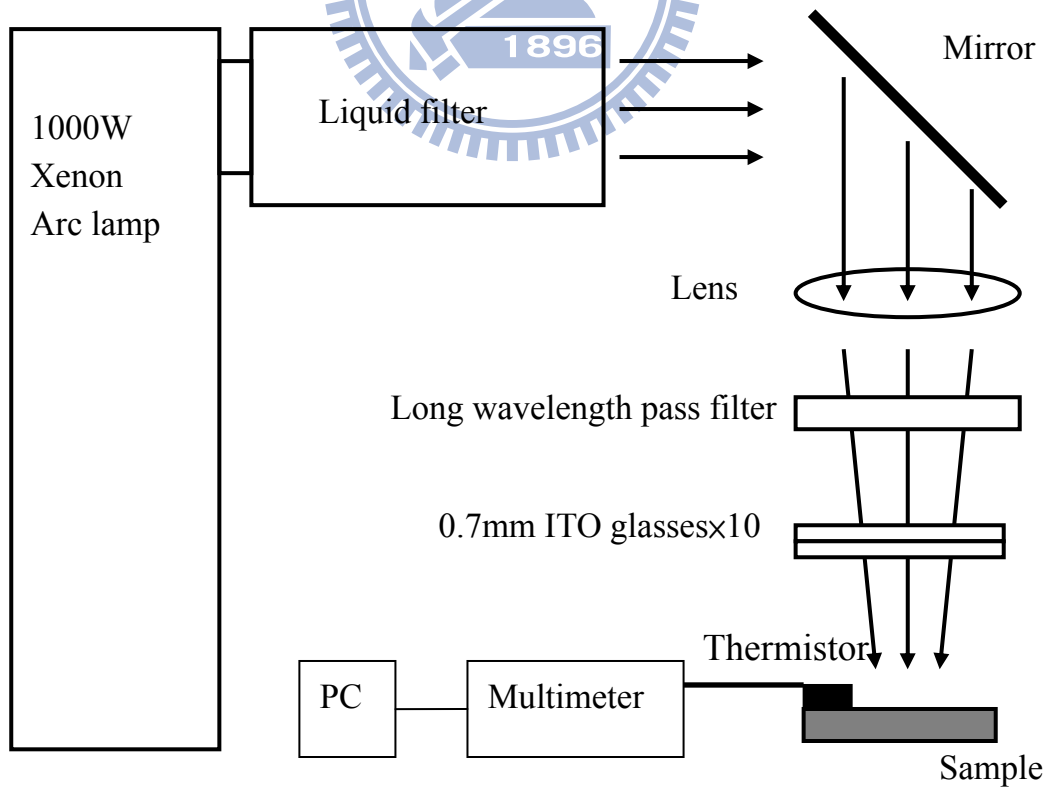


圖 3-3-4 樣品照光之溫度變化之測量方法

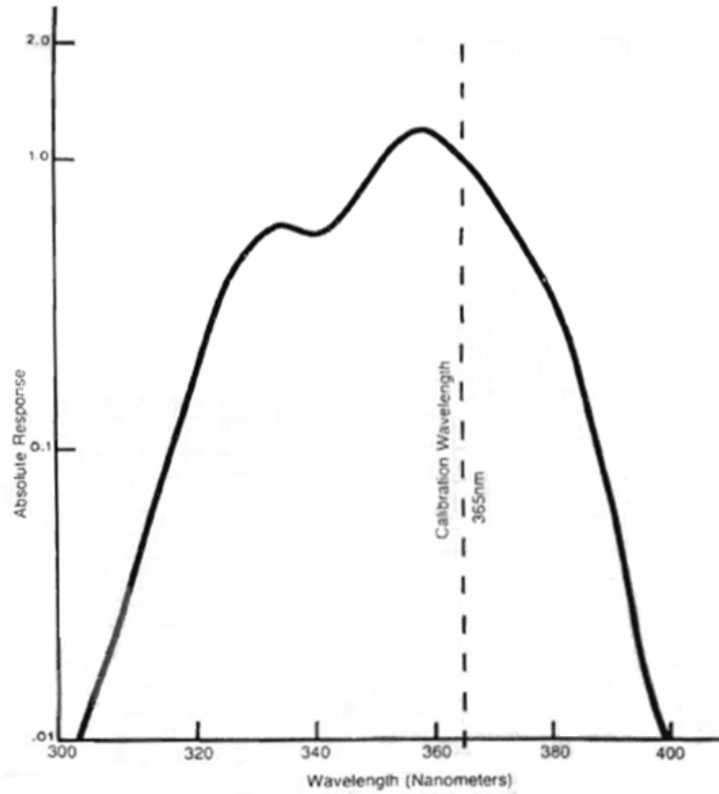


圖 3-3-5 感測器 UVX-36 之光譜靈敏度

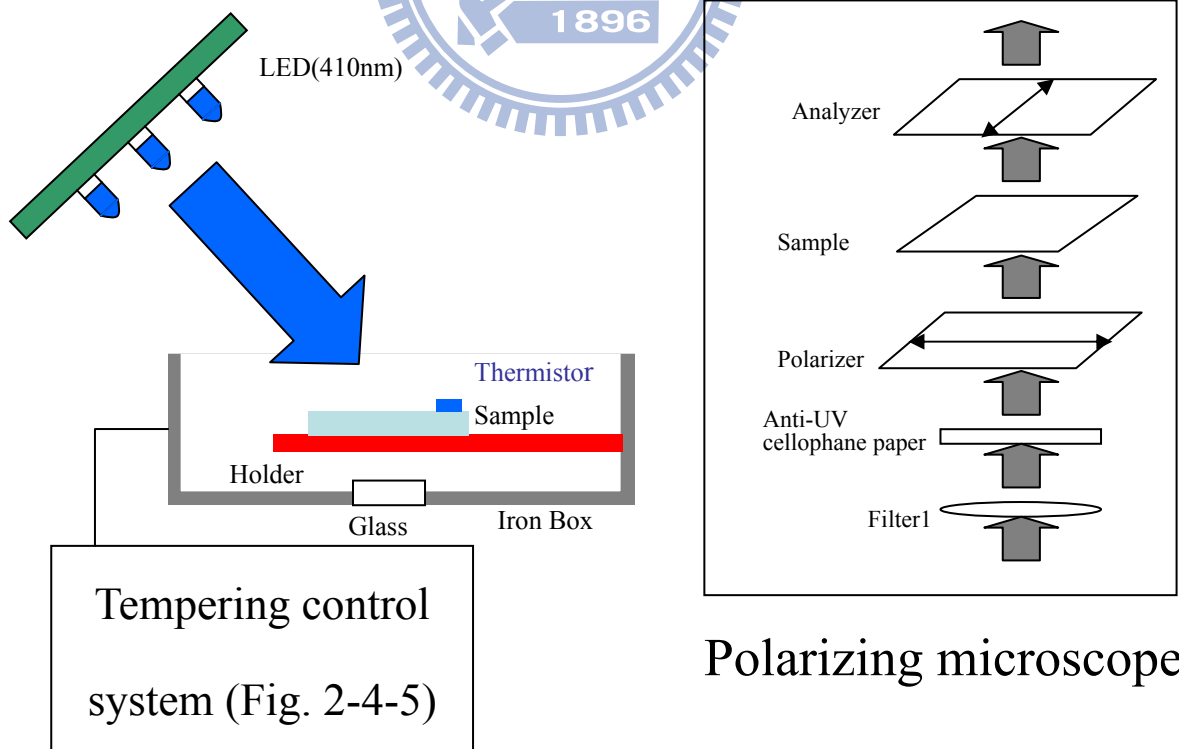


圖 3-3-6 LED 照光系統示意圖

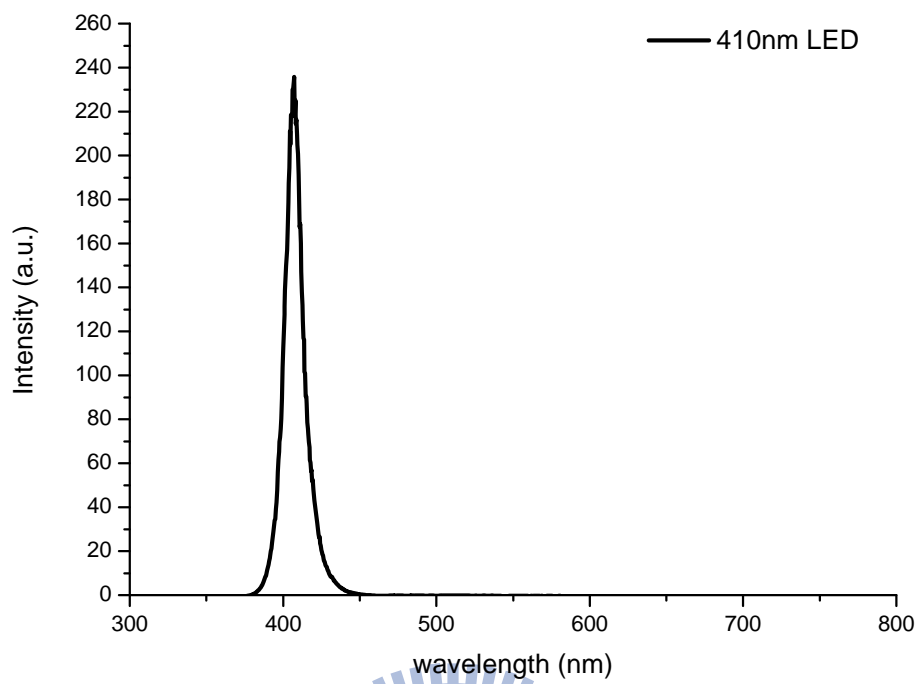


圖 3-3-7 410nm LED 之光譜圖



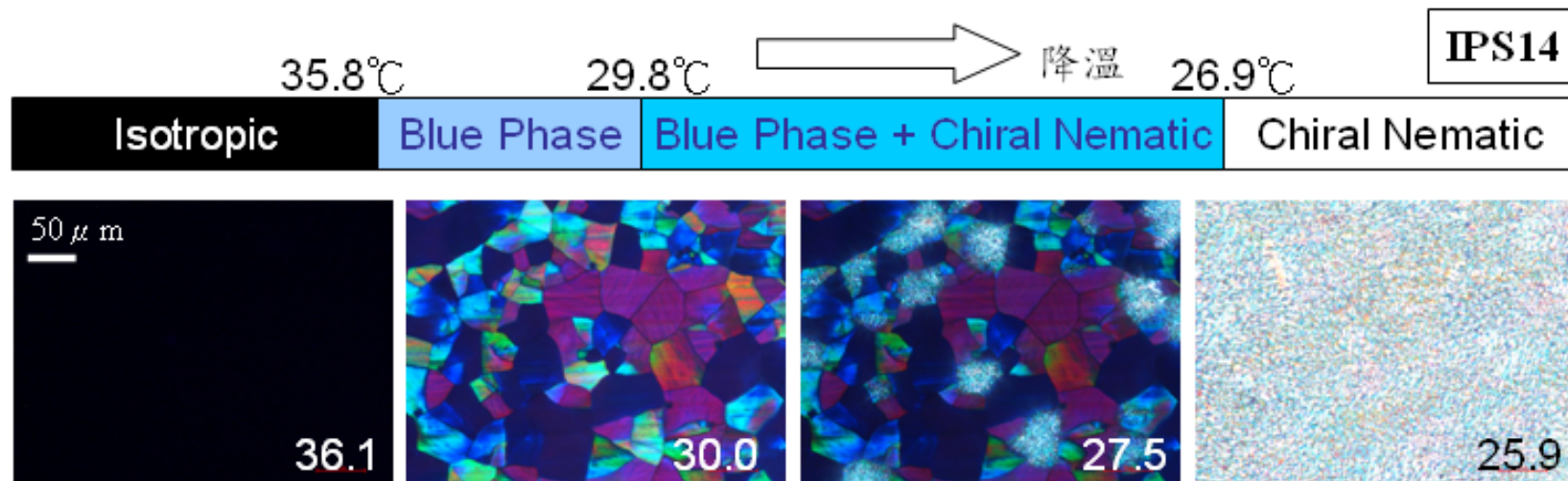


圖 3-4-1 IPS14 樣品降溫偏光顯微鏡圖 降溫速率：0.06°C/min

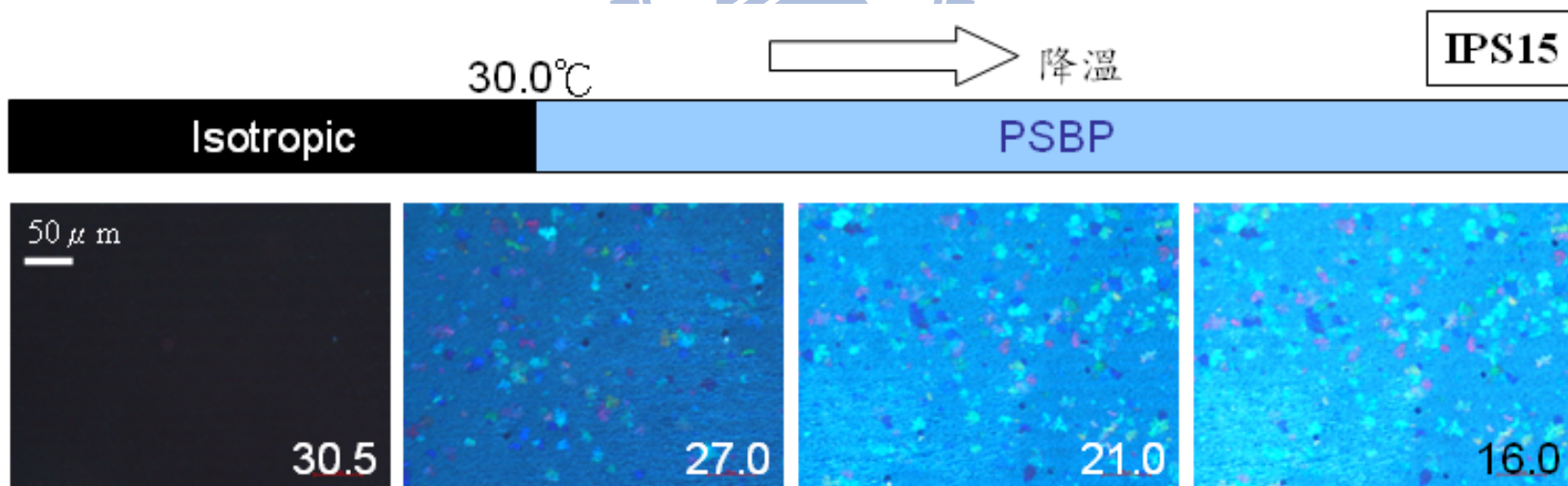


圖 3-4-2 IPS15 樣品降溫偏光顯微鏡圖 降溫速率：0.07°C/min

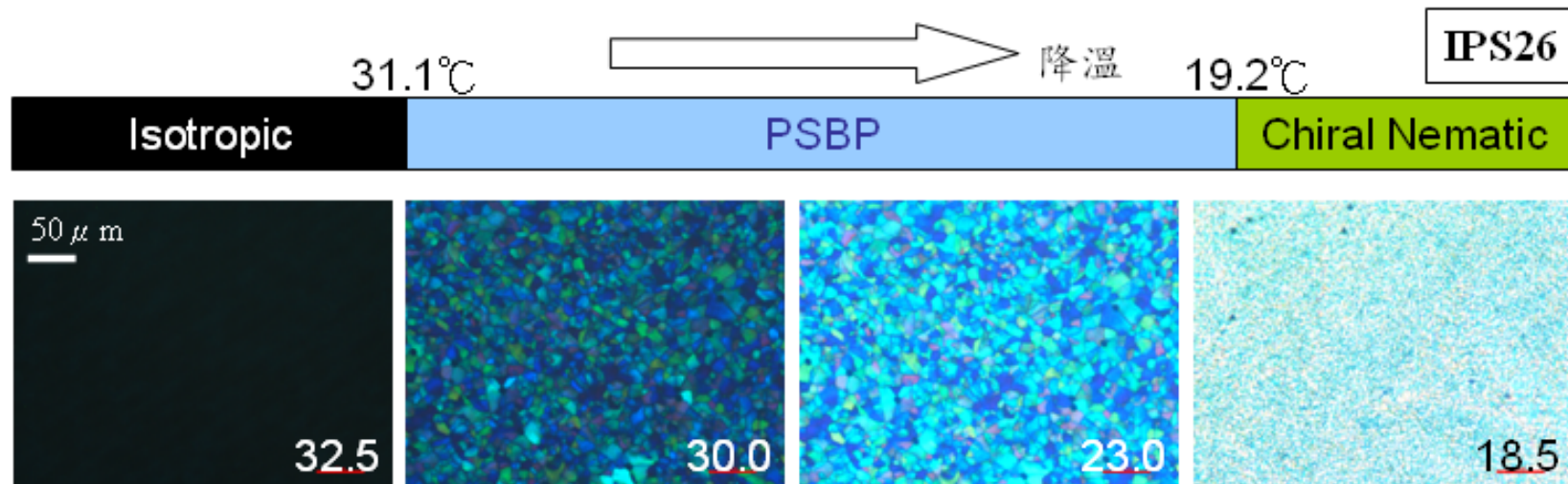


圖 3-4-3 IPS26 樣品降溫偏光顯微鏡圖 降溫速率：0.16°C/min

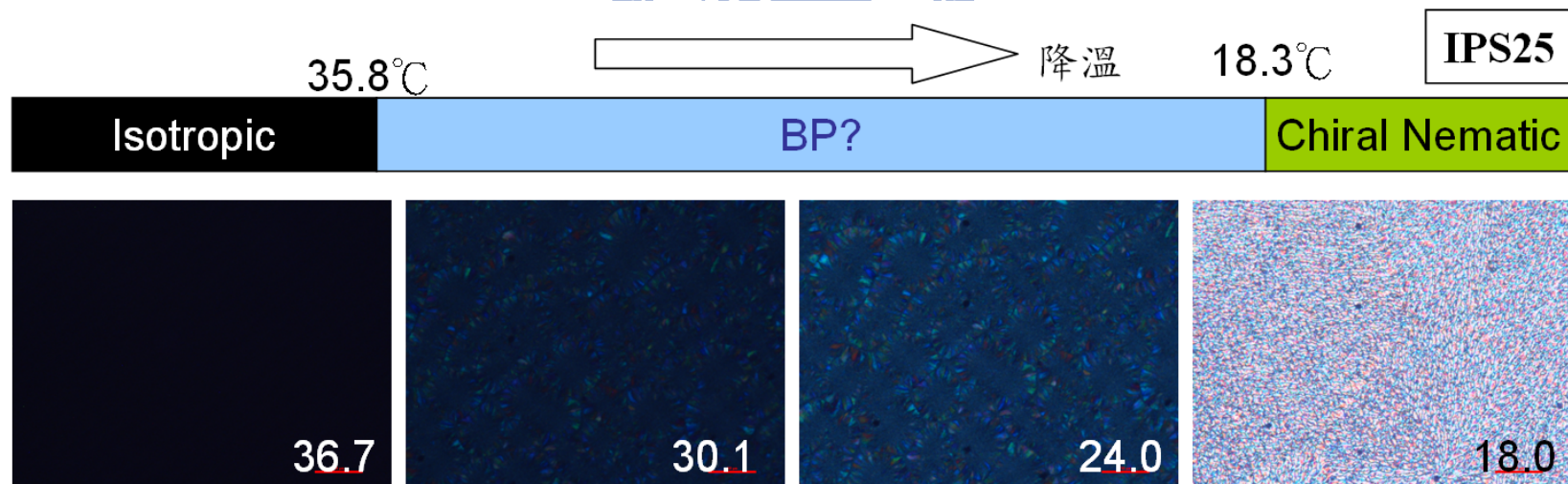


圖 3-4-4 IPS25 樣品降溫偏光顯微鏡圖 降溫速率：0.07°C/min

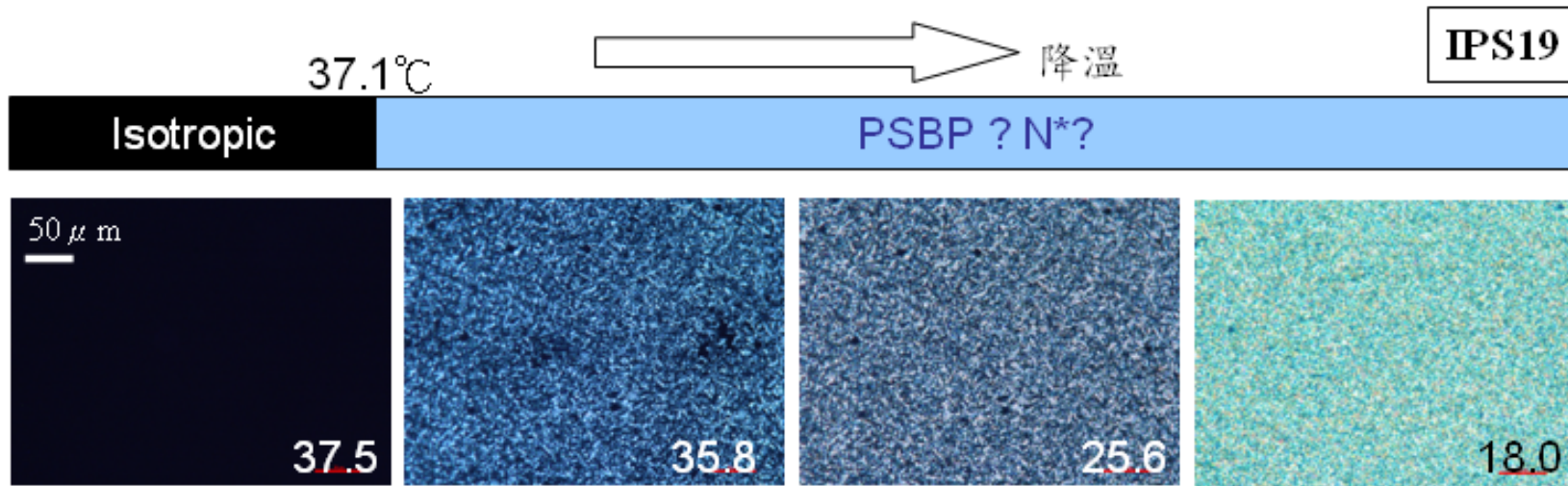


圖 3-4-5 IPS19 樣品降溫偏光顯微鏡圖 降溫速率：0.09°C/min

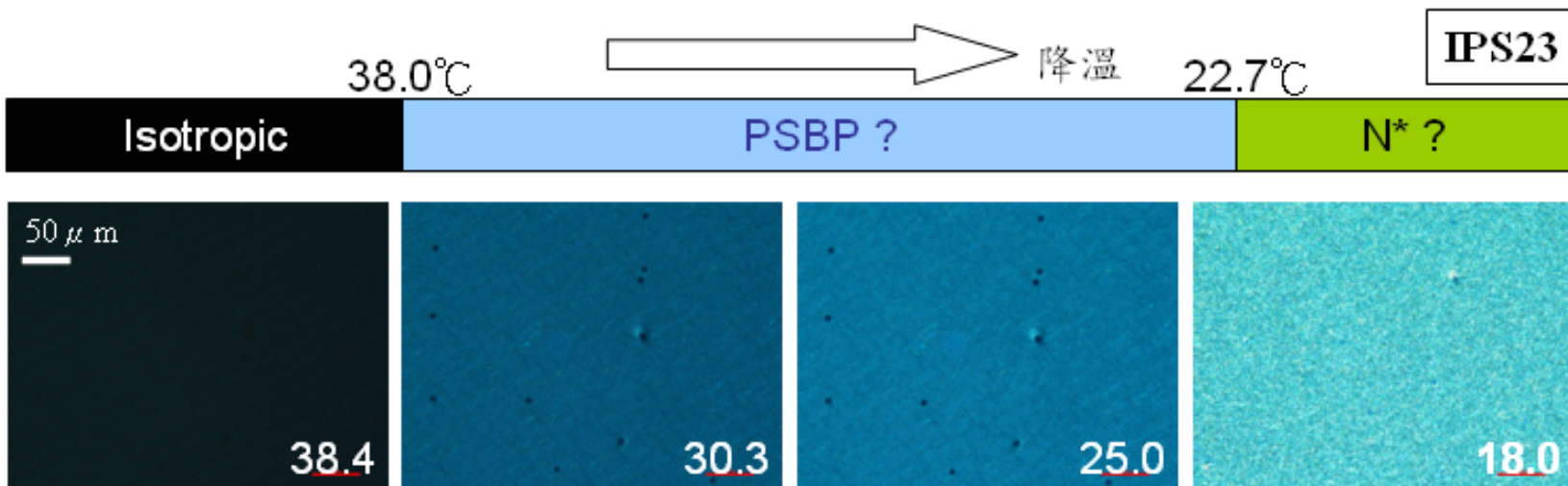


圖 3-4-6 IPS23 樣品降溫偏光顯微鏡圖 降溫速率：0.16°C/min

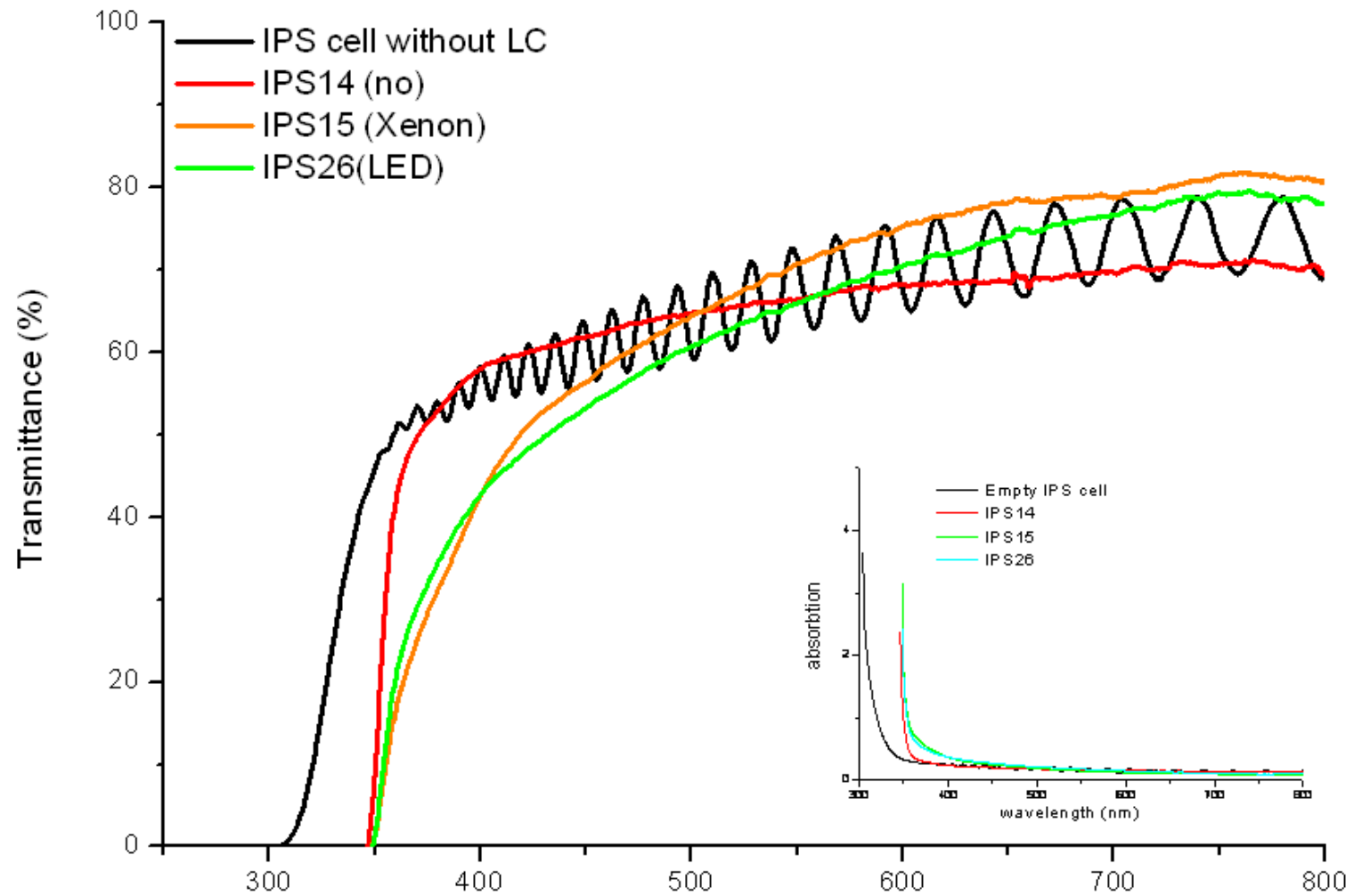


圖 3-4-7 液晶編號為 com11 之穿透光譜(無加入 EHA)，Reference 為空氣，
 樣品編號後面的括號內為 no 表示樣品未進行光聚合、
 Xenon 表示樣品以氙燈進行光聚合、LED 表示樣品以 LED 燈進行光聚合。

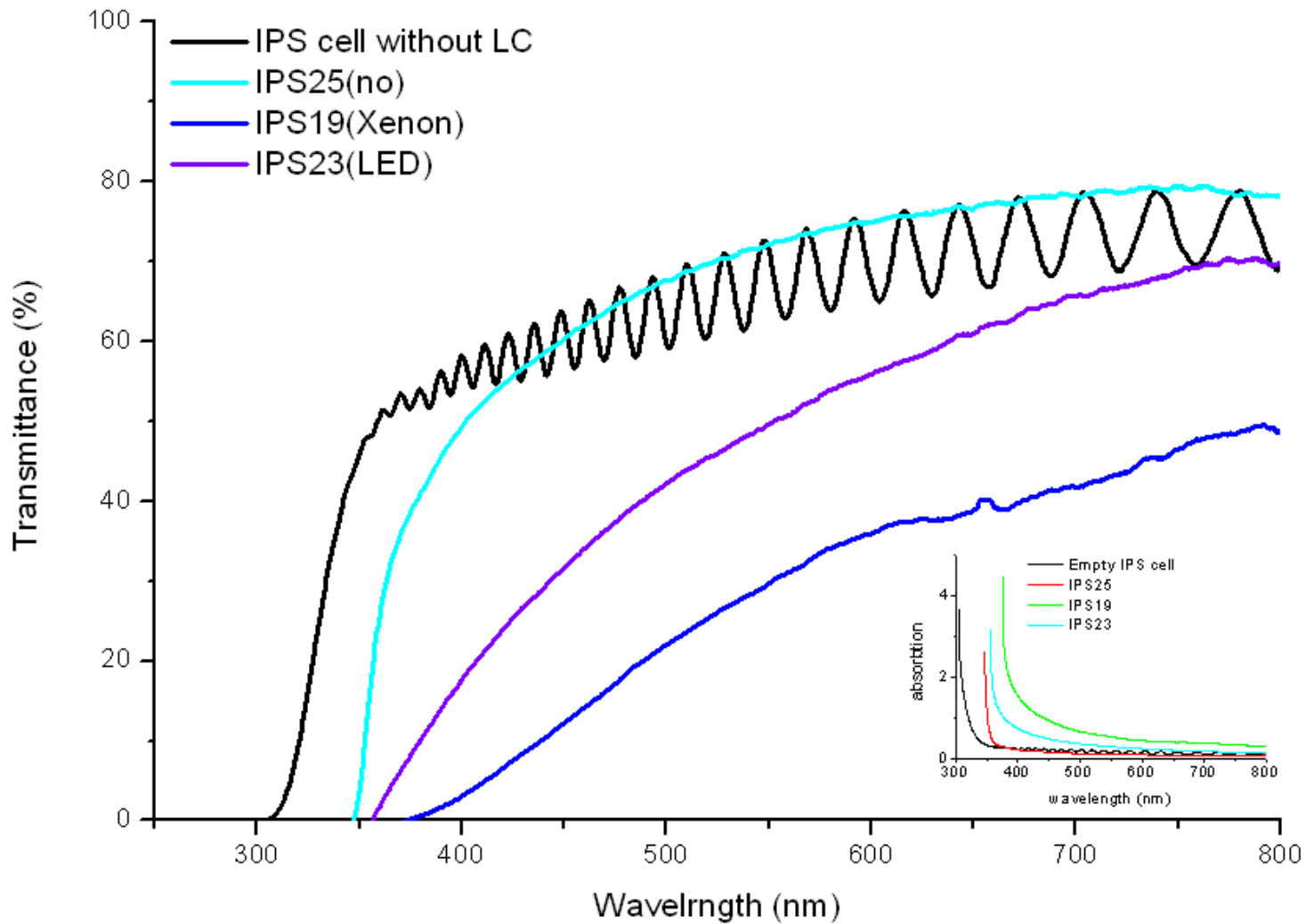


圖 3-4-8 液晶編號為 com13 之穿透光譜(加入 EHA)，Reference 為空氣，
 樣品編號後面的括號內為 no 表示樣品未進行光聚合、
 Xenon 表示樣品以氙燈進行光聚合、LED 表示樣品以 LED 燈進行光聚合。

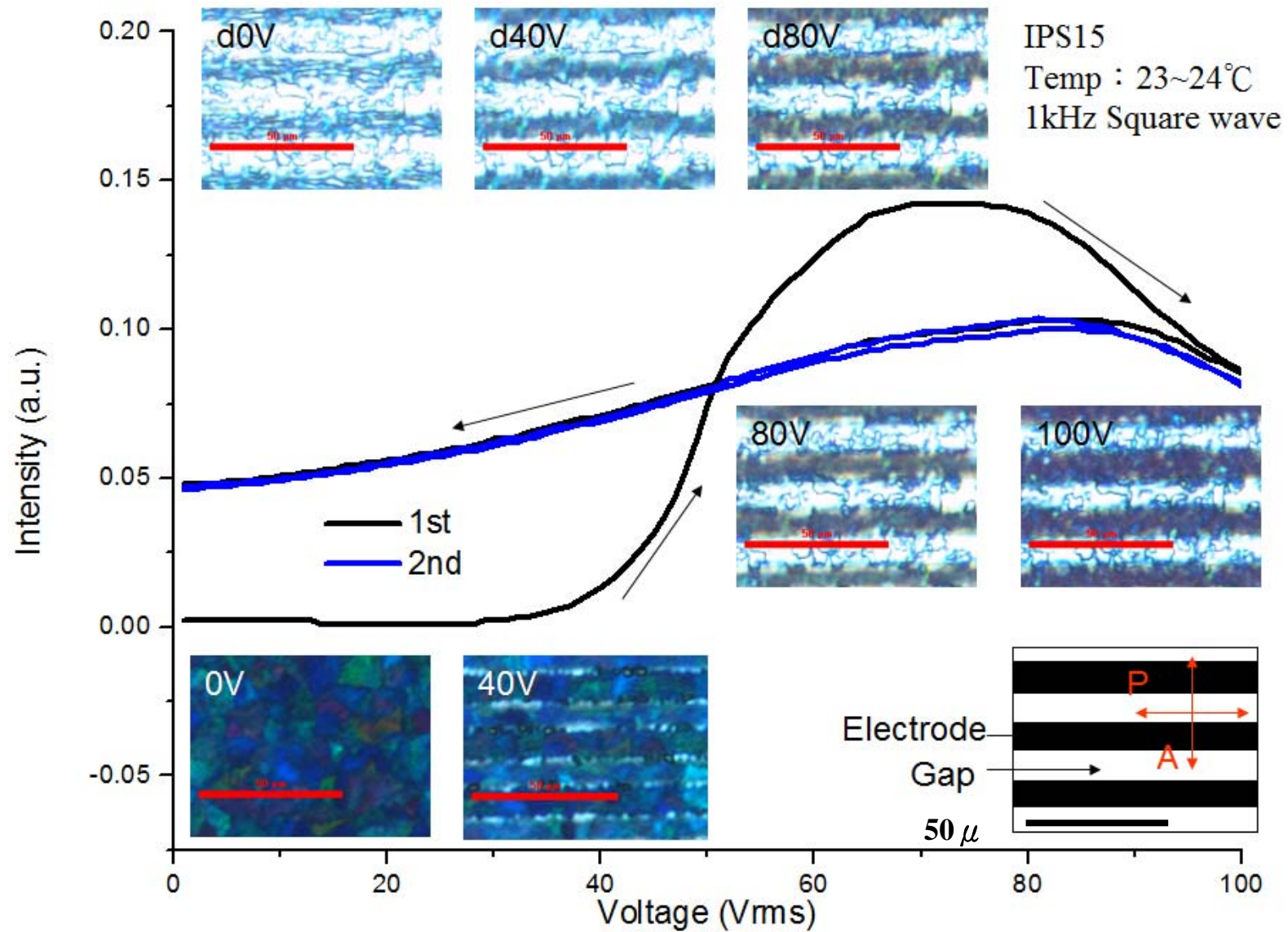


圖 4-1-1 IPS15 樣品溫度在 23~24°C 之 V-I 圖及偏光顯微鏡圖

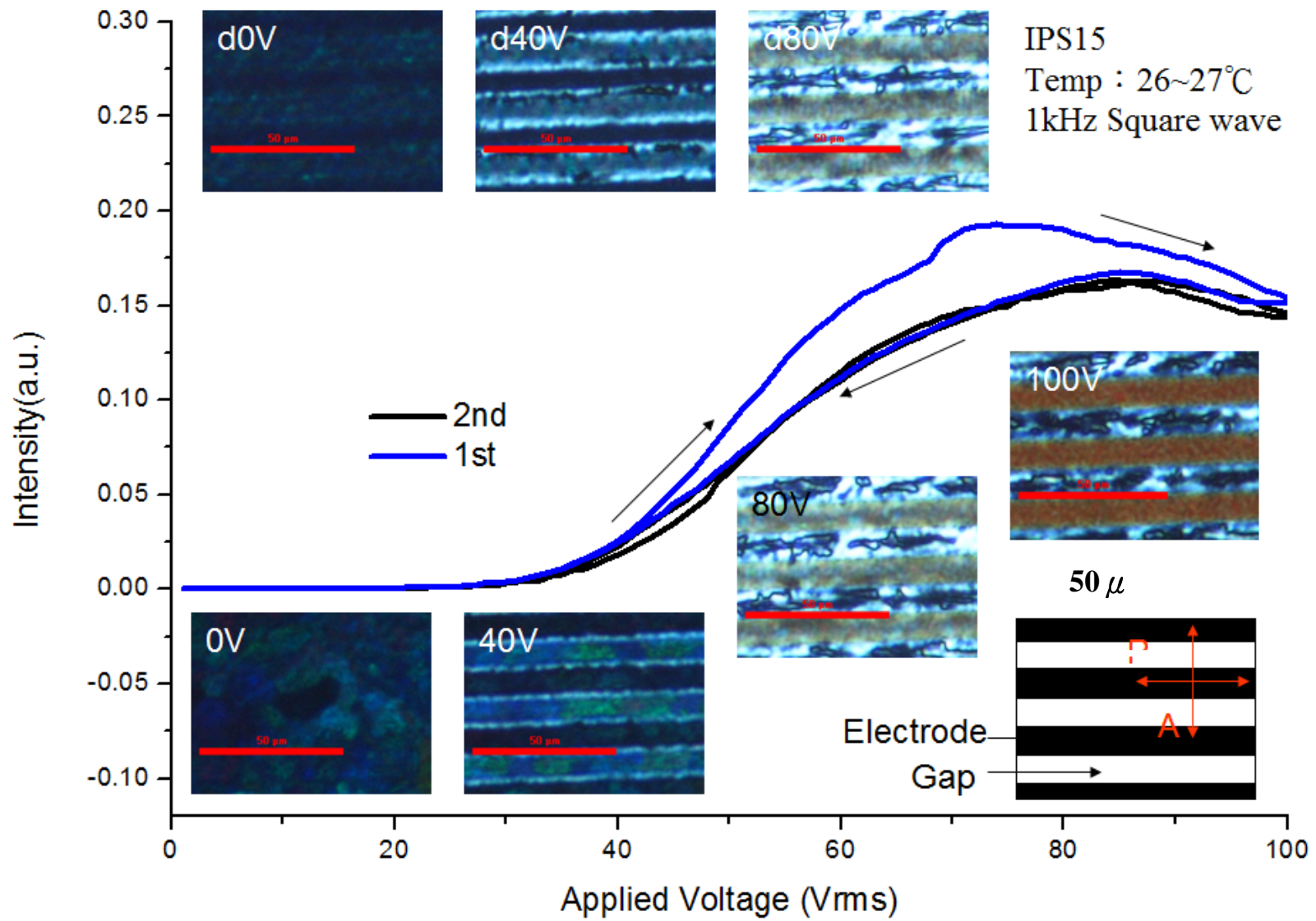


圖 4-1-2 IPS15 樣品溫度在 26~27°C 之 V-I 圖及偏光顯微鏡圖

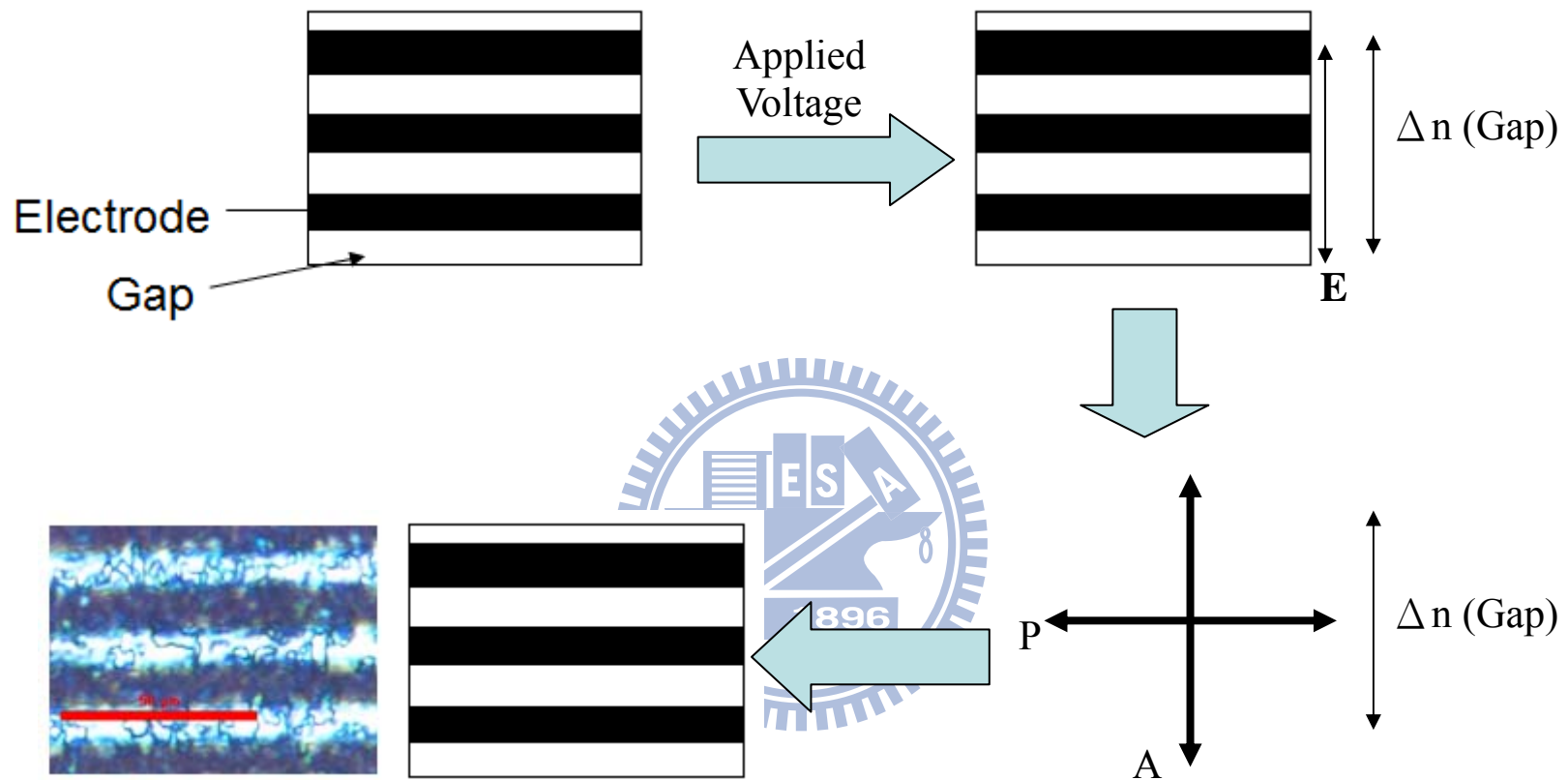
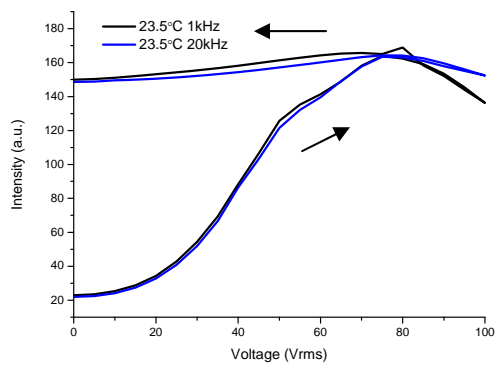
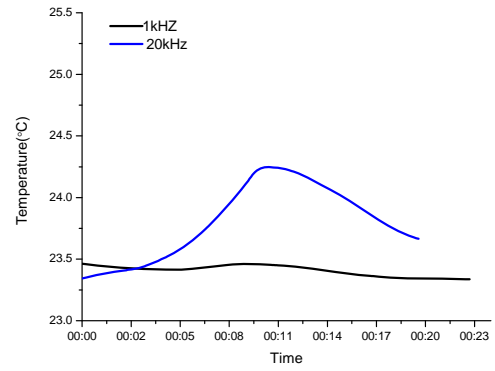


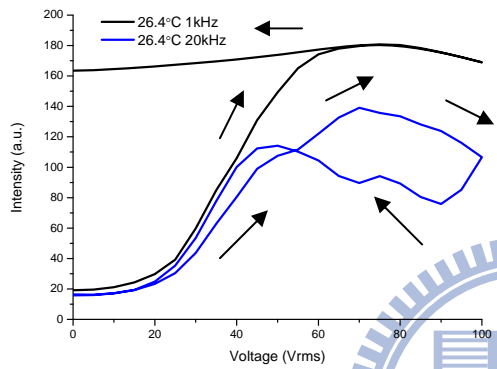
圖 4-1-3 IPS15 樣品外加大電壓之偏光顯微鏡說明圖，此處電極與方向與 polarizer 平行。
 Gap 處電場誘發之 Δn 與 Analyzer 平行，因此為暗態。
 Electrode 處由於 Blue Phase 結構被破壞，因此呈現亮態。



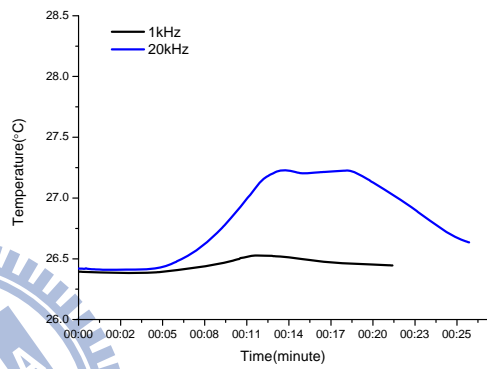
(a)



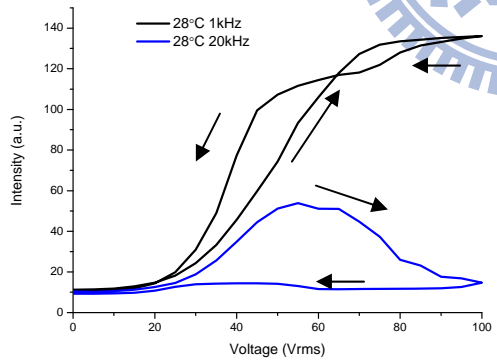
(b)



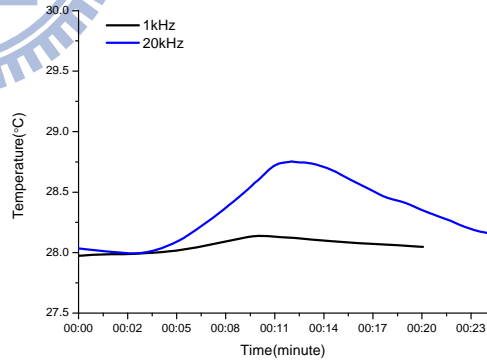
(c)



(d)



(e)



(f)

圖 4-1-4 IPS15 樣品之

- (a) 控溫在 23.5°C 下，1kHz 及 20kHz 之 V-I 圖
- (b) (a)圖外加電壓時之樣品溫度變化曲線圖
- (c) 控溫在 26.4°C 下，1kHz 及 20kHz 之 V-I 圖
- (d) (c)圖外加電壓時之樣品溫度變化曲線圖
- (e) 控溫在 28°C 下，1kHz 及 20kHz 之 V-I 圖
- (f) (e)圖外加電壓時之樣品溫度變化曲線圖

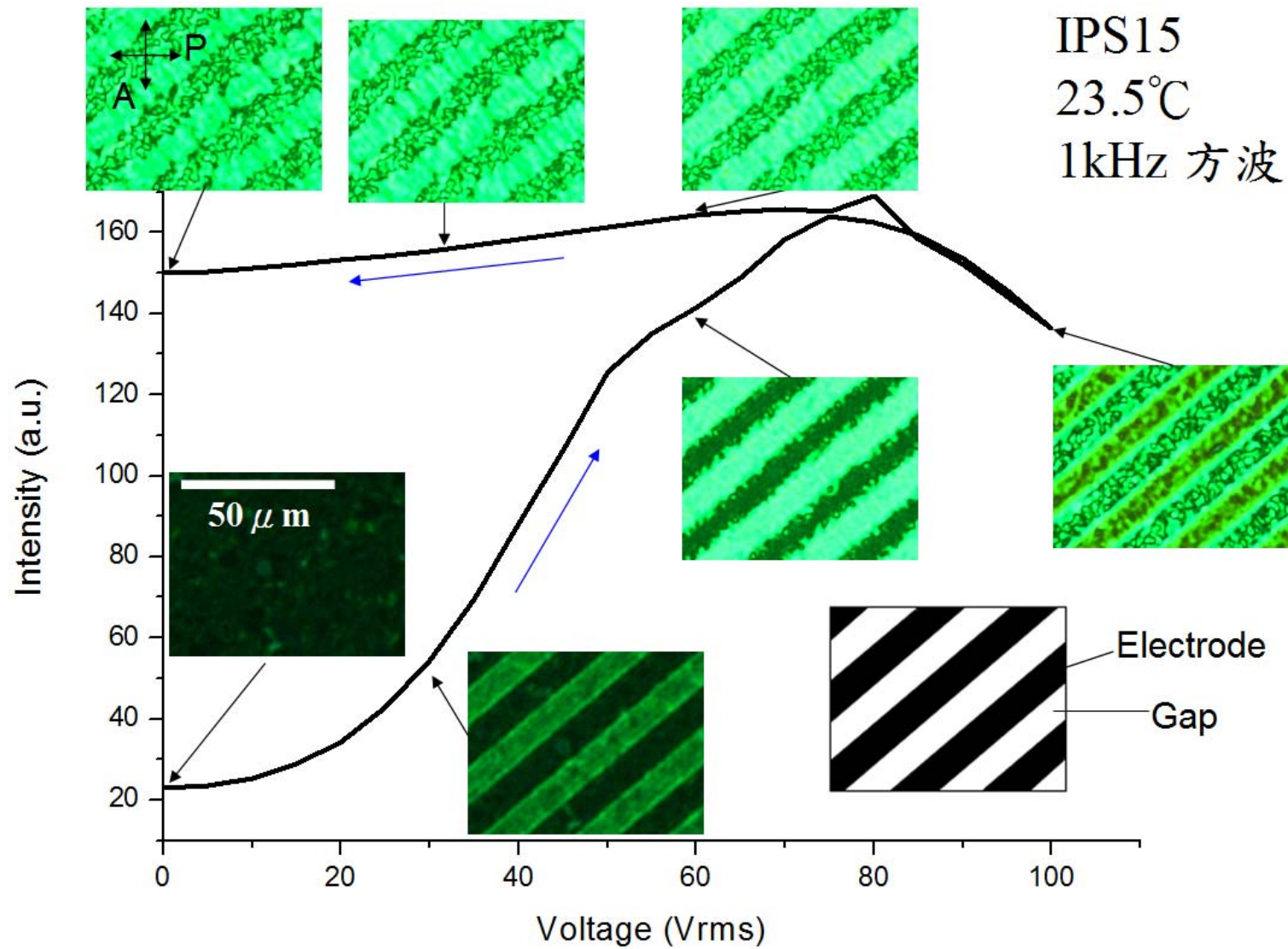


圖 4-1-5 控溫在 23.5°C，外加電壓頻率為 1kHz 方波時之 V-I 圖及偏光顯微鏡圖

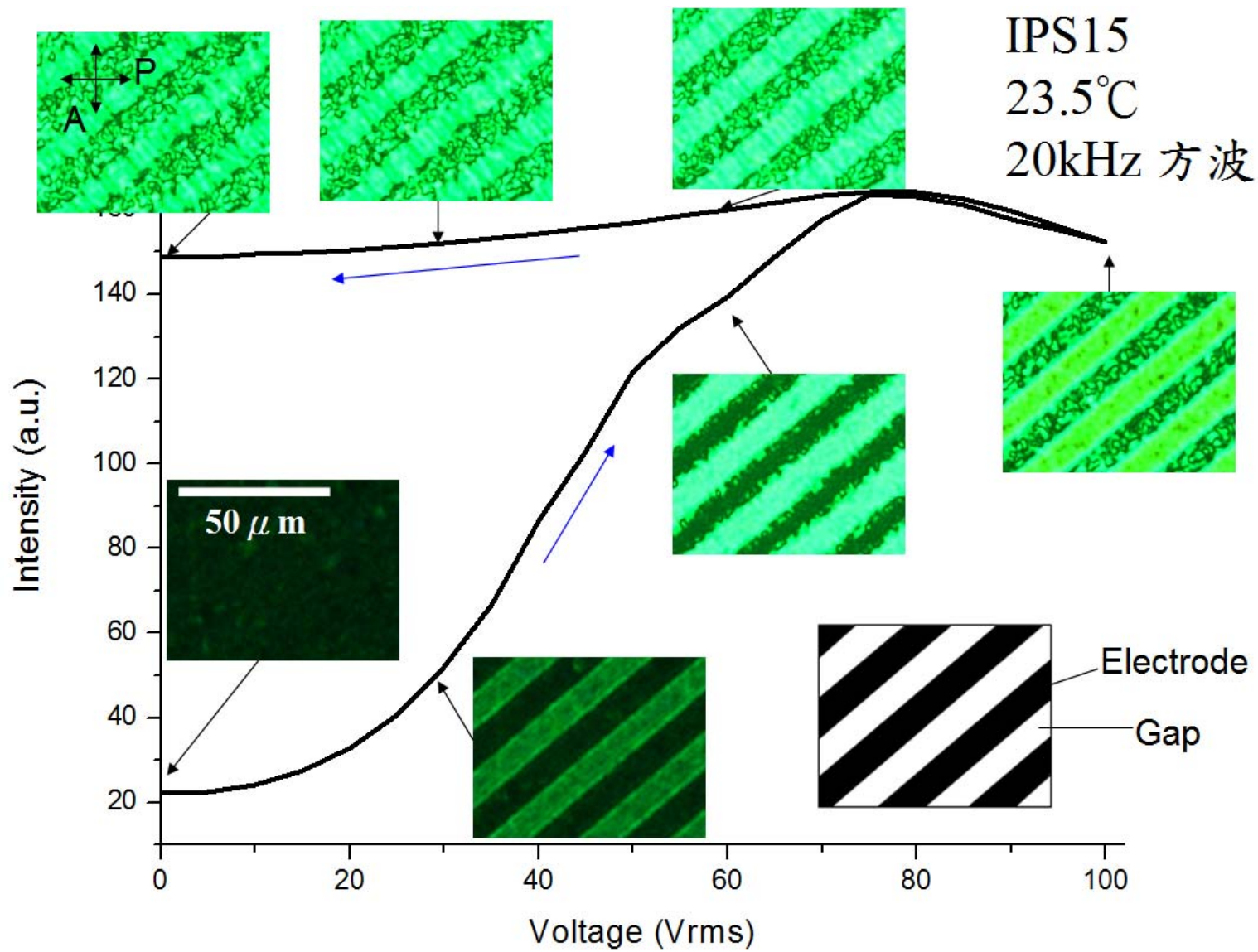


圖 4-1-6 控溫在 23.5°C，外加電壓頻率為 20kHz 方波時之 V-I 圖及偏光顯微鏡圖

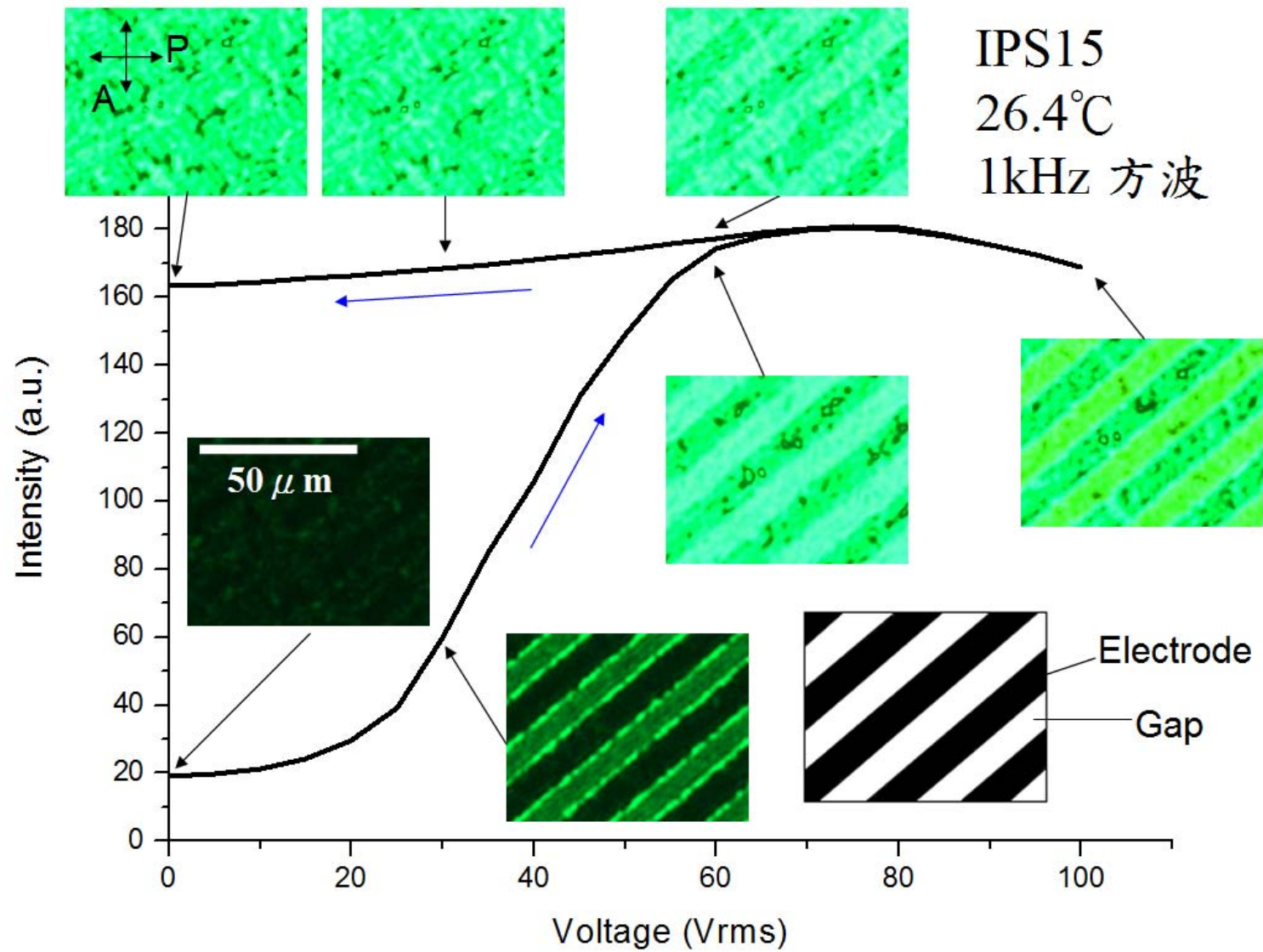


圖 4-1-7 控溫在 26.4°C，外加電壓頻率為 1kHz 方波時之 V-I 圖及偏光顯微鏡圖

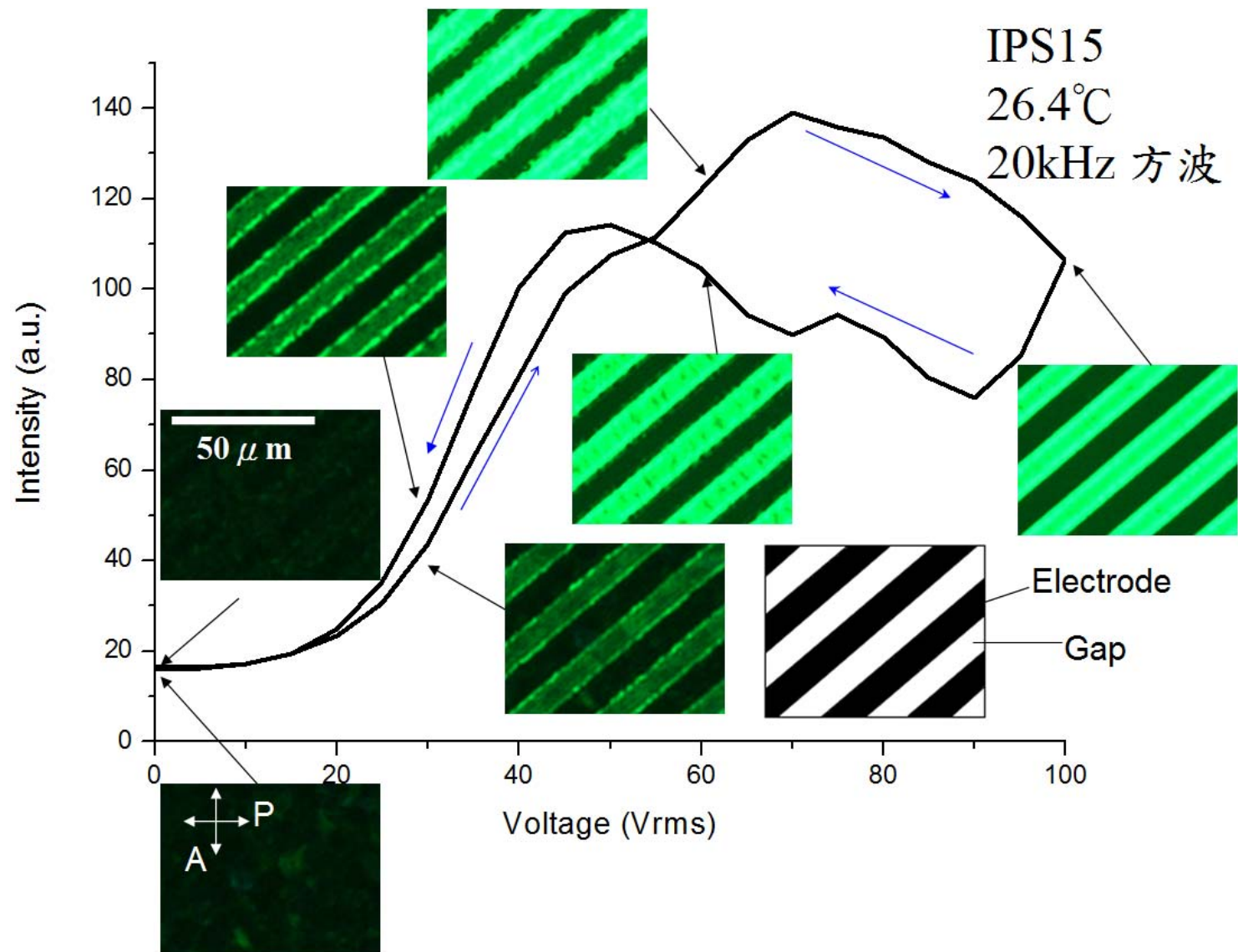


圖 4-1-8 控溫在 26.4°C，外加電壓頻率為 20kHz 方波時之 V-I 圖及偏光顯微鏡圖

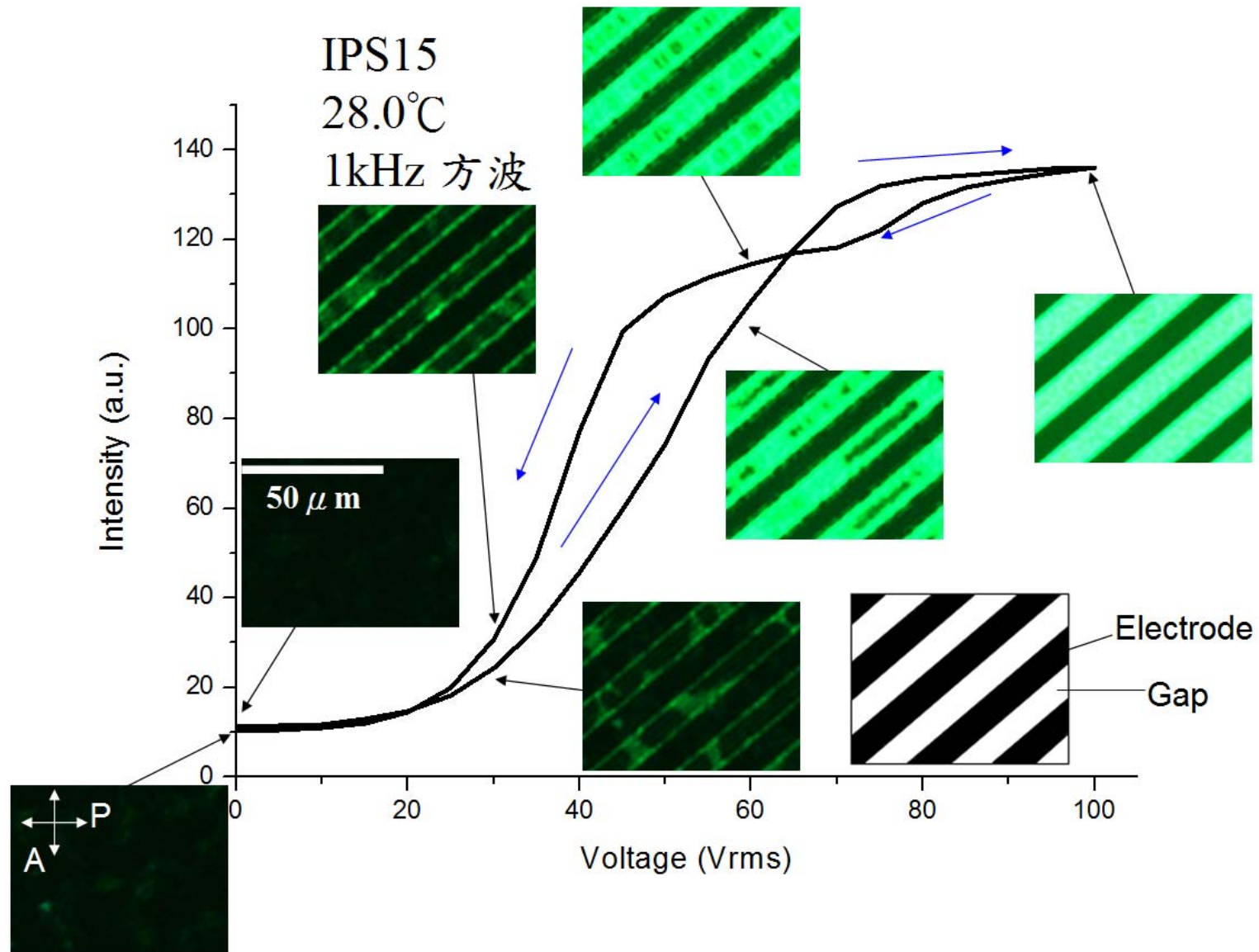


圖 4-1-9 控溫在 28°C，外加電壓頻率為 1kHz 方波時之 V-I 圖及偏光顯微鏡圖

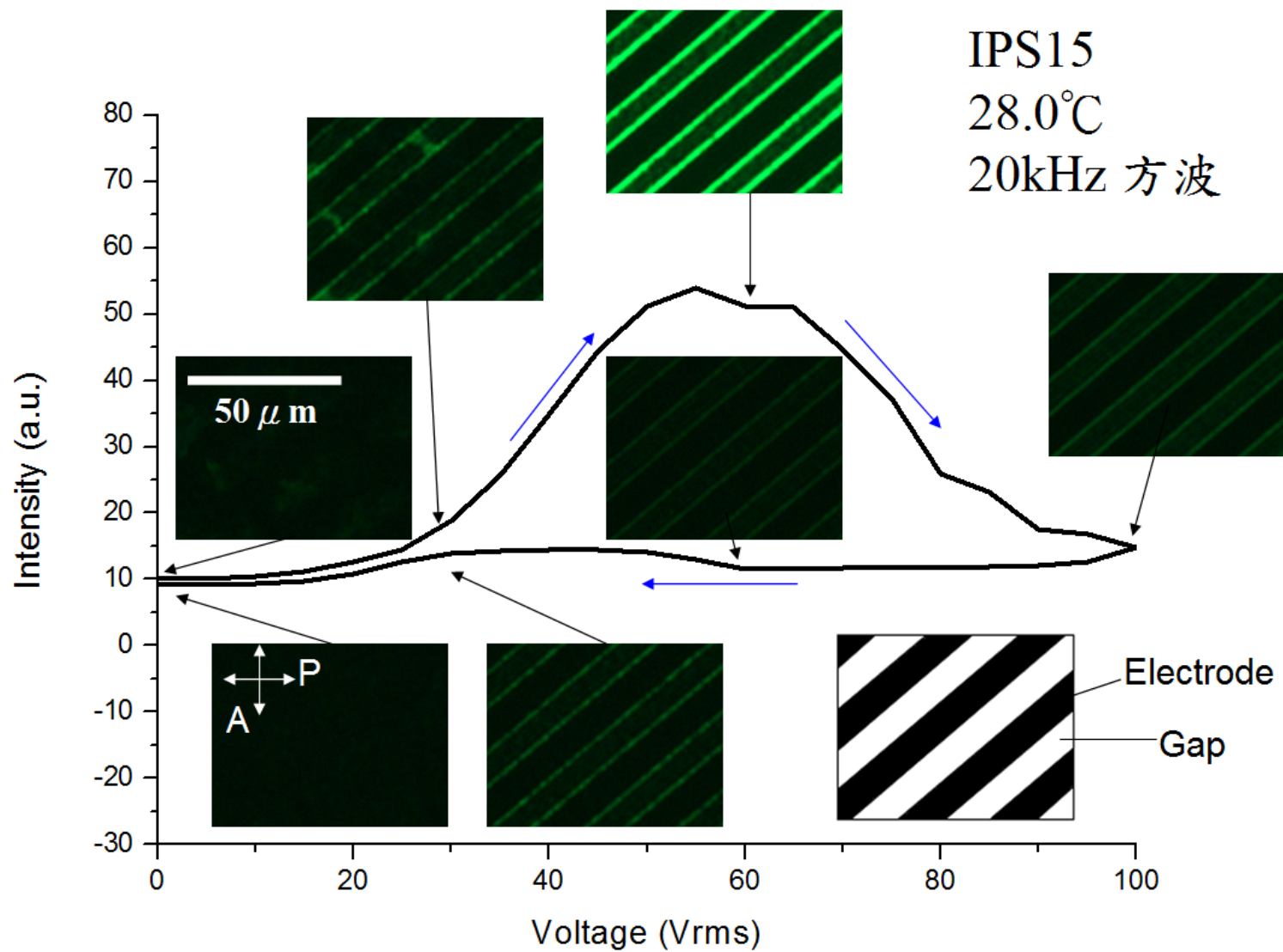


圖 4-1-10 控溫在 28°C，外加電壓頻率為 20kHz 方波時之 V-I 圖及偏光顯微鏡圖

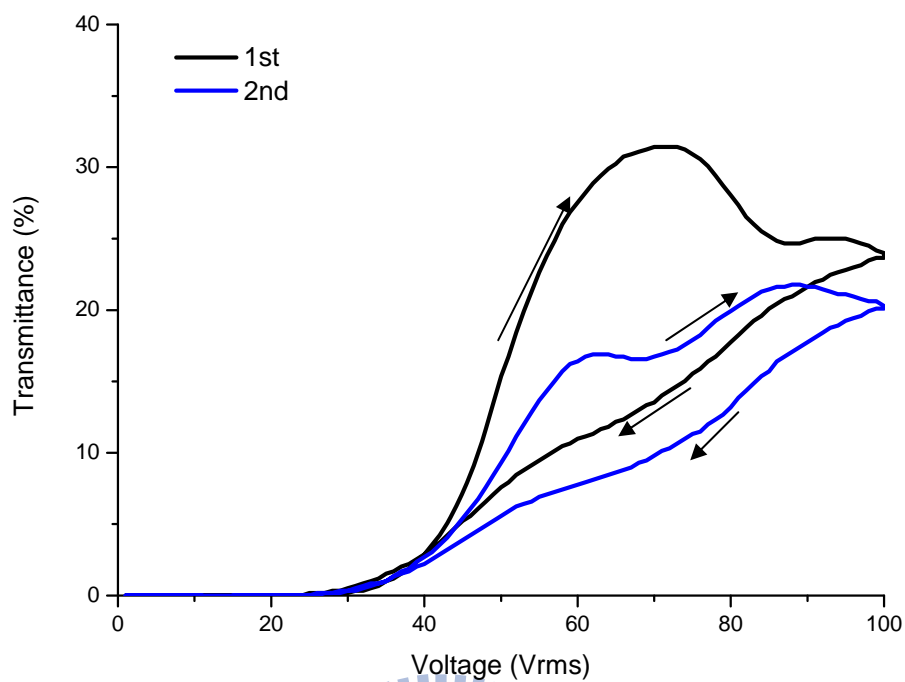


圖 4-1-11 IPS15 樣品外加電壓為 20kHz 之 V-T 圖。
1st 表示第一次測量，2nd 為 1st 測完後的第二次測量。
使用 20kHz 方波，室溫為 26°C

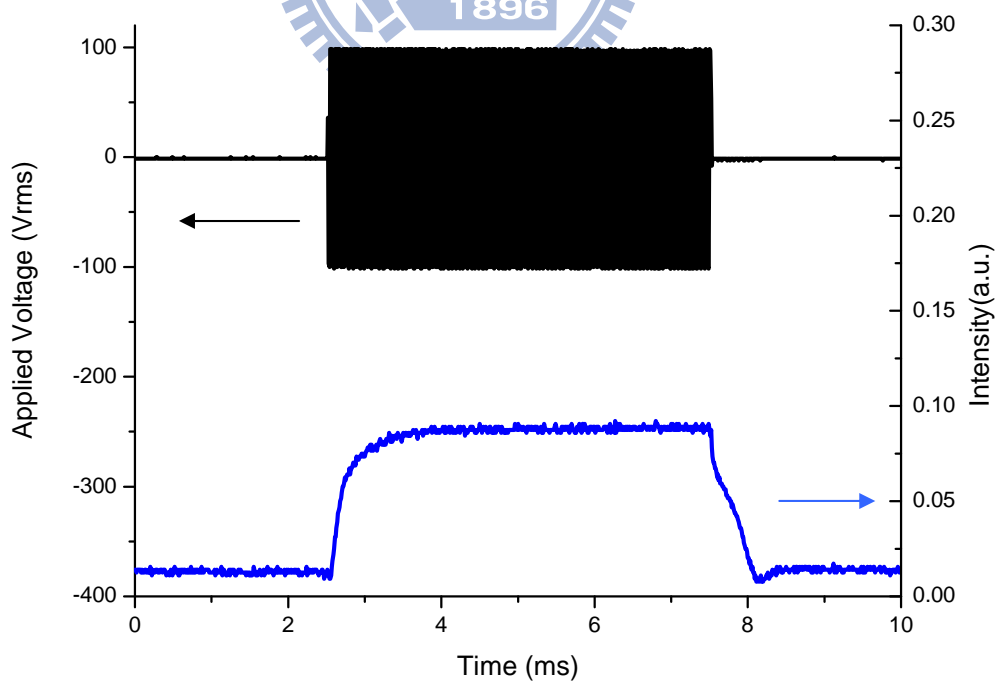


圖 4-1-12 IPS15 樣品之反應時間測量，
外加電壓 100Vrms，20kHz 方波，室溫 26°C

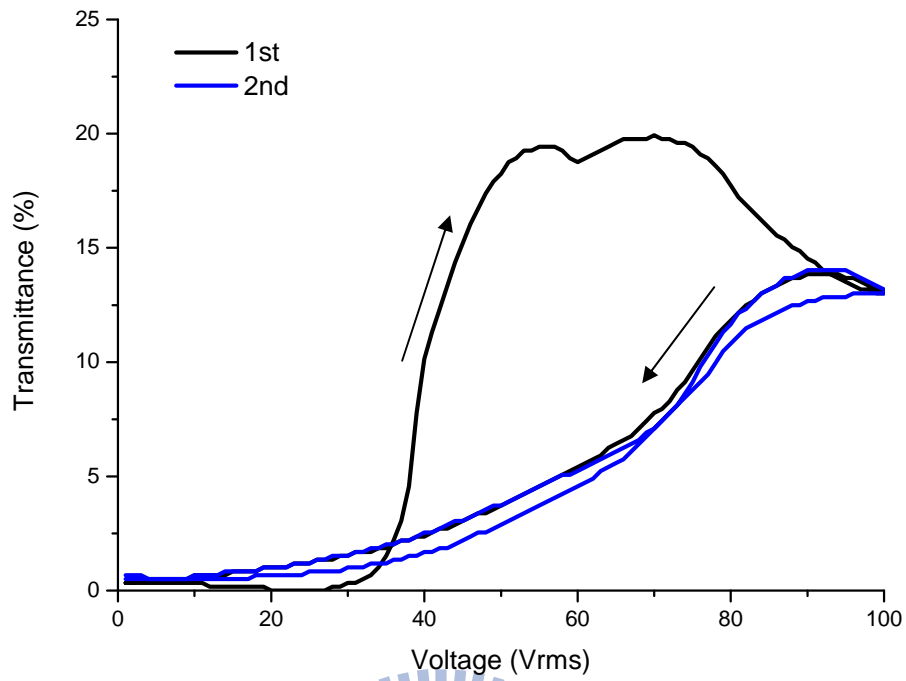


圖 4-1-13 IPS26 樣品外加電壓為 20kHz 之 V-T 圖
 1st 表示第一次測量，2nd 為 1st 測完後的第二次測量。
 使用 20kHz 方波，室溫為 26°C

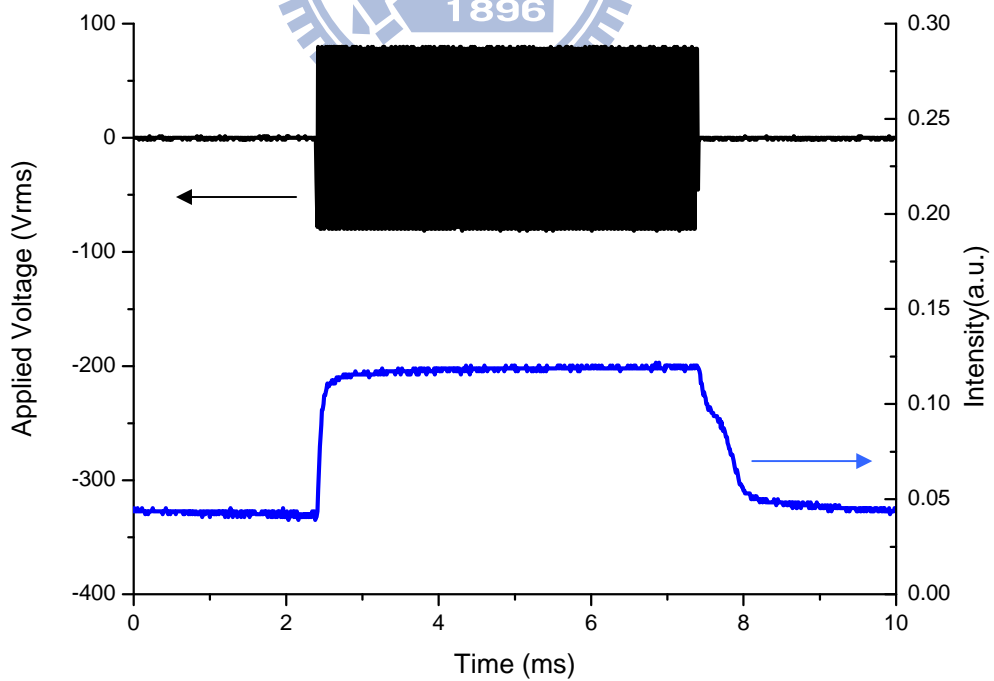


圖 4-1-14 IPS26 樣品之反應時間測量，
 外加電壓 80Vrms，20kHz 方波，室溫 26°C

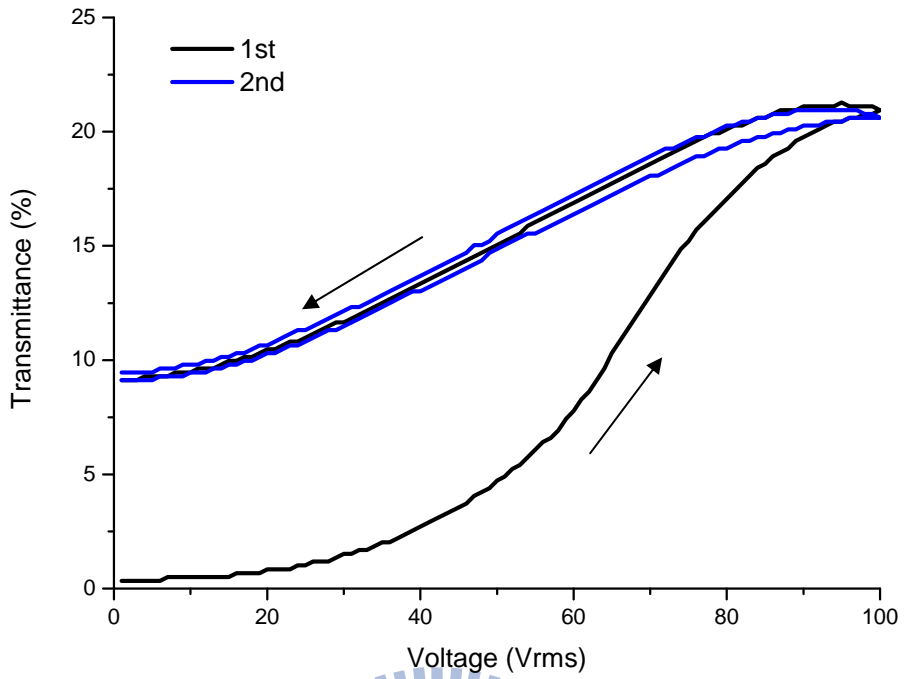


圖 4-2-1 IPS19 樣品外加電壓為 20kHz 之 V-T 圖
 1st 表示第一次測量，2nd 為 1st 測完後的第二次測量。
 使用 20kHz 方波，室溫為 26°C

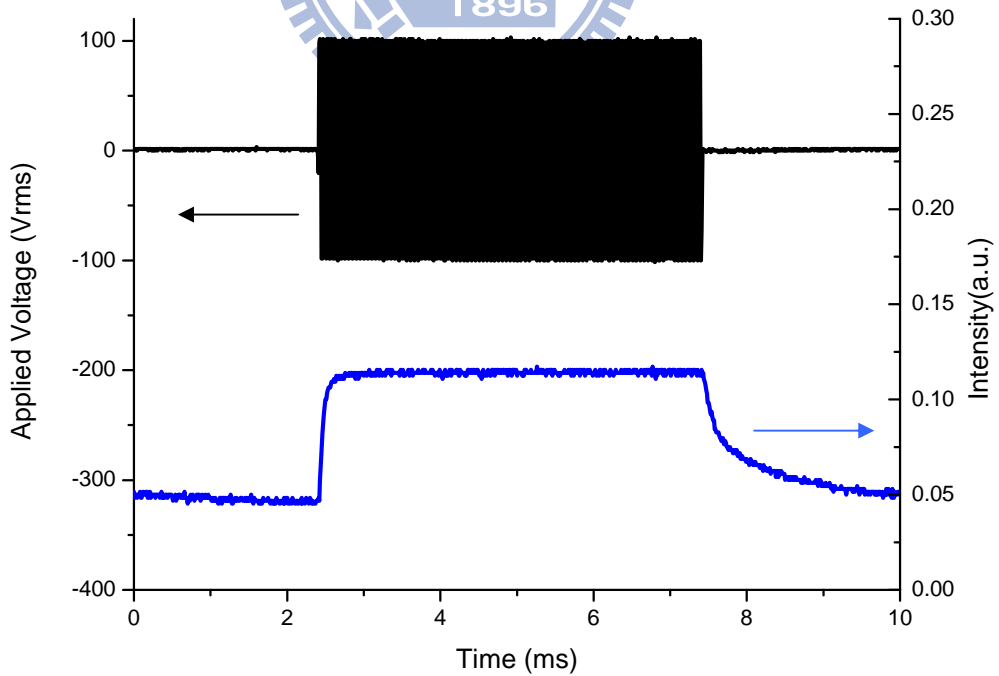


圖 4-2-2 IPS19 樣品之反應時間測量，外加電壓 100Vrms，20kHz 方波，室溫 26°C

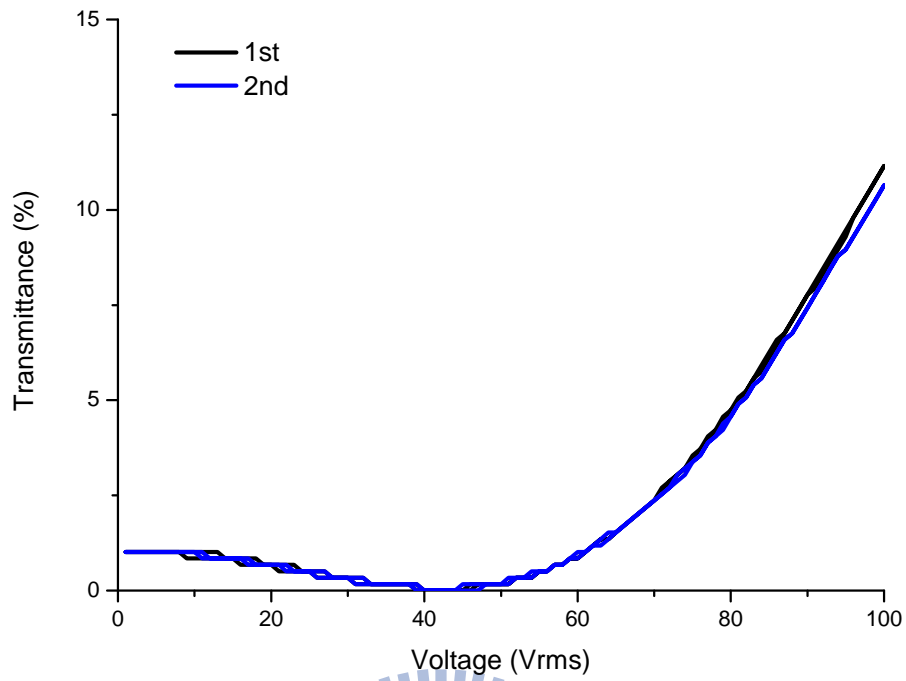


圖 4-2-3 IPS23 樣品外加電壓為 20kHz 之 V-T 圖
 1st 表示第一次測量，2nd 為 1st 測完後的第二次測量。
 使用 20kHz 方波，室溫為 26°C

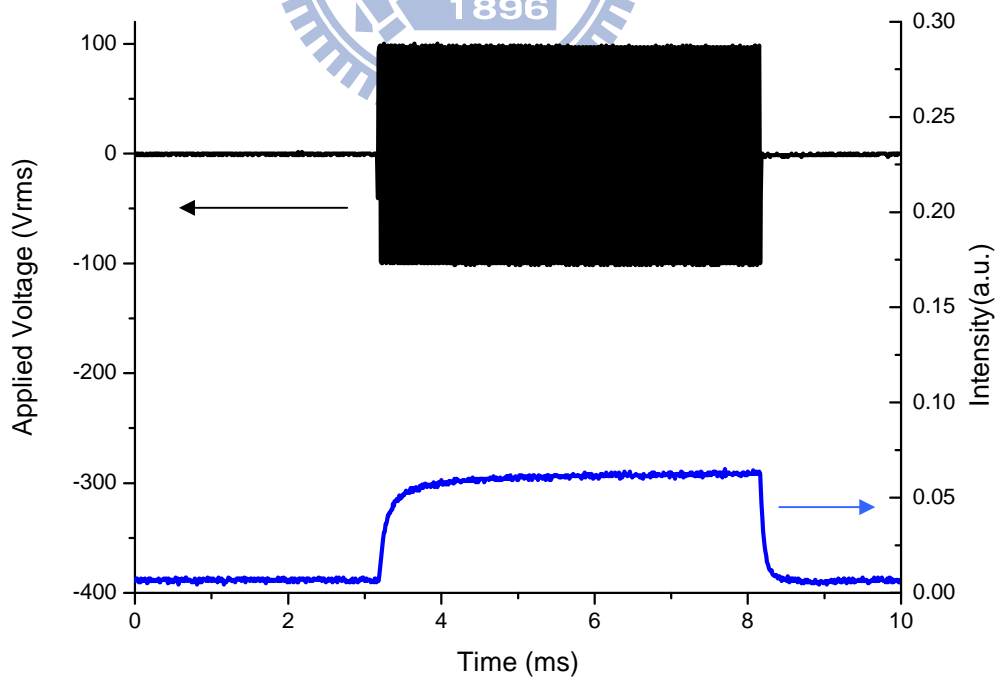


圖 4-2-4 IPS23 樣品之反應時間測量，外加電壓 100Vrms，20kHz 方波，室溫 26°C

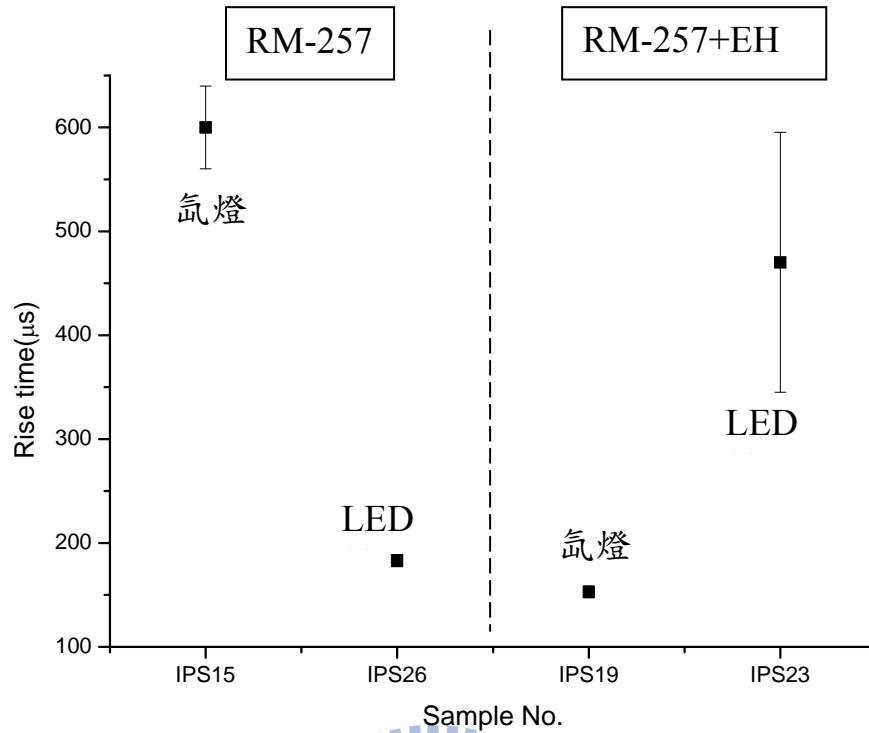


圖 4-3-1 IPS15、IPS26(RM-257)，IPS19、IPS23(RM-257+EHA)樣品之 Rise time，並分別在圖上表示樣品之光聚合方式。使用100Vrms(IPS26 80Vrms)，20kHz 方波，室溫為 26°C

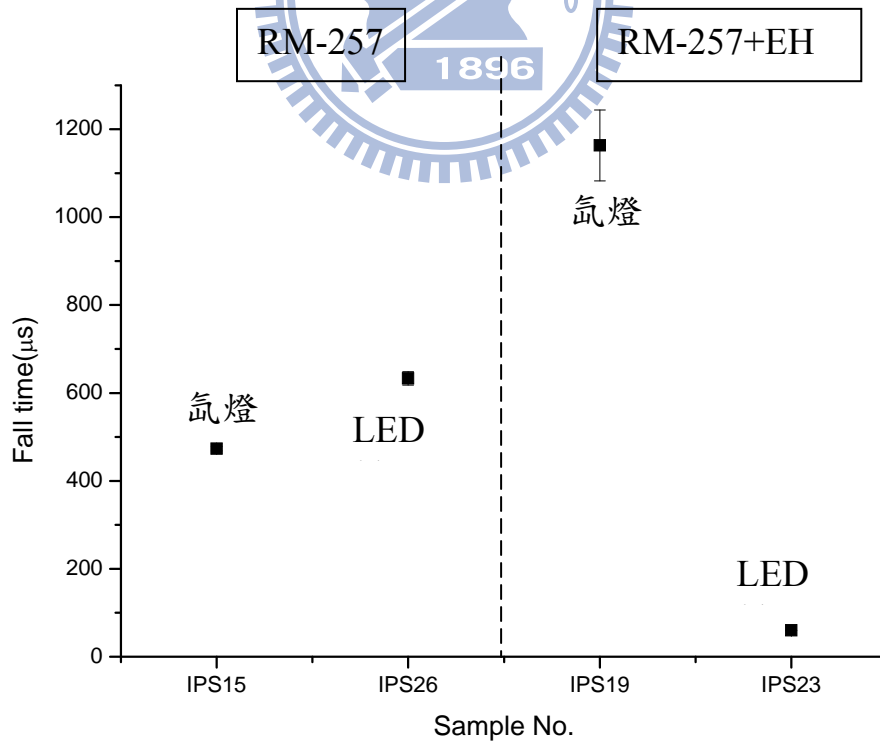


圖 4-3-2 IPS15、IPS26(RM-257)，IPS19、IPS23(RM-257+EHA)樣品之 Fall time，並分別在圖上表示樣品之光聚合方式。使用 100Vrms(IPS26 80Vrms)，20kHz 方波，室溫為 26°C

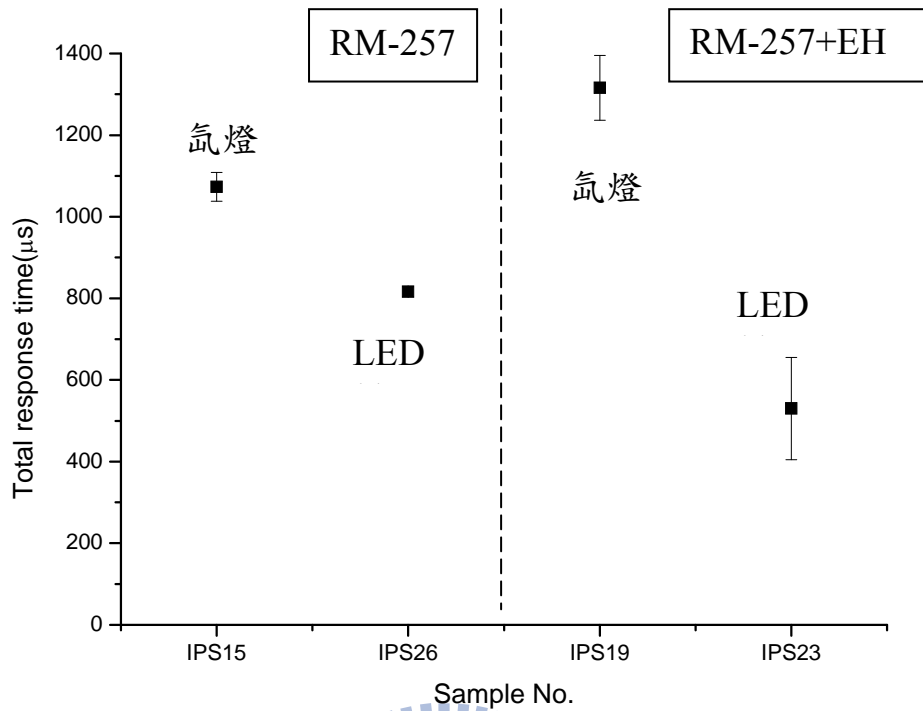


圖 4-3-3 IPS15、IPS26(RM-257)，IPS19、IPS23(RM-257+EHA)樣品之總反應時間，並分別在圖上表示樣品之光聚合方式。使用 100Vrms(IPS26 80Vrms)，20kHz 方波，室溫為 26°C。