

國立交通大學

電子物理系碩士班

畢業論文

紫外光照射配向膜之液晶光配向方法及性質研究
Study on the Process of UV Irradiation on a Polyimide Layer and its
Alignment Property to Liquid Crystal

研究生：林家任

指導教授：趙如蘋 教授

中華民國九十三年七月

紫外光照射配向膜之液晶光配向方法及性質研究

研究生：林家任

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

Nissan 130B 是作為一般用在磨刷配向的配向劑，本實驗證實 Nissan 130B 也可用來當作光配向的材料。

由實驗發現，利用光罩光配向處理後的液晶元件可以達到圖形配向的效果。量測預傾角得知在光配向處裡後，液晶分子預傾角甚小，即液晶分子幾乎是平躺在玻璃基板上。改變不同照光條件及硬烤的時間，量測表面定向強度，我們可以找出最佳的光配向條件。

本實驗找出Nissan 130B最佳的配向條件為:照光能量 0.972 J/cm^2 ，硬烤條件 170°C 一小時。

Study on the Process of UV Irradiation on a Polyimide Layer and its Alignment Property to Liquid Crystal

Student: Chia-Jen Lin

Advisor: Dr. Ru-Pin Pan

Department of Electrophysics
National Chiao Tung University

ABSTRACT

Nissan 130B is a polyimide (PI), commonly used for liquid crystal (LC) alignment. In this study, we show that Nissan 130B can also be used as the photoalignment film material.

We demonstrate the patterned alignment can be achieved by using the photomask and Nissan 130B. In the experiments, we also measure the pretilt angle and the surface anchoring strength of the film to LC. The pretilt angle of LC is very small, and it means that the LC molecules almost lay on the substrate. Measuring the surface anchoring strength of the film of various irradiation and heating time, we can find out the best photoalignment process condition.

We find out the best photoalignment process condition: The PI irradiation energy is 0.972 J/cm^2 , and the baked condition is under 170°C for 1 hour.

致謝

在修習碩士的這兩年，由衷的感謝趙如蘋老師細心的指導，趙老師敏銳的物理直覺與嚴謹的實驗態度，幫助我對科學的研究能有正確的方法與態度，不僅僅是對學術研究上有幫助，這種精神對日常生活也助益良多。

感謝雅峰、昭遠、宗達、信穎、欣穎等學長姊們不厭其煩的教導我實驗儀器的使用，當我實驗遇到瓶頸時，學長姊們也很熱心的教導我實驗的原理以及應該注意的事項，感謝學長姊在實驗上給我的幫助。

感謝實驗室的同儕，卓帆、宇泰、勝隆、政達，你們真是一群好夥伴，真慶幸有你們，煩躁時可以一起打球，有問題時可以一起討論，讓枯燥的研究生生活增加了不少的樂趣。

感謝家人與女友雅君在日常生活上的照顧，讓生活白痴的我能沒有後顧之憂，可以專注於課業上，感謝你們無時無刻在精神上給我的支持。

目 錄

中文摘要	.....	i
英文摘要	.....	ii
致謝	.....	iii
目錄	.....	iv
圖目錄	.....	vi
一、	緒論.....	1
二、	光配向與實驗方法之原理實驗原理.....	3
2-1	光配向原理.....	3
2-1-1	光配向原理.....	3
2-1-2	照光步驟及原理.....	4
2-2	穿透率的量測原理.....	6
2-2-1	瓊斯矩陣法 (Jones matrix method) 分析.....	6
2-2-2	液晶元件之穿透率量測原理.....	8
2-3	樣品間隙 (cell gap) 的量測原理.....	10
2-4	預傾角的量測原理.....	12
2-5	表面定向強度的量測原理.....	16
2-5-1	液晶分子旋轉角度的量測原理.....	16
2-5-2	表面定向強度的計算.....	17
三、	實驗方法與樣品製作介紹.....	19
3-1	樣品製作.....	19
3-2	圖形配向實驗.....	20
3-3	偏光顯微鏡觀察.....	21

四、	實驗結果與分析.....	22
4-1	實驗結果.....	22
4-1-1	圖形配向.....	22
4-1-2	預傾角量測結果.....	22
4-1-3	表面定向強度量測結果.....	23
4-2	實驗討論與分析.....	25
4-2-1	紫外光線偏振方向與光配向方向之關係.....	25
4-2-2	光配向之預傾角.....	26
4-2-3	光配向表面定向強度.....	26
五、	結論與未來展望.....	27
參考文獻	.....	29
附錄	.....	50



圖表目錄

圖 1-1	聚合物經過紫外光照射形成 Cross-Linking.....	29
圖 1-2	cis-trans 示意圖.....	30
圖 2-1	Nissan 130B 吸收光譜.....	31
圖 2-2	預傾角簡併示意圖.....	32
圖 2-3	斜向入射紫外光去除預傾角簡併.....	33
圖 2-4	具有方位角 Ψ 的液晶樣品.....	33
圖 2-5	穿透率量測裝置示意圖.....	34
圖 2-6	厚度量測系統示意圖.....	34
圖 2-7	光入射空樣品示意圖.....	35
圖 2-8	預傾角量測系統示意圖.....	35
圖 2-9	預傾角與玻璃基板的關係.....	36
圖 2-10	光徑示意圖.....	36
圖 2-11	穿透率 $I(\varphi)$ 對 φ 作圖之模擬圖.....	37
圖 2-12	表面定向強度量測裝置示意圖.....	37
圖 2-13	偏極片、檢偏片與液晶元件間的關係.....	38
圖 2-14	旋轉液晶樣品 Sample 28 量測穿透率.....	38
圖 2-15	液晶樣品 Sample 28 以 1:2 的角度變化同時旋轉液晶元件 與檢偏片，量測其穿透率.....	39

圖 3-1	照光裝置示意圖.....	39
圖 3-2	250nm filter 穿透光譜.....	40
圖 3-3	光罩圖形.....	40
圖 3-4	偏光顯微鏡量測裝置示意圖.....	41
圖 4-1	紫外光線偏振方向與磨刷配向方向示意圖.....	41
圖 4-2	crossed polarizers 下觀察圖形配向.....	42
圖 4-3	液晶元件在 crossed polarizers 下之照片.....	42
圖 4-4	紫外光線偏振方向與磨刷配向方向示意圖.....	43
圖 4-5	TN 型樣品在 crossed polarizers 下觀察圖形配向.....	43
圖 4-6	TN 型樣品在 crossed polarizers 下之照片.....	44
圖 4-7	樣品製作與預傾角示意圖.....	44
圖 4-8	樣品 Sample23 預傾角量測結果.....	45
圖 4-9	樣品 Sample32 預傾角量測結果.....	45
圖 4-10	不同照光時間下之表面定向強度.....	47
圖 4-11	不同硬烤時間下之表面定向強度.....	49
表 2-1	LMWPC 不同材料與使用不同液晶的配向方式.....	31
表 4-1	不同照光時間下之表面定向強度.....	46
表 4-2	不同硬烤時間下之表面定向強度.....	48
附錄圖 1	楔形樣品示意圖.....	51

附錄圖 2	樣品照片.....	51
附錄圖 3	樣品間隙照片.....	52



第一章 緒論

在液晶研究上，均一旦安定的液晶分子排列為液晶元件在工程應用上所必須的。因此，配向膜技術的改進與創新一直是研究的重心。配向膜在液晶顯示元件應用上最主要的目的是使元件中的液晶分子在未受任何外場（電場或磁場）下，能夠有特定的排列（alignment）方式以符合應用所需。目前已有許多的配向技術，如：在聚亞醞胺（PI：Polyimide）上磨刷配向（Rubbing alignment）法[1]、傾斜蒸著氧化矽法[2]、離子束傾斜轟擊法[3]、以線偏極紫外光（UV light）去照射有感光基的配向劑[4]等等。

在這麼多的配向技術中最廣為使用的是磨刷配向（Rubbing alignment）法。磨刷配向法可以提供液晶分子較強的配向能力，但是在磨刷的過程中，由於是利用絨布接觸式的摩擦，因此會產生靜電和顆粒的污染，而這些污染往往直接造成液晶元件的損壞。因此不論是學界業界都在不斷的研發改進非接觸式的配向方式，除了可以避免靜電和顆粒的污染，也可以比較容易控制液晶分子的預傾角。利用非接觸式的配向方式，可以根據一些特定的圖形的遮罩來製作出小面積的配向，進而製作一些特別需求的液晶元件。其中最被大家所熟知的非接觸式配向方法為以線偏極紫外光去照射有感光基的配向劑，我們稱為紫外光配向法，簡稱「光配向」。

光配向法是利用線性偏極的紫外光照射在具有感光基的高分子聚合物配向膜上，使得高分子聚合物具有配向能力。一般光配向的配向劑可以分為三大類：第一類為配向膜在照射到線性偏極紫外光後，在偏極方向上的分子會鍵結成為長鏈的分子[5]，如圖 1-1 所示，使得配向膜具有異方性（anisotropy）的分佈，液晶分子就順著長鏈分子方向排列；第二類為配向膜照光後，在偏極方向上的長鏈分子會被紫外光所破壞[5]，使配向膜產生非等向性的分佈，液晶分子就會順著未被破壞的長鏈分子方向排列。第三

類為 cis-trans，一般是使用含有偶氮分子的配向劑，配向劑照光前後會形成不同的排列方向[6][7]，其示意圖如圖 1-2，此三類的配向膜都可以產生不錯的配向效果，至於要使用哪一種配向方式，則根據所需要的配向結果來決定。

本次實驗的重點在於尋找可以作為光配向之材料，並找出最佳的製程條件，我們發現一般用來作為磨刷配向的配向膜，型號:Nissan 130B(由勝華公司所提供)，有良好的光配向效果，所以 Nissan 130B 將成為容易取得之光配向材料。經由穿透率、預傾角(pretilt angle)與表面定向強度(surface anchoring strength)的量測，可以判斷配向效果的好壞。

在第二章中，我們將會介紹光配向方法及原理，同時也介紹樣品的基本量測系統及原理，如穿透率、樣品厚度、預傾角及表面定向強度；第三章中，我們將介紹實驗的方法及樣品的製作；第四章中，我們將實驗所得到的結果進行分析；最後第五章中將對於目前的研究題目及結果提出一些未來研究的方向。



第二章 光配向與實驗方法之原理

本章我們將介紹光配向及液晶樣品的基本量測原理，液晶樣品基本量測包含量測穿透率、樣品間隙、預傾角及表面定向強度。量測樣品的穿透率可以判斷樣品的品質；而許多的計算公式中都需要知道樣品的間隙。預傾角與表面定向強度為液晶元件製作的重要參考參數。由預傾角的測量可以知道液晶在樣品裡的排列情形；表面定向強度的量測可以知道配向的性質。

2-1 光配向原理

2-1-1 光配向原理



光配向為一種非接觸式的配向方法，其優點為可避免玻璃基板表面的污染、可以進行小面積的配向、透過光罩可作圖形的配向，利用入射光的角度與照光時間的長短，可以控制液晶元件的參數，如預傾角、表面定向強度等。

光配向劑為一種聚合物 (polymer)，由許多單體 (monomer) 小分子鍵結所組成。單體透過硬烤或是照光，使得單體間相互鍵結，形成大分子。在液晶的配向中，為了要使液晶分子能夠順著配向分子排列的方向而排列，所選取的單體鍵結後，會形成長鏈的分子。

光配向是利用照射線性偏極紫外光，來取代傳統絨布磨刷的配向動作。本實驗所使用的光配向材料為一般用來作為磨刷配向的 PI 膜，型號:Nissan 130B，由勝華公司所提供。其吸收光譜如圖 2-1，是利用 Ocean

Optics Inc. 的 ISS-UV-VIS Integrated Sampling System 與 USB2000 Miniature Fiber Optic Spectrometers 來進行量測。由其吸收光譜，本實驗選擇使用 250 nm 的波長的線性偏極紫外光來進行光配向性質量測的實驗。

作為光配向的配向劑，其配向性質因材料而異，有些配向劑之配向方向與紫外光偏振方向垂直，也有些配向劑其配向方向與紫外光偏振方向平行。如 CBDA-BAPP，這種 PI 在使用 254nm 波長的紫外光照射下，其配向方向平行於光偏振方向；使用 313nm 波長的紫外光照射，配向方向會垂直於光偏振方向[8][9]。

在我們的實驗室也有使用過由 Kent State University 的簡良吉教授所提供的 LMWPC(Low-molecular-weight-photo-crosslinkable) 光配向劑，有 M1、M2、M3、M4，四種不同的型號，不同型號的光配向劑使用不同的液晶也會有不同的配向效果[4]，其光配向方向皆為垂直於紫外光之偏振方向，但使用不同的液晶製成的液晶樣品會有不同的效果，有的液晶樣品預傾角較小，視為平行於玻璃基板排列；有的液晶樣品預傾角較大，可視為垂直於玻璃基板排列，如表 2-1 所示。

本實驗所使用的 Nissan 130B 在 250nm 波長的紫外光照射下，使用的液晶為 5CB，其配向方向與光偏振方向垂直。

2-1-2 照光步驟及原理

PI 膜經過 170°C 的硬烤，會進行聚合作用(polymerization)，將單體變為聚合物。要使 PI 膜具有光配向的效果，我們使用下列兩個步驟的照光方式[10]:

Step 1: S-polarization UV Light with Incident Angle 45°

利用線性偏極紫外光照射 PI 膜，聚合物與聚合物會形成排列，由

於是利用線性偏極光照射的緣故，所以只有特定方向的聚合物會整齊的排列，達到液晶分子配向的效果，且液晶分子排列的方向與紫外光偏極的方向垂直。

Step 2: Unpolarized UV Light with Incident angle 45°

經過 Step 1 的處理後，液晶分子可能傾斜的方向如圖 2-2(a)、(b) 所示，這種現象稱為預傾角簡併(pretilt angle degeneracy)。利用斜向入射的非偏極化紫外光可去除預傾角簡併的現象，非偏極化紫外光入射方向與液晶分子傾斜的方向的關係如圖 2-3 所示。



2-2 穿透率的量測原理

2-2-1 瓊斯矩陣法 (Jones matrix method) 分析

在液晶研究上，常利用瓊斯矩陣法 (Jones matrix method) [11] 分析偵測光經過液晶元件的變化。

假設入射光的偏極狀態 (polarization state) 為

$$V = \begin{pmatrix} V_x \\ V_y \end{pmatrix} \quad (2-2-1)$$

將具有方位角 (azimuthal angle) Ψ 的液晶元件之快軸 (fast axis) 或慢軸 (slow axis) 上的分量轉換到直角座標系上 (參考圖 2-4)，則其轉換矩陣為：

$$\begin{pmatrix} V_s \\ V_f \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \Psi & \sin \Psi \\ -\sin \Psi & \cos \Psi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_x \\ V_y \end{pmatrix} \equiv R(\Psi) \begin{pmatrix} V_x \\ V_y \end{pmatrix} \quad (2-2-2)$$

$R(\Psi)$: 座標轉換矩陣

V_s : 入射光 V 在慢軸上 (slow axis) 的分量

V_f : 入射光 V 在快軸上 (fast axis) 的分量

若此液晶元件之慢軸與快軸的折射率分別為 n_s 、 n_f ，則光經過此液晶元件後的偏極狀態為：

$$\begin{pmatrix} V'_s \\ V'_f \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \exp\left(-in_s \frac{2\pi}{\lambda} d\right) & 0 \\ 0 & \exp\left(-in_f \frac{2\pi}{\lambda} d\right) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_s \\ V_f \end{pmatrix} \quad (2-2-3)$$

λ : 入射光的波長

d : 液晶樣品的厚度

又相位延遲 (phase retardation) Γ 為：

$$\Gamma = \frac{2\pi}{\lambda} (n_s - n_f) d \quad (2-2-4)$$

平均相位變化 (mean absolute phase change) ψ 為：

$$\phi = \frac{1}{2} (n_s + n_f) \frac{2\pi}{\lambda} d \quad (2-2-5)$$

由 (2-2-4) 、 (2-2-5) 則 (2-2-3) 將可以改寫為

$$\begin{pmatrix} V'_s \\ V'_f \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \exp\left(-i\left(\phi + \frac{\Gamma}{2}\right)\right) & 0 \\ 0 & \exp\left(-i\left(\phi - \frac{\Gamma}{2}\right)\right) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_s \\ V_f \end{pmatrix} \quad (2-2-6)$$

$$\begin{pmatrix} V'_s \\ V'_f \end{pmatrix} = e^{-i\phi} \begin{pmatrix} e^{-i\Gamma/2} & 0 \\ 0 & e^{i\Gamma/2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_s \\ V_f \end{pmatrix} \quad (2-2-7)$$

通過此液晶元件後的光偏極狀態需轉換回到直角座標系，則

$$\begin{pmatrix} V'_x \\ V'_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\Psi & -\sin\Psi \\ \sin\Psi & \cos\Psi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V'_s \\ V'_f \end{pmatrix} \quad (2-2-8)$$

由 (2-2-2) 、 (2-2-7) 、 (2-2-8) ，若入射光 V 通過此液晶元件，則其瓊斯矩陣 (Jones vectors) 的改變，可以表示如下

$$\begin{pmatrix} V'_x \\ V'_y \end{pmatrix} = R(-\Psi)W_0R(\Psi) \begin{pmatrix} V_x \\ V_y \end{pmatrix} \quad (2-2-9)$$

$R(\Psi)$ = 座標轉換矩陣
 W_0 = 液晶元件的瓊斯矩陣

$R(\Psi)$ 、 W_0 分別為

$$R(\Psi) = \begin{pmatrix} \cos\Psi & \sin\Psi \\ -\sin\Psi & \cos\Psi \end{pmatrix} \quad (2-2-10)$$

$$W_0 = e^{-i\phi} \begin{pmatrix} e^{-i\Gamma/2} & 0 \\ 0 & e^{i\Gamma/2} \end{pmatrix} \quad (2-2-11)$$

由以上瓊斯矩陣分析，我們可以知道若一個液晶元件具有相位延遲 Γ 和方位角 Ψ ，則我們可以利用三個矩陣來表示這個液晶元件：

$$W = R(-\Psi)W_0R(\Psi) \quad (2-2-12)$$

2-2-2 液晶元件之穿透率量測原理

利用瓊斯矩陣來分析液晶元件之穿透率量測。穿透率之量測是將入射光依序透過偏極片 (Polarizer)、液晶元件 (LC cell)、檢偏片 (Analyzer)，其裝置示意圖，如圖 2-5。

假設入射光為沒有偏極化的光 (unpolarized light)，則其瓊斯向量 (Jones Vectors) 可以表示為：

$$E = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2-2-13)$$

若假設液晶元件放置在 crossed polarizers 下 (偏極片與檢偏片夾角為 90°)，則其穿透光之電場可用下列的瓊斯矩陣表示：

$$E' = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} W \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} E \quad (2-2-14)$$

其中

$$\begin{aligned} W &= R(-\Psi) W_0 R(\Psi) \\ &= \begin{pmatrix} \cos \Psi & -\sin \Psi \\ \sin \Psi & \cos \Psi \end{pmatrix} e^{-i\phi} \begin{pmatrix} e^{-i\Gamma/2} & 0 \\ 0 & e^{i\Gamma/2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \Psi & \sin \Psi \\ -\sin \Psi & \cos \Psi \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (2-2-15)$$

將 (2-2-13)、(2-2-14)、(2-2-15)，整理可以得到此系統的穿透光電場為下式：

$$\begin{aligned} E' &= \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \cos \Psi \sin \Psi \left[e^{-i\frac{\Gamma}{2}} - e^{i\frac{\Gamma}{2}} \right] \\ 0 \end{pmatrix} \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \frac{1}{2} \sin 2\Psi \left[\left(\cos \frac{\Gamma}{2} - i \sin \frac{\Gamma}{2} \right) - \left(\cos \frac{\Gamma}{2} + i \sin \frac{\Gamma}{2} \right) \right] \\ 0 \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (2-2-16)$$

又穿透光電場為直角座標系，因此可以分別可以用 x 、 y 分量來表示：

$$E' = \begin{pmatrix} E'_x \\ E'_y \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} -i \sin \frac{\Gamma}{2} \sin 2\Psi \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2-2-17)$$

$$E'_x = \frac{-1}{\sqrt{2}} i \sin \frac{\Gamma}{2} \sin 2\Psi$$

$$E'_y = 0$$
(2-2-18)

又穿透光的強度為 I ：

$$I = |E'|^2 = |E'_x|^2 + |E'_y|^2 = \left(\frac{-1}{\sqrt{2}} i \sin \frac{\Gamma}{2} \sin 2\Psi \right)^2$$
(2-2-19)

$$I = \frac{1}{2} \sin^2 \frac{\Gamma}{2} \sin^2(2\Psi)$$
(2-2-20)

在本測量中，我們將穿透率定義為：

$$T = \frac{\text{穿透光強度}}{\text{最大穿透光強度}}$$
(2-2-21)

由 (2-2-20) 可知， $\Psi = 45^\circ$ 時，具有最大穿透光強度，則當液晶元件的方位角為 Ψ 時，穿透率為：

$$T = \frac{I_\Psi}{I_{45^\circ}} = \frac{\frac{1}{2} \sin^2 \frac{\Gamma}{2} \sin^2(2\Psi)}{\frac{1}{2} \sin^2 \frac{\Gamma}{2}} = \sin^2(2\Psi)$$
(2-2-22)

由 (2-2-22) 可以瞭解，穿透率與液晶元件的方位角有關。

2-3 樣品間隙 (cell gap) 的量測原理[12]

在許多的參數量測中，如液晶分子的旋轉角度 (twist angle)、表面定向強度，都會需要利用到樣品的間隙 (cell gap)。一般液晶元件製作時，都會使用一些已知大小厚度的間隙物 (spacer) 例如：玻璃球，薄墊片等，不過因為製作的過程，往往會使得真正的樣品間隙與間隙物有所誤差，因此必須量測實際的樣品間隙。

在本實驗中，利用雷射光在兩玻璃基板間的干涉現象來量測。將未灌液晶的空樣品，置於旋轉平台上，其入射光與液晶樣品的關係示意圖如圖 2-6。

入射的雷射光經過空樣品後形成部分反射及部分透射，假設兩道光分別為 Ray 1 與 Ray 2，由圖 2-7 可知 Ray 1 為兩次反射透光與 Ray 2 為一次透光相干涉，本量測方式就是利用改變 Ray 1 與 Ray 2 的入射角度 θ 來量測干涉條紋的強度變化，進而推導出液晶樣品間隙厚度。

由圖可知，Ray 1 兩次反射透光與 Ray 2 一次透光的光程差為：

$$\begin{aligned}\delta &= 2 \cdot \frac{d}{\cos \theta} - 2 \cdot \frac{d}{\cos \theta} \cdot \sin^2 \theta \\ &= 2d \left(\frac{1}{\cos \theta} - \frac{\sin^2 \theta}{\cos \theta} \right) \\ &= 2d \left(\frac{\cos^2 \theta}{\cos \theta} \right) \\ &= 2d \cos \theta\end{aligned}\tag{2-3-1}$$

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

$$\begin{aligned}2d \cos \theta_1 &= m\lambda \\ 2d \cos \theta_2 &= (m+n)\lambda\end{aligned}\quad m, n \text{ 均為整數}\tag{2-3-2}$$

$$(m+n)\lambda - m\lambda = 2d \cos \theta_2 - 2d \cos \theta_1\tag{2-3-3}$$

$$d = \frac{n\lambda}{2(\cos \theta_2 - \cos \theta_1)}\tag{2-3-4}$$

利用 (2-3-4) 式， θ_1 與 θ_2 為兩極大值的角度， n 為 θ_1 與 θ_2 間的極小值個數，由此即可算出樣品的間隙厚度。



2-4 預傾角的量測原理

液晶分子的光軸 (optic axis) 與玻璃基板表面所夾的角稱為預傾角。預傾角的大小會影響到液晶元件的表現。具有小預傾角的液晶元件 (如: twisted nematic displays) 會有光散射的效應, 具有大預傾角的液晶元件具有干涉的色彩和較小的元件電容值, 因此預傾角的量測是非常重要的。

預傾角的量測方法有多種, 包括最大相位延遲法 (crystal rotation method) [13]、電容法 (capacitive method) [13]、磁場法 (magnetic null method) [13]。本實驗中使用最大相位延遲法 (crystal rotation method), 量測裝置系統如圖 2-8, 將空樣品灌入向列型液晶, 利用旋轉液晶元件, 改變入射光與液晶元件的角度, 利用最大相位延遲時之入射角與穿透率曲線的關係, 再經過計算即可以得到預傾角 α , 液晶元件中預傾角與玻璃基板的關係如圖 2-9。

液晶分子可以視為一個長形的單軸分子, 且具有雙折射 (Birefringence) 性質, 因此入射光進入到液晶元件中時, 入射光會分為兩道光: 尋常光 (ordinary ray, 簡稱o-ray) 和非尋常光 (extraordinary ray, 簡稱e-ray), 液晶分子對應此兩道光的折射率分別為 n_o 與 $n_e(\theta)$, θ 為e-ray行進方向與液晶分子光軸 (optic axis) 所夾的角 (參考圖 2-11)。

首先推導這兩道光的相位延遲 (phase retardation)。在考慮預傾角的情形下, 圖 2-10 為單層液晶的光徑圖, 其中,

$$\begin{aligned}\hat{n} &= (\cos \alpha \quad 0 \quad \sin \alpha) \\ \hat{k} &= (\sin \varphi \quad 0 \quad \cos \varphi) \\ \hat{k}_e &= (\sin \varphi_e \quad 0 \quad \cos \varphi_e) \\ \hat{k}_o &= (\sin \varphi_o \quad 0 \quad \cos \varphi_o)\end{aligned}\tag{2-4-1}$$

\hat{n} = 液晶分子的光軸單位向量

\hat{k} = 入射光的波數

\hat{k}_e = 非尋常光(e-ray)的波數

\hat{k}_o = 尋常光(o-ray)的波數

又 \hat{n} 與 \hat{k}_e 的夾角為 θ ，則由此兩向量的內積可得

$$\cos \theta = \hat{n} \cdot \hat{k}_e = (\cos \alpha \sin \varphi_e + \sin \alpha \cos \varphi_e) \quad (2-4-2)$$

又在折射邊界，入射光與則射光需滿足 Snell's Law，則可得：

$$\cos \varphi = n_e \sin \varphi_e = n_o \sin \varphi_o \quad (2-4-3)$$

由於考慮預傾角的存在，液晶分子長軸與入射光行進方向夾角並不是 90° ，而是 θ ，因此對於 o-ray 和 e-ray 所看到的折射率為：

$$n_o = n_o$$
$$n_e(\theta) = \left(\frac{\sin^2 \theta}{n_e^2} + \frac{\cos^2 \theta}{n_o^2} \right)^{-1/2} \quad (2-4-4)$$

由圖 2-10，o-ray 由 A→B 的光程為：

$$OPL_{o\text{-ray}} = n_o \frac{dz}{\cos \varphi_o} \quad (2-4-5)$$

e-ray 由 A→B' 的光程為：

$$OPL_{e\text{-ray}} = n_e(\theta) \frac{dz}{\cos \varphi_e} + \left(\frac{dz}{\tan \varphi_o} - \frac{dz}{\tan \varphi_e} \right) \sin \varphi \quad (2-4-6)$$

由 (2-4-5)、(2-4-6) 可知 o-ray 與 e-ray 的光程差為：

$$OPL_{o\text{-ray}} - OPL_{e\text{-ray}}$$
$$= dz \left[\frac{n_e(\theta)}{\cos \varphi_e} + \left(\frac{1}{\tan \varphi_o} - \frac{1}{\tan \varphi_e} \right) \sin \varphi - \frac{n_o}{\cos \varphi_o} \right] \quad (2-4-7)$$

由 (2-4-2)、(2-4-3)、(2-4-4) 將 $n_e(\theta)$ 以 n_e 、 n_o 、 α 、 φ 代換，則此兩道光的光程差 $\Gamma(\varphi)$ 為：

$$\begin{aligned}
\Gamma(\varphi) &= \frac{2\pi}{\lambda} \int_0^d f dz \\
&= \frac{2\pi}{\lambda} \int_0^d OPD_{o\text{-ray}} - OPD_{e\text{-ray}} \\
&= \frac{2\pi}{\lambda} d \cdot f(\alpha, \varphi)
\end{aligned} \tag{2-4-8}$$

其中

$$\begin{aligned}
f(\alpha, \varphi) &= \frac{1}{c^2} (a^2 - b^2) \sin \alpha \cos \alpha \sin \varphi \\
&\quad + \frac{1}{c} \left(1 - \frac{a^2 b^2}{c^2} \sin^2 \varphi \right)^{\frac{1}{2}} \\
&\quad - \frac{1}{b} (1 - b^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{1}{2}}
\end{aligned} \tag{2-4-9}$$

$$a = \frac{1}{n_e}, \quad b = \frac{1}{n_o},$$

$$c^2 = a^2 \cos^2 \alpha + b^2 \sin^2 \alpha$$

由上節討論得到 (2-3-20)

$$I = \frac{1}{2} \sin^2 \frac{\Gamma}{2} \sin^2 (2\Psi)$$

為量測穿透率之變化，將液晶元件置於 crossed polarizers 下（偏極片與檢偏片夾角為 90° ），並使第一片偏極片之偏極方向與第一層液晶分子夾 45° ，則穿透強度可改寫為：

$$I(\varphi) = \frac{1}{2} \sin^2 \frac{\Gamma(\varphi)}{2} \tag{2-4-10}$$

將所量測到的穿透率 $I(\varphi)$ 對 φ 作圖，其模擬圖如圖 2-11，可得到一個對稱角度 φ_x ，此角度就是最大相位延遲時的入射角，因此將相位延遲 $\Gamma(\varphi)$ 對 φ 微分：

$$\frac{d\Gamma(\varphi)}{d\varphi} = \frac{d}{d\varphi} \left(\frac{2\pi}{\lambda} d \cdot f(\alpha, \varphi) \right) = \frac{df(\alpha, \varphi)}{d\varphi} = 0 \tag{2-4-11}$$

$$\begin{aligned} \frac{df(\alpha, \varphi)}{d\varphi} &= \frac{1}{c^2} (a^2 - b^2) \sin \alpha \cos \alpha \cos \varphi \\ &+ \frac{a^2 b^2}{c^3} \cos \varphi \sin \varphi \left(1 - \frac{a^2 b^2}{c^2} \sin^2 \varphi \right)^{-\frac{1}{2}} \\ &- b \cos \varphi \sin \varphi (1 - b^2 \sin^2 \varphi)^{-\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (2-4-12)$$

當 $\varphi = \varphi_x$ 時：

$$\begin{aligned} &\frac{1}{c^2} (a^2 - b^2) \sin \alpha \cos \alpha \cos \varphi_x \\ &- \frac{a^2 b^2}{c^3} \cos \varphi_x \sin \varphi_x \left(1 - \frac{a^2 b^2}{c^2} \sin^2 \varphi_x \right)^{-\frac{1}{2}} \\ &+ b \cos \varphi_x \sin \varphi_x (1 - b^2 \sin^2 \varphi_x)^{-\frac{1}{2}} = 0 \end{aligned} \quad (2-4-13)$$

$$\begin{aligned} &\frac{1}{c^2} (a^2 - b^2) \sin \alpha \cos \alpha - \frac{a^2 b^2}{c^3} \sin \varphi_x \left(1 - \frac{a^2 b^2}{c^2} \sin^2 \varphi_x \right)^{-\frac{1}{2}} \\ &+ b \sin \varphi_x (1 - b^2 \sin^2 \varphi_x)^{-\frac{1}{2}} = 0 \end{aligned} \quad (2-4-14)$$

n_e 為液晶分子的非尋常折射率 (extraordinary refractive index)， n_o 為液晶分子的尋常折射率 (ordinary refractive index)， φ_x 為有最大相位延遲的入射角，也就是 $T(\varphi)$ 對 φ 作圖中的對稱點。

將 φ_x 代入 (2-4-14)，因 n_e 、 n_o 均已知，解此方程式即可得到預傾角 α 。

2-5 表面定向強度的量測原理

2-5-1 液晶分子旋轉角度的量測原理[14]

製作一平行配向樣品，並灌入有自旋性的液晶（向列型液晶+自旋摻雜物），置於 crossed polarizers 下，其裝置示意圖如圖 2-12，液晶元件與檢偏片均架設在旋轉平台上，偏極片、檢偏片與液晶元件間的關係如圖 2-13。

在此裝置下，並考慮液晶分子的旋轉角度，則穿透率為：

$$T = \left[\frac{1}{\sqrt{1+u^2}} \sin(\sqrt{1+u^2}\theta) \sin(\theta - \psi_{pol}) + \cos(\sqrt{1+u^2}\theta) \cos(\theta - \psi_{pol}) \right]^2 + \frac{u^2}{1+u^2} \sin^2(\sqrt{1+u^2}\theta) \cos^2(\theta + 2\psi_0 - \psi_{pol}) \quad (2-5-1)$$

θ = 液晶分子的旋轉角度 (twist angle)

ψ_0 = 偏極片偏極方向與第一層液晶的夾角

ψ_{pol} = 偏極片偏極方向與檢偏片偏極方向的夾角

$$u = \frac{\pi d}{\lambda \theta} (n_e - n_o) \quad (2-5-2)$$

d = 液晶元件的兩片玻璃基板間距 (cell gap)

n_e = extraordinary index of refraction

n_o = ordinary index of refraction

λ = 入射光的波長

當穿透率 T 最小時，由 (2-5-1) 可得下列兩關係式：

$$\theta + 2\psi_0 - \psi_{pol} = \pm \frac{\pi}{2} \quad (\text{for anti parallel cells}) \quad (2-5-3)$$

$$\frac{1}{\sqrt{1+u^2}} \sin(\sqrt{1+u^2}\theta) \sin(\theta - \psi_{pol}) + \cos(\sqrt{1+u^2}\theta) \cos(\theta - \psi_{pol}) = 0 \quad (2-5-4)$$

若液晶元件旋轉 $\Delta\theta$ ，為了符合 (2-5-3)，則：

$$\theta + 2(\psi_0 + \Delta\psi) - (\psi_{pol} + 2\Delta\psi) = \pm \frac{\pi}{2} \quad (2-5-6)$$

必須令檢偏片 (analyzer) 旋轉的角度為液晶元件旋轉角度的兩倍。

實際量測的時候，我們先旋轉液晶元件量測其穿透率的變化，圖 2-14 為樣品NO.28 的穿透率量測結果，找到穿透率的最小值，此時條件符合式 (2-5-3)。接下來以 1:2 的角度變化同時旋轉液晶元件與檢偏片，量測其穿透率變化，如圖 2-15 找出穿透率T最小時的 ψ_{pol} ，將 ψ_{pol} 代入 (2-5-4)，解 (2-5-4) 即可得到液晶分子的旋轉角度 (twist angle)。

2-5-2 表面定向強度的計算[15]

表面定向強度是指液晶分子與玻璃基板上的配向膜之間的作用力強度。一般會由於不同的配向方式，而有不同的定向強度。如何量測表面定向強度？以下將對量測方法作一說明。

當液晶元件中的向列型液晶 (nematic liquid crystal) 摻雜自旋添加物 (chiral dopant) 後，液晶分子的自由能 F (free energy) 包含了彈性自由能 F_d (the elastic energy) 和表面定向能 F_s (the surface anchoring energy)：

$$F = F_d + F_s \quad (2-5-7)$$

其中

$$F_d = \frac{1}{2} K_{22} \left(\frac{2\pi}{P_0} - \frac{\theta}{d} \right)^2 \cdot d \quad (2-5-8)$$

$$F_s = \frac{1}{2} A \cdot \sin^2 \phi_s \quad (2-5-9)$$

K_{22} = 旋轉彈性係數 (twist elastic constant)

P_0 = 自旋螺距 (natural pitch)

d = 液晶元件玻璃基板間距 (cell gap)

θ = 液晶分子的旋轉角度 (twist angle)

A = 表面定向強度 (surface anchoring strength)

ϕ_s = 表面液晶分子方向與配向方向的夾角

又假設此液晶元件的兩面玻璃基板的表面配向條件均相等，則液晶分子

的旋轉角度 θ 與表面液晶分子方向與配向方向的夾角 ϕ_s ，有下列的關係：

$$\theta = m\pi + 2\phi_s \quad m \text{ 為整數} \quad (2-5-10)$$

因為液晶元件具有兩片玻璃基板，因此總能量密度為：

$$F = F_d + 2F_s \quad (2-5-11)$$

在液晶元件中，液晶分子的自然排列下，所具有的自由能 F 最小，也就是：

$$\frac{\partial F}{\partial \phi_s} = 0 \quad (2-5-12)$$

根據上列各式，將 (2-5-12) 進行化簡：

$$\begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial \phi_s} &= \frac{\partial}{\partial \phi_s} \left(\frac{1}{2} K_{22} \left(\frac{2\pi}{P_0} - \frac{m\pi + 2\phi_s}{d} \right)^2 \cdot d + 2 \cdot \frac{1}{2} A \cdot \sin^2 \phi_s \right) \\ &= -2K_{22} \left(\frac{2\pi}{P_0} - \frac{m\pi + 2\phi_s}{d} \right) + 2A \cos \phi_s \sin \phi_s = 0 \end{aligned} \quad (2-5-13)$$

$$\Rightarrow K_{22} \left(\frac{2\pi}{P_0} - \frac{m\pi + 2\phi_s}{d} \right) = A \cos \phi_s \sin \phi_s \quad (2-5-14)$$

$$\Rightarrow K_{22} \left(\frac{2\pi}{P_0} - \frac{\theta}{d} \right) = \frac{1}{2} A \sin 2\phi_s \quad (2-5-15)$$

最後可得表面定向強度 A 為：

$$A = \frac{2K_{22}}{\sin 2\phi_s} \left(\frac{2\pi}{P_0} - \frac{\theta}{d} \right) \quad (2-5-16)$$

將上節所得之液晶分子旋轉角度 θ 代入，即可得到表面定向強度 A 。

第三章 實驗方法與樣品製作介紹

3-1 樣品製作

A. 清洗玻璃

1. 本實驗我們使用石英玻璃（用於照光的基板）與ITO玻璃（用於磨刷的基板）。將所要使用的玻璃切割為 $10 \times 20 \text{ mm}^2$ 。
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，將燒杯放入超音波機器中用超音波清洗 5 分鐘。
3. 用去離子水（DI water）將玻璃沖洗乾淨，並用氮氣吹乾後放置到另一個乾燥的燒杯。（※注意：一定要將去離子水用氮氣吹乾，因為用來去除油脂的三氯乙烷（1.1.1-Trichloroethane）與水不互溶，如果沒有將去離子水用氮氣吹乾，當用三氯乙烷清洗時，三氯乙烷和去離子水會形成兩層，無法將油脂清洗乾淨。
4. 加入三氯乙烷（1.1.1-Trichloroethane）使三氯乙烷蓋過玻璃，將燒杯放入超音波機器中用超音波震盪清洗 5 分鐘，將三氯乙烷回收以免污染。
5. 加入丙酮（Acetone）到燒杯內，將燒杯放入超音波機器中用超音波震盪清洗 5 分鐘，將丙酮回收以免污染。
6. 加入去離子水到燒杯內，將燒杯放入超音波機器中用超音波震盪清洗 5 分鐘。
7. 將玻璃再以去離子水沖洗，並使用氮氣吹乾，放入烤箱中烤乾，冷卻備用。（清洗完成的玻璃必須在一天內上完配向劑，以免玻璃被污染，配向劑無法附著上。）

B. 光配向基板之製作

1. 本實驗所使用的光配向劑為 Nissan 的 130B 配向劑。
2. 將 Nissan 130B 由冰箱中取出，待其回復到室溫再行使用。
3. 將 ITO 玻璃放於旋轉塗佈機 (spin-coater) (半導體製程中上光阻的機器) 上。
4. 用微量滴管取 130B 滴數滴在石英玻璃上，旋轉分為兩步驟，條件分別為第一步 2000 rpm (15 sec)，第二步 4000 rpm (25 sec)。
5. 軟烤:將玻璃取下平放於加熱板上軟烤 60°C，5 分鐘。
6. 硬烤:將鍍好磨刷配向劑的玻璃放入已預熱到 170°C 的烤箱中硬烤。
7. 硬烤完成後，將玻璃取出放入培養皿中，冷卻備用。
8. 將冷卻後的玻璃基板放置照光系統進行照光。

C. 液晶元件製作

1. 將兩片紫外光照射完成的玻璃基板夾一薄墊片形成一空樣品，並測量其厚度，灌入液晶後，量測預傾角與表面定向強度。
2. 確認光配向方向與紫外光線偏極化方向之關係時，是利用一片磨刷配向玻璃基板與光配向玻璃基板，製成樣品。
3. 確認光配向方向與紫外光線偏極化方向之關係與預傾角的量測所使用的液晶是向列型液晶 5CB。
4. 量測表面定向強度所使用的液晶是向列型液晶 5CB+chiral dopant(pitch = 49.45 μ m)。

3-2 圖形配向實驗

1. 本實驗所使用的光源為氙燈，照光裝置示意圖如圖 3-1。
2. 本實驗所使用的氙燈為 Thermo Oriel Instruments 的 900W Xenon arc

lamp，並利用 Thermo Oriel 250nm filter ($\Delta\lambda=10\text{nm}$)過濾掉其他的波長，其穿透光譜如圖 3-2。

3. 本實驗所使用的光罩如圖 3-3，其材料為石英玻璃，由台灣光罩公司所製作，光罩上每一個圖形均為 Fresnel Zone Plate。

3-3 偏光顯微鏡觀察

1. 將製作完成的液晶樣品，置於偏光顯微鏡下，令偏光顯微鏡上下兩片偏極片相互垂直 (crossed polarizers)，其裝置示意圖如圖 3-4，樣品沿著 z 軸方向旋轉， θ 為磨刷方向與下方偏極片偏極方向 (y 軸方向) 的夾角。
2. 在下方的玻璃基板(磨刷配向或光配向)，使配向方向與下方的偏極片偏極方向平行，此定為樣品位置為 0° ($\theta=0^\circ$)。
3. 利用 CCD 及影像擷取卡記錄下影像，並旋轉樣品至 45° ，記錄下影像。



第四章 實驗結果與分析

4-1 實驗結果

4-1-1 圖形配向

我們使用一片磨刷配向與一片光配向的玻璃製成樣品，其磨刷方向與紫外光之線偏振方向如圖 4-1 所示，在偏光顯微鏡 crossed polarizers 下旋轉樣品，可看出使用光罩後，有圖形配向的效果，如圖 4-2 所示。圖 4-3 為樣品在 crossed polarizers 下所拍照之照片。改變紫外光之線偏振方向如圖 4-4 所示，在偏光顯微鏡 crossed polarizers 下旋轉樣品，其圖形如圖 4-5 所示，可看出形成一個 TN (twist nematic) 的液晶樣品，圖 4-6 為其照片。



4-1-2 預傾角量測結果

將配向膜鍍上玻璃表面經過硬烤 170°C 一小時後，我們將兩片光配向處理的樣品製作如圖 4-7，箭號方向為配向之方向。

量測樣品 Sample 23，照光條件為：

Step1: Polarized UV light 45° 入射，照光 2 小時，照光能量為 0.648 J/cm^2 。

Step2: Unpolarized UV light 45° 入射，照光 0.5 小時，照光能量為 0.162 J/cm^2 。

圖 4-8 是穿透率對樣品旋轉角度 φ 之量測的結果，樣品的對稱點為 3.65° ，計算其預傾角為 1.13° 。

量測樣品 Sample 32 之預傾角，照光條件為：

Step1: Polarized UV light 45° 入射，照光 3 小時，照光能量為 0.972 J/cm^2 。

Step2: Unpolarized UV light 45° 入射，照光 0.5 小時，照光能量為 0.162 J/cm^2 。

圖 4-9 是穿透率對樣品旋轉角度 φ 之量測的結果，樣品的對稱點為 1.49° ，計算其預傾角為 0.71° 。

4-1-3 表面定向強度量測結果

4-1-3.1 改變照光條件，再依據 2-5 節之方法量測表面定向強度：

經過硬烤一小時的配向膜，改變不同 Step1 的照光時間，光強度為 0.09 mW/cm^2 ，固定 Step2 照光時間為 0.5 小時，光強度 0.20 mW/cm^2 。

Sample 25 樣品照光條件為：

Step 1: Polarized UV light 45° 入射，照光 2.5 小時，照光能量為 0.810 J/cm^2 。

Step 2: Unpolarized UV light 45° 入射，照光 0.5 小時，照光能量為 0.162 J/cm^2 。

其表面定向強度為 $0.25 \times 10^{-7} \text{ J/m}^2$ 。

Sample 26 樣品照光條件為：

Step 1: Polarized UV light 45° 入射，照光 2 小時，照光能量為 0.648 J/cm^2 。

Step 2: Unpolarized UV light 45° 入射，照光 0.5 小時，照光能量為 0.162

J/cm²。

其表面定向強度為 $2.64\sim 3.02 \times 10^{-7} \text{ J/m}^2$ 。

Sample 27 樣品照光條件為：

Step 1: Polarized UV light 45°入射，照光 2.25 小時，照光能量為 0.729 J/cm²。

Step 2: Unpolarized UV light 45°入射，照光 0.5 小時，照光能量為 0.162 J/cm²。

其表面定向強度為 $0.04\sim 0.91 \times 10^{-7} \text{ J/m}^2$ 。

Sample 28 樣品照光條件為：

Step 1: Polarized UV light 45°入射，照光 2.75 小時，照光能量為 0.891 J/cm²。

Step 2: Unpolarized UV light 45°入射，照光 0.5 小時，照光能量為 0.162 J/cm²。

其表面定向強度為 $3.88 \times 10^{-7} \text{ J/m}^2$ 。

Sample 30 樣品照光條件為：

Step 1: Polarized UV light 45°入射，照光 3 小時，照光能量為 0.972 J/cm²。

Step 2: Unpolarized UV light 45°入射，照光 0.5 小時，照光能量為 0.162 J/cm²。

其表面定向強度為 $9.95 \times 10^{-7} \sim 1.08 \times 10^{-6} \text{ J/m}^2$ 。

表 4-1 與圖 4-10 為不同照光條件下的表面定向強度，其表面定向強度為

$0.42 \times 10^{-7} \sim 1.08 \times 10^{-6} \text{ J/m}^2$ 。

4-1-3.2 改變硬烤時間，表面定向強度量測:

配向膜鍍上玻璃表面後，我們會將其放入 170°C 的烤箱進行硬烤，其硬烤的目的為讓其單體固化形成鍵結，但其鍵結的方向是隨機的，再利用光配向來使其鍵結作有規律的排列，所以本實驗的目的即為改變硬烤的時間，找到配向最佳的效果。

液晶樣品照光條件皆為 Step 1: Polarized UV light 45° 入射，照光 3 小時，照光能量為 0.972 J/cm^2 ，Step 2: Unpolarized UV light 45° 入射，照光 0.5 小時，照光能量為 0.162 J/cm^2 。樣品編號為 Sample 30、Sample 34、Sample 35、Sample 36、Sample 42，其硬烤時間分別為 60 分鐘、15 分鐘、30 分鐘、45 分鐘、0 分鐘，表 4-2 與圖 4-11 為不同硬烤時間下的表面定向強度，其表面定向強度為 $0.434 \times 10^{-7} \sim 1.08 \times 10^{-6}\text{ J/m}^2$ 。

4-2 實驗討論與分析

4-2-1 紫外光線偏振方向與光配向方向之關係

由於光罩的設計，圖形中間是有照射紫外光的部分，由磨刷配向與紫外光線偏振方向的配置圖，由圖形配向照片可看出，當樣品在 crossed polarizers 之下 0° 為最暗， 45° 為最亮，由式(2-2-22)可以推測出此為平行配向的樣品，即兩玻璃基板之配向方向相同。將紫外光的線偏振方向旋轉 90° ，所製作出的樣品在 crossed polarizers 下觀察，其中間部分在 0° 為最亮， 45° 為最暗，形成一個 TN 樣品，所以可以確定光配向之方向與紫外光線偏

振方向垂直。

4-2-2 光配向之預傾角

由液晶樣品 Sample 23、Sample 32 量測預傾角，其預傾角量測結果都在 1° 左右，是相當小的傾斜角，由此可得知液晶分子幾乎是平躺在玻璃基板上。

4-2-3 光配向表面定向強度

4-2-3.1 改變照光條件之表面定向強度

改變不同 Step 1 照光時間下，發現在照光能量小於 0.810 J/cm^2 ，由於表面定向強度較小，所以在小於此照光能量表面定向強度沒有明顯的差別。當照光能量大於 0.810 J/cm^2 ，其表面定向強度隨著照光能量增加而增大。

本實驗可看出當 Step 1 照光能量為 0.972 J/cm^2 ，有最佳的配向效果。

4-2-3.2 改變硬烤時間之表面定向強度

在改變照光條件的實驗中，發現在 Step 1 照光 3 小時表面定向強度較大，即配向較好，所以選擇此照光條件，改變硬烤時間，就目前的數據資料看出表面定向強度並沒有明顯的差異。

本實驗可看出當硬烤時間為 60 分鐘時，其表面定向強度較大，為最佳的配向條件。

第五章 結論與未來展望

Nissan 130B 是一般用來做磨刷配向的配向劑，本實驗證實 Nissan 130B 可以用來作為光配向之配向劑，如此一來，Nissan 130B 成為在光配向研究中，容易取得的材料。

一般磨刷配向的表面定向強度約為 10^{-5} J/m^2 的數量級，與光配向在 Nissan 130B 的表面定向強度為 $10^{-7} \sim 10^{-6} \text{ J/m}^2$ 的數量級比較，Nissan 130B 的光配向為弱配向[16]。在液晶的應用上有些液晶元件需要比較快的反應時間，則會選擇弱配向的方法。而且可以利用控制照光能量來改變表面定向強度，這也是光配向的優點。

在未來的研究裡，為了更瞭解達到穩定光配向的條件，我們將繼續探討硬烤時間與表面定向強度的關係，和改變 Step 2 的照光時間，視其對配向效果的影響。

利用控制照光條件可以改變配向情形的特性，我們將嘗試將一磨刷配向的樣品，在不同的區域進行光配向，觀察是否可以改變其配向性質，進而達到圖形配向的效果。但此方法可能會由於磨刷造成表面的污染會是靜電的產生，影響液晶元件的品質。所以我們也可以使用光配向處理後的基板上利用不同方向的偏振光來改變配向性質，達到圖形配向的效果。

在應用上，我們可以利用光配向可以作出圖形配向的特性，製作出可調變的液晶元件。例如: 1. 利用 Fresnel zone plate 的圖形配向，由光學的原

理我們可知，Fresnel zone plate 有聚焦的作用，配合液晶分子在外加電場或磁場下，可以改變其排列方向，進而改變其折射異方率(Δn)，達到調變其焦距的效果[17]。2. 利用類似的原理，使用一片漸層的紫外光光罩，則液晶樣品在相鄰的區域有不同程度的配向，即在不同的區域有不同的相位延遲，而形成光柵的效果。配合液晶分子在外加電場或磁場下，可以改變其排列方向，形成可調變的液晶光柵元件[18]。



參 考 文 獻

- [1] Minoru Nakamura, *J. Appl. Phys.*, Vol. 52, 4561, 1981.
- [2] John L. Janning, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 21, 173, 1972.
- [3] Praveen Chaudhari, James A. Lacey, Shui-Chih Alan Lien, and James L. Speidell, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 37, L55, 1998.
- [4] O. Yaroshchuk, L. G. Cada, M. Sonpatki, and L.-C. Chien, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 79, 30, 2001.
- [5] Martin Schadt, Klaus Schmitt, Vladimir Kozinkov, and Vladimir Chigrinov, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 31, 2155, 1992.
- [6] I. Janossy, *Pramana- journal of physics*, Vol. 61, 435, 2003.
- [7] W.M. Gibbons, P. J. Shannon, S. T. Sun, and B. G. Swetlin, *Nature*, Vol. 351, 49, 1991.
- [8] Ru-Pin Pan, Hua-Yu Chiu, Yea-Feng Lin, and J.Y. Huang, *Chinese Journal of Physics*, Vol. 41, 177, 2003.
- [9] H. Endo et al., *Proceeding of the Active-Matrix Liquid Crystal Display 96*, 341, 1996
- [10] 張忠益, 紫外光照射光配向膜之方法及性質研究, 國立交通大學電子物理系碩士班畢業論文, 2001.
- [11] Pochi Yeh, and Claire Gu, *Optics of Liquid Crystal Displays*, A Wiley Interscience Publication, New York, 1999.
- [12] K.H. Yang, *J. Appl. Phys.*, Vol.64, 4780, 1988.
- [13] T. J. Scheffer, and J. Nehring, *J. Appl. Phys.*, Vol. 48, 1783, 1977.
- [14] Yumiko Sato, Kazutoshi Sato, and Tatsuo Uchida, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 31, L579, 1992.
- [15] Yukito Saitoh, and Alan Lien, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 39, 1743, 2000.
- [16] Valery P. Vorflusev, Heinz-S. Kitzerow, and Vladimir G. Chigrinov, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 34, L1137, 1995.
- [17] Hongwen Ren, Yun-Hsing Fan, and Shin-Ton Wu, *Appl. Phys. Lett.*, Vol.83, 1515, 2003.
- [18] Hongwen Ren and Shin-Ton Wu, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 81, 3537, 2002.

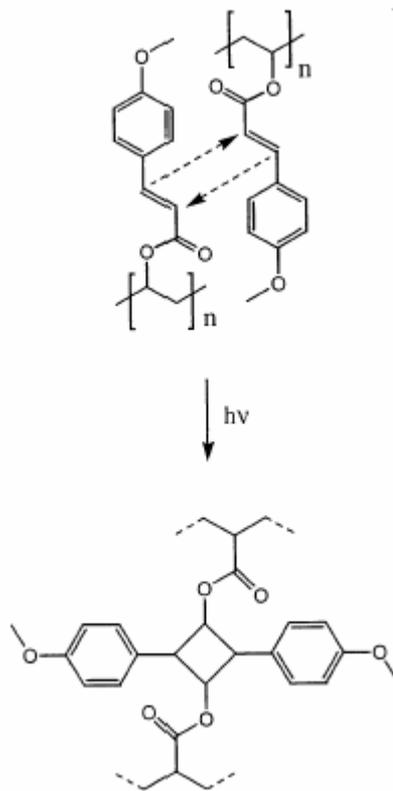


圖 1-1 聚合物經過紫外光照射形成 Cross-Linking

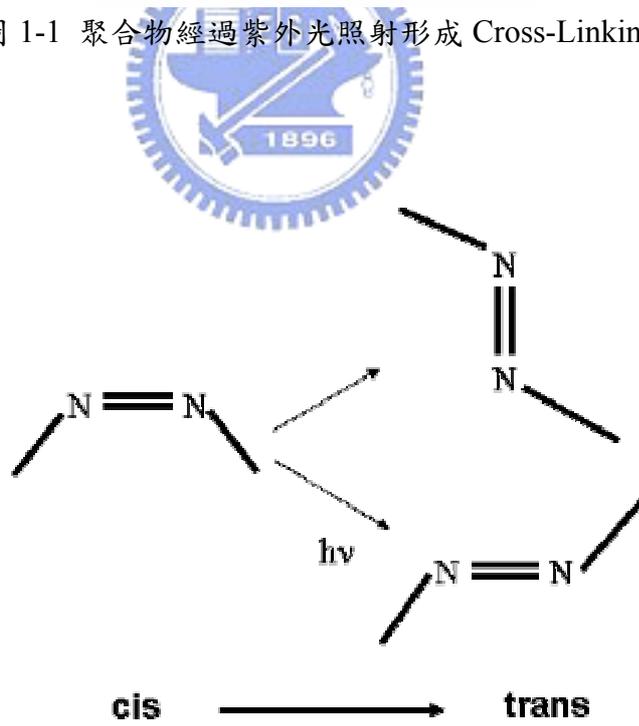


圖 1-2 光配向劑形成 cis-trans 示意圖

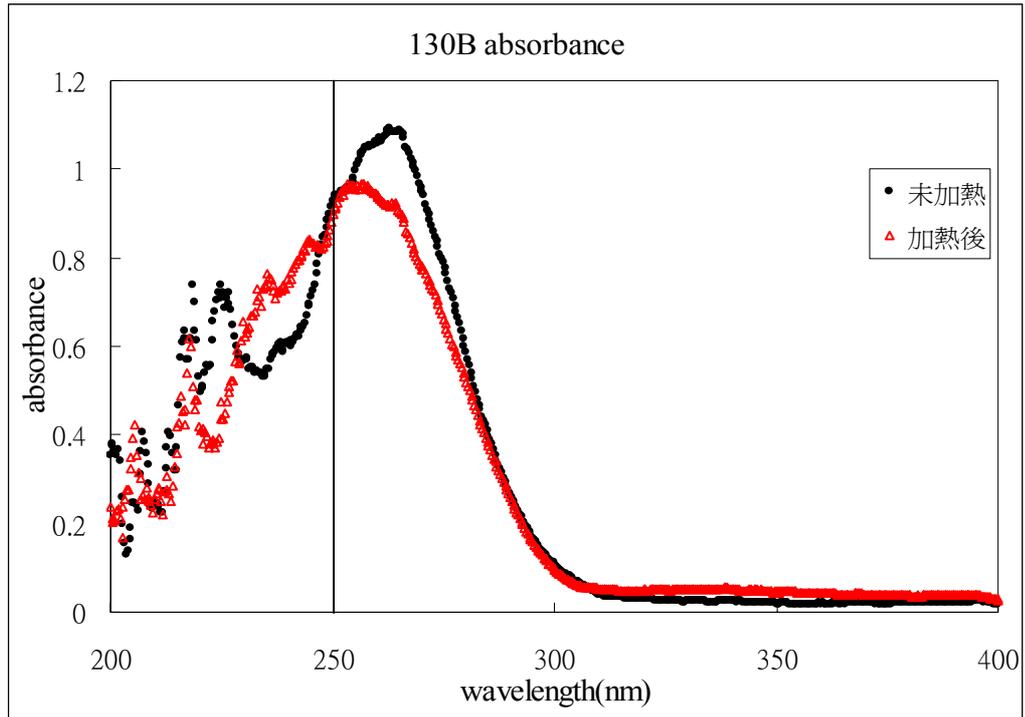
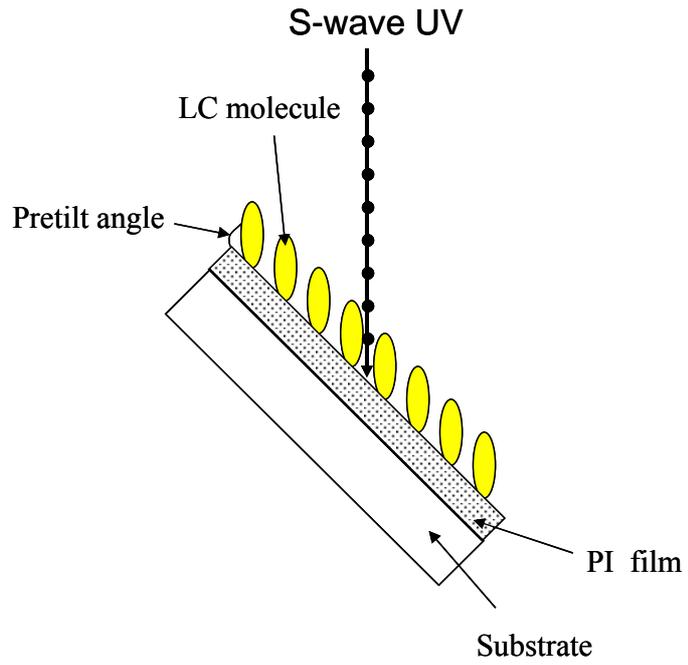


圖 2-1 Nissan 130B 吸收光譜

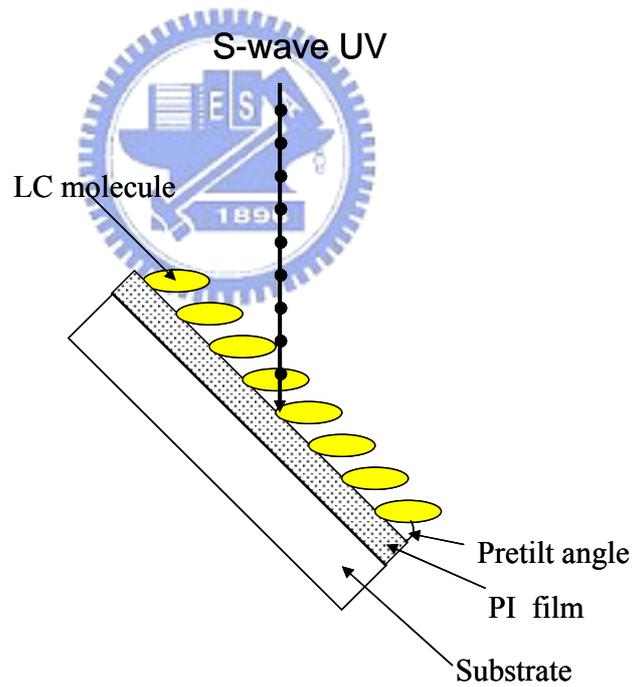


No.	Material	液晶 E7	液晶 ZLI 2293
1	M1	垂直玻璃基板排列	垂直玻璃基板排列
2	M2	垂直玻璃基板排列	垂直玻璃基板排列
3	M3	平行玻璃基板排列	垂直玻璃基板排列
4	M4	平行玻璃基板排列	垂直玻璃基板排列

表 2-1 LMWPC 不同材料與使用不同液晶的配向方式



(a)



(b)

圖 2-2 預傾角簡併。經過照光步驟 Step 1

處理後，液晶分子可能的傾斜方向。

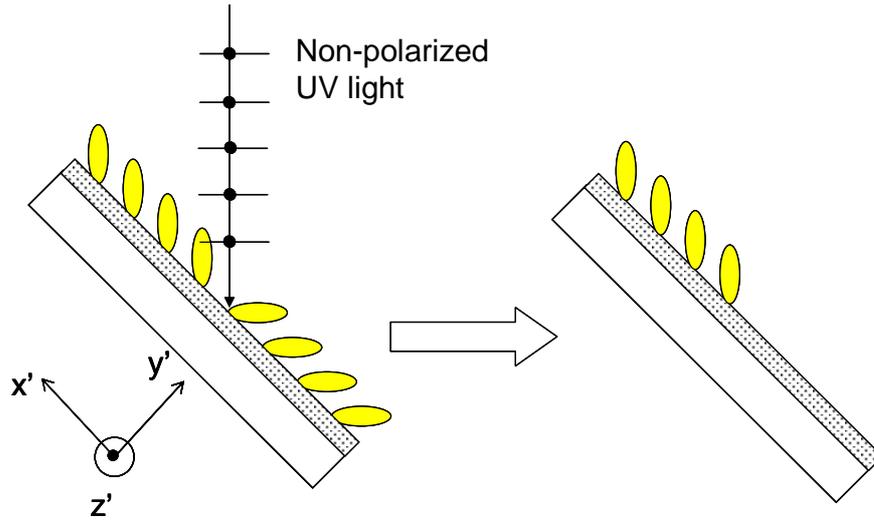


圖 2-3 斜向入射的紫外光可以去除預傾角簡併的現象，圖為紫外光入射方向與液晶分子傾斜方向的關係，與光的偏極化方向較垂直的方向即為液晶的排列方向。

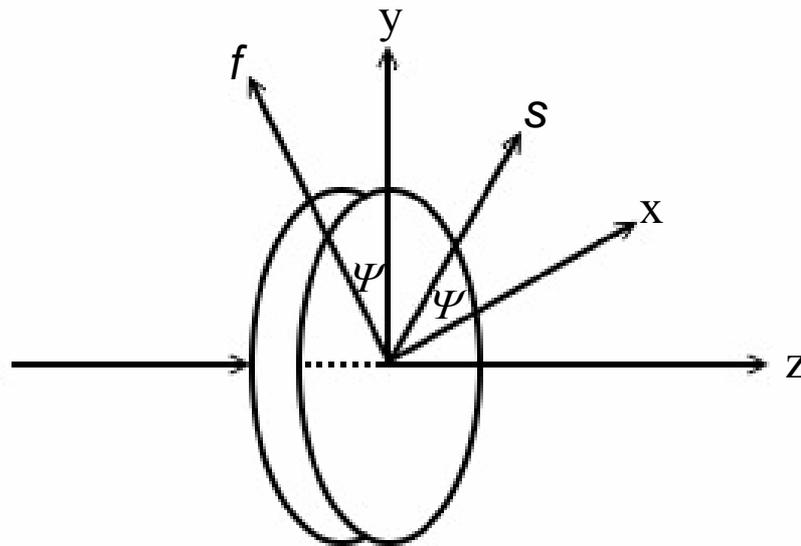


圖 2-4 具有方位角 Ψ 的液晶樣品

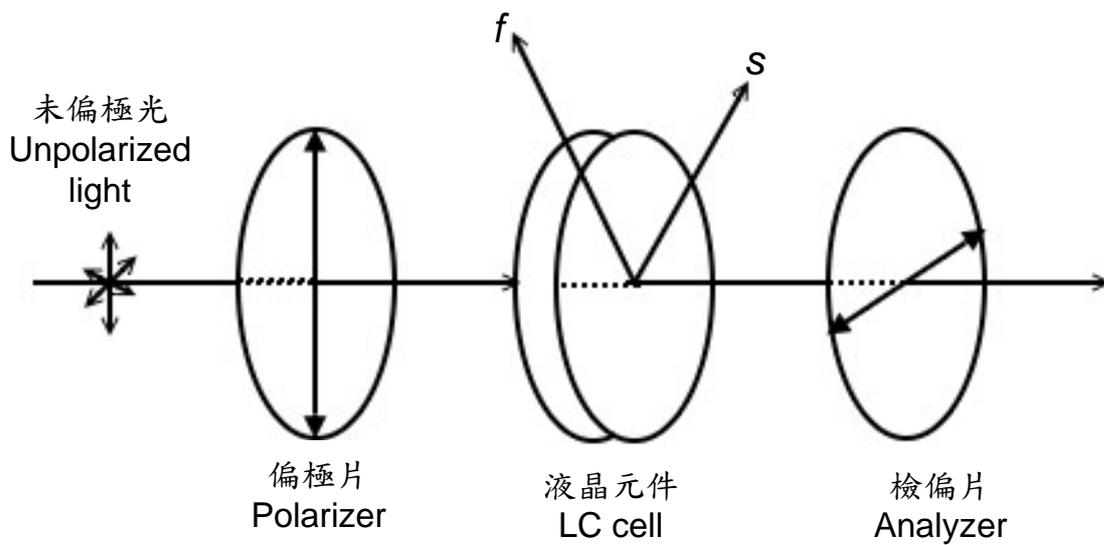


圖 2-5 穿透率量測裝置示意圖

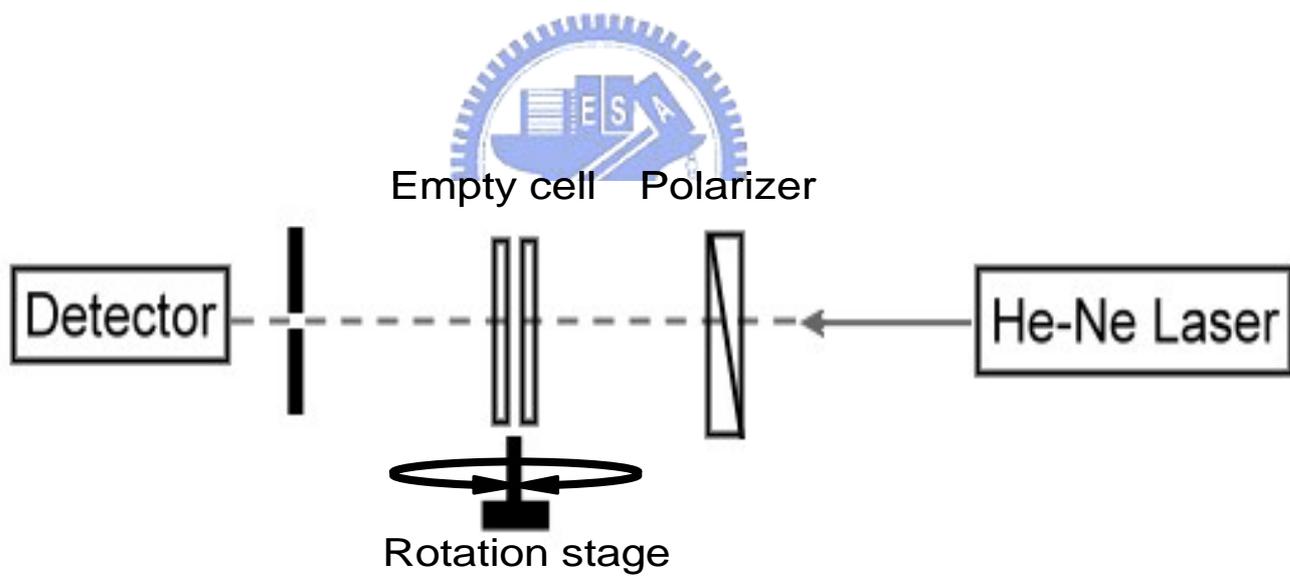


圖 2-6 厚度量測系統示意圖

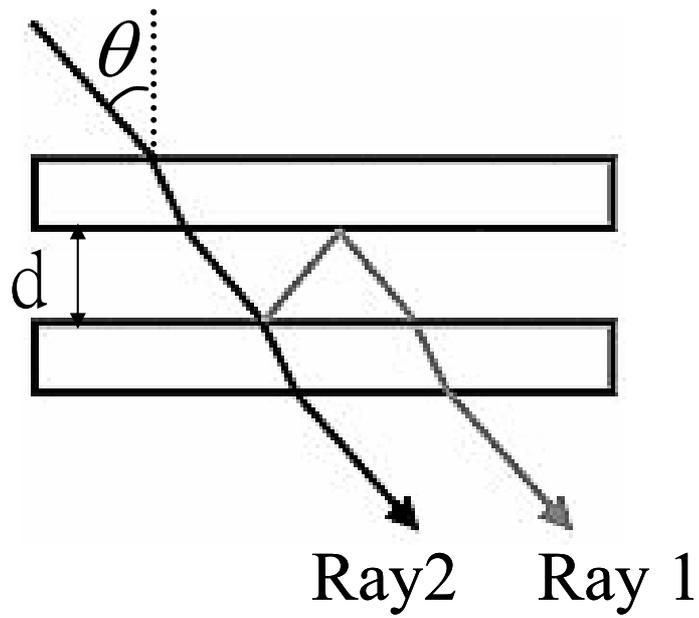


圖 2-7 光入射空樣品示意圖

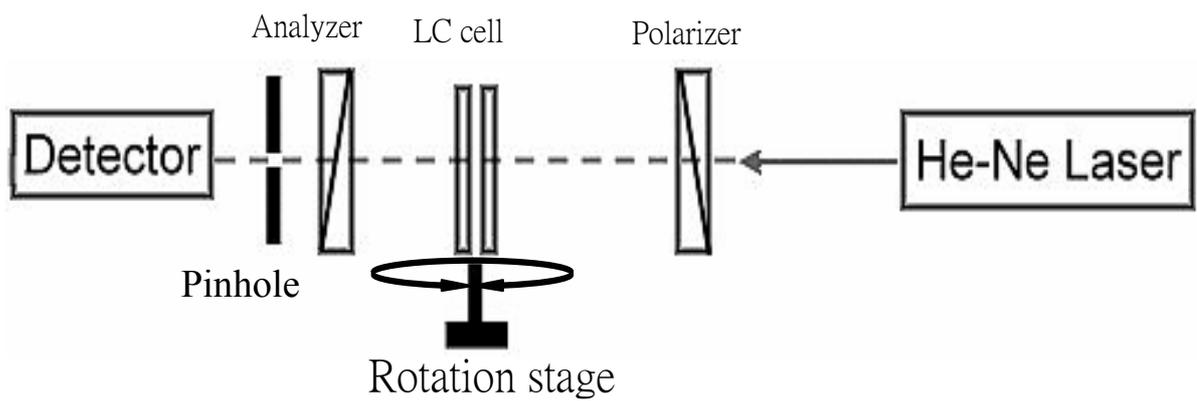


圖 2-8 預傾角量測系統示意圖

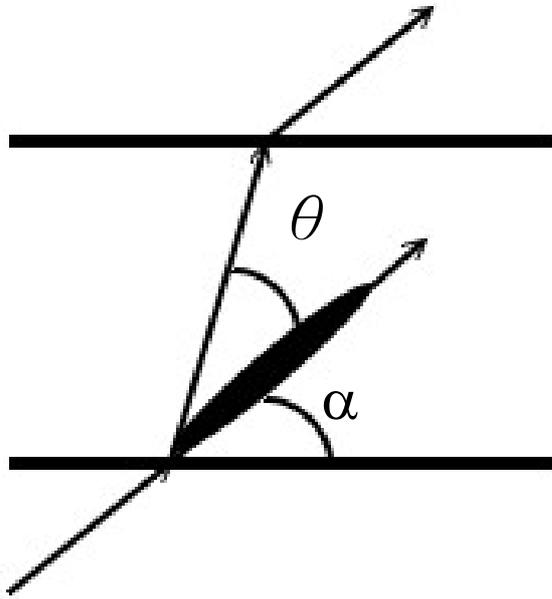


圖 2-9 傾角與玻璃基板的關係

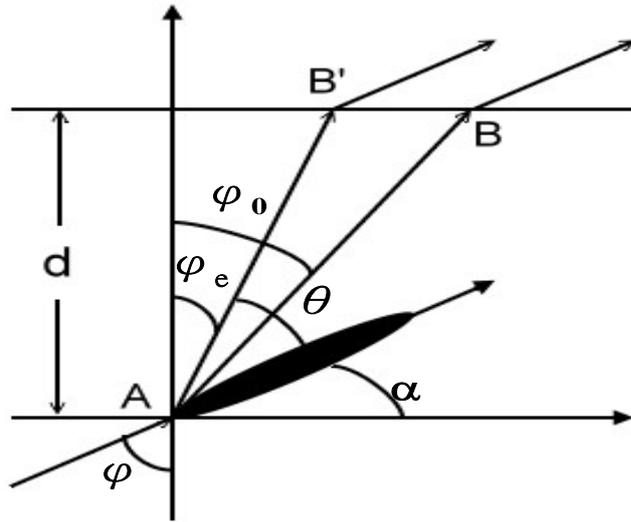


圖 2-10 光徑示意圖

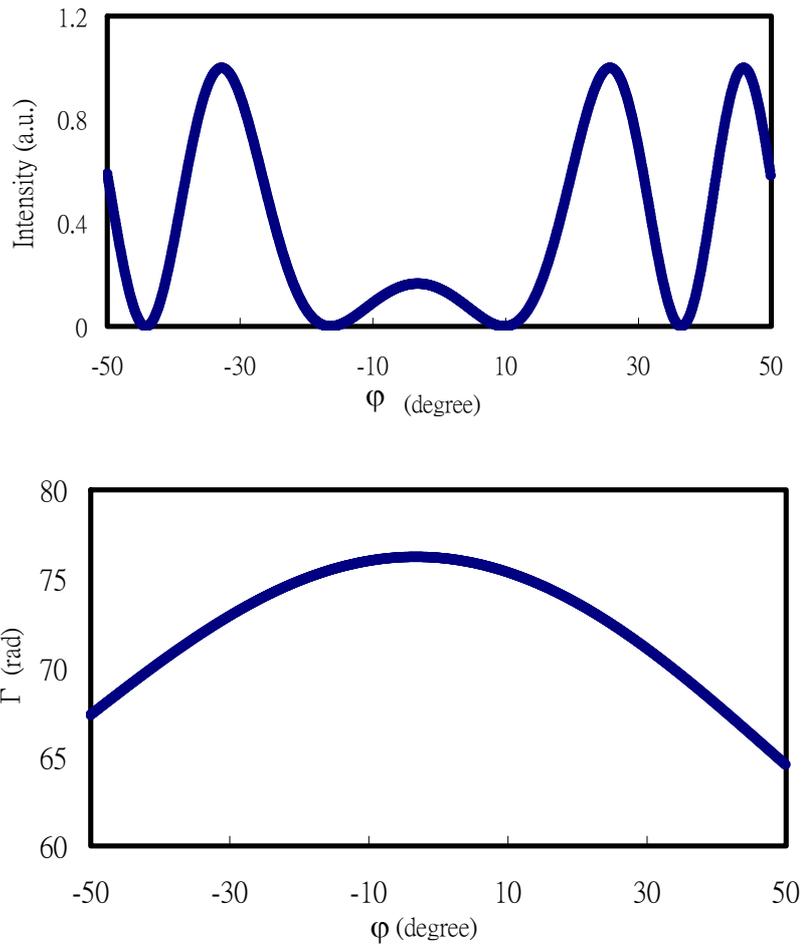


圖 2-11 穿透率 $I(\phi)$ 對 ϕ 作圖，圖中顯示穿透率對稱點即為最大相位延遲的入射角。

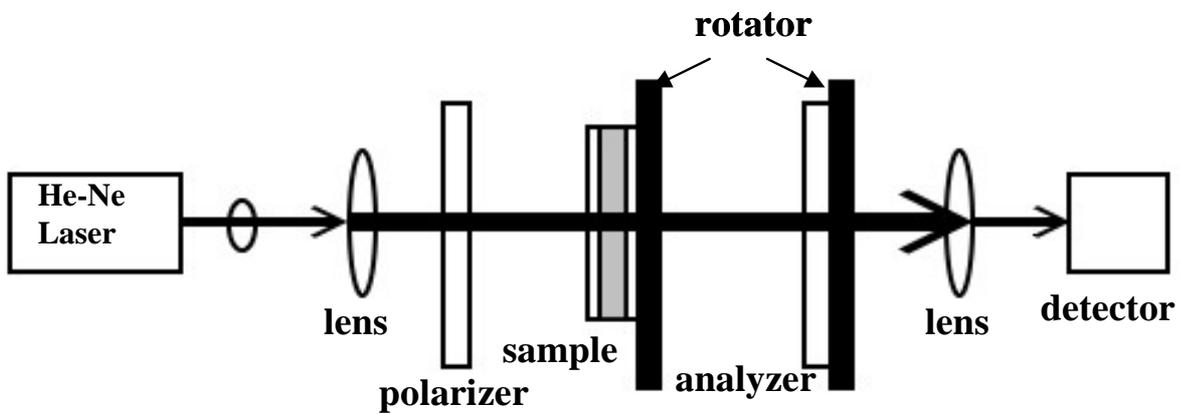


圖 2-12 表面定向強度量測裝置示意圖

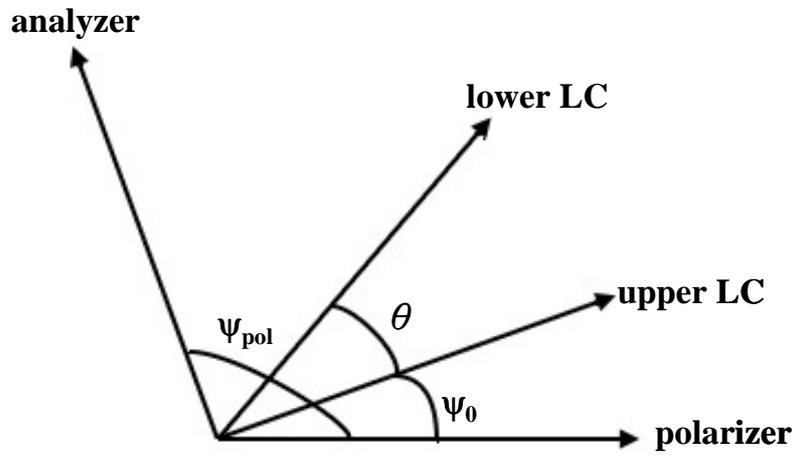


圖 2-13 偏極片、檢偏片與液晶元件間的關係

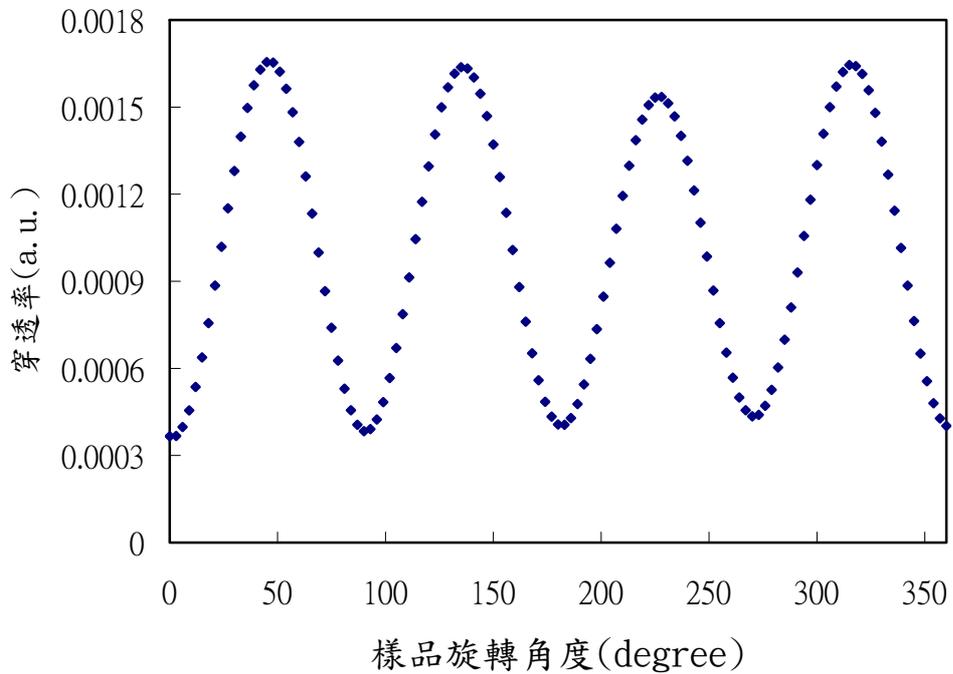


圖 2-14 旋轉液晶樣品 NO.28，量測穿透率，再將樣品轉至穿透率最小值處，此時為符合式(2-5-3)之條件。

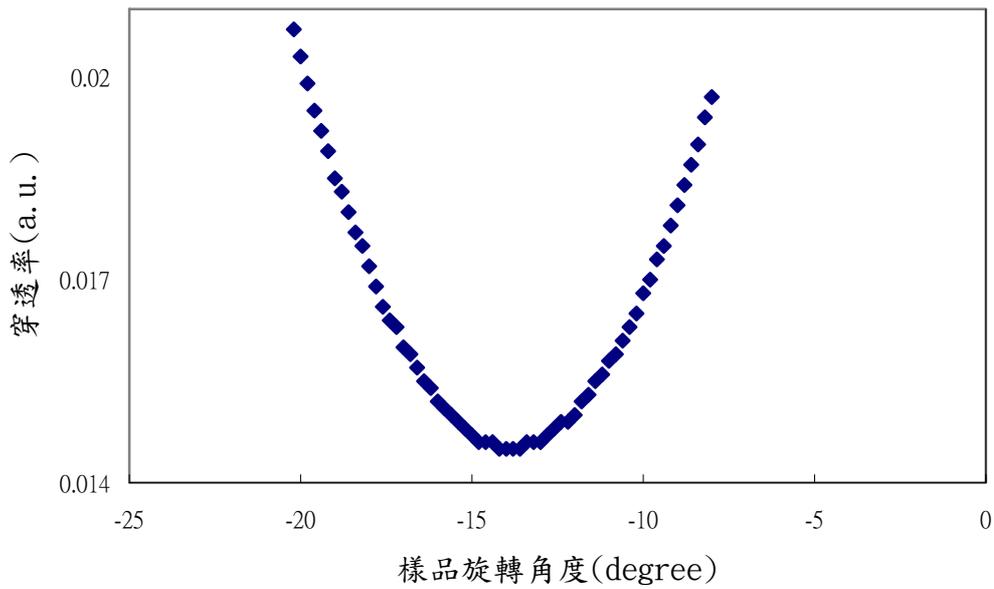


圖 2-15 液晶樣品NO.28 以 1:2 的角度變化同時旋轉液晶元件與檢偏片，量測其穿透率，找出穿透率最小時的 ψ_{pol} ，將 ψ_{pol} 代入 (2-5-4)，解 (2-5-4) 即可得到液晶分子的旋轉角度

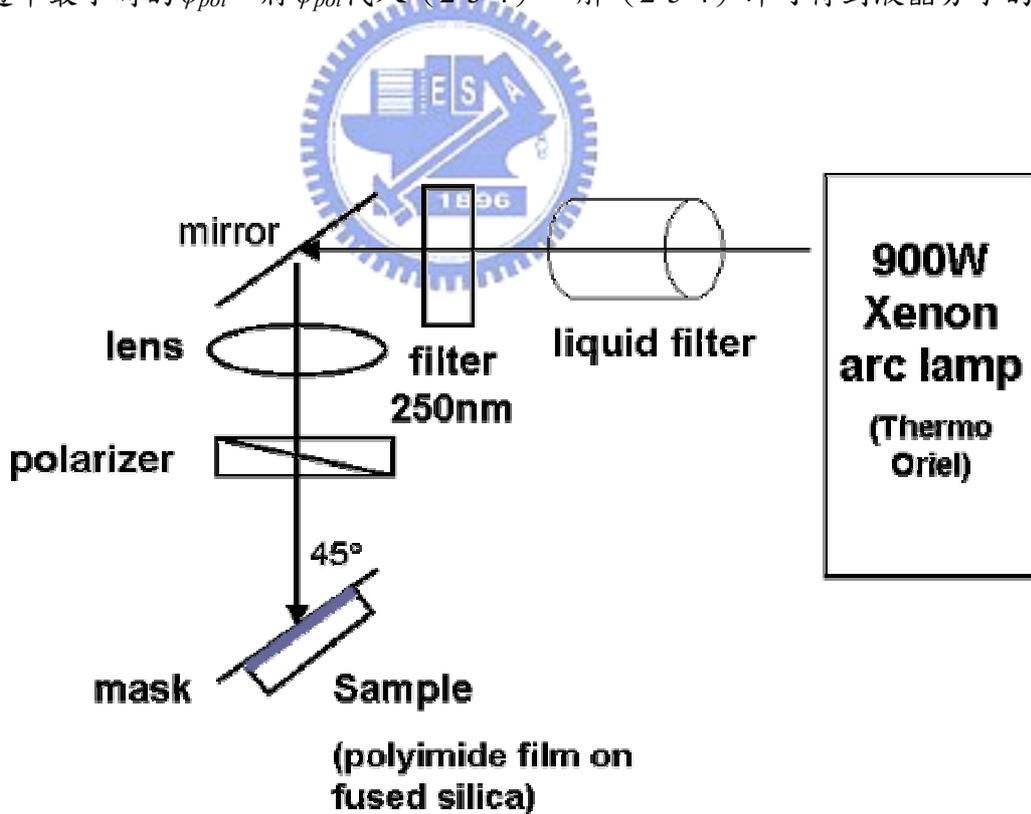


圖 3-1 照光裝置示意圖

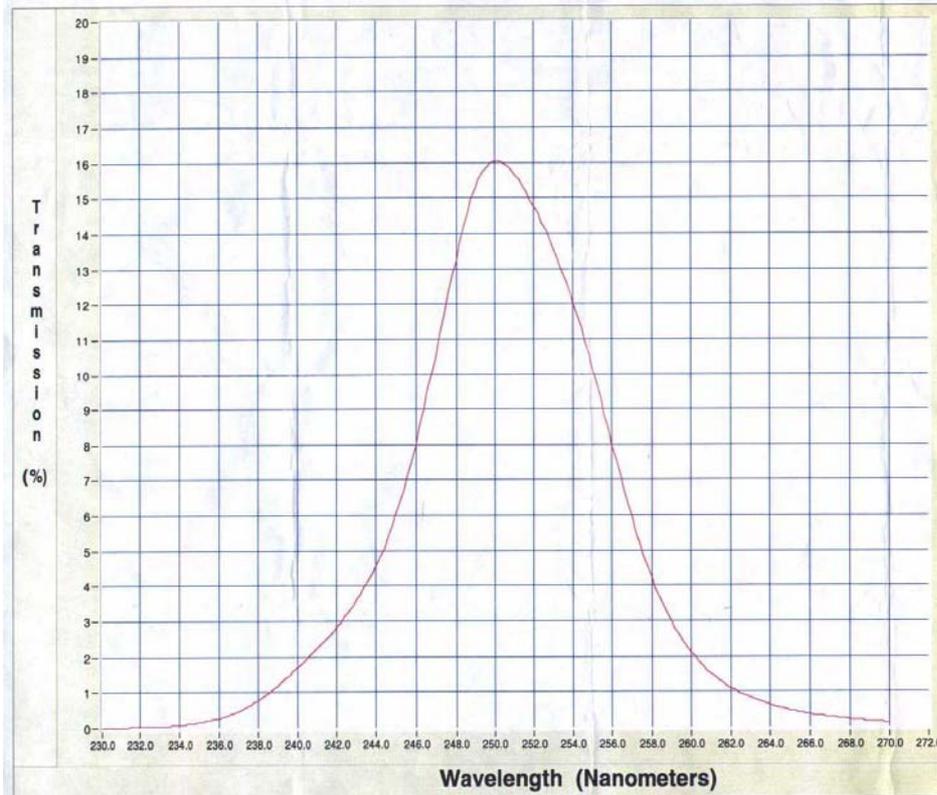


圖 3-2 250nm filter 穿透光譜

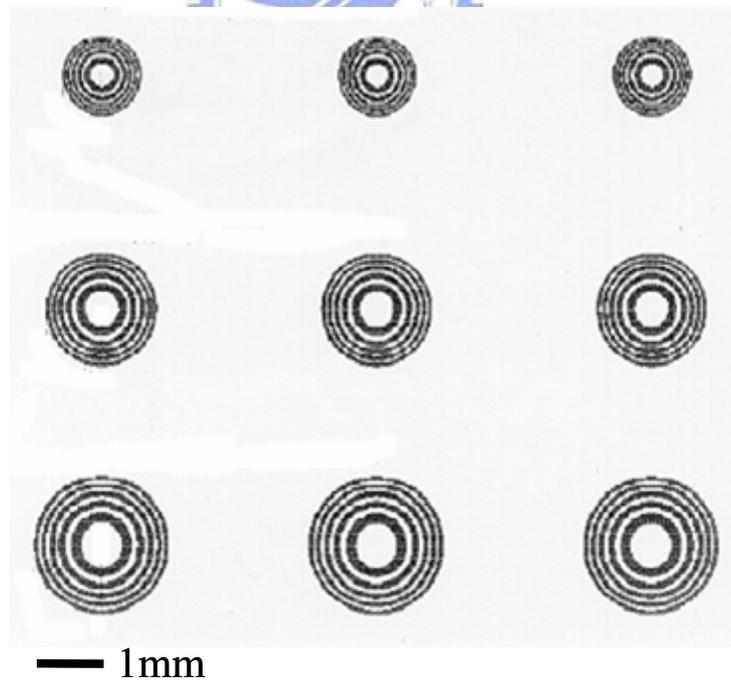


圖 3-3 光罩圖形

小圓的每個圓半徑分別為 178, 252, 309, 356, 398, 436, 471, 504, 534, 563 μ m
 中圓的每個圓半徑分別為 252, 356, 436, 504, 563, 617, 666, 712, 755, 796 μ m
 大圓的每個圓半徑分別為 309, 436, 534, 617, 689, 755, 816, 872, 925, 975 μ m

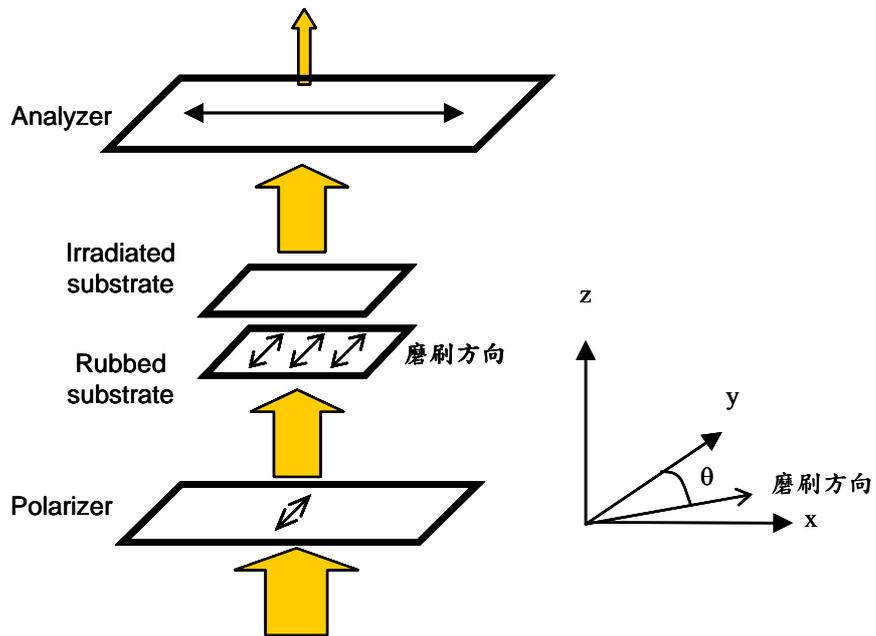


圖 3-4 偏光顯微鏡量測裝置示意圖，樣品沿 z 軸方向旋轉

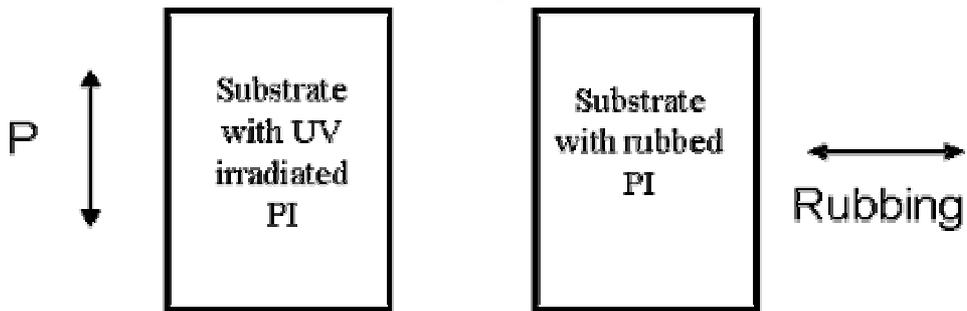
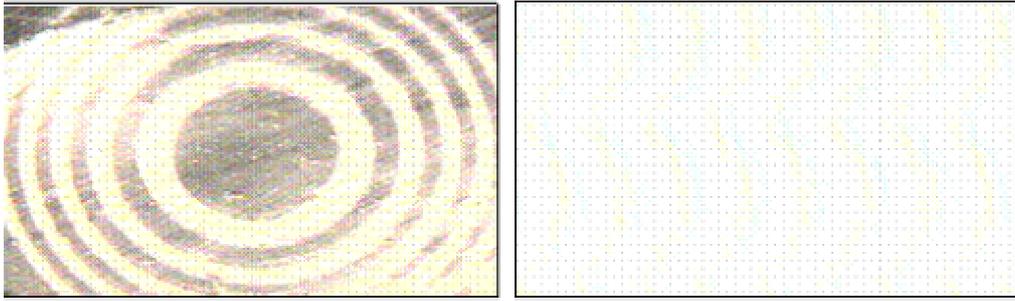


圖 4-1 紫外光線偏振方向與磨刷配向方向示意圖



0°

45°

圖 4-2 crossed polarizers 下觀察圖形配向

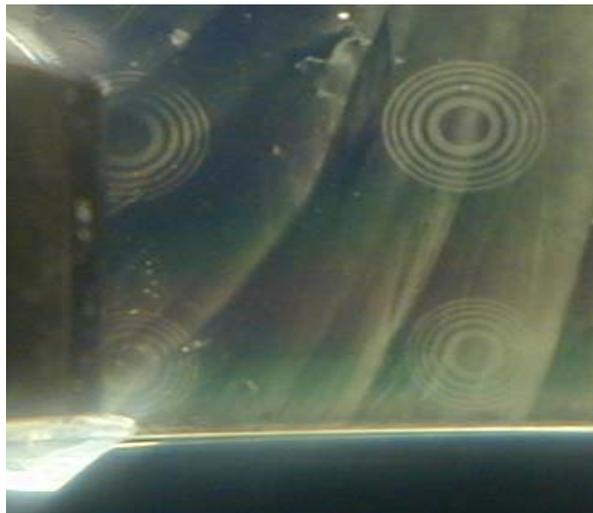


圖 4-3 液晶元件在 crossed polarizers 下之照片，照片上可明顯看出圖形配向

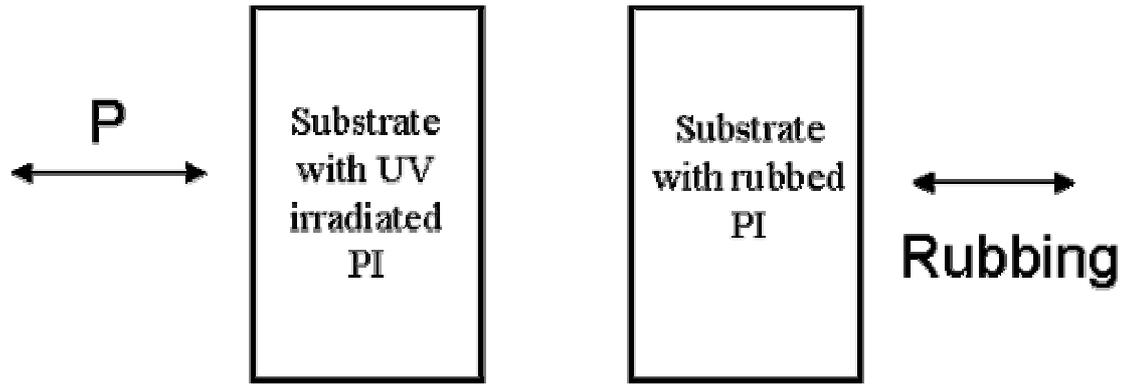


圖 4-4 紫外光線偏振方向與磨刷配向方向示意圖

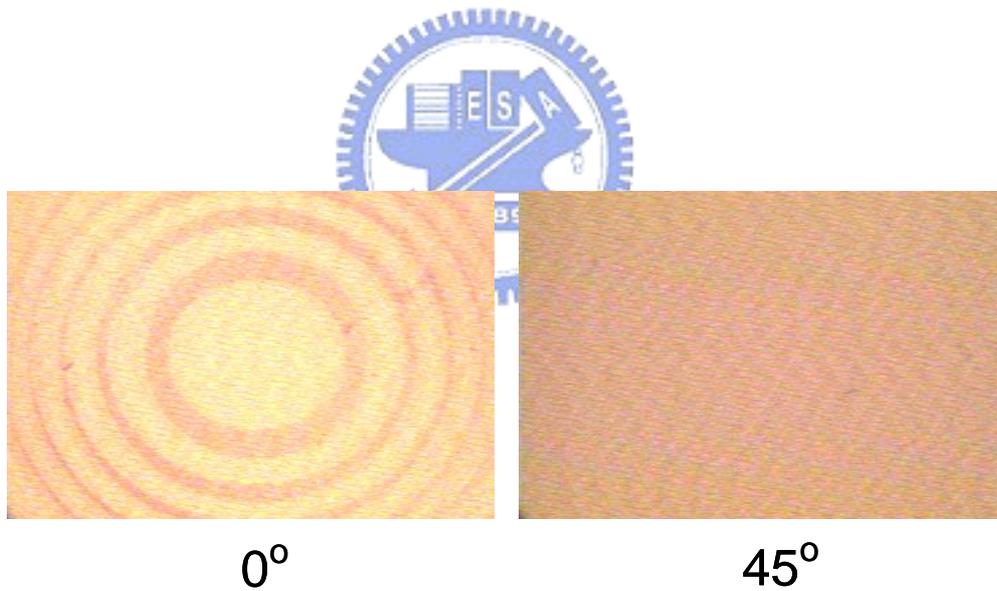


圖 4-5 TN 型樣品在 crossed polarizers 下觀察圖形配向

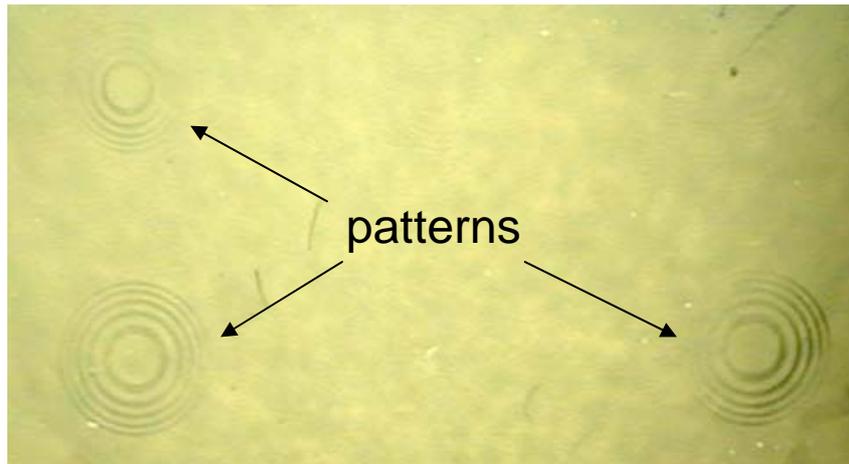


圖 4-6 TN 型樣品在 crossed polarizers 下之照片，照片上可明顯看出圖形配向

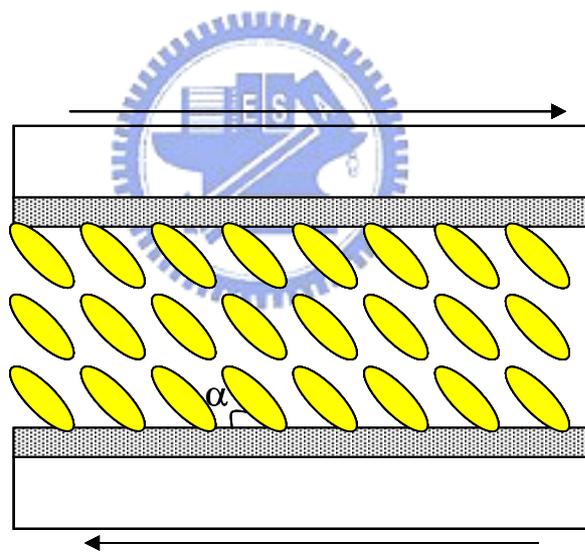


圖 4-7 樣品製作與預傾角 α 示意圖

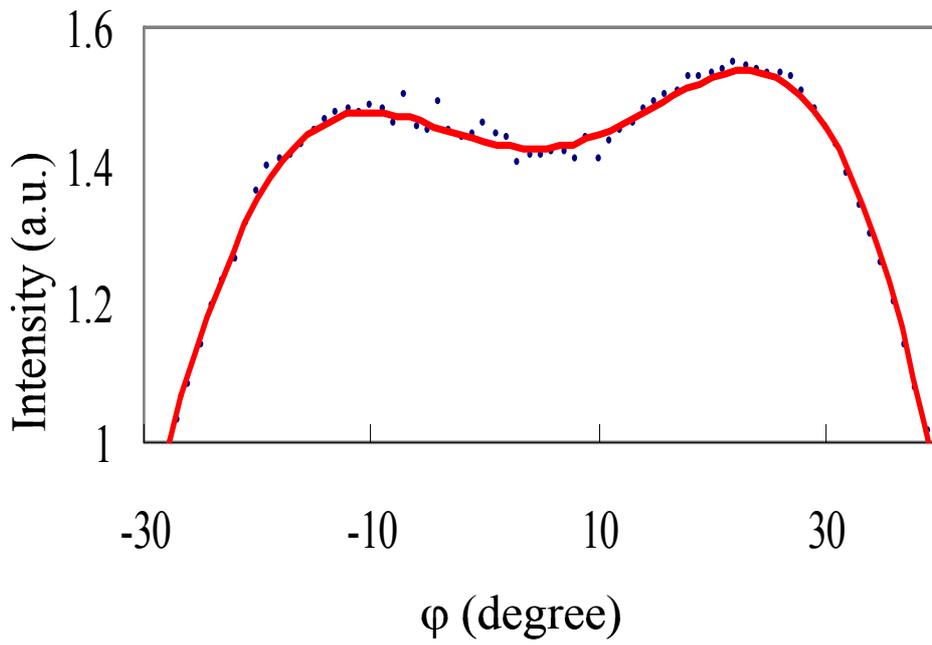


圖 4-8 樣品 Sample 23 預傾角量測數據

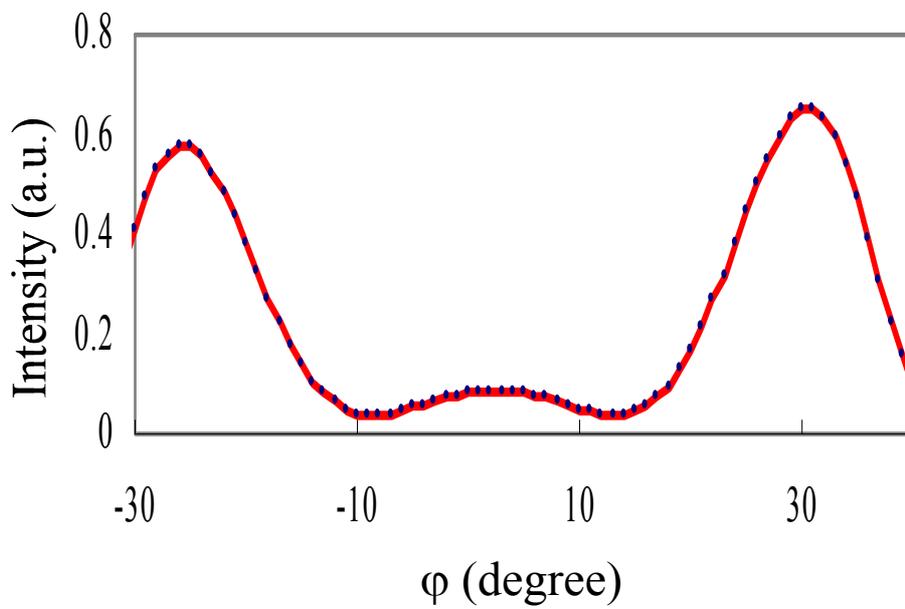


圖 4-9 樣品 Sample 32 預傾角量測數據

Sample	照光時間(hr)	照光能量(J/cm ²)	d(μm)	T(°C)	Twist Angle (degree)	A (10 ⁻⁷ J/m ²)
26	2	0.648	10.95	27.96	-52.55	2.64
	2	0.648	10.95	27.96	-49.80	3.02
27	2.25	0.729	8.9	27.86	-64.39	0.042
	2.25	0.729	8.9	27.86	-56.79	0.91
25	2.5	0.81	10.7	28.15	-74.80	0.25
28	2.75	0.891	8.8	27.63	-39.02	3.88
	2.75	0.891	8.8	27.82	-38.89	3.88
30	3	0.972	8.59	27.91	-21.82	10.80
	3	0.972	8.59	27.65	-23.23	9.95

表 4-1 不同照光時間下之表面定向強度(固定硬烤時間為 1 小時)

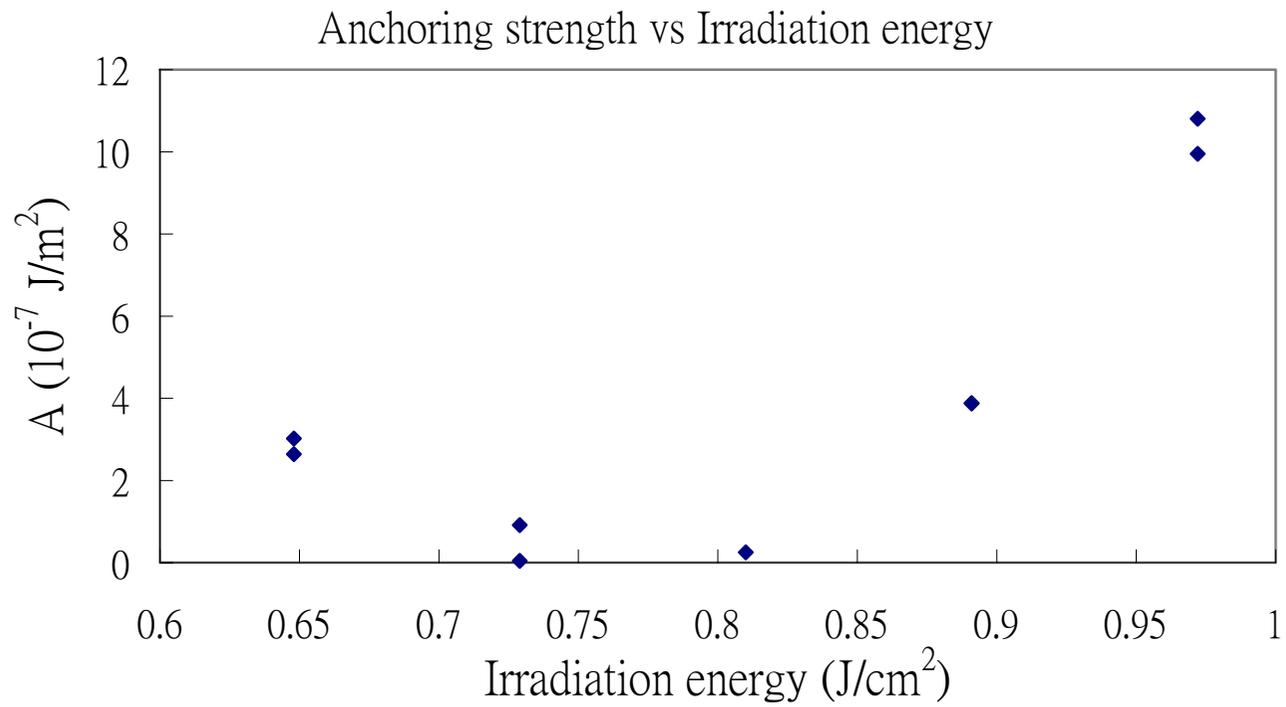


圖 4-10 不同照光時間下之表面定向強度(固定硬烤時間為 1 小時)

Sample	硬烤時間(min)	d(μm)	T($^{\circ}\text{C}$)	Twist Angle(degree)	A ($10^{-6}\text{J}/\text{m}^2$)
42	0	8.57	27.17	-34.41	0.507
	0	8.57	27.77	-34.24	0.498
34	15	7.83	27.99	-28.35	0.650
	15	7.83	27.70	-34.50	0.434
	15	7.83	27.48	-25.33	0.818
35	30	12.2	27.99	-48.66	0.370
	30	12.2	27.70	-41.72	0.497
	30	12.2	27.48	-42.26	0.491
36	45	8.39	27.52	-30.94	0.603
	45	8.39	27.68	-29.75	0.645
30	60	8.59	27.91	-21.82	1.080
	60	8.59	27.65	-23.23	0.995

表 4-2 不同硬烤時間下之表面定向強度(照光時間為Step1: 3 小時，照光能量為 $0.972\text{J}/\text{cm}^2$ ，Step2: 0.5 小時)

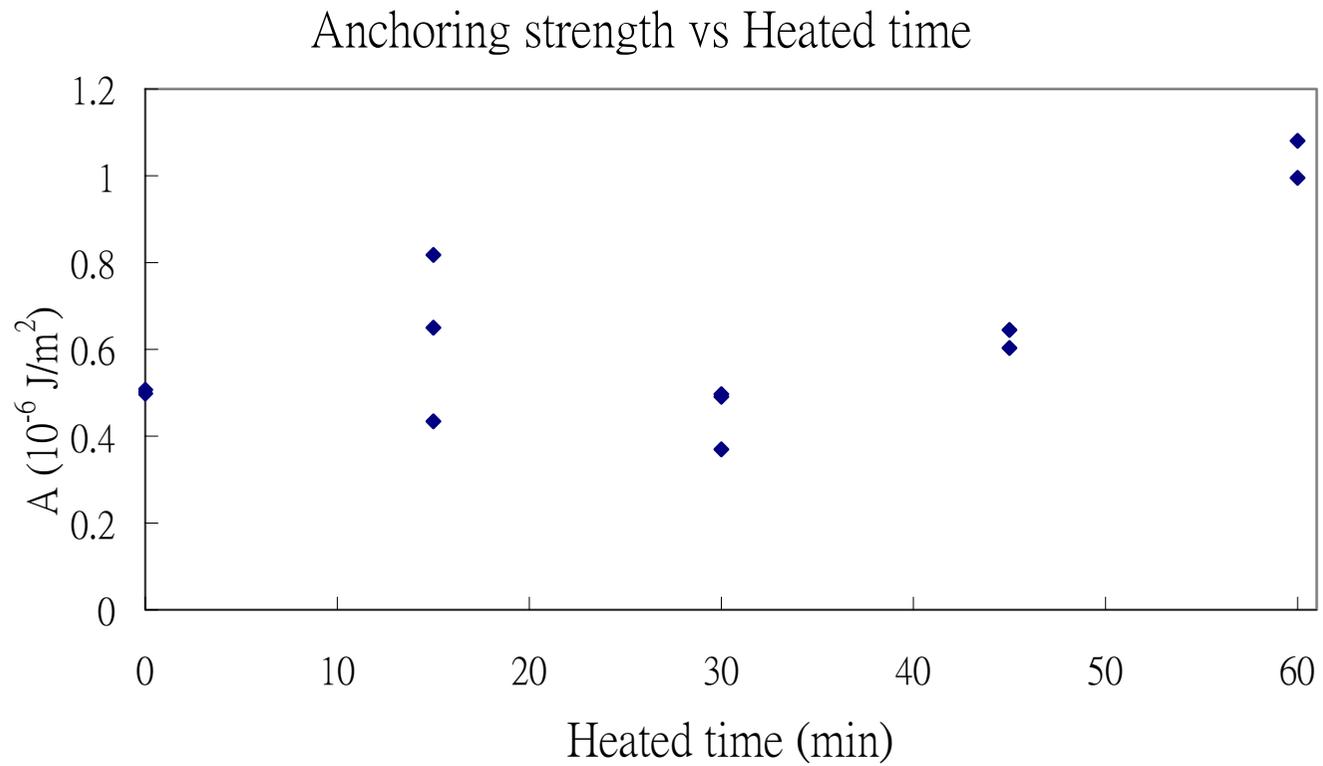


圖 4-11 不同硬烤時間下之表面定向強度(照光時間為 Step1: 3 小時，照光能量為 0.972J/cm²，Step2: 0.5 小時)

附 錄

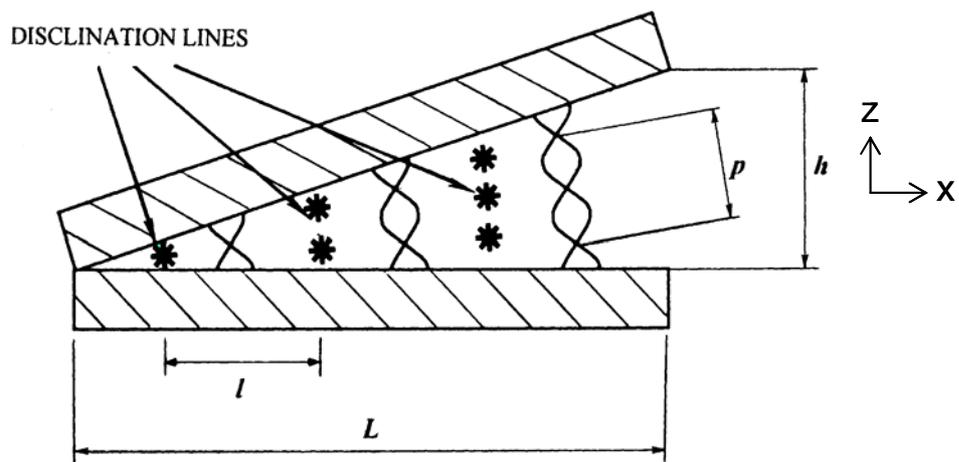
液晶螺距(pitch)量測:

在計算表面定向強度時，需要知道液晶旋轉的螺距。我們使用的液晶是向列型 5CB 加入 0.15% 的左旋摻雜物 S811，製作楔形液晶樣品。樣品的配向膜經過平行方向的磨刷，加入左旋液晶後，液晶會隨著 z 軸旋轉，液晶旋轉 1/2 圈，會產生 disclination lines 的條紋，其示意圖如附錄圖 1，樣品照片如附錄圖 2，我們所要量測的 pitch 可藉由相似三角形的數學方法得到結果，其公式為:

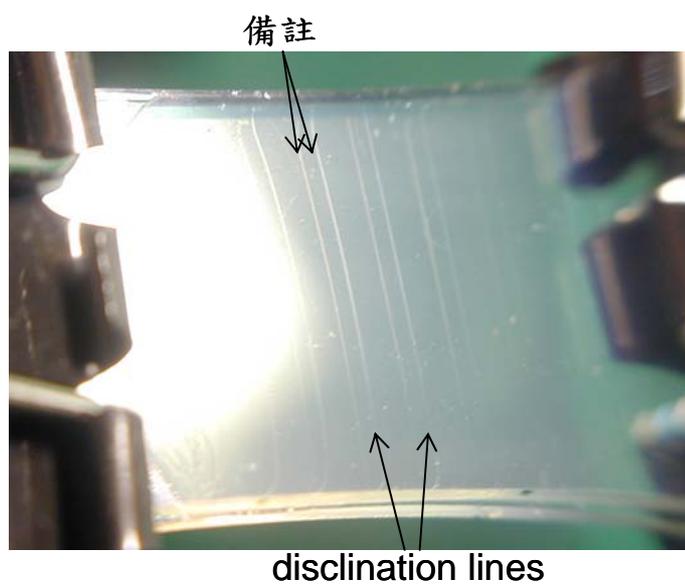

$$\frac{p/2}{l} = \frac{h}{L} \Rightarrow p = \frac{2lh}{L}$$

在光學顯微鏡下，拍得的照片與實際長度的轉換為，1 pixel = 4.95 μ m，如此可以利用顯微鏡拍下的照片，量測樣品間隙，照片如附錄圖 3。實驗上使用 250 μ m 的薄墊片，取中間 1cm 部分，兩端樣品間隙分別為 235 μ m 與 120 μ m，我們在顯微鏡下觀察 disclination lines 的寬度平均為 2.15mm，計算出螺距為 49.45 μ m。

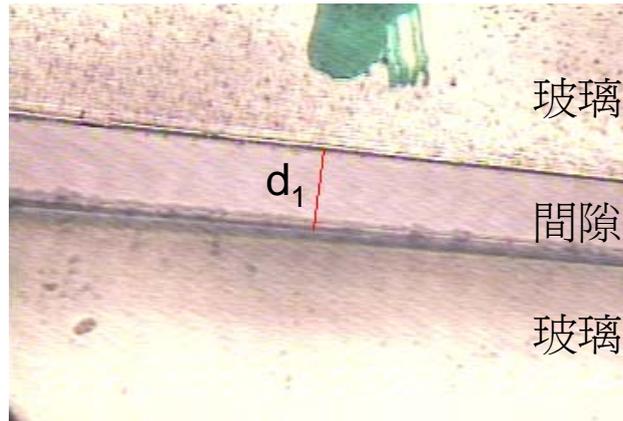
[備註]照片上看似間隙較小的條紋其實是樣品上同一位置的 disclination line，因為拍攝此相片時，樣品需傾斜一角度，所以此二條紋為相同位置上兩層玻璃上之 disclination lines。



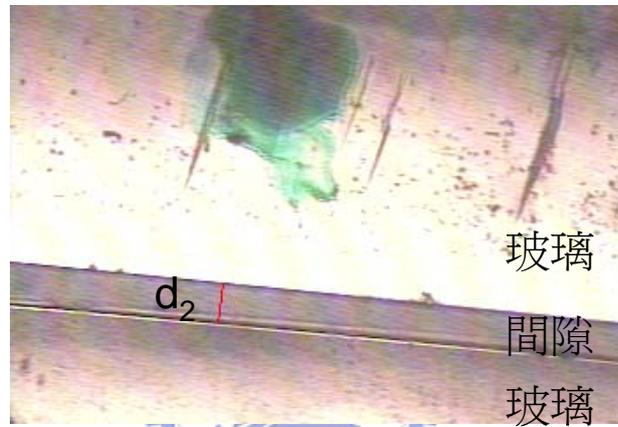
附錄圖 1 楔形樣品示意圖



附錄圖 2 樣品照片



$d_1=235\mu\text{m}$



$d_2=120\mu\text{m}$

附錄圖 3 樣品間隙照片