

國立交通大學
機械工程學系碩士班
碩士論文

表面聲波對於液晶配向層聚亞醯胺排列的影響



Influence of Surface Acoustic Waves on Polyimide
Alignment Layers of Liquid Crystals

研究生：張逸涵

指導教授：尹慶中 博士

中華民國九十八年七月

表面聲波對於液晶配向層聚亞醯胺排列的影響

Influence of Surface Acoustic Waves on Polyimide

Alignment Layers of Liquid Crystals

研究生：張逸涵

Student：I-Han Chang

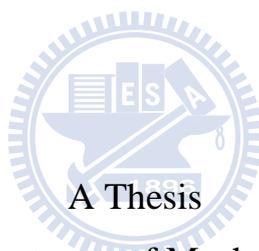
指導教授：尹慶中 博士

Advisor：Dr. Ching-Chung Yin

國立交通大學

機械工程學系碩士班

碩士論文



Submitted to Department of Mechanical Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science

in

Mechanical Engineering

July 2009

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年七月

表面聲波對於液晶配向層聚亞醯胺排列的影響

研究生：張逸涵

指導教授：尹慶中 博士

國立交通大學機械工程學系碩士班

摘 要

本研究提出一種以表面聲波誘發液晶配向層分子排列的方法。配向層聚亞醯胺為長鏈狀分子，在固化過程中，以無數週期之表面聲波所形成的穩定壓力梯度，達成有秩序的分子排列。配向層之硬烤溫度為攝氏 200 度，表面聲波元件鋯酸鋰基材與金屬電極的熱膨脹係數差異大，為避免環境溫度過高而損壞，本研究設計一玻璃楔型波導將表面聲波傳遞至配向層內，不僅可增加彈性波的強度，還可降低表面聲波元件之操作溫度。在不同操作條件下驅動超音波，可造成配向層分子不同的配向效果。實驗先以偏光顯微鏡定性觀察分子排列的聲光效應，再以穿透雷射光強量測及傅立葉轉換紅外線光譜儀定量量測配向效果。實驗結果顯示表面聲波可讓聚亞醯胺分子之秩序參數達到 0.23，介於磨刷配向與無配向處理之間。目前採用的超音波配向實驗裝置尚無法均勻地改變聚亞醯胺分子的排列，未來仍有改善的空間。

關鍵字：表面聲波、配向層、聚亞醯胺、秩序參數

Influence of Surface Acoustic Waves on Polyimide Alignment Layers of Liquid Crystals

Student: I-Han Chang

Advisor: Dr. Ching-Chung Yin

Department of Mechanical Engineering
National Chiao Tung University

ABSTRACT

This thesis presents a method of surface acoustic wave (SAW) induced molecular reorientation for polyimide (PI) alignment layers of liquid crystals. After being insonified by a large number of wave cycles, the long chain PI molecules could be aligned parallel by acoustic pressure gradient stably formed in the alignment layer during curing process. The coefficients of thermal expansion for aluminum electrode and lithium niobate substrate of SAW devices are quite different so the device could be broken down at the curing temperature up to 200 degrees Celsius. A wedge-shaped glass waveguide is used to transmit SAWs generated by the interdigital transducer (IDT) adhered on top surface of the glass to PI alignment layer. The wedge tip of the waveguide is used to increase the acoustic intensity and to reduce working temperature of the transducer. The qualitative results were observed by use of a polarized optical microscope. On the other hand, the order parameter of molecular orientation was determined quantitatively by measuring the intensity of laser light transmitted through liquid crystal cell and using Fourier transform infrared spectrometer (FTIR). The experimental results indicate that value of order parameter for molecules insonified by SAW achieves 0.23, which is less than average of rubbed PI

layers but much greater than those of unrubbed films. Even though PI molecules cannot be uniformly aligned by SAW in current experimental setup, it is worth further investigation to improve the homogeneity.

Keywords: surface acoustic wave, alignment layer, polyimide, order parameter.



誌謝

如果大家所謂「學生時代是最幸福的」這句話成立，那我就即將要終結幸福的日子了，但是還好也有過來人告訴我「工作的日子是最快樂的」，果然人生總是處處充滿希望，我期待的心情滿溢。

烏飛兔走，兩年的研究生活因完成論文而畫下句點，不同於大學生活的多彩多姿，碩士生活是另一種角度的精采，這其中經歷了許多實驗的成功與失敗、參賽的得名與落敗，除了研究上的收穫之外，過程中所學到的經驗更值得珍惜，非常感謝指導教授 尹慶中博士在研究上給我指引，在低潮時給我打氣，在犯錯時給我包容，尹老師在做事時的謹慎與細心、說話時的幽默風趣，都是值得我學習的地方。同時也感謝馬劍清老師、蕭國模老師與陳皇銘老師在口試時給我的建議。

當時選擇進入非破壞檢測實驗室這個大家庭，很幸運能與大家一起共度那些充實的日子，一路走來的辛苦有你們分擔，快樂有你們分享，特別感謝泰和學長對大家的鼓勵，也非常細心與耐心的教導我們研究上的問題，甚至在煩熱的酷夏熱心提供沁人心脾的水果；感謝多聞學長在研究上對我的指引，學長精通生活大小事，除了專業知識之外，文學造詣之高，實為我們效仿的對象；感謝世明學長平日耐心解答我學業上的疑惑，學長認真、仔細的態度，在作研究上表露無疑；感謝子達學長在做研究的態度與方法上給予許多建議，學長總是親自打理實驗室的整潔，寬闊的心胸與做事積極的態度是我學習的模範；感謝重光同學為實驗室所做的付出，在大家需要幫忙時挺身相救，無私與負責任的態度著實令人欽佩；感謝康哲同學在研究上的協助，熱心與熱情的態度總是給人正向的力量；感謝昱瑾學妹在實驗上的幫忙，身為實驗室小電腦，她總是能解答我各式各樣的問題，開朗與大方的性

格常帶給大家歡樂的氣息；感謝博毅學弟對實驗室貢獻良多，熱心與認真的處理生活與研究上的問題與困難，對於需要幫忙的人實際付出關心與幫助；感謝佑年學弟在生活上給予的幫忙，以專心且努力的態度面對研究，在平日則輕鬆的舒緩大家的情緒。感謝已畢業的學長承侯、權文、汶志的提攜。感謝顯示所的帥氣淇文學長熱心的協助解決研究上的問題，學長做事的效率與寬大不計較的心胸實為我學習的對象。感謝顯示所同學毓筠、智弋、宣宣、丞富、佳霖；學弟則賢、柏叡、秀玉、智一、蔡小虎；研究助理珮宜和永星在實驗上的幫忙或是生活上的協助。以下列出這兩年與我分享喜樂、同甘共苦的朋友們，真心感謝你們的陪伴：韻如小香菇、安卉、優幾、火龍、呆比、怡方、小咖、小螞蟻、小熊媽咪、世華學長、蔡餅乾、宗宗、大牛、乃仁、toofar、眼鏡人、麒祥。感謝 G 先生在過去四年半的日子裡給予我的所有關心與照顧，你永遠是我生命中最貴的貴人。

最後要感謝我心中最重要的家人，有我的超級偶像媽媽郭梅惠女士、最有能力的陳三照伯父、總是有辦法逗大家開心的張嫚容大妹以及最貼心有趣的張尹亭小妹。你們是上天給我最珍貴的禮物，不管是快樂悲傷都能與你們分享，讓我的生活總是能充滿歡笑與溫暖，如果未來，我能在生命中有任何成就，都當歸功於你們。

目錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
誌謝	iv
目錄	vi
表目錄	viii
圖目錄	ix
第一章 緒論	1
1.1 研究背景	1
1.2 文獻回顧	1
1.3 研究內容	3
第二章 理論說明	4
2.1 表面聲波元件	4
2.1.1 脈衝函數模型	4
2.1.2 頻率響應與設計參數	6
2.2 配向方法	6
2.2.1 配向技術	6
2.2.2 配向材料	9
2.2.3 排列機制	10
第三章 實驗架構與量測	12
3.1 試片的準備	12
3.2 表面聲波元件的製作	13
3.2.1 壓電基板的選擇條件	13
3.2.2 指叉電極的設計	14
3.2.3 微機電製程	14

3.3	表面聲波元件之檢測	18
3.4	實驗平台設計	18
3.5	配向層檢測方法	19
3.5.1	液晶分子之觀察	19
3.5.2	傅立葉轉換紅外線光譜儀	20
3.5.3	穿透雷射光強量測	23
第四章	實驗量測與結果分析	24
4.1	表面聲波元件之檢測結果	24
4.2	配向層之配向效果檢測	24
4.2.1	液晶分子之觀察	25
4.2.2	傅立葉轉換紅外線光譜儀	27
4.2.3	穿透雷射光強量測	28
第五章	結論與展望	30
5.1	實驗結果分析	30
5.2	未來展望	31
	參考文獻	33
	附表	38
	附圖	43

表目錄

表 1	鋯酸鋰之材料性質	38
表 2	溶劑成分配置表	38
表 3	本研究使用的溶劑之沸點	39
表 4	旋轉塗佈機之轉速	39
表 5	4 吋127.86° Y Cut 鋯酸鋰材料參數	40
表 6	散射參數之特性	41
表 7	紅外光之波長範圍	41
表 8	波數與其相對應之鍵結	42

圖目錄

圖 2.1	脈衝函數模型	43
圖 2.2	指叉換能器示意圖	43
圖 2.3	電極數目為 50.5 與 25.5 對，頻率為 5 至 10MHz 之 IDT 的頻率響應模擬結果	44
圖 2.4	電極數目為 50.5 與 25.5 對，頻率為 15 至 20MHz 之 IDT 的頻率響應模擬結果	44
圖 2.5	電極數目為 50.5 與 25.5 對，頻率為 15 至 20MHz 之 IDT 的頻率響應模擬結果	45
圖 2.6	電極數目為 50.5 與 25.5 對，頻率為 16MHz 之 IDT 的頻率響應模擬結果	45
圖 2.7	電極數目為 50.5 與 25.5 對，頻率為 20MHz 之 IDT 的頻率響應模擬結果	46
圖 2.8	TN 型顯示方式示意圖	47
圖 2.9	IPS 型顯示方式示意圖	47
圖 2.10	聚亞醯胺合成示意圖	48
圖 2.11	聚亞醯胺的單位晶胞示意圖	49
圖 3.1	鈮酸鋰的材料性質	50
圖 3.2	表面聲波元件之微機電製程	51
圖 3.3	表面聲波元件之光罩設計圖	52
圖 3.4	16MHz 之表面聲波元件設計圖	52
圖 3.5	散射參數量測系統的示意圖及照片	53
圖 3.6	散射參數之示意圖	54

圖 3.7	散射參數量測示意圖	54
圖 3.8	實驗架構示意圖	55
圖 3.9	表面聲波驅動元件及玻璃波導的示意圖	55
圖 3.10	表面聲波誘發配向層分子排列之實驗架構示意圖	56
圖 3.11	乙醛之分子模型圖	56
圖 3.12	FTIR 單光徑光譜儀	57
圖 4.1	16MHz 表面聲波元件之散射參數量測結果圖	57
圖 4.2	試片 1 之偏光顯微鏡觀察影像	58
圖 4.3	試片 2 之偏光顯微鏡觀察影像	58
圖 4.4	試片 3 之偏光顯微鏡觀察影像	59
圖 4.5	試片 4 之偏光顯微鏡觀察影像	59
圖 4.6	試片 5 之偏光顯微鏡觀察影像	60
圖 4.7	試片 6 之偏光顯微鏡觀察影像	60
圖 4.8	試片 7 之偏光顯微鏡觀察影像	61
圖 4.9	試片 8 之偏光顯微鏡觀察影像	61
圖 4.10	試片 9 之偏光顯微鏡觀察影像	62
圖 4.11	試片 10 中間之偏光顯微鏡觀察影像	62
圖 4.12	試片 10 邊緣之偏光顯微鏡觀察影像	63
圖 4.13	試片 10 靠近楔形玻璃波導處之偏光顯微鏡觀察影像	63
圖 4.14	試片 10 靠近楔形玻璃波導處之偏光顯微鏡觀察影像	64
圖 4.15	聚亞醯胺之紅外線吸收光譜圖	64
圖 4.16	聚醯胺酸之紅外線吸收光譜圖	65
圖 4.17	玻璃與氟化鈣之紅外線吸收光譜圖	65
圖 4.18	超音波誘發配向層分子排列與偏振光夾角示意圖	66
圖 4.19	超音波誘發配向層分子排列之紅外線吸收值極圖	66

圖 4.20 未經處理的配向層之紅外線吸收值極圖	67
圖 4.21 摩刷後的配向層與偏振光夾角示意圖	67
圖 4.22 摩刷後的配向層之紅外線吸收值極圖	68
圖 4.23 穿透光強分析的三個量測位置示意圖	68
圖 4.24 試片 11 三個不同位置之穿透光強分佈	69
圖 4.25 試片 12 三個不同位置之穿透光強分佈	69

第一章 緒論

1.1 研究背景

配向技術為目前面板產業相當重要的製程之一，此技術可直接決定面板產品的品質好壞，目前產業界使用之摩刷配向技術雖具有一定的品質與水準，但仍有待改進的空間。現今已有許多不同於摩刷配向的技術正在研發當中，卻一直無法超越摩刷配向的所有優點，例如品質、成本、量產性或均勻性等特性，因此，如何改善或取代摩刷配向技術為目前各界所關切的議題。

超音波用於操控微小物質已是一歷史久遠的研究技術，過去有學者利用此技術控制氣泡位置、微粒的排列或奈米碳管的方向，也都可得到良好的效果，但其實際應用性較低，鮮少有人將此應用於實際製程技術上。



1.2 文獻回顧

1971 年，Crum [1]將壓電陶瓷換能器置於上方密封之玻璃細管的正下方，玻璃管內裝滿液體及其他成分之液滴，施加電壓於換能器，可在玻璃管內液體間形成駐波，駐波之能量可平衡液滴浮力與重力，使液滴懸浮於其中，作者由實驗及理論計算，求得使液滴靜止所需驅動的最小能量。

1995 年，Hertz [2]將兩個鋇鈦酸鉛(lead zirconate titanate, PZT)換能器分別置於液體底部與液面下並面相對，調整兩者之相對距離，使其聚焦點在同一位置上。施加 11 MHz 的交流電後，兩個壓電換能器所產生的駐波可使液體內之直徑 2.1 μm 玻璃球聚集並排列於節點上，但因波傳造成液體內聲流(acoustic streaming)現象使能量不穩定，玻璃球之

規律性排列僅限於一定範圍內。

2003 年，Haake *et al* [3]使用超音波換能器於玻璃板之側面激發剪力波，使玻璃板下方液體內之玻璃球排列於節點處，藉由改變不同驅動頻率與調整換能器位置，可改變玻璃球聚集位置。作者同時驅動玻璃板之相臨兩側面的超音波換能器，使玻璃板產生二維的振動模態，下方的玻璃球則聚集成交錯的直線狀與橫線狀排列。

2004 年，Strobl *et al* [4]以表面聲波元件排列奈米碳管之方向，奈米碳管懸浮於一液體中，以玻璃覆蓋並置於鈦酸鋰之上，表面聲波元件所驅動的能量經由鈦酸鋰基材傳遞，洩露進入間隙為 20 μm 的奈米碳管懸浮液中。作者先以乳膠球狀物取代奈米碳管，乳膠球在表面聲波的影響下會聚成條狀，且與波傳方向垂直，相鄰條紋的間距為一半的驅動波長，證明此為表面聲波造成之駐波效應。當驅動之懸浮物改為奈米碳管時，其排列方向則會與波傳方向夾 25° 到 45°。作者認為此現象是液體受表面聲波影響而產生旋渦(vortex)流動的效應。

2008 年，Alvarez *et al* [5]將高分子與溶劑混合之液滴，以細針針尖滴在表面聲波元件之鈦酸鋰基材上，表面聲波受激發後，傳遞經過此液滴，會以很高的速率將此液滴向前推去，後方僅留下極薄的高分子薄膜，薄膜會因表面聲波引起的振動反應與溶劑蒸發之作用，在反節點處之薄膜發生破裂，留下之高分子排列均勻且呈週期性分佈。

同年，Friend *et al* [6]使用與 Alvarez *et al* [5]類似之驅動方式，進一步考慮表面聲波傳入液體薄膜時，會以一毛細(capillary)波之形式傳入液體表面，形成一頻率較低的波動，液體內的奈米粒子因加了表面活性劑，會懸浮於毛細波能量影響之處，作者利用此作用力，將奈米粒子聚集成直徑相當的粒子團。

2009 年，Wood *et al* [7]以不同於 Haake *et al* [3]的方法，使用表面

聲波取代剪力波換能器，自兩個互相垂直的方向將表面聲波傳入一含有懸浮微粒的液體中，可精確的製造出二維的粒子陣列。

1.3 研究內容

本研究使用表面聲波元件激發表面聲波，在聚亞醯胺層內造成之壓力差，改變其分子的排列，達到配向的效果。探討不同實驗條件下所造成之配向效果，以定性及定量方式檢測此方法之可行性。全文共分五章，第二章介紹表面聲波元件之設計與模擬，並簡述配向層之配向機制。第三章敘述實驗過程與量測方式。第四章為定性與定量之量測結果。第五章為結論與未來工作展望。



第二章 理論說明

2.1 表面聲波元件

壓電材料具有電場及位移場耦合的特性，適用於表面聲波的激發及感測。表面聲波元件的製作是以壓電材料為基底，於壓電材料或鍍層表面沉積金屬電極，最常見的結構為一組由兩個梳狀電極交疊而成的交指叉電極，稱為交指叉換能器(interdigital transducer, IDT)。施以適當頻率的交流電壓訊號於交指叉電極，可激發表面聲波，朝正、負軸方向波傳。表面聲波經過 IDT，亦會產生電流，轉換成電壓訊號接收。

2.1.1 脈衝函數模型

IDT 的脈衝函數模型由 Tancrell 與 Holland 於 1971 年所提出[8]，可估算 IDT 的頻率響應，對於表面聲波元件之初步設計有相當大的幫助。此模型可以兩種方式視之，一是位於兩個電極中央的電荷脈衝；另一是在電極之間的電場脈衝。本文以第二種方式進行說明，如圖 2.1 所示，其電極之分佈為非週期性排列，也就是 d 不為定值，每一個脈衝皆可視為波源，第 n 個波源造成的振幅 A_n 正比於電極之間重疊的長度 L ，其正負號由電場的方向所決定。若 IDT 具有 N_s 個波源，則整體的脈衝響應為

$$h(t) = \sum_{n=0}^{N_s} s_n A_n \delta(t - t_n) \quad (2.1)$$

其中， s_n 代表電場方向的正負號，等於 $(-1)^n$ ，時間 t_n 是脈衝生成的位置至觀測點的波程時間。經由傅立葉轉換，可得到其頻率響應為

$$H(\omega) = \sum_{n=0}^{N_s} s_n A_n e^{-i\omega t_n} \quad (2.2)$$

將已知 IDT 幾何尺寸，配合基材的材料性質(詳如表 1)代入(2.2)式，

即可利用此模型估算其頻率響應。

圖 2.1 為交指叉換能器示意圖，僅考慮朝左方向波傳的表面聲波。其中 L 代表電極寬度， P 代表電極間距，如圖 2.2 所示，設計不同 L 與 P 值，可在一定時間內，連續激發出不同的驅動頻率，此類型之交指叉換能器稱為啁啾型(chirp type)；當電極寬度與電極間距相同時，如(2.3)與(2.4)式，可連續激發相同的驅動頻率，此類型之交指叉換能器稱為單一型(single type)。

$$w_n = w_0 = \text{constant} \quad (2.3)$$

$$B_n = B_0 = \text{constant} \quad (2.4)$$

將給定的鈮酸鋰 $Y+128^\circ$ 切面的表面聲波相速度及 IDT 幾何尺寸代入以下公式，可以估算交指叉換能器的頻率響應，

$$\begin{aligned} s_n &= (-1)^n, \quad A_n = A_0 = \text{Const}, \\ t_n &= t_0 + \frac{1}{V_R} \left(\sum_{m=0}^{n-1} d_m \right), \\ H(\omega) &= \sum_{n=0}^{N_s-1} s_n A_n e^{-i\omega t_n}, \end{aligned} \quad (2.5)$$

其中， V_R 為表面聲波波速， $d_m = 2 \cdot w_n$ ，本文所設計之頻率分別為 5-10、15-20 與 10-20MHz，以 15-20MHz 為例，驅動後，彈性波會由低頻到高频先後朝左傳遞，激發的頻率 f 與相鄰之電極中心距離 P_m 有關，如(2.6)式

$$\begin{aligned} f &= \frac{V_R}{\lambda}, \\ \lambda &= 2 \cdot P_m, \\ P_m &= \frac{d_m + d_{m-1}}{2}, \end{aligned} \quad (2.6)$$

d_0 到 d_m 以等差級數遞減，其關係以(2.7)式表示，

$$d_m = d_0 + \varepsilon d_0 \quad (2.7)$$

其中 ε 依頻率範圍與電極數目不同而不同。利用上述模型，可模擬出不同電極數目之 IDT 所激發的表面聲波頻率響應。

2.1.2 頻率響應與設計參數

啣啣型交指叉換能器之頻率響應如圖 2.3-圖 2.5 所示，頻率分別為 5-10、15-20 與 10-20MHz。單一型交指叉換能器之頻率響應如圖 2.6-圖 2.7 所示，頻率分別為 16 與 20MHz。無論是啣啣型或單一型之交指叉換能器，當外加交流電壓的驅動頻率與 IDT 本身的中心頻率相同時，可得到最大的頻率響應，本文以 25.5 與 50.5 對電極之 IDT 的頻率響應圖做比較，中心頻率的振幅大小與電極數目呈比例關係，且側瓣 (side lobes) 的振幅大小亦隨之等比例增加。啣啣型之中心頻率範圍較單一型分散，因此在相同的電極數目下，啣啣型驅動單一頻率所分配到的電極數目相對單一型少很多，因此整體而言，啣啣型的驅動振幅較單一型小，本文將啣啣型之電極數目設計為 50.5 對，單一型之電極數目設計為 25.5 對，以達到較相近的驅動振幅。為了更有效的利用四吋光罩的空間，將啣啣型的 5-10MHz 頻率範圍的 IDT 設計為 25.5 對，以挪出空間設計更多實驗參數。

2.2 配向方法

2.2.1 配向技術

目前的顯示技術[9]-[10]是以一光源穿透液晶層與其他光學元件為主要架構，由於液晶分子為具有雙折射性質的棒狀分子，分子長軸與玻璃基板所夾的角度不同，會有不同的相位延遲產生，造成不同的透光強，達到灰階效果。主要技術在於探討施加不同電場與未施加電

場時之液晶分子的排列方式，液晶分子具有永久偶極，施加電場可讓液晶分子轉動，如何在未施加電場時控制液晶分子之排列，是另一重要技術。液晶分子間有一相互作用力使其排列整齊，但液晶分子在玻璃基板上的排列則需要藉配向層分子加以控制，方能達到穿透光強均勻的目的，使配向層分子具有配向效果之技術則稱為配向技術。

配向技術[11]可分為接觸式配向與非接觸式配向，接觸式配向包含摩刷配向、薄膜剝去法、模具壓製、Langmuir-Blodgett 薄膜；非接觸式配向包含斜向蒸鍍法、光配向、離子束配向、電漿束配向。目前產業界最常使用的方法為摩刷配向法。

摩刷配向法：將均勻塗佈配向層後的玻璃置於移動平台上，旋轉一包覆絨布的滾輪，並接觸單方向移動之玻璃，在配向層分子薄膜上產生細微溝槽。Berreman [12]曾指出，此細微溝槽會使得長棒狀之液晶分子受拘束而順其排列，使整個系統趨於最低自由能的穩定狀態，達到配向液晶分子之效果，此理論稱為溝槽配向(groove alignment)機制。Geary et al [13]則提出另一種說法，在絨布摩刷配向層分子時，高分子配向層受到同一方向之摩擦力作用，表面的鏈狀分子會產生一順向性分佈。當液晶分子與此鏈狀分子排列相同時，可使兩者之間的交互作用能量最低，液晶分子可穩定排列，此理論稱為高分子鏈配向(polymer chain alignment)。摩刷配向法的優點為技術成熟、成本較低、穩定性高，但在接觸式配向的製程過程，容易有靜電產生而累積灰塵、毛屑掉落、大面積配向不均等問題。

斜向蒸鍍法[14]：在玻璃基材上蒸鍍氧化矽的斜向柱狀晶體，可使下一步驟旋轉塗佈的配向層具有異向性。此方法精度高，但是具有真空度需求高、成本高及不易量產等缺點。

光配向技術[15]-[16]：使用光配向材料曝於紫外光下，吸收能量後

的配向層分子會有裂解、聚合或異構化反應，該異向性配向層可影響液晶分子之排列。此技術的優點為均勻性高，並可做小區塊或多區塊的配向，大尺寸的配向所需之光學元件成本過高，光配向材料容易受其他高能量光源影響，故其穩定性較低。

電漿束配向[17]與離子束配向[18]：分別使用高能量的電漿與離子轟擊配向層薄膜，改變分子鍵結，產生結構異向性，達到配向效果。此兩種方法都有良好穩定性、配向範圍大的缺點；離子束配向需要較大真空設備，且離子槍壽命短。電漿配向則在大面積配向上會有不均勻之問題。

預傾角定義為玻璃基板表面之液晶分子長軸與基板所夾的角度，預傾角除了與分子材料有關，也與摩刷配向技術中的摩刷強度有關，摩刷強度越大，液晶之預傾角越大[19]。

目前主要的顯示技術有 TN (twisted nematic)型、IPS (in-plane switching)型以及 MVA (multi-domain vertical alignment)型，其中 TN 型與 IPS 型之液晶分子長軸趨向於與玻璃基板平行排列，各需要不同的預傾角，以達到最佳的顯示效能。

TN 型：將向列型液晶夾在兩片玻璃中間組成。這種玻璃的表面上先鍍有一層透明而導電的氧化銦錫(ITO)薄膜，當作電極之用。在 ITO 玻璃上旋轉塗佈配向層，上下基板各做水平配向處理，角度互呈 90 度排列，兩偏振片之偏振方向互相垂直，其控制光源通過與否的機制如圖 2.8 所示。在施加電場時，液晶分子長軸會從平行於玻璃基板排列，趨向於與玻璃基板垂直，若液晶分子之預傾角為 0 度，會造成各液晶分子轉動方向不同，因此預傾角可為 4 到 6 度，限制其轉動方向，如此可避免不均勻亮度的情況發生，且可縮短反應時間[20]。

IPS 型：使用之液晶與 ITO 玻璃相同於 TN 型技術。此技術屬於常

暗模式，在沒有外加電場作用的情況下呈現暗態，控制光源通過與否的機制如圖 2.9 所示，細條型正負電極以等距的間隔排列於基板上，施加電壓後，原來平行於電極的液晶分子會旋轉到與電極垂直的方向，但是液晶分子的長軸仍平行於基板。控制驅動電壓的大小，使液晶分子旋轉到需要的角度，改變穿透光的偏振方式，配合偏振片調制光線的穿透率可顯示不同的色階。此技術的預傾角約為 1 到 2 度，若預傾角過大，則會有漏光的問題產生[21]。

2.2.2 配向材料

聚亞醯胺分子(polyimide, PI)具有耐熱性、低介電常數、韌性佳等優點，在 1960 年代，才將聚亞醯胺優異的耐熱性，應用於較嚴苛條件下的高壓交流機電或電動機械之耐熱絕緣披覆。近幾年代，聚亞醯胺被廣泛應用於半導體元件及電路板構裝之一部分，例如 IC 之鈍化層(passivation)或緩衝層(buffer coat)。除此之外，面板產業也大量使用聚亞醯胺材料，因聚亞醯胺之分子結構穩定，不易與液晶分子產生化學反應，可做為配向層材料，有效且穩定的控制液晶分子。

聚亞醯胺之分子結構有很多種，在此介紹 Kapton 公司所研發之型式，如圖 2.10 所示，聚亞醯胺之合成過程如下，首先由二酸酐(PMDA)與二胺單體(ODA)，在極性溶劑中，經縮合聚合反應而成聚醯胺酸(polyamic acid)，極性溶劑可能為 NMP、DMAC、DMF 或 DMSO，聚醯胺酸為聚亞醯胺之前驅物(precursor)，經過 200 度以上的高溫，聚醯胺酸中之酸基(-COOH)及醯胺基(-CONH)產生環化反應，並脫水形成五環之亞醯胺結構[22]。相較於其他高分子，聚亞醯胺之主鏈剛硬度高，有良好的對稱性，因此具有較佳的熱穩定性。除此之外，聚亞醯胺分子間的作用力較強，具有良好的化學抗藥性(chemical resistance)。高

子依其排列方式可分為兩種狀態，分子排列具有規則性的稱為結晶形(crystalline)狀態；若分子隨機排列則稱為非晶(amorphous)狀態。圖 2.11 為結晶型之聚亞醯胺分子之單位晶胞(unit cell)，每一單位晶胞包含兩個聚亞醯胺單體，其晶格參數 a、b 與 c 分別為 6.31、3.97 與 32Å，一個完美的晶體可以看成一個單位晶胞在三度空間週期性的重複排列 [23]、[30]，因大部分的高分子具有 15% 到 18% 的結晶性，因此可以此尺寸做參考[24]。

2.2.3 排列機制

聚亞醯胺在面板製程中，被廣泛應用為配向層材料，使用絨布滾輪摩擦聚亞醯胺表面，絨布上細小的絨毛會施加一同方向的作用力於聚亞醯胺表面之分子，分子會因此作用力改變排列，改變的方式分為兩種[25]，第一種是面內重排(in-plane reorientation)，配向層分子之主鏈(main chain)會於玻璃基板平面上沿著摩擦作用力之方向排列，第二種是面外重排(out-of-plane reorientation)，配向層分子因摩擦的作用，分子長軸會與玻璃基板夾一角度，稱為傾斜角(tilt angle)。過去學者於研究中指出，經過摩擦後之聚亞醯胺，其主鏈會與摩擦方向平行，也就是分子中的 C-O-C 鍵與苯基(phenyl)上的 C-C 鍵，而側鏈的 C=O 鍵會與主鏈垂直[26]，可由紅外線吸收光譜得知鍵結方向[27]-[30]。

配向層分子與玻璃基板之間是以凡得瓦力(van der Waals force)的作用結合；配向層與液晶分子之間，主要是靠兩者之間的化學作用力連結 [31]-[32]，例如凡得瓦力 [33]-[34] 或偶極作用力(dipole-dipole interactions)。具有永久偶極的液晶與聚亞醯胺分子的偶極 C=O 或 O-H 間會產生偶極作用力，例如氫鍵(hydrogen bond)，是異常強的偶極作用力[35]。透過化學作用力，可使液晶分子順著配向層分子的排列方向而

排列，因此，欲使液晶排列均勻，配向層分子的控制是一相當重要的技術。



第三章 實驗架構與量測

本研究以表面聲波元件激發聲波，經由一楔型玻璃，將能量傳遞至聚亞醯胺配向層內，形成一壓力分布，經過數個週期驅動後，配向層分子之排列發生改變。本研究設計不同的實驗參數進行實驗，並以定性及定量方法檢測表面聲波配向的效果。

3.1 試片的準備

本研究採用的配向層分子為水平配向(homogeneous alignment)的形式，也就是讓液晶分子長軸平行玻璃基板，配向層分子為聚亞醯胺，製作流程如下：

- (1)使用鑽石刀切割機於 1.1mm 厚的玻璃上，切出長 40mm、寬 30mm 的切痕後，再透過裂片機施予均勻壓力於切痕之背面，玻璃即可沿著裂痕分開成設計的尺寸。
- (2)清洗玻璃，將切取後的玻璃以清潔劑及純淨水，去除表面之灰塵及油污，清洗至表面可形成不易破裂的水膜，並可看到均勻干涉條紋即可。
- (3)將玻璃置於試片托架上，放入盛有純淨水之燒杯中，以超音波震盪機清洗玻璃 30 分鐘。
- (4)以氮氣槍將清洗完之 ITO 玻璃表面水珠吹除，置於培養皿中，使用加熱板將玻璃加熱烤乾、去除水氣，設定溫度為 100°C，歷時 30 分鐘。
- (5)將玻璃置於培養皿中，用 UV-臭氧燈進行照射 20 分鐘，去除表面的有機物質。
- (6)使用旋轉塗佈機將水平配向層塗佈於玻璃上，調配水平配向層溶劑

的比例如下：

A：Solvent (NBG-776)

B：Solvent (NBG-776)與 IPS (PIA-5370-33C)以 1：1 比例混合

A 溶劑與 B 溶液之成分配置與其沸點分別如表 2 與表 3 所列。

- (7)將玻璃置於旋轉塗佈機上，依序旋鍍 A 溶劑與 B 溶液。
- (8)將完成旋鍍後之試片放在加熱板上，以溫度 200 度烘烤 1 小時。
- (9)再以旋轉塗佈機於硬烤後之配向層上，再塗佈一層配向層，此過程只需旋鍍 B 溶液即可。

3.2 表面聲波元件的製作

本節將詳述實際製作表面聲波元件的過程與量測架構。適當切角的單晶體壓電材料有較高的機電耦合係數，代表電能轉換成機械能的效率較高。本研究選用 128° Y-cut 鈮酸鋰為表面聲波元件之壓電基材，所設計的表面聲波元件以 X 軸的正向為波傳方向，鈮酸鋰的材料性質詳列於表 5。圖 3.1 所示為其幾何示意圖，根據不同的響應需求設計指叉狀電極。本研究借用交通大學貴重儀器中心的微機電製程設備，製作單一與啣啣型兩種表面聲波換能器。並以網路分析儀進行元件反射與傳輸特性的定性量測，評估元件設計效能的優劣。

3.2.1 壓電基板的選擇條件

1. 表面波相速度

表面聲波元件的中心頻率由基材的表面聲波相速度與指叉狀電極的週期數目所決定，採用相同的基材，高頻的表面聲波元件電極之線寬較細，需要較嚴格的製程技術。若在相同的曝光顯影條件下，選擇高剛性的基材可延伸應用頻率之上限。另外，在低頻之應用上，為了

減小元件的尺寸，可選擇聲速較低的基材，延伸應用頻率的下限。

2. 機電耦合係數

機電耦合係數為壓電材料的電能與機械能之間的轉換比例，以高機電耦合係數之基材製作表面聲波元件，較具有操控分子排列的能力，是基材選擇的考量因素之一。

3. 波傳能量角度

在非等向性材料中，聲波之能量速度方向不一定與波前垂直。當波前與波傳能量方向不垂直時，指叉狀換能器之配置就必須作調整。這個現象並不會直接影響元件的表現，但是當波傳能量角度(power flow angle, PFA)增大時，些微的波傳角度改變就會使波傳能量角度變化很大，因此基板材料方向與指叉換能器的配置就必須精確地考慮。表面聲波元件之基材大多為非等向性壓電介質，故選擇適當之波傳角度，使表面波的能量速度能與波前垂直，亦為設計表面聲波元件之重要因素。

3.2.2 指叉電極的設計

表面聲波元件所選用的壓電基底材料為四吋之 128° Y-cut 鈮酸鋰晶片，厚度 0.5mm，設計的波傳方向與晶格座標 X 軸平行。繼而在鈮酸鋰晶片之拋光面鍍上鋁薄膜，作為指叉換能器的金屬電極。本研究設計兩種形式的表面聲波元件，電極分別為單一型式及啣啣型指叉電極。

3.2.3 微機電製程

本研究中的製程均為微面加工技術(Surface Micromachining)，因元件之線寬在微米的範圍，故採用微機電系統(microelectromechanical system, MEMS)技術製作表面聲波元件，如圖 3.2 所示。以下略述表面聲波元件的製程步驟與參數。

1. 光罩設計

使用繪圖軟體 AutoCAD 繪製光罩圖，設計之表面聲波元件依類型分別為單一型與啣啣型，單一型之設計頻率為 16MHz 與 20MHz，啣啣型之設計頻率為 5-10MHz、15-20MHz 與 10-20MHz，如圖 3.3 所示，其中本研究所使用的 16MHz 單一型表面聲波元件如圖 3.4 所示，委託交通大學貴重儀器中心以雷射圖形產生系統(DWL-200)製作光罩。

2. 晶圓清洗

將鈦酸鋰晶圓放入裝有丙酮溶劑的玻璃皿中，再將玻璃皿放入超音波振洗機內清潔五分鐘，接著以去離子水 (DI water) 沖洗五分鐘，放入盛有 IPA 溶劑的玻璃皿內五分鐘後，再以去離子水沖洗五分鐘。最後使用氮氣槍吹去附著於晶圓表面的水分，放置於加熱盤上，設定溫度為攝氏 120 度，做去水烘烤，五分鐘即可。

3. 金屬薄膜蒸鍍

利用國家奈米元件實驗室的 E-gun 電子槍金屬蒸鍍系統(AST PEVA 600I)，進行金屬薄膜蒸鍍(matallization)。由於此種機型只能接受六吋的晶圓，因此將清洗後之鈦酸鋰晶圓以耐熱膠帶黏貼於六吋矽晶圓上，以電子束蒸鍍法(EBE)進行金屬薄膜的沈積。本實驗中，基礎真空度(base pressure)約為 3.7×10^{-6} torr，以蒸鍍速率 1nm/sec 在鈦酸鋰壓電基板上沈積厚度約 1500Å 的鋁薄膜。

4.微影製程

微影製程(lithography)的目的是將光罩上設計的元件圖案轉移至塗佈適當光阻的晶圓上。光阻材料曝光後，鍵結的機制會改變，經由顯影步驟去除多餘的光阻，即可在晶圓上呈現所設計的圖案。

欲在已蒸鍍完成的材料上製作指叉電極，需先在蒸鍍的材料上製作蝕刻擋罩，以避免所要保留的區域於蝕刻時被侵蝕。本研究使用位於本校貴重儀器中心的光阻旋轉塗佈機(photo resist spinner)，塗佈機的轉速為慢轉每秒 1000 轉，持續 10 秒，快轉每秒 5000 轉，持續 30 秒，將光阻旋塗於鍍有鋁之鈦酸鋰晶圓上，塗佈厚度為 $1\ \mu\text{m}$ 。

曝光(exposure)製程使光阻受紫外光照射，吸收足夠能量的紫外光以打斷材料內部鍵結。再以紅外線光罩對準曝光機(mask exposure IR aligner)進行曝光 9 秒鐘，使晶圓表面所覆蓋的光阻層吸收適當的能量，以便進行光化轉換，才能正確的將光罩上的圖形，轉移到塗有光阻(AZ4620)之晶圓上。接著將晶圓浸入顯影液(FHD-5)中約 60 秒，將光阻層所轉移的潛在圖案顯現出來。最後放入烤箱內，進一步將光阻內所殘留的溶劑含量，經由蒸發降到最低，即可完成蝕刻擋罩之製作。

5.乾式蝕刻

經過微影製程後，即可利用蝕刻製程(etching)，將不需要之金屬薄膜區域去除。本研究使用交通大學貴重儀器中心的高密度活性離子蝕刻系統(HDP-RIE)，反應性離子蝕刻(reactive ion etching 簡稱 RIE)，結合物理性的離子轟擊與化學反應的蝕刻。此種方式兼具非等向性與高蝕刻選擇比等雙重優點，蝕刻的進行主要靠化學反應達成，可獲得較高之選擇比。加入離子轟擊有兩項作用：一是將被蝕刻材料表面的原子鍵結破壞，以加速反應速率；二是將再沈積於被蝕刻材料表面的產

物或聚合物(polymer)打掉，使被蝕刻表面能再與蝕刻氣體接觸。非等向性蝕刻的達成是靠再沈積的產物或聚合物，沈積在蝕刻圖形上。表面的沈積物可為離子打掉，故蝕刻可繼續進行。在側壁上的沈積物，因未受離子轟擊而保留下來，阻隔了蝕刻表面與反應氣體的接觸，使得側壁不受蝕刻，達成非等向性蝕刻。將已經完成蝕刻擋罩製作之晶片放入高密度活性離子蝕刻系統中，製程時間設定為 18 秒，製程中容易有破片的情況發生，需注意晶圓是否擺放於儀器中央，同時使用散熱效果較好的底座，否則經電漿蝕刻後，邊緣的電極會產生焦黑的狀況。

6. 光阻移除

將製作完成之鈮酸鋰晶圓放入裝有丙酮溶劑的玻璃皿中，並將此玻璃皿放入超音波振洗機內，5 分鐘後立即將鈮酸鋰晶圓放入裝有甲醇溶劑的玻璃皿內，5 分鐘後以去離子水洗淨，並以氮氣槍將表面的水分吹去，如此即完成表面聲波換能器之製作。

7. 雷射切割

鈮酸鋰晶圓之材料較脆，容易因外力作用而碎裂，本研究使用的切割方式有別於玻璃之接觸式切割，改以非接觸式雷射對位切割系統將晶圓上數個表面聲波元件分離，完成最後的步驟。雷射對位切割系統使用之雷射能量較強，切割後的表面聲波元件邊緣會有稍微的焦黃色出現，因此電極與切割線的間距設計為 1mm，避免雷射能量影響表面聲波元件之性能。

3.3 表面聲波元件之檢測

本研究採用網路分析儀(HP 8751A)量測表面聲波元件的散射參數，量測系統的架構如圖3.5所示，此項量測是在雷射切割鈮酸鋰晶圓之前進行。

散射參數(scattering parameter)主要是採用入射波(incident)、穿透波(transmission)及反射波(reflection)的觀念來表示，入射波傳入待測物(device under test, DUT)會產生穿透波和反射波，其振幅與相位可以描述待測物的電性。散射參數的標記為 $S_{out\ in}$ ，第一個下標表示訊號輸出端的埠號，第二個下標代表訊號入射端的埠號，如圖 3.6 所示，其中 a_1 與 a_2 分別代表埠一與埠二的入射訊號， b_1 與 b_2 分別代表埠一與埠二的反射訊號。

選擇適當的測量方式，並完成校正程序之後，即可將待測元件連接到散射參數量測系統 50Ω 的雙埠之間。量測S參數時，訊號由DUT的埠一進入埠二，此時所量到的反射及傳輸功率比分別為 S_{11} 及 S_{21} ，如圖 3.7 所示。切換散射參數測試組(S-parameter test set)，將訊號由DUT的埠二進入埠一，重複之前量測動作，得到的反射及傳輸功率比即為 S_{22} 及 S_{12} ，散射參數之間的關係為

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

S_{11} 、 S_{21} 、 S_{22} 及 S_{12} 四個散射參數的特性列於表6中。

3.4 實驗平台設計

本研究之實驗架構如圖 3.8 所示。Rose[36]-[37]的表面聲波驅動與量測機構設計，以交指插換能器取代探頭，將換能器之電極面黏貼於

楔型玻璃波導(wave guide)之上，如圖 3.9 所示。玻璃波導左方之尖角角度為 15° ，是以研磨方式成型，玻璃波導的頂面與試片間的夾角約為 25-35 度之間，夾角太大或太小都會使波形訊號變弱變小，甚至不見 [38]，本研究採用 30 度為玻璃波導的頂面與試片間的夾角。玻璃波導的寬度為 30mm，可讓先前製作之寬度 26mm 的表面聲波元件完整覆蓋於其上，兩者以環氧樹脂(Loctite E-120HP)緊密黏合，在黏合之前先使用銀膠(Gredmann MS-5000)將電極連接至表面聲波元件的背面，以便驅動電壓的線路連接。為配合功率放大器的電阻匹配，必須在此換能器的雙埠各並聯一 50 歐姆的電阻，此裝置如圖 4.0 所示。玻璃波導放置於耐熱材料鐵氟龍的凹槽上方，以雙面膠固定，避免滑移。

採用玻璃波導的原因有以下三點：

1. 以線接觸的方式傳遞彈性波，試片會獲得較大的振幅。
2. 由於本實驗的 IDT 基材為鈮酸鋰，電極材料為鋁，兩者之熱膨脹係數不同，不適合與配向層試片同時快速升溫，因此 IDT 的位置高於加熱盤大約 30mm 的距離，避免 IDT 結構損壞。
3. 此裝置可供同一表面聲波元件驅動不同的試片。

本研究以函數產生器產生一頻率為 15.7 MHz、振幅為 400 mV 的弦波，經功率放大器增益 316 倍後，輸出至表面聲波元件，進行超音波誘發配向層分子排列的實驗。

3.5 配向層檢測方法

3.5.1 液晶分子之觀察

液晶分子為單光軸材料，具有雙折射之光學性質，在兩互相垂直的偏振片下，液晶分子與偏振片的夾角不同，會造成通過的光強不一致。液晶分子與配向層分子間的作用力會使液晶分子順著配向層分子主鏈

方向排列。可藉以製作液晶盒試片，灌入向列型液晶分子，在偏光顯微鏡下觀察穿透光的亮暗情形，間接得知配向層分子之排列均勻度。

3.5.2 傅立葉轉換紅外線光譜儀

紅外光的能量比可見光能量稍低，波長範圍在2.5到1,000微米之間，如表7所列，傅立葉轉換紅外線光譜儀(Fourier transform infrared spectrometry, FTIR)使用的波段為2.5到20微米之間，屬於中紅外光區。FTIR具有以下三個優點：

1. 所使用的光學元件較少，因此當輻射線到達偵檢器時，會有較少的功率損失。
2. 具有較高的解析能力與波長再現能力。
3. 可在一秒或更短時間內獲得所有掃描範圍波長的光譜圖，相較於必須要對所需掃描範圍的波長，做個別量測的傳統光譜量測方式，FTIR不只減少量測時間，還能夠大大改善訊號-雜訊比。

在有機化學物質結構的研究上，FTIR是一項重要的分析工具。有機化合物分子鍵結受到某一頻率的紅外線激發，會產生共振，吸收該頻率紅外線之能量。有機分子結構所含有的各種不同官能基會吸收不同波長紅外線之能量。將待測的有機化學物質以紅外線照射，測定該物質對不同波長紅外線的共振吸收度，可獲得該有機物質的紅外線光譜，進而分析其分子結構。

自然界中，原子在分子內部會不斷的振動著，此種振動會促使原子間的距離不斷改變。偶極矩的存在是由於分子內原子的電荷分布不均，兩個不相同原子之間的距離若發生變化，就會造成這兩原子間的偶極矩改變。當振動的振幅不同時，會伴隨著能量的變化。當入射紅外線頻率恰巧與原子振動頻率相同時，該物質就會吸收此紅外線的能

量，因而會有吸收譜線產生。若原子振動時，其偶極矩沒有發生變化，入射之紅外線就不會被吸收，例如 N_2 、 H_2 或有機分子中的-C-C-鍵。

一個分子中包含許多不同的原子，各原子彼此間發生的振動方式也會有很多種，同一個分子就可能吸收各種不同的紅外線波長。以乙醛分子為例，其分子模型圖如圖 3.11 所示，以小球代表各原子，彼此間的連結則代表化學鍵，箭頭代表振動的方向，此分子共含有彎曲振動與伸縮振動，另外還有扭曲旋轉式振動，則不在本例討論範圍，若入射紅外光的能量恰等於原子間所在振動能階與次高能階的能量差時，紅外光能量就會被吸收，造成原子間振盪更為激烈。

原子間的振動頻率，可用簡諧運動的公式描述，如(3.2)式，此公式僅適用於雙原子分子的振動，

$$\nu = \frac{h}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (3.2)$$

其中， ν 代表頻率， h 為普朗克常數， k 為彈性係數， m 為簡化質量，

$$m = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \quad (3.3)$$

此處， m_1 與 m_2 分別代表化學鍵相連之兩原子質量，

$$\lambda = \frac{C}{\nu} \quad (3.4)$$

由(3.4)式可求出頻率，然而在紅外線光譜中，波長的倒數是較常使用的參數，稱為波數，單位為 cm^{-1} 。

由(3.2)式可知原子的質量越小，或兩原子間之化學鍵結強度越強，其振動頻率越高。例如含有氫原子的官能基(O-H 基)，其紅外線吸收頻率為 $1.08 \times 10^{12} s^{-1}$ (波數為 $3,600 cm^{-1}$)，此振動頻率相當高。化學鍵結強度更強的，例如雙鍵及參鍵的化學鍵能，大約是單鍵的二倍及三倍。因此，其紅外線吸收頻率，也大約是單鍵吸收頻率的二倍和三倍[39]。

以下簡單介紹 FTIR 之單光徑光譜儀，如圖 3.12 所示，在干涉儀其中一邊的光徑中，紅外光之光源輻射線會穿透分光鏡，照射在固定式鏡面上，接著會被反射回到分光鏡，並穿透樣品，穿透後之光束則經由反射，照射在紅外光傳感器上。在另一邊的光徑中，紅外光光源輻射線會被分光鏡反射到移動性鏡面上，接著反射經過分光鏡後，再穿透樣品，最後照射到紅外光傳感器之上。當兩道光束在分光鏡上相會時，若彼此的相位差明顯時，就會產生干涉作用，於紅外光傳感器上得到干涉光譜，干涉光譜就是訊號相對於鏡面距離的函數關係曲線，干涉光譜包含所有頻率範圍的輻射線相關訊息，其為時間域的光譜。若入射光為單色光，干涉光的強度為餘弦曲線，

$$I(X) = I(\nu) \cos(2\pi X\nu) \quad (3.5)$$

其中， $I(\nu)$ 為入射光強度， ν 為其頻率， X 為光程差，會隨著鏡面的移動而改變， $I(X)$ 為干涉光強度，若入射光為多色光，則干涉光強度包含光譜中每一個頻率所產生的信號強度組合，也就是

$$I(X) = \int_{-\infty}^{\infty} I(\nu) \cos(2\pi X\nu) d\nu \quad (3.6)$$

實驗產生之干涉光強度包含了光源的全部頻率範圍及該頻率所對應的強度，若將樣品放入干涉儀光路中，會因為樣品吸收掉了某些頻率的能量，最後得到之干涉光強度也會相對應地發生變化。包含每個頻率的干涉訊息通過傅立葉轉換，可得到紅外線光譜 $I(\nu)$ ，

$$I(\nu) = \int_{-\infty}^{\infty} I(X) \cos(2\pi X\nu) dX \quad (3.7)$$

進行量測前，先以空樣品裝置，量測得到參考光譜，作為樣品光譜的參考依據，再於每個波數處，計算出樣品強度與參考強度的比值，獲得吸收值[40]。

由 FTIR 量測得到吸收峰值與其所對應的波數，可判斷出量測材料具有何種官能基，或依據吸收峰值的強弱，判斷鍵結形成的完整性。

3.5.3 穿透雷射光強量測

在液晶分子長軸與基板平行的條件下，若液晶分子的長軸與偏振方向平行時，其穿透光強為零；當液晶分子的長軸與偏振方向夾 45 度角時，其穿透光強最大。一個品質好的配向結果，會得到相當高的相對比值，本研究中所定義的相對比值為穿透度最大的光穿透值除以穿透率最小的光穿透值，並以此參數作為判斷配向效果的依據。使用的配向層為 IPS 模式，以平面旋轉方式改變液晶長軸分子與偏振片之夾角，在試片的後方放置一偏振片，並以一線偏振之氬氬雷射當作光源穿透試片，兩偏振方向互相垂直，最後以頻寬 125MHz 之光強接收器 (Photoreceiver, New Focus Models 1801) 接收穿透訊號。光強接收器輸出的訊號為電壓訊號，使用以下公式，將之轉換為光功率之訊號，

$$P = 37.4V_r - 1.03 \quad (3.8)$$

其中 P 為光功率，單位為 μW ， V_r 為光接收器轉換之電壓訊號，單位為 V，所減去的常數項單位為 μW ，是光接收器的準位誤差。

第四章 實驗量測與結果分析

4.1 表面聲波元件之檢測結果

網路分析儀用於量測表面聲波元件之散射參數 S_{21} ，其中 S_{21} 為輸入與輸出端訊號振幅的比值，通常視為元件之頻率響應。並於輸入及輸出端各並聯一 50Ω 之高功率電阻，與網路分析儀的阻抗匹配，量測結果如圖 4.1 所示。

根據上述的訊號量測結果顯示，設計頻率為 16 MHz 的單一型表面聲波元件的散射參數 S_{21} 在 15.7 MHz 有最大值，其量測頻率低於脈衝理論模型之中心頻率 1.875%，分析可能的因素是數值模擬假設只存在表面聲波，其波速為定值，實際上行進的聲波不僅包括表面聲波，還包括微體波，推測此為造成中心頻率偏移的原因

4.2 配向層之配向效果檢測

配向層分子的固化過程可分為三階段，第一階段：在室溫下，聚醯胺酸與溶劑旋轉塗佈至玻璃基板上後，會以凡得瓦力吸附在玻璃表面，溶劑在室溫下緩慢的揮發，其沸點如表 3 所列。第二階段：溫度由室溫加熱到攝氏 200 度之過程，200 度為聚醯胺酸發生環化，形成聚亞醯胺的溫度，在加熱的過程中，溶劑會完全蒸發，此時，已有少部分聚醯胺酸分子脫水環化為聚亞醯胺。第三階段：溫度維持攝氏 200 度，此溫度持續時間越久，聚亞醯胺所佔的比例就會越多。

本研究主要探討表面聲波誘發配向層分子排列的最佳參數，以表面聲波的驅動時間點與驅動時間長短設為實驗參數，觀察液晶排列、液晶盒之穿透光強及量測紅外線吸收光譜，作為評估配向層分子排列的

方法。

4.2.1 液晶分子之觀察

將接受表面聲波照射後之配向層玻璃板，與另一片未經過任何處理的聚亞醯胺玻璃板相組合，以粒徑為 $10\mu\text{m}$ 的玻璃球與 UV 膠混合物當做間隙材料，照射 UV 燈使之固化，以維持兩玻璃之間的間隙不變。液晶在溫度高於清亮點下，會呈現等向性之性質，且黏度會降低，流速變快。因此，選擇高於清亮點之溫度下，將液晶灌入液晶盒中，並緩緩降溫，使液晶分子順著配向層分子之方向排列，再以偏光顯微鏡觀察液晶分子之排列情形，評估配向層分子之排列。以下詳述實驗內容與其結果：

(一) 圖 4.2 與 4.3 為配向層加熱到攝氏 200 度時，表面聲波作用的結果，作用時間設定為 30 與 60 分鐘，分別編號為試片 1 與試片 2。圖 4.4 為兩未經任何處理之配向層玻璃板所組合的液晶試片之結果，試片編號為 3，將試片 1、2 與 3 的結果互相比較，可看出三者之間並無明顯差別，可判定表面聲波在此階段對配向層分子造成的影響較小。

(二) 配向層塗佈於玻璃基板之後，在室溫下將玻璃波導與配向層邊緣做線接觸，配向層分子由室溫加熱到攝氏 200 度的過程中，激發表面聲波，將加熱器由室溫升到攝氏 200 度的歷時時間設為設計參數，分別為 15 與 30 分鐘，作用時間與升溫之歷時時間相同。圖 4.5 為接受表面聲波作用 15 分鐘的試片結果，試片編號為 4，圖 4.6 為作用 30 分鐘的試片結果，試片編號為 5，可看出液晶的缺陷(defect)變得較稀疏，代表配向層分子排列已發生改變。為了證實配向層分子排列的改變是受到表面聲波的影響而非線接觸所致，另外製作一組試片做對照，編號為試片 6，此試片除了無表面聲波驅動外，其餘實驗條件都與試片 4、

5 相同，其結果如圖 4.7 所示。

(三) 配向層塗佈於玻璃基板之後，在室溫下，將玻璃波導與配向層做線接觸，然後激發表面聲波。設定驅動時間為 15 與 30 分鐘，試片編號分別為試片 7 與試片 8，如圖 4.8 與圖 4.9 所示，在此條件下操作，發現穿透光亮案條紋會出現扭曲狀。若將配向層的厚度增厚，設定驅動時間為 30 分鐘，可看出穿透液晶盒的亮案線條出現水波條紋，排列更為混亂，此試片編號為試片 9，如圖 4.10 所示。由此可推測在室溫下以超音波誘發配向層分子排列有較大的影響，但是配向層分子的排列卻是相當不均勻。

(四) 長鏈狀高分子塗佈在基板時，其分子容易糾結成團狀，在表面聲波的作用下，若分子與基板之間並無適當的作用力拘束分子的位置，壓力差的分布易使分子團整體的發生移動，反而達不到配向之效果。本研究重新設計，在聚醯胺酸與玻璃之間加上一層聚亞醯胺，目的是為了增加聚醯胺酸的附著力。原本玻璃基板與聚醯胺酸之間是比較弱的凡得瓦力相吸引，加了一層聚亞醯胺後，聚醯胺酸與聚亞醯胺間產生的凡得瓦力較強，兩者之間也會有機會產生氫鍵相吸。因此，將聚醯胺酸塗佈在聚亞醯胺膜上後，聚醯胺酸分子就比較不容易因表面聲波的作用，而降低分子團整體的移動。

將配向層塗佈在具有聚亞醯胺膜的玻璃上，在加熱前，將試片靜置 10 分鐘後驅動表面聲波 15 分鐘，在加熱到攝氏 200 度期間驅動表面聲波，作用 30 分鐘，聚醯胺酸分子塗佈於聚亞醯胺膜上的試片編號為試片 10。試片 10 之中間區域與試片 6 類似，但中間處密集的缺陷範圍變的較小，如圖 4.11 所示；其邊緣的條紋間距變得較大，如圖 4.12 所示。靠近波傳處可發現透光較為均勻的區域，圖 4.13 與圖 4.14 分別為波傳方向與偏振片夾角 45 度與 90 度時，拍攝的影像。由偏光顯微鏡所

呈現的影像可知，在波傳方向與偏振方向成 45 度時，穿透光會有最亮的情形出現，在波傳方向與偏振方向成 90 度時，穿透光則會最弱。由此可知，液晶分子的排列方向會與波傳方向平行或垂直，至於確切的方向，則需以傅立葉轉換紅外線光譜儀進一步確認。

4.2.2 傅立葉轉換紅外線光譜儀

本研究使用的配向層材料為聚亞醯胺，此材料之紅外線吸收光譜如圖 4.15 所示，相較於圖 4.16 所示之聚醯胺酸的紅外線吸收光譜，有明顯不同，在波數 $1,246\text{cm}^{-1}$ 、 $1,375\text{cm}^{-1}$ 、 $1,500\text{cm}^{-1}$ 與 $1,724\text{cm}^{-1}$ 附近會有吸收峰值出現，此四個波數可分別對應不同的鍵結，如表 8 所列。其中 C-O-C、C-N 與苯環的伸縮振動皆與配向層分子主鏈方向相同，而 C=O 鍵會與配向層分子主鏈方向垂直[29]、[30]、[32]。因 $1,500\text{cm}^{-1}$ 之吸收值對分子排列異相性反應較為明顯，因此本研究針對波數為 $1,500\text{cm}^{-1}$ 之鍵結吸收值，探討在不同角度下的量測情形。

量測 FTIR 時，基材的選擇必需可讓中紅外光穿透，由圖 4.17 可知，一般試片採用的玻璃之中紅外光穿透情形不佳，在波數 $1,500\text{cm}^{-1}$ 處幾乎完全被玻璃吸收，無法分辨聚亞醯胺的吸收異向性。氟化鈣則在中紅外光處有極佳的穿透率，雖然氟化鈣在波數 $1,000\text{cm}^{-1}$ 以下會被吸收，但此區域並不影響聚亞醯胺所需探討的範圍，因此本研究在進行 FTIR 的量測時，採用氟化鈣作為配向層分子的基板。

本研究以表面聲波誘發配向層分子排列，與摩刷前後的聚亞醯胺比較配向結果，其中表面聲波的驅動條件與試片 10 相同，將表面聲波作用過之配向層與氟化鈣基板一塊放置於紅外光源中，旋轉偏振片之角度 θ ，實驗示意圖如圖 4.18 所示。將解析度設定為 4cm^{-1} ，量測 20 次取其平均，孔徑大小為 3 mm，每旋轉 15 度量一次紅外線吸收光譜，

分別在各光譜中收集波數 $1,500\text{ cm}^{-1}$ 之鍵結吸收值，獲得不同偏振角度之紅外光吸收極圖，如圖 4.19 所示。未經過任何處理的配向層與摩刷後之配向層也是以同樣方式量測，其紅外光吸收極圖分別示於圖 4.20 及圖 4.22，其中摩刷配向之旋轉角度定義如圖 4.21 所示。由紅外光吸收光譜之吸收值，可計算配向層之秩序參數(order parameter)，

$$S = \frac{(A_h - A_v)}{(A_h + 2A_v)} \quad (4.1)$$

其中， A_h 代表偏振方向與鍵結方向平行時的吸收值， A_v 代表偏振方向與鍵結方向垂直時的吸收值[41]。若 S 值越大，代表排列規則性越高，若分子為等向性排列，則 S 值為零。計算結果得知，表面聲波作用之配向層的秩序參數為 0.23，未經處理之配向層的秩序參數為 0.0693，摩刷配向的秩序參數為 0.535。

由紅外光之吸收值可發現，未經處理之配向層分子排列最為混亂，但其秩序參數不為零的可能原因如下，本研究使用的氟化鈣基材不會水解，雖然費用較為昂貴，卻可重複使用。在實驗完成後，聚亞醯胺膜除了需較長時間浸泡於溶劑外，還需用外力搓洗。雖然在搓洗的過程中，方向並無固定，殘留少許的聚亞醯胺會是造成少許誤差的主要原因。摩刷配向之配向層分子排列規律性最高，其分子長軸排列方向與摩刷方向平行。表面聲波誘發之配向層分子的排列規律性介於摩刷處理與未處理之配向層之間，由紅外線吸收極圖可發現其分子排列方向趨向於平行表面聲波之波前。

4.2.3 穿透雷射光強量測

將摩刷過的聚亞醯胺玻璃，分別與經過表面聲波作用後之聚亞醯胺玻璃及未經處理的聚亞醯胺玻璃組合成液晶盒試片，進行穿透雷射光

強量測，試片編號分別為試片 11 與試片 12，分別量測三點位置，分別為靠左側處、中間處與靠右邊處，如圖 4.23 所示。量測結果如圖 4.24 與圖 4.25 所示，其中表面聲波之操作條件與試片 10 相同。當摩刷方向與偏振片方向平行時，穿透光強最小，當兩者所夾角度為 45 度時，穿透光強最大。比較此兩者之穿透光強，可發現具有一樣的趨勢，但相對比值卻有明顯不同，分別量測兩試片的三個不同位置，並計算其相對比值，試片 11 的相對比值為 12.87、7.86 與 8.97，試片 12 的相對比值為 4.67、4.09 與 4.10，可看出經過表面聲波誘發之配向層分子相較於無任何處理之配向層分子，的確具有配向之效果。然而，同一試片上的不同位置，配向效果並不相同，代表配向之不均勻性。



第五章 結論與展望

本研究以表面聲波在液晶配向層內形成一壓力分布，以不同之操作條件製作實驗試片，定性與定量的討論聚亞醯胺分子排列的改變，評估表面聲波的配向效果。本章綜合實驗結果與討論，作出結論，供日後研究的參考。

5.1 實驗結果分析

本研究的實驗結果顯示，在不同的操作條件下，表面聲波誘發聚亞醯胺配向層分子排列之效果如下：

(1) 聚亞醯胺分子加熱到攝氏 200 度時，以長短不等的操作時間激發表面聲波，照射配向膜試片，與未經處理的配向層比較，並無明顯分別，因為此時溶劑已蒸發完全，配向層分子已難再被表面聲波所影響。表面聲波的能量比摩刷能量弱很多，無法與摩刷技術一樣，在配向層分子固化後仍可以影響其排列。

(2) 將激發表面聲波的時間提前，試片自室溫加熱到攝氏 200 度前，即觸發表面聲波元件，此時的溶劑被快速蒸發，可觀察出配向層分子排列受到表面聲波影響，但效果不顯著。

(3) 當聚醯胺酸與溶劑旋轉塗佈於基板上，在五分鐘內驅動表面聲波，發現配向層分子會因溶液的多寡而有不同的影響。實驗明顯觀察到液晶分子缺陷條紋的扭曲。當旋佈的溶液較厚時，缺陷條紋已扭曲到無法辨識。由此可推斷在溶劑未揮發之前，驅動表面聲波可達到最大的影響力，但其效果仍不佳，無法達到本研究之目的。另外，在溶液較厚的情形下，表面聲波造成液體流動會使分子較為混亂，並不理想。

(4) 在聚醯胺酸與玻璃之間先加設一層聚亞醯胺膜，增加聚醯胺酸分子之附著力，表面聲波在溶劑未揮發之前觸發，可得到較少的液晶缺陷，此驅動條件為目前獲得的最佳參數。

(5) 以傅立葉轉換紅外線光譜儀量測聚亞醯胺分子之C-C鍵排列方向，表面聲波誘發之配向層分子排列的規律性介於摩刷配向與未經處理之配向層之間，其秩序參數分別為 0.23、0.535 與 0.0693。

(6) 由傅立葉轉換紅外線光譜儀量測結果得知，當偏振方向與波前平行時，於波數 $1,500\text{ cm}^{-1}$ 處可得到最大的吸收值，代表聚亞醯胺分子之主鏈方向垂直於波傳方向。

(7) 穿透雷射光強量測實驗結果顯示，表面聲波配向之玻璃板與摩刷配向之玻璃板組合的液晶試片上，三個不同位置的對比率分別為 12.87、7.86 與 8.97。未經處理過的配向層玻璃板與摩刷配向之玻璃板組合的液晶試片上，三個不同位置的對比率為 4.67、4.09 與 4.10。本研究成功地以定量方式確認表面聲波具有誘發配向膜分子排列的效果。

5.2 未來展望

在定量量測方面，傅立葉轉換紅外線光譜儀是量測分子排列方向最直接的方法，所使用的氟化鈣基板較昂貴，雖可重複使用，卻不容易將配向膜清理乾淨，可能會造成實驗結果的誤差。若使用光彈調制(photoelastic modulated)橢偏儀(ellipsometer)量測配向膜反射光相位延遲之異向性，評估配向層分子排列的秩序，是另一種可信度高之定量量測儀器，且其光源為可見光，不需要特定的材料當作基板，故玻璃基板在此環境下即可操作。

目前為止，表面聲波配向實施的對象是較小的試片，受到邊界效

應，尚無法達到均勻的排列效果，在對比度與秩序參數等指標上仍有進步空間。未來可依據本研究所得到的最佳條件，改變其他實驗參數下，例如：驅動電壓、操作頻率，進一步改善表面聲波配向的排列結果。



參考文獻

- [1] L. A. Crum (1971), “Acoustic force on a liquid droplet in an acoustic stationary wave,” *J. Acoust. Soc. Am.*, **50**(1), 157-163.
- [2] H. M. Hertz (1995), “Standing-wave acoustic trap for nonintrusive positioning of microparticles,” *J. Appl. Phys.*, **78**(8), 4845-4849.
- [3] A. Haake, J. Dual (2003), “Particle positioning by a two- or three-dimensional ultrasound field excited by surface waves,” WCU 2003 Conference Paris, 237-240.
- [4] C. J. Strobl, C. Schaefflein, and U. Beierlein (2004), “Carbon nanotube alignment by surface acoustic waves,” *Appl. Phys. Letts.*, **85**(8), 1427-1429.
- [5] M. Alvarez, J. R. Friend, and L. Y. Yeo (2008), “Surface vibration induced spatial ordering of periodic polymer patterns on a substrate,” *Langmuir.*, **24**(19), 10629-10632.
- [6] J. R. Friend, L. Y. Yeo, D. R. Arifin, and A. Mechler (2008), “Evaporative self-assembly assisted synthesis of polymeric nanoparticles by surface acoustic wave atomization,” *Langmuir.*, **24**(19), 10629-10632.
- [7] C. D. Wood, J. E. Cunningham, R. O’Rorke, C. Waelti, E. H. Linfield, A. G. Davies, and S. D. Evans (2009), “Formation and manipulation of two-dimensional arrays of micron-scale particles in microfluidic systems by surface acoustic waves,” *Appl. Phys. Letts.*, **94**(5), 541011-541013.
- [8] R. H. Tancrell, and M. G. Holland (1971), “Acoustic surface wave filters,” *IEEE Proc.*, **59**, 393-409.
- [9] P. Yeh and C. Gu (1999) “Optics of liquid crystal displays,” John

Eiley & Sons, Inc., Canada

- [10] 王新久 (2006), 液晶光學與液晶顯示, 科學出版社, 北京。
- [11] K. Takatoh, M. Hasegawa, M. Koden, N. Itoh, R. Hasegawa, and M. Sakamoto (2005), *Alignment Technologies and Applications of Liquid Crystal Devices*, Taylor & Francis, London and New York.
- [12] D. W. Berreman (1972), "Solid surface shape and the alignment of an adjacent nematic liquid crystal," *Phy. Rev. Letts.*, **28**, 1683-1686.
- [13] J. M. Geary, J. W. Goodby, A. R. Kmetz, and J. S. Patel (1987), "The mechanism of polymer alignment of liquid-crystal materials," *J. Appl. Phys.*, **62** (10), 4100-4108.
- [14] J. L. Janning (1972), "Thin film surface orientation for liquid crystals," *Appl. Phys. Lett.*, **21** (4), 173-174.
- [15] K. J. Han, Y. Jung, H. H. Choi, H. K. Hwang, S. Lee, and S. H. Jang (1999), "Director tilting of liquid crystals on photoisomerizable polyimide alignment layers doped with homeotropic surfactant," *J. Appl. Phys.*, **86**, 1854-1859.
- [16] M. Schadt, K. Schmitt, V. Kozinkov, and V. Chigrinov (1992), "Surface-induced parallel alignment of liquid crystals by linearly polymerized photopolymers," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **31** (7), 2155-2164.
- [17] K. Y. Wu, C. H. Chen, C. M. Yeh, and J. Hwang (2005), "Liquid-crystal alignment on a-CH films by nitrogen plasma beam scanning," *J. Appl. Phys.*, **98** (8), 083518-1-5.
- [18] H. J. Ahn, S. J. Rho, K. C. Kim, J. B. Kim, B. H. Hwang, C. J. Park, and H. K. Baik (2005), "Ion-beam induced liquid crystal alignment on diamond-like carbon and fluorinated diamond-like carbon thin films," *Jpn. Soc. Appl. Phys.*, **44** (6A), 4092-4097.
- [19] S. H. Paek, C. J. Durning, K. W. Lee and A. Lien (1998), "A

- mechanistic picture of the effects of rubbing on polyimide surfaces and liquid crystal pretilt angles,” *J. Appl. Phys.*, **83** (3), 1270-1280.
- [20] X. Nie, H. Xianyu, R. Lu, T. X. Wu, Senior Member, and S. T. Wu (2007), “Pretilt angle effects on liquid crystal response time,” *Journal of Display technology*, **3** (3), 280-238.
- [21] M. OH-E, M. Yoneya, M. Ohta, and K. Kondo (1997), “Dependence of viewing angle characteristics on pretilt angle in the in-plane switching mode,” *Liquid crystal*, **22** (4), 391-400.
- [22] 張豐志 (2003), 應用高分子手冊, 五南圖書出版股份有限公司, 台北, 台灣。
- [23] M. Oh-e, S. C. Hong, and T.R. Shen (2000), “Polar ordering at an interface between a liquid crystal monolayer and a rubbed polyimide,” *J. Phys. Chem. B*, **104**(31), 7455-7461.
- [24] 劉士榮 (2005), 高分子流變學, 滄海書局, 台中, 台灣。
- [25] B. Chae, S.W. Lee, B. Lee, W. Choi, S. B. Kim, Y. M. Jung, J. C. Jung, K. H. Lee, and M. Ree (2003) “Sequence of the rubbing induced reorientations of polymer chain segments in nanofilms of a well defined brush polyimide with a fully rodlike backbone as determined by polarized FTIR spectroscopy and two-dimensional correlation analysis,” *Langmuir*, **19**(22), 9459-9465.
- [26] H. Ishida, S. T. Wellinghoff, E. Baer, and J. L. Koenig (1979) “Spectroscopic Studies of [N, N'-bis (phenoxyphenyl) pyromellitimide] 1. Structures of the polyimide and three model compounds,” *Macromolecules*, **13**(4), 826-834.
- [27] K. Sawa, K. Sumiyoshi, Y. Hirai, K. Tateishi, and T. Kamejima (1994), “Molecular orientation of polyimide films for liquid crystal alignment studied by infrared dichroism,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, **33**(1),

6273-6276.

- [28] R. Arafune, K. Sakamoto, and S. Ushioda (1998), “Important of rubbing-induced inclination of polyimide backbone structures for determination of the pretilt angle of liquid crystals,” *Physical Review E*, **58**(5), 5914-5918.
- [29] R. Arafune, K. Sakamoto, D. Yamakawa, and S. Ushioda (1996), “Pretilt angles of liquid crystals in contact with rubbed polyimide films with different chain inclinations,” *Surface Science*, **368**, 208-212.
- [30] K. Sakamoto, R. Arafune, N. Ito, and S. Ushioda (1996), “Determination of molecular orientation of very thin rubbed and unrubbed polyimide films,” *J. Appl. Phys.*, **80**(1), 431-439.
- [31] C. Y. Lee, Y. L. Liu, K. Y. Wu, M. Y. Chen, and J. C. Hwang (2008), “Argon plasma beam scanning processes on polyimide films for liquid crystal alignment,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, **47**(1), 226-230.
- [32] K. Weiss, C. Woell, E. Boehm, B. Fiebranz, G. Forstmann, B. Peng, V. Scheumann, and D. Johannsmann (1998), “Molecular orientation at rubbed polyimide surfaces determined with x-ray absorption spectroscopy relevance for liquid crystal alignment,” *Macromolecules*, **31**(6), 1930-1936.
- [33] H. Kikuchi, J. A. Logan, and Do Y. Yoon (1996), “Study of local stress, morphology, and liquid-crystal alignment on buffed polyimide surfaces,” *J. Appl. Phys.*, **79**(9), 6811-6817.
- [34] X. Liang, J. Liu, L. Han, H. Tang, and S. Y. Xu (2000), “Electric force microscopy study of the surface electrostatic property of rubbed polyimide alignment layers,” *Thin Solid Films*, **370**, 238-242.
- [35] J. Suchocki (2007), 觀念化學 II, 天下遠見出版股份有限公司,

台北，台灣。

- [36] D. O. Thompson, and D. E. Chimenti (1991), “Guided wave for porosity estimation in complex shaped structures,” *Review of Progress in QNDE*, Vol. 10B, pp.1547-1554.
- [37] J. L. Rose (1999), *Ultrasonic Waves in Solid Media*, Cambridge university press, USA.
- [38] 呂金山 (1996)，金屬基複合材料次表面性質的超音波研究，國立交通大學機械工程學系碩士論文，新竹市，台灣。
- [39] 陳陵援 (1988)，儀器分析，三民書局股份有限公司，台北，台灣。
- [40] D. A. Skoog, F. J. Holler, S. R. Crouch (2007)，儀器分析-精華版，新加坡商湯姆生亞洲私人有限公司台灣分公司，台北，台灣。
- [41] V. Chigrinov, E. Prudnikova, V. Kozenkov, and H. Kwok (2002), “Synthesis and properties of azo dye aligning layers for liquid crystal cells,” *Liquid Crystals.*, **29**(10), 1321-1327.

表 1 鈮酸鋰之材料性質

Y+128° cut 鈮酸鋰表面聲波相速度	3.981 mm / μ s
表面聲波之設計頻率	16MHz
交指叉電極間距	248.8 μ m
交指叉電極寬度	62.2 μ m
交指叉電極孔徑	15mm

表 2 溶劑成分配置表

成份 \ 名稱	NBG-776	PIA-5370-33C
Polyamic acid	none	5 (wt%)
N-methyl-2-pyrrolidone	35 (wt%)	30 (wt%)
Butyl cellosolve	35 (wt%)	35 (wt%)
γ -Butyrolactone	30 (wt%)	30 (wt%)

表 3 本研究使用的溶劑之沸點

成份	沸點
N-methyl-2-pyrrolidone	204
Butyl cellosolve	171.2
γ -Butyrolactone	204



表 4 旋轉塗佈機之轉速

	溶液 A	溶液 B
慢轉	800rpm	800rpm
快轉	5000rpm	5000rpm

表 5 4 吋 127.86° Y Cut 鋯酸鋰材料參數

Item	Specification
Material	Lithium Niobate
Grade	SAW Grade
Curie temperature	$1142 \pm 3^\circ C$
Composition	Congruent within 0.01 mol% Li_2O
Cut	127.86° Rotated Y Cut (accuracy $\leq 0.3^\circ$)
Diameter	$100.0mm \pm 0.3mm$
Thickness	500 or $350 \mu m \pm 20 \mu m$
Primary flat	$32.0mm \pm 2.0mm$ perpendicular to X ($\pm 0.3^\circ$)
Front Side	$Ra < 1 \text{ nm}$
Back Side	$Ra = 0.2 \sim 0.5 \mu m$
Warp/Bow	$< 40 \mu m$
TTV	$< 10 \mu m$
LTV	$< 1 \mu m$ (with an are of $5mm \times 5mm$)
PLTV	$> 90\%$ (1mm edge excluded)
Edge	Beveled

表 6 散射參數之特性

S-Parameter	Definition	Test Set Description	Direction
S_{11}	$\left. \frac{b_1}{a_1} \right _{a_2=0}$	Input reflection coefficient	FWD
S_{21}	$\left. \frac{b_2}{a_1} \right _{a_2=0}$	Forward gain	FWD
S_{12}	$\left. \frac{b_1}{a_2} \right _{a_1=0}$	Reverse gain	REV
S_{22}	$\left. \frac{b_2}{a_2} \right _{a_1=0}$	Output reflection coefficient	REV



表 7 紅外光之波長範圍

光區	波長範圍(μm)	波數範圍(cm^{-1})
近紅外光	0.78-2.5	12800-4000
中紅外光	2.5-50	4000-200
遠紅外光	50-1000	200-10

表 8 波數與其相對應之鍵結

波數(cm^{-1})	吸收鍵結
1,246	C-O-C
1,375	C-N
1,500	苯環
1,724	C=O



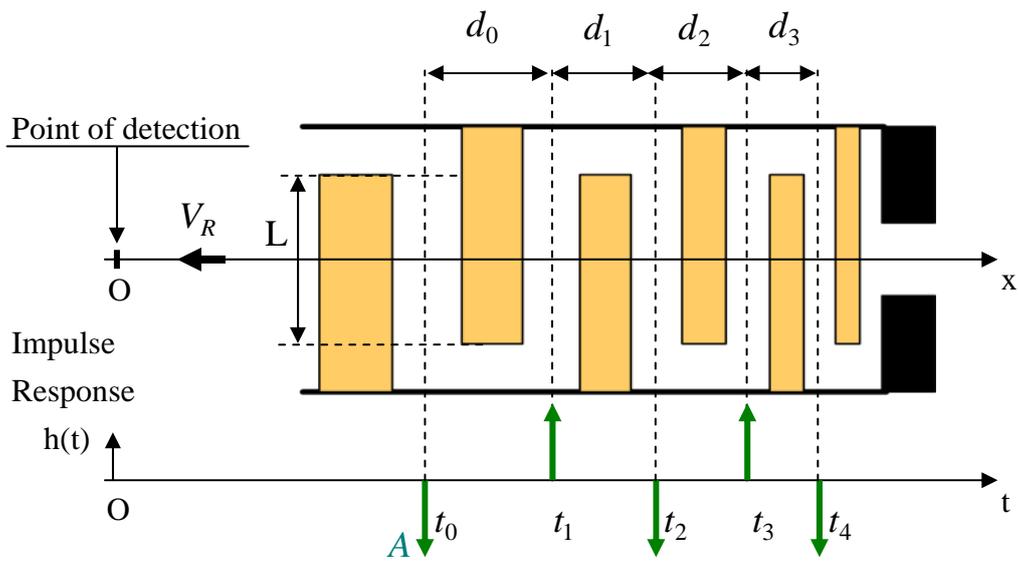


圖 2.1 脈衝函數模型

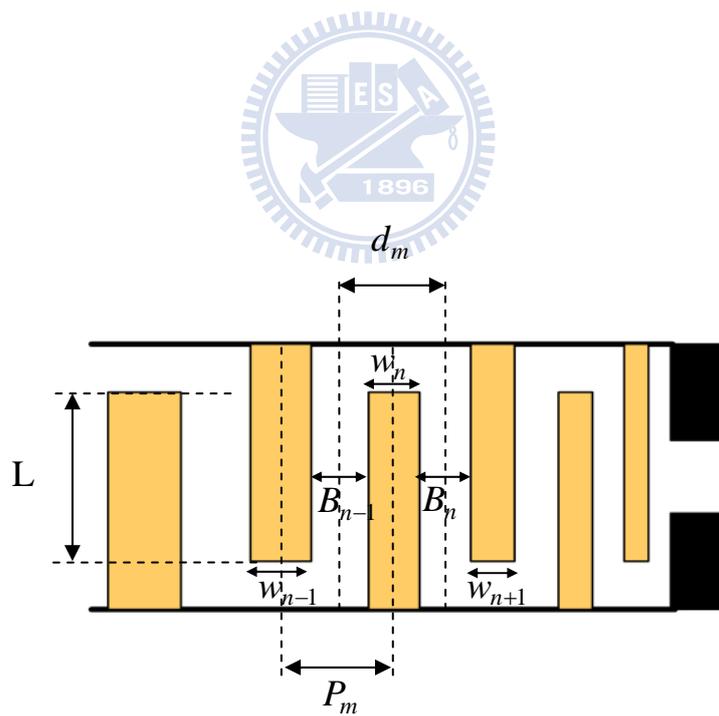


圖 2.2 指叉換能器示意圖

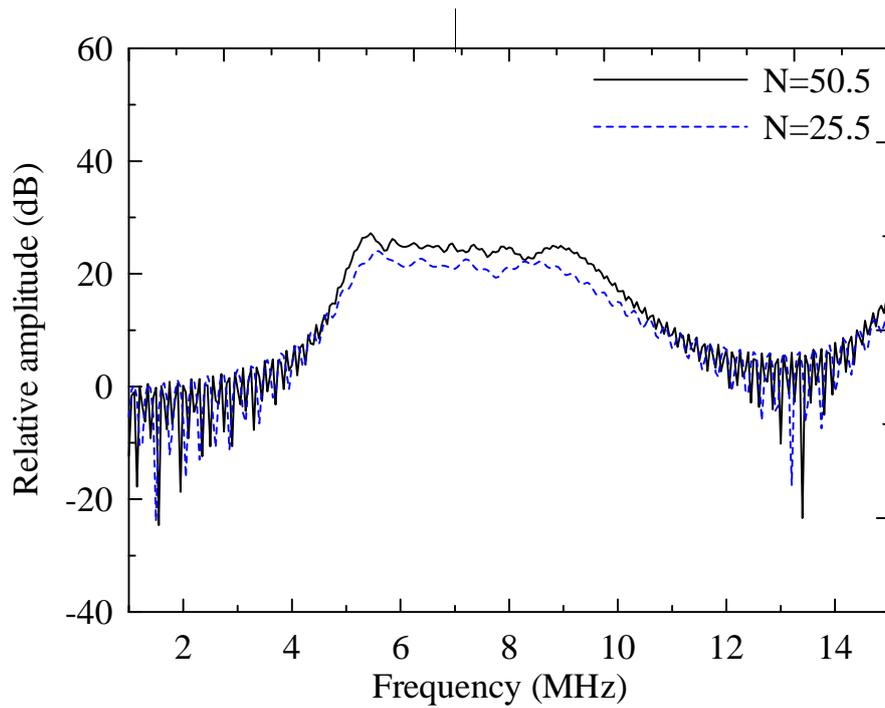


圖 2.3 電極數目為 50.5 與 25.5 對，頻率
為 5 至 10MHz 之 IDT 的頻率響應模擬結果

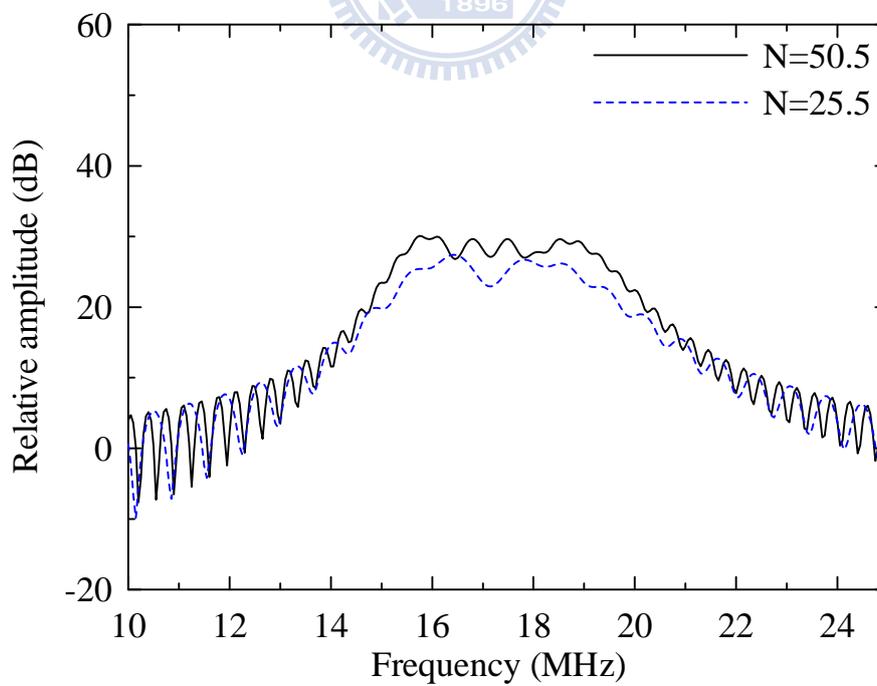


圖 2.4 電極數目為 50.5 與 25.5 對，頻率
為 15 至 20MHz 之 IDT 的頻率響應模擬結果

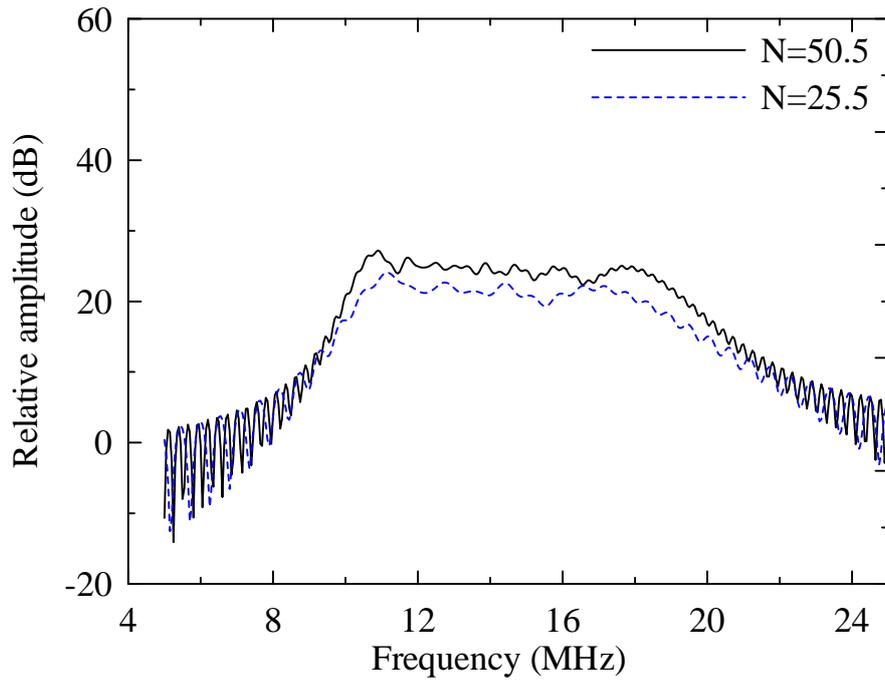


圖 2.5 電極數目為 50.5 與 25.5 對，頻率

為 15 至 20MHz 之 IDT 的頻率響應模擬結果

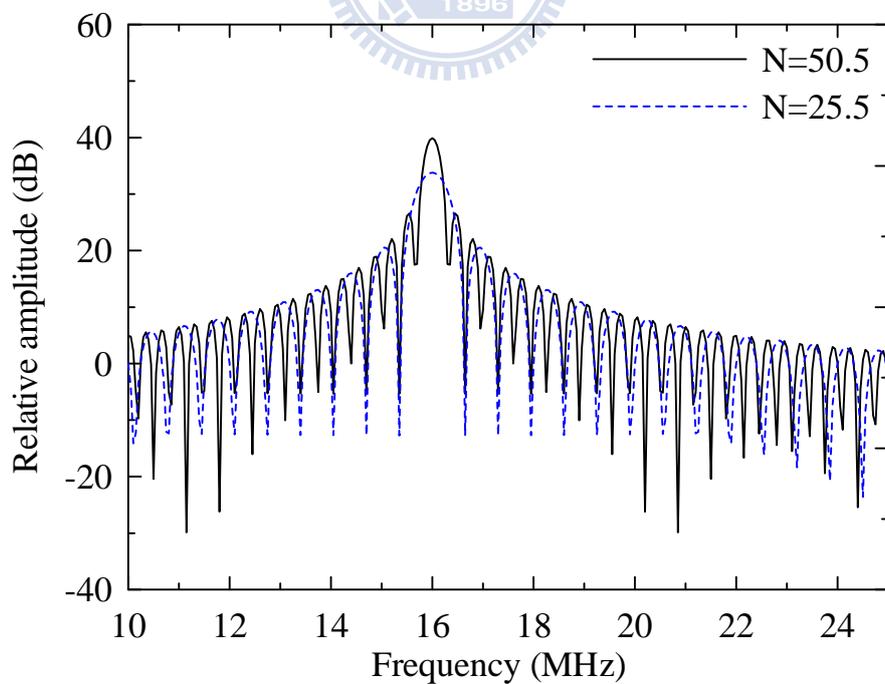


圖 2.6 電極數目為 50.5 與 25.5 對，頻率

為 16MHz 之 IDT 的頻率響應模擬結果

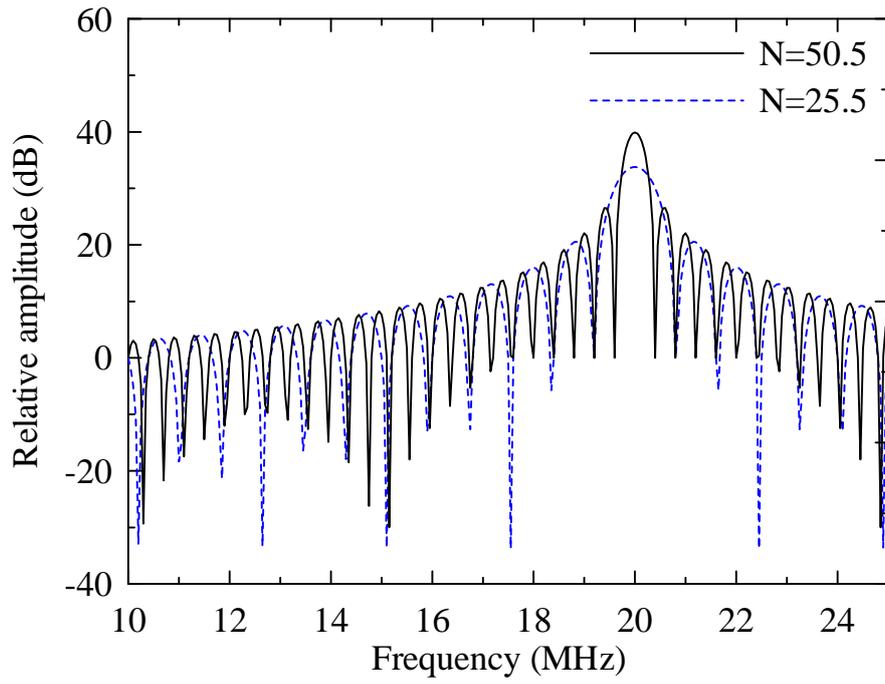


圖 2.7 電極數目為 50.5 與 25.5 對，頻率為 20MHz 之 IDT 的頻率響應模擬結果

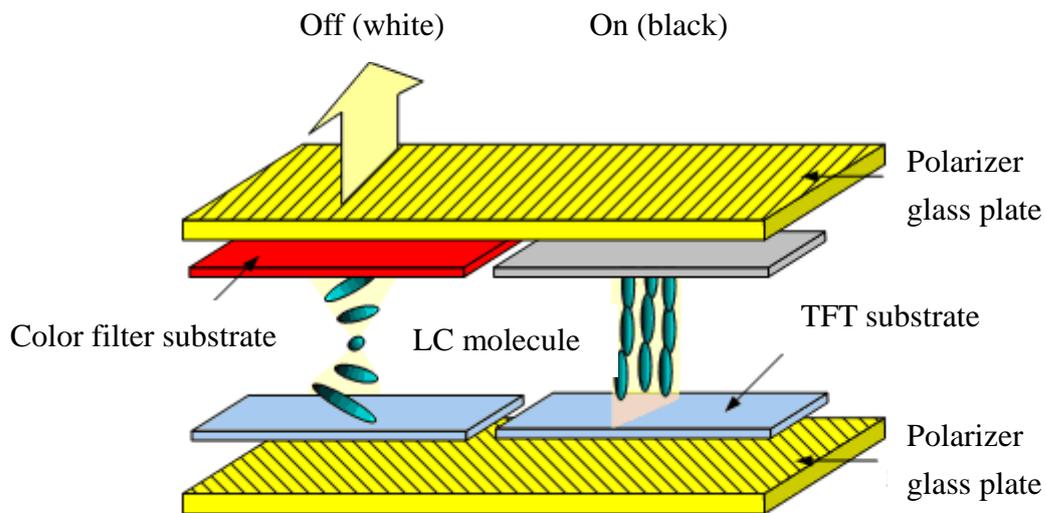


圖 2.8 TN 型液晶顯示方式的示意圖

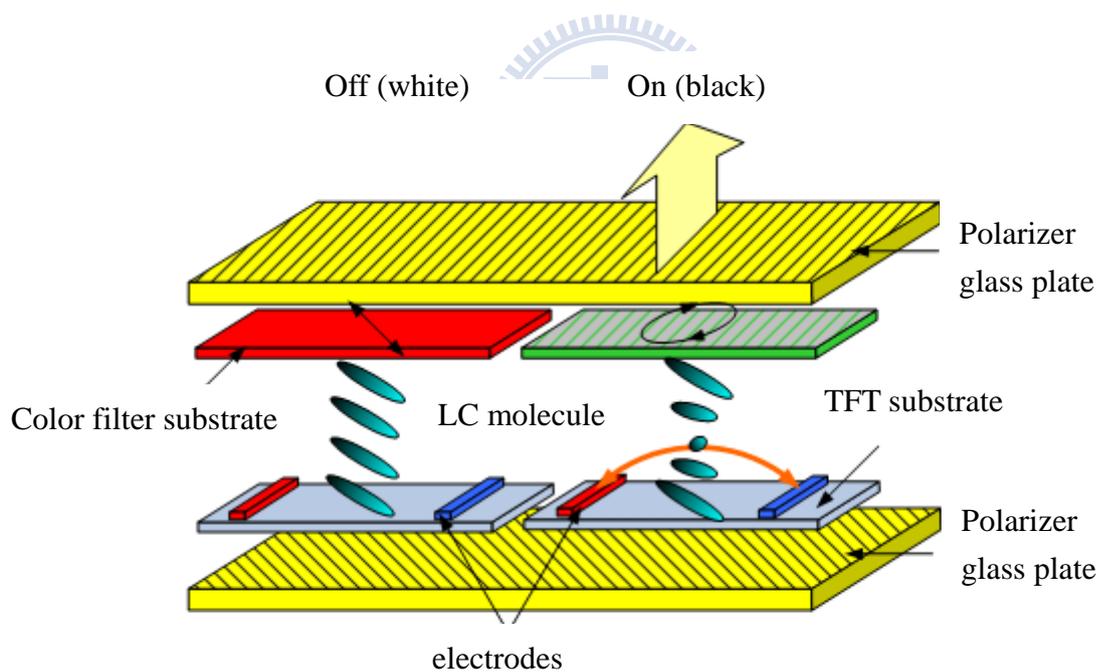


圖 2.9 IPS 型液晶顯示方式的示意圖

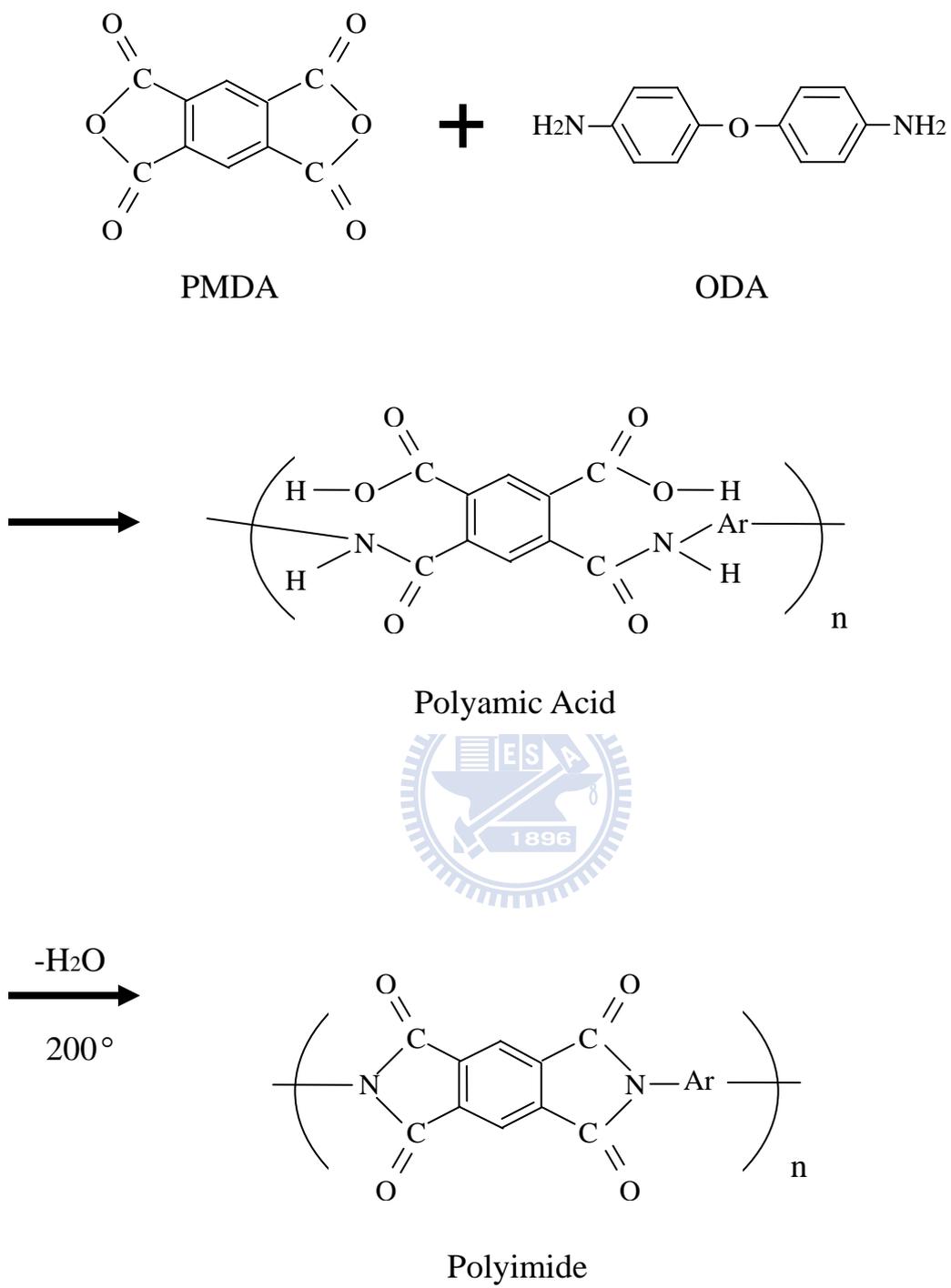


圖 2.10 聚亞醯胺合成的示意圖

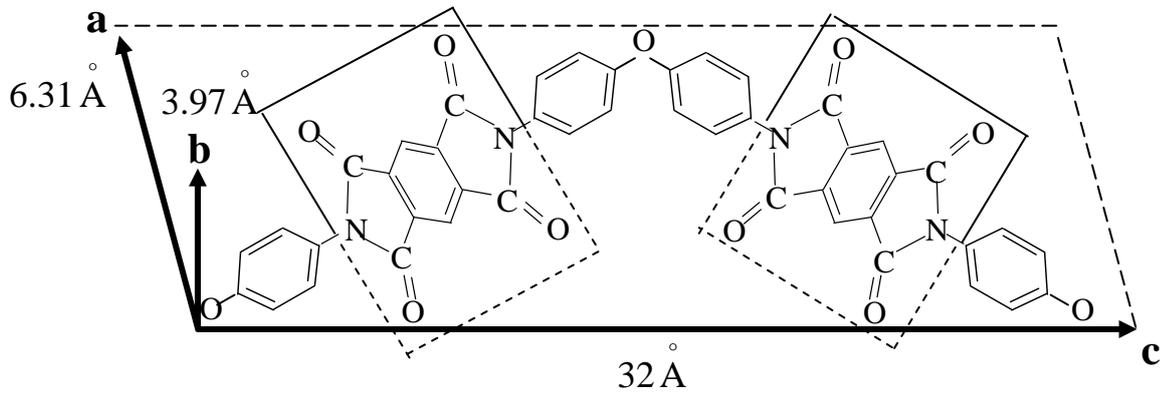
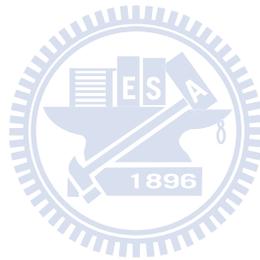


圖 2.11 聚亞醯胺的單位晶胞示意圖



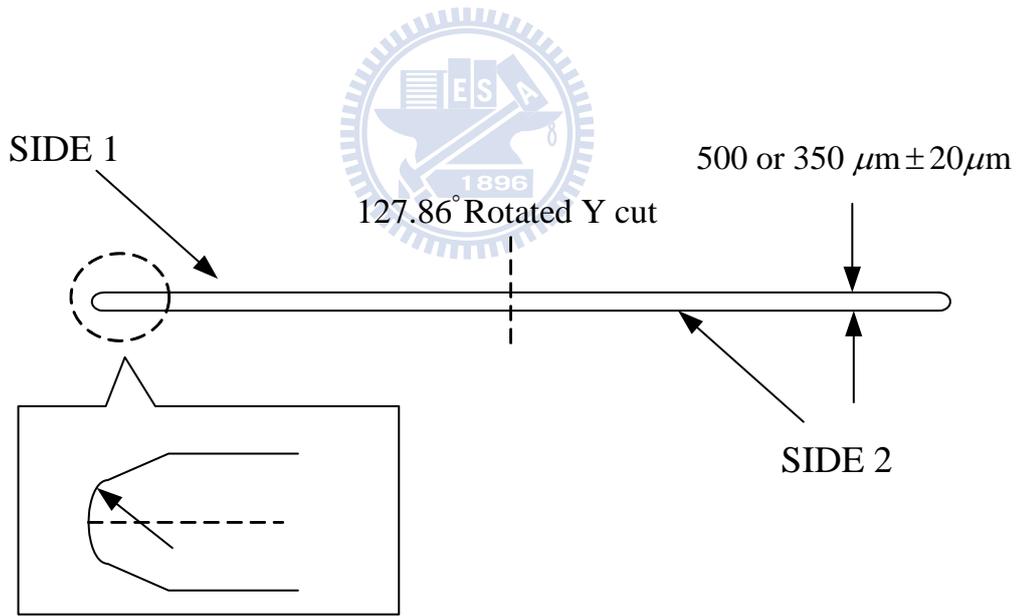
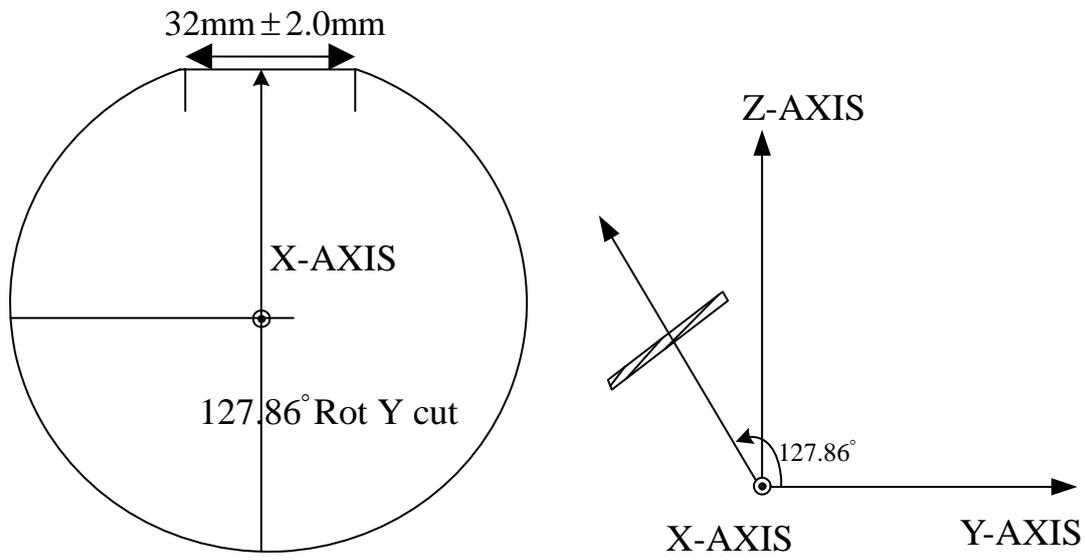


圖 3.1 鈮酸鋰的材料性質

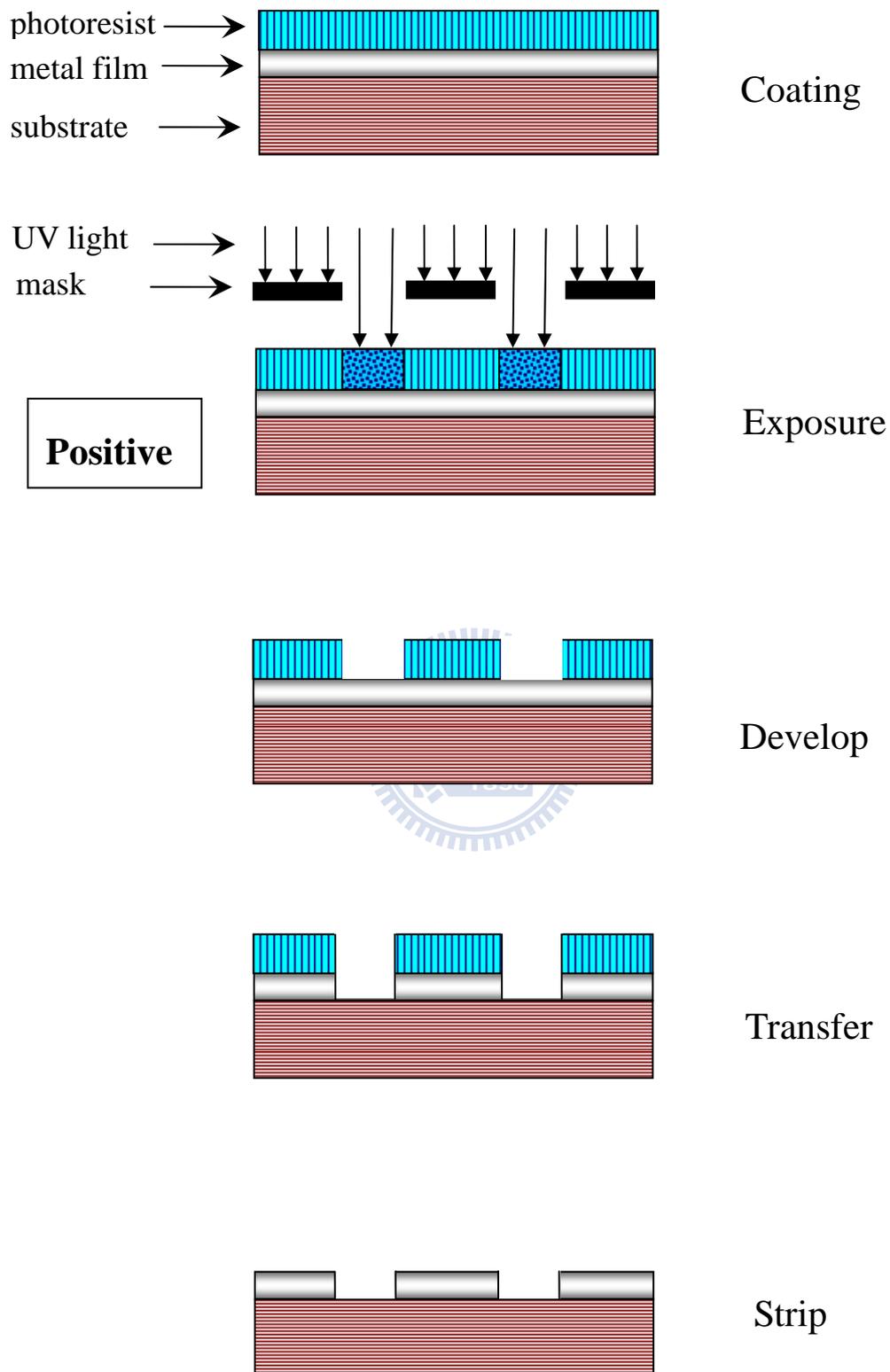


圖 3.2 表面聲波元件之微機電製程

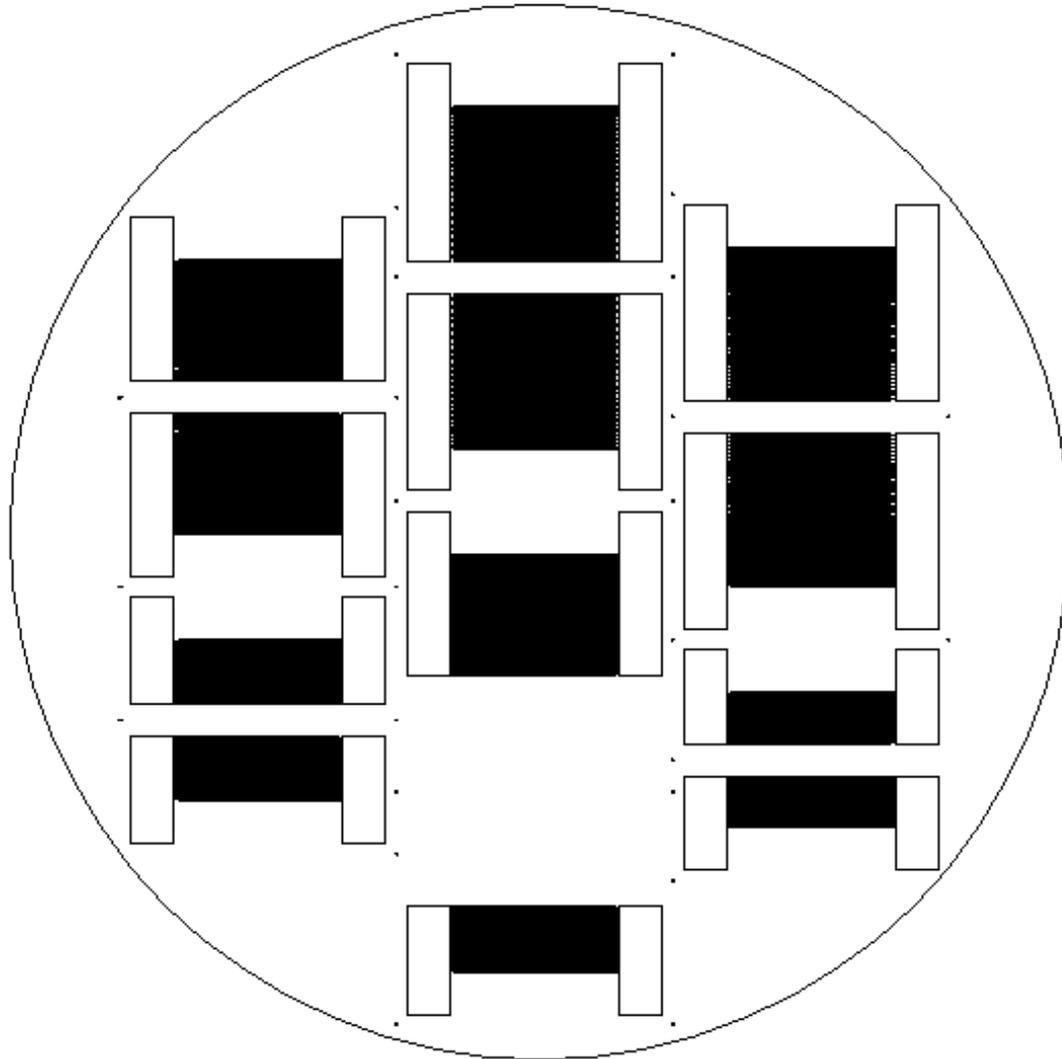


圖 3.3 表面聲波元件之光罩設計圖



圖 3.4 16MHz 之表面聲波元件設計圖

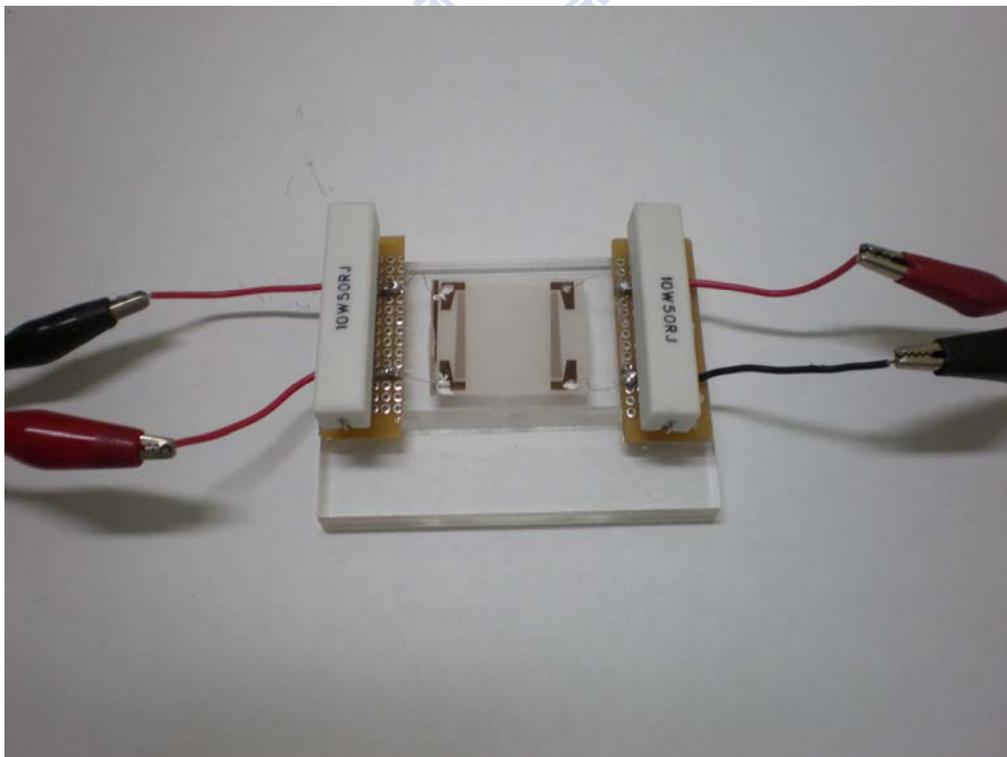
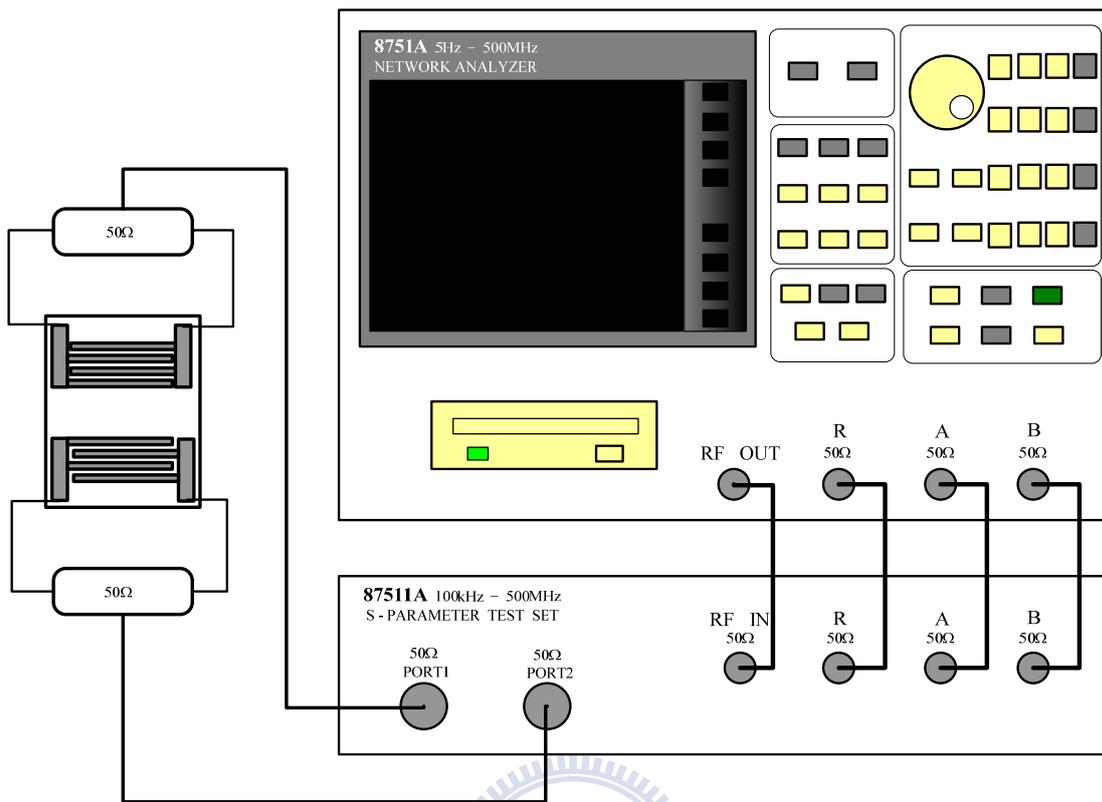


圖 3.5 散射參數量測系統的示意圖及照片

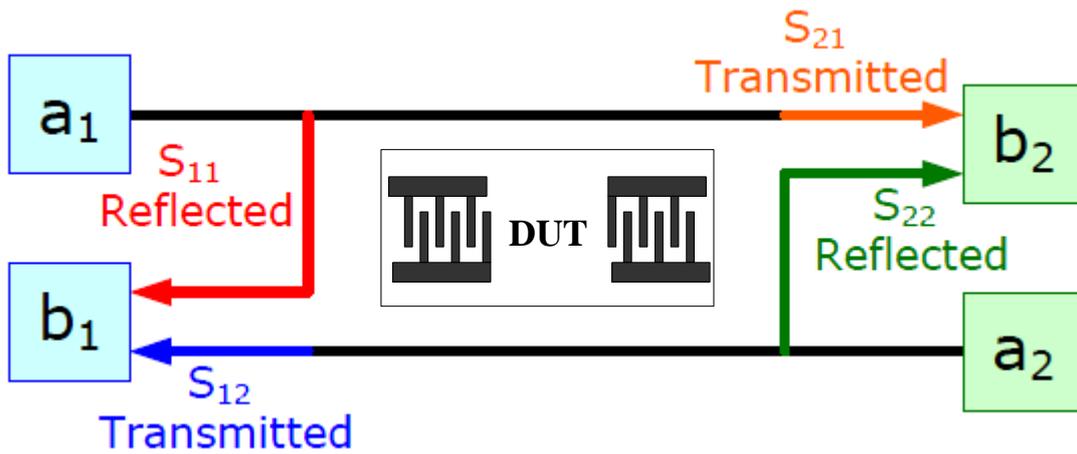


圖 3.6 散射參數之示意圖

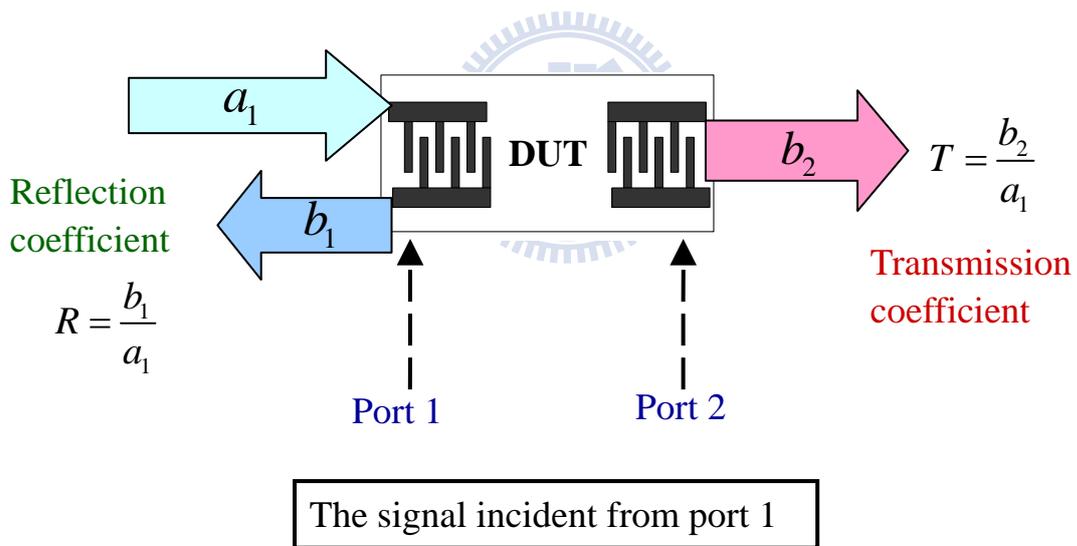


圖 3.7 散射參數量測示意圖

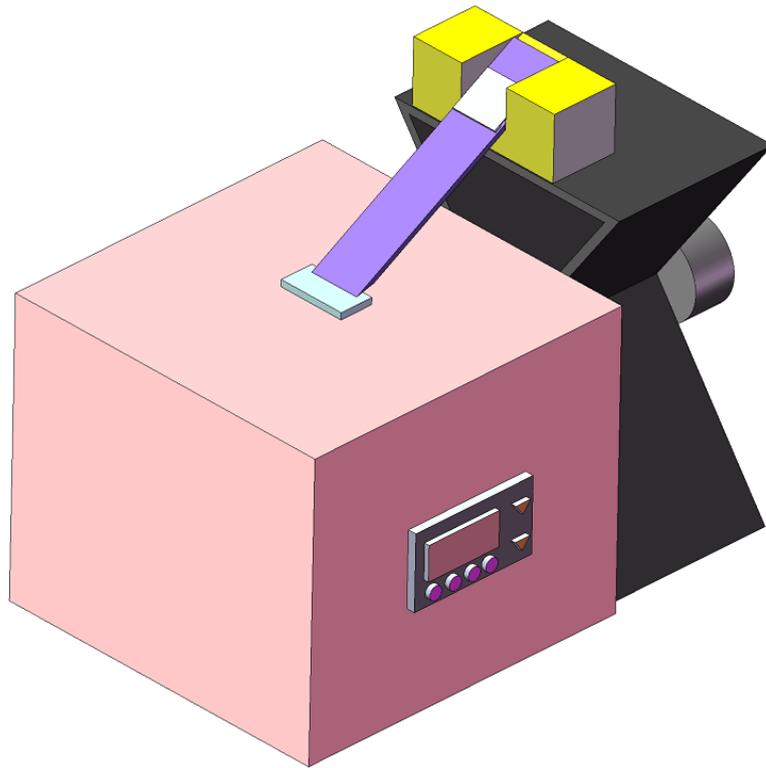


圖 3.8 實驗架構示意圖

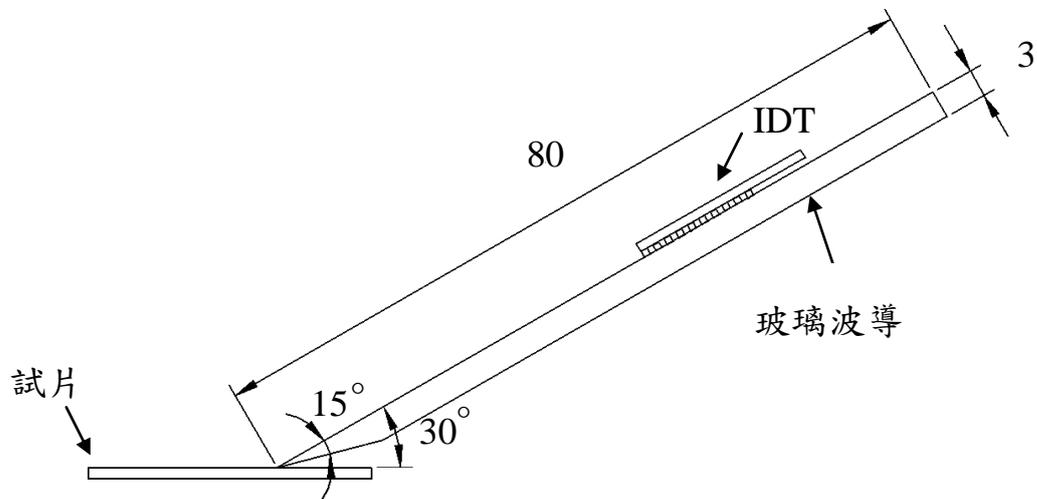


圖 3.9 表面聲波驅動元件及玻璃波導的示意圖

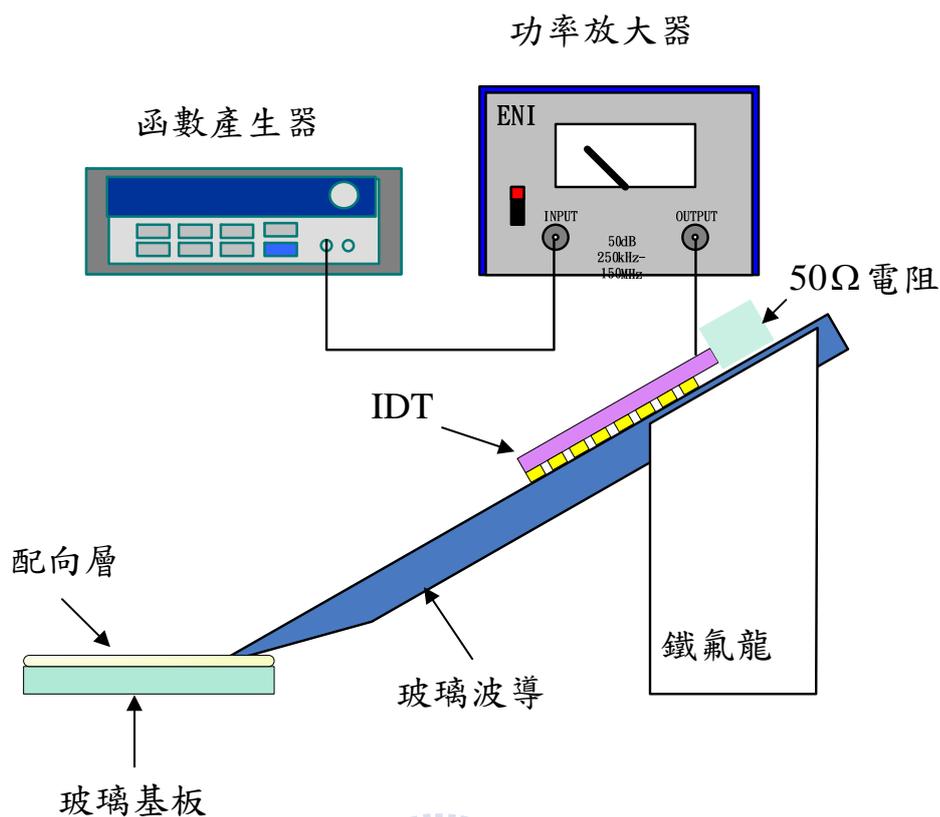


圖 3.10 表面聲波誘發配向層分子排列之實驗架構示意圖

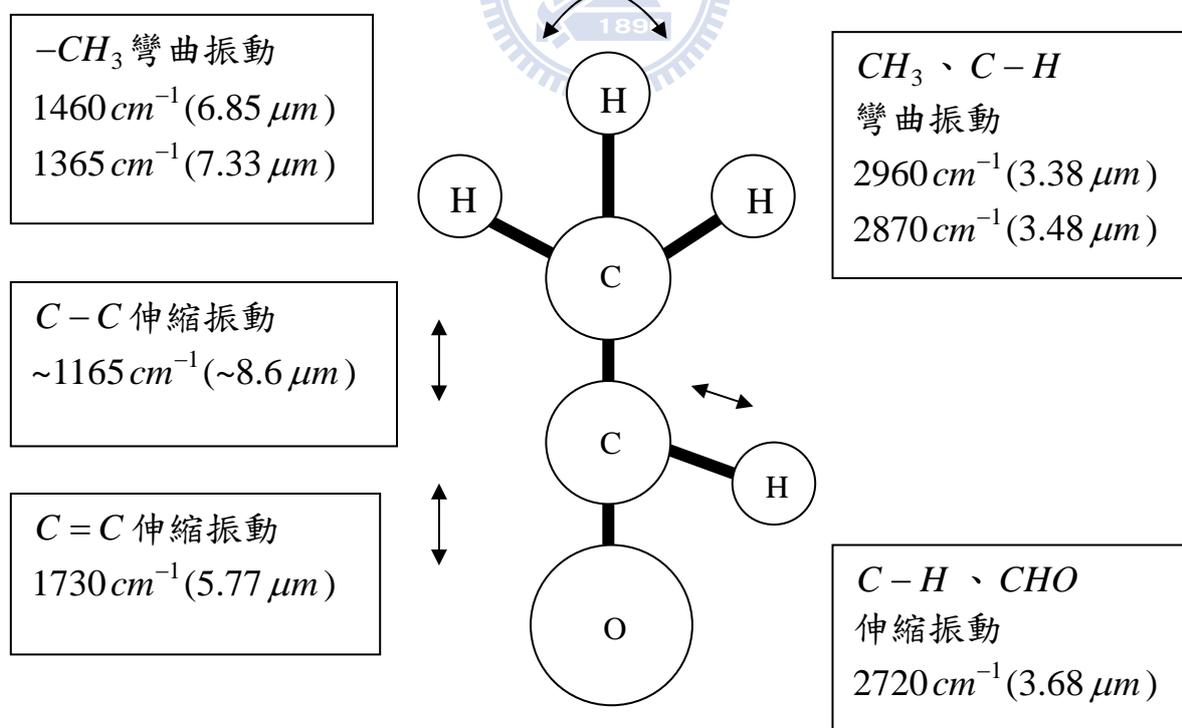


圖 3.11 乙醛之分子模型圖

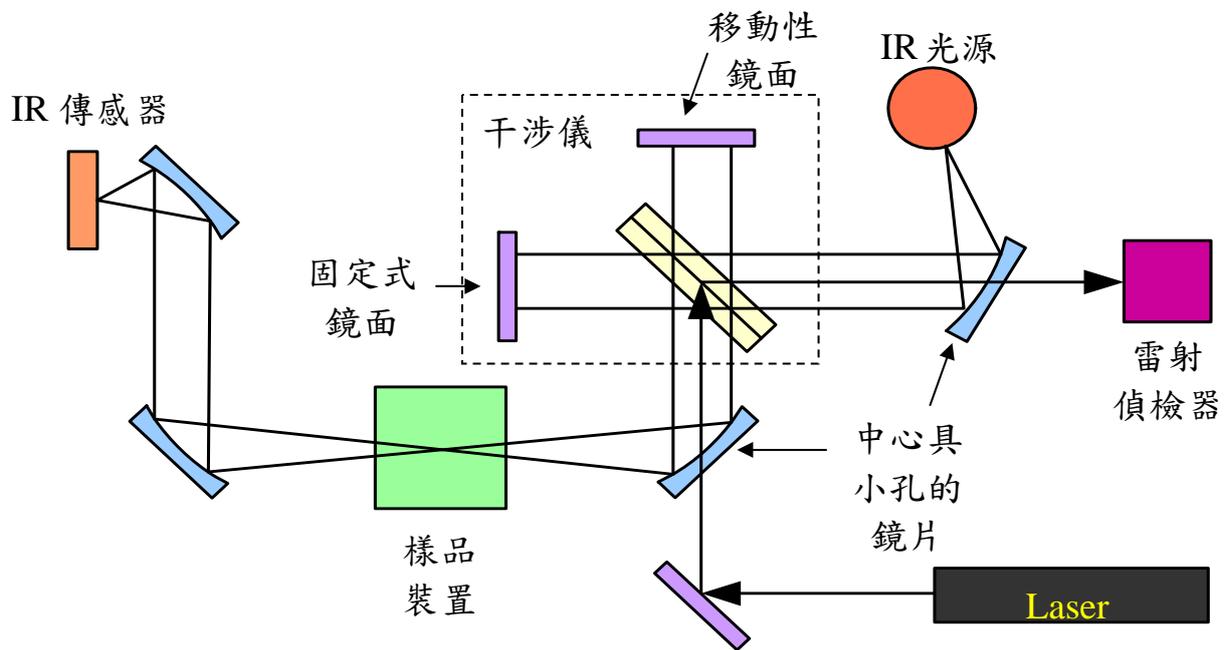


圖 3.12 FTIR 單光徑光譜儀

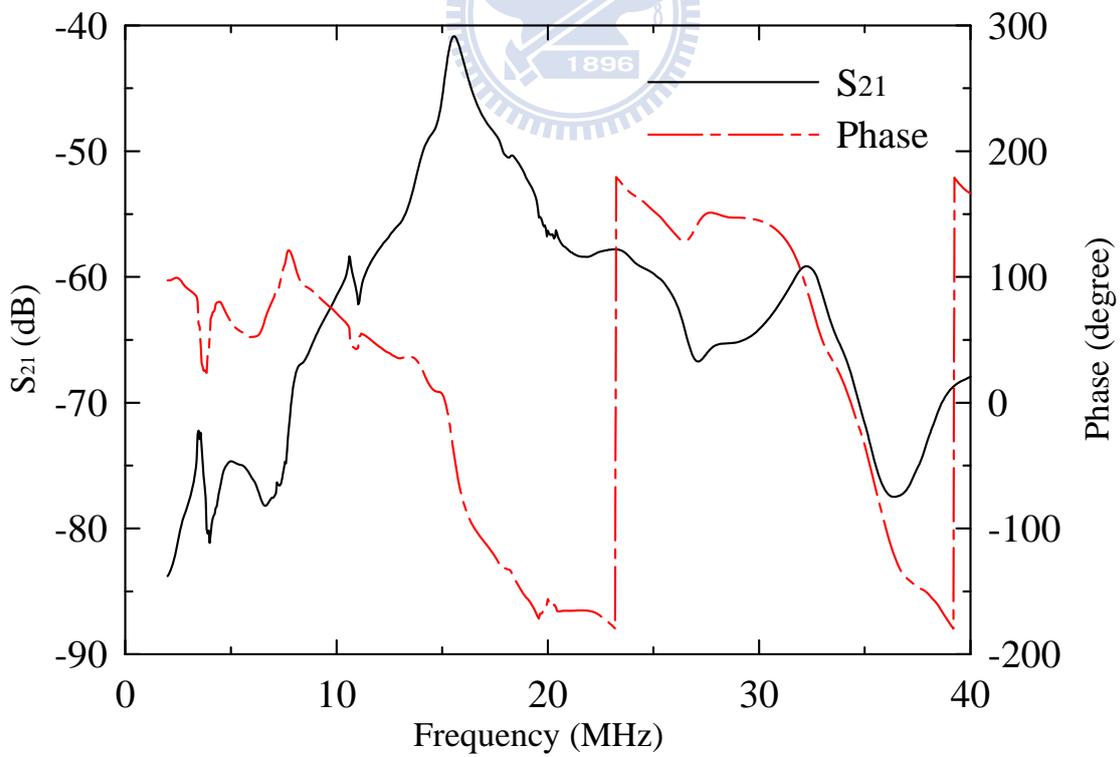


圖 4.1 16MHz 表面聲波元件之散射參數量測結果圖

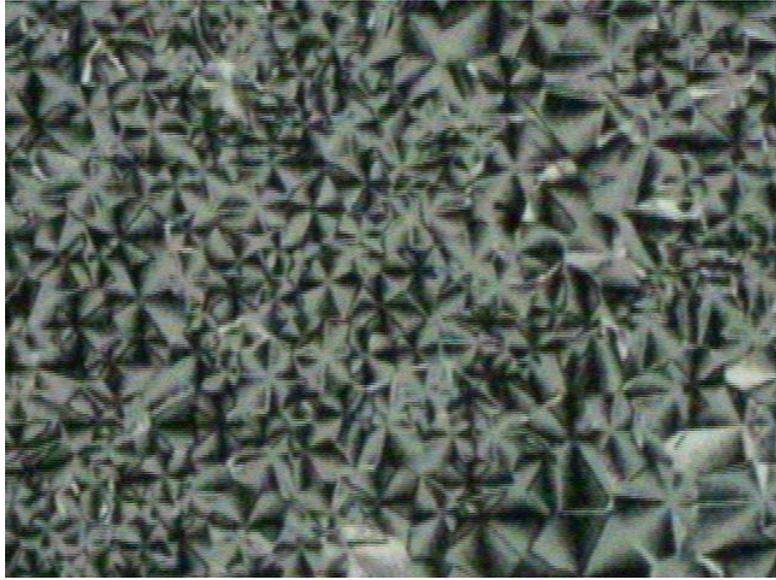


圖 4.2 試片 1 之偏光顯微鏡觀察影像

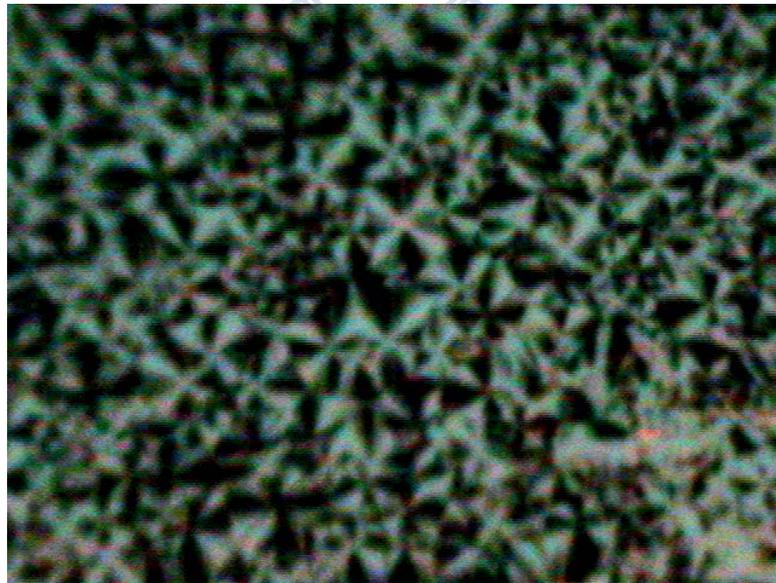


圖 4.3 試片 2 之偏光顯微鏡觀察影像

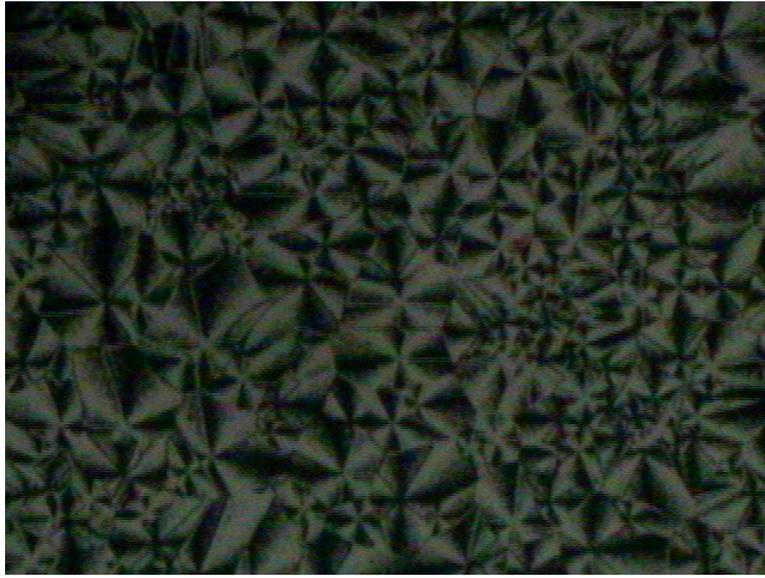


圖 4.4 試片 3 之偏光顯微鏡觀察影像



圖 4.5 試片 4 之偏光顯微鏡觀察影像



圖 4.6 試片 5 之偏光顯微鏡觀察影像

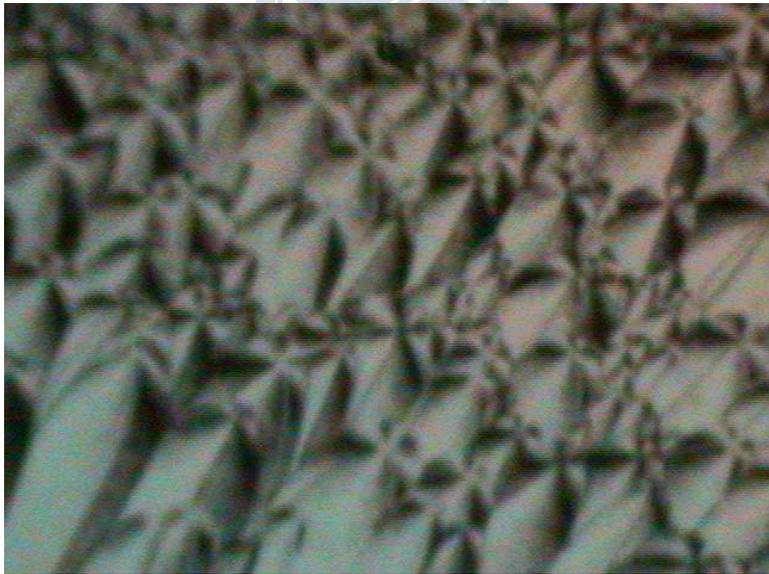


圖 4.7 試片 6 之偏光顯微鏡觀察影像

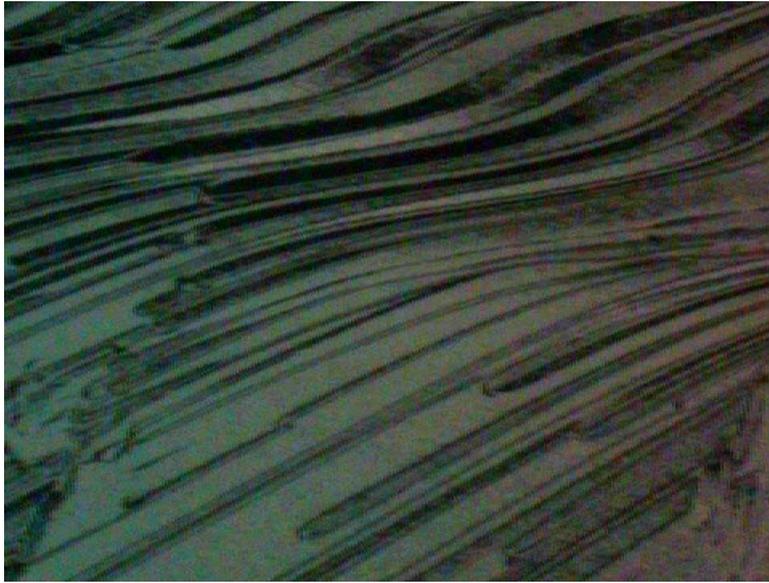


圖 4.8 試片 7 之偏光顯微鏡觀察影像



圖 4.9 試片 8 之偏光顯微鏡觀察影像

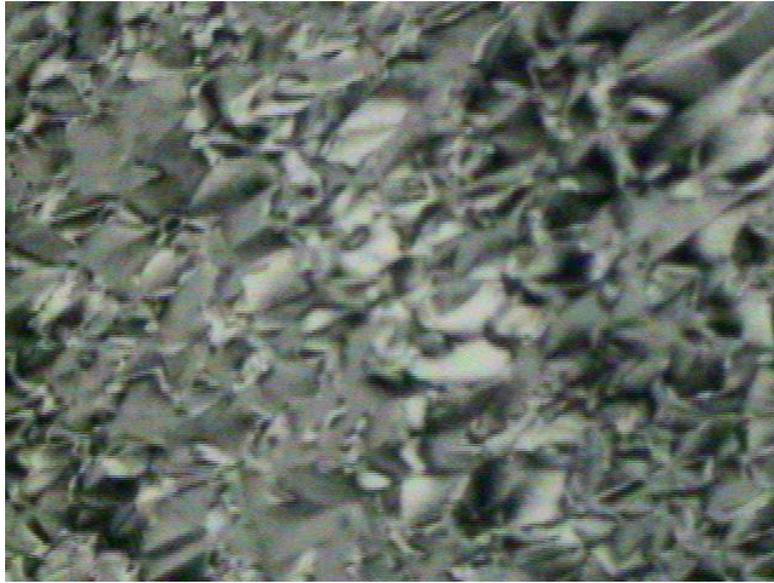


圖 4.10 試片 9 之偏光顯微鏡觀察影像

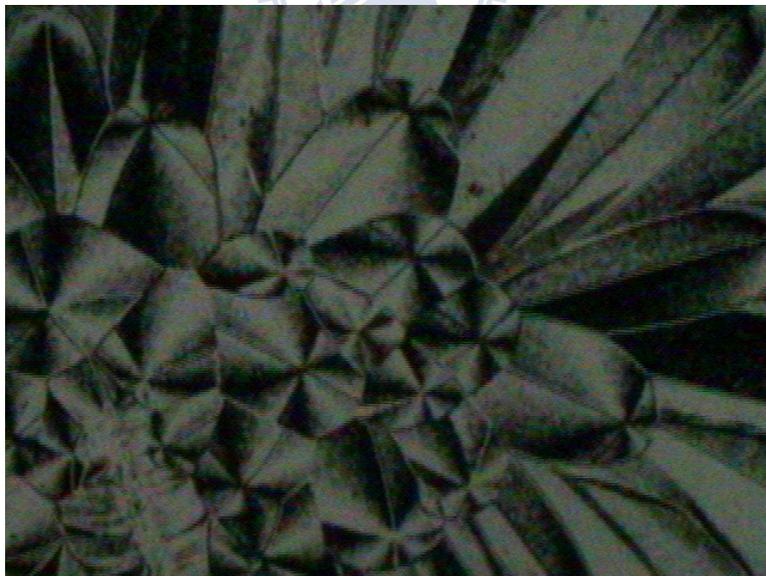


圖 4.11 試片 10 中間之偏光顯微鏡觀察影像

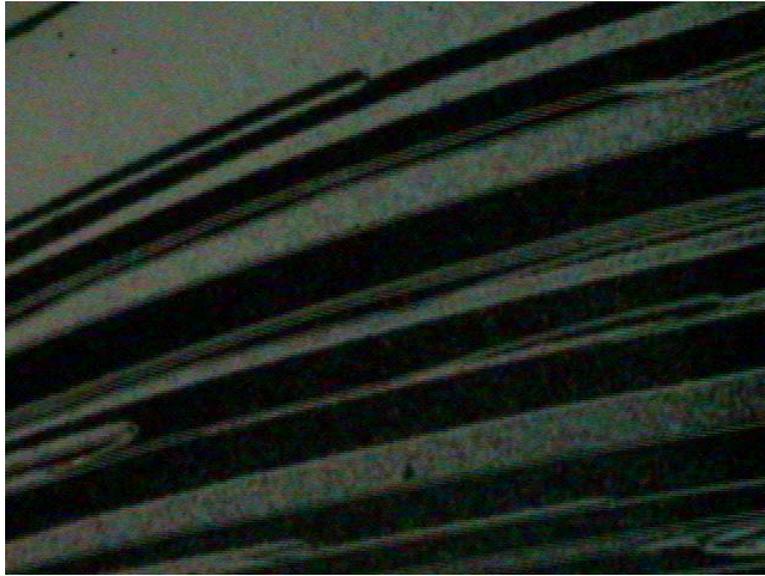


圖 4.12 試片 10 邊緣之偏光顯微鏡觀察影像



圖 4.13 試片 10 靠近楔形玻璃波導處之偏光顯微鏡觀察影像



圖 4.14 試片 10 靠近楔形玻璃波導處之偏光顯微鏡觀察影像

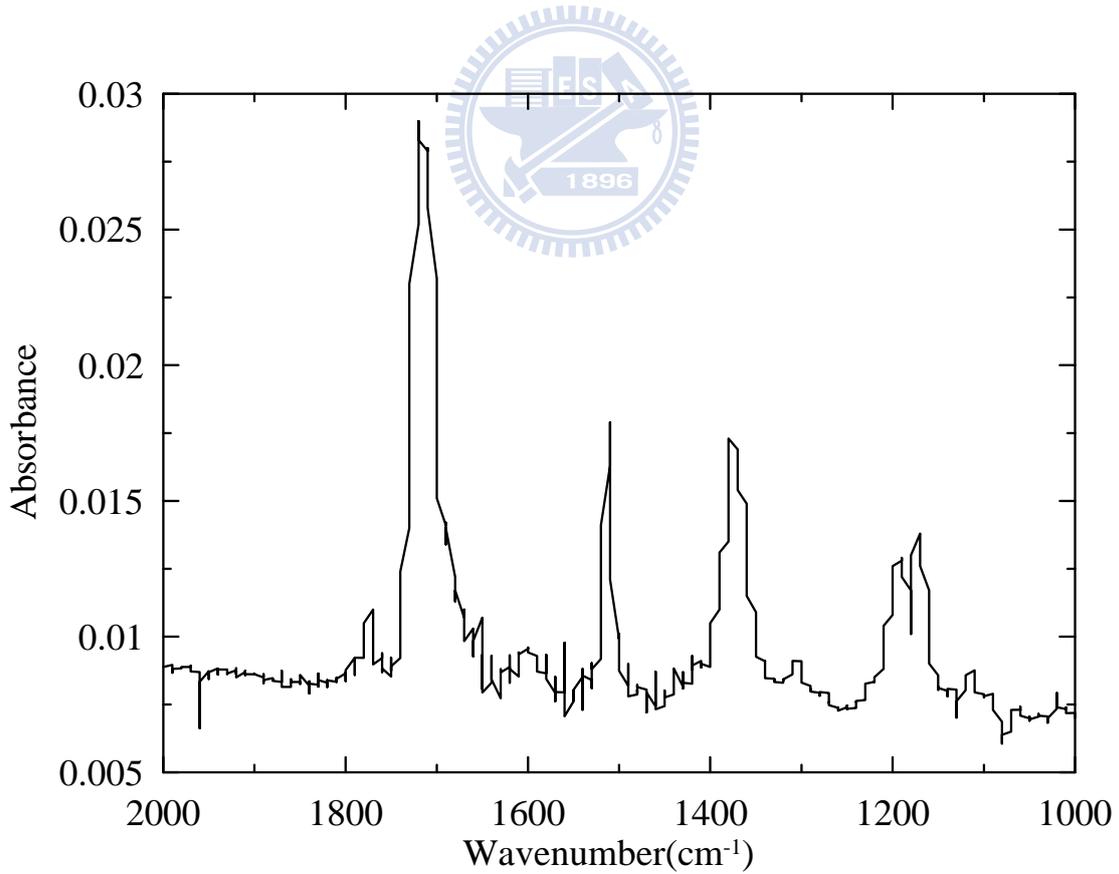


圖 4.15 聚亞醯胺之紅外線吸收光譜圖

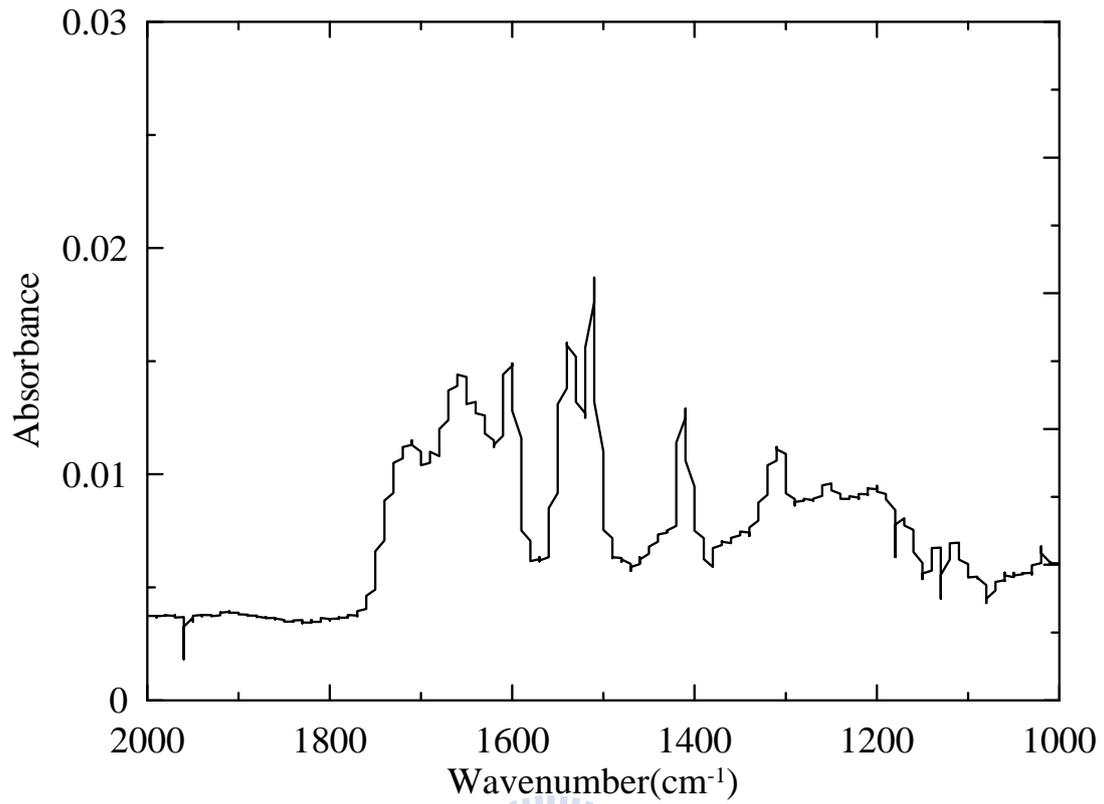


圖 4.16 聚醯胺酸之紅外線吸收光譜圖

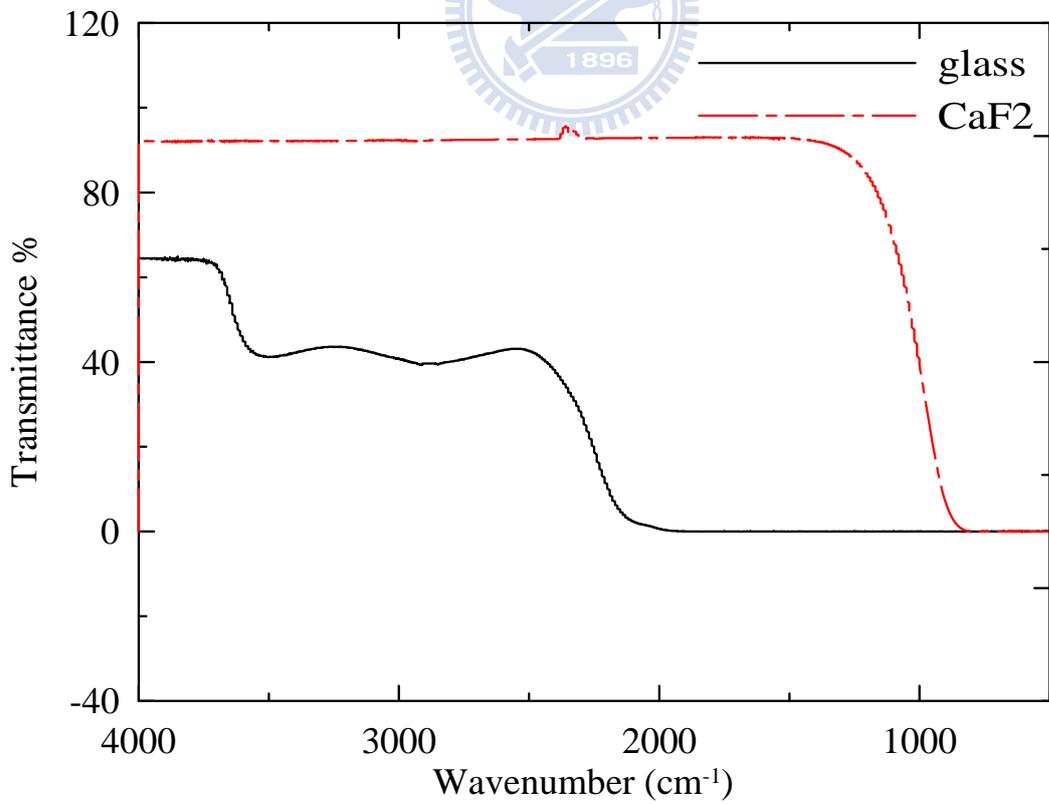


圖 4.17 玻璃與氟化鈣之紅外線吸收光譜圖

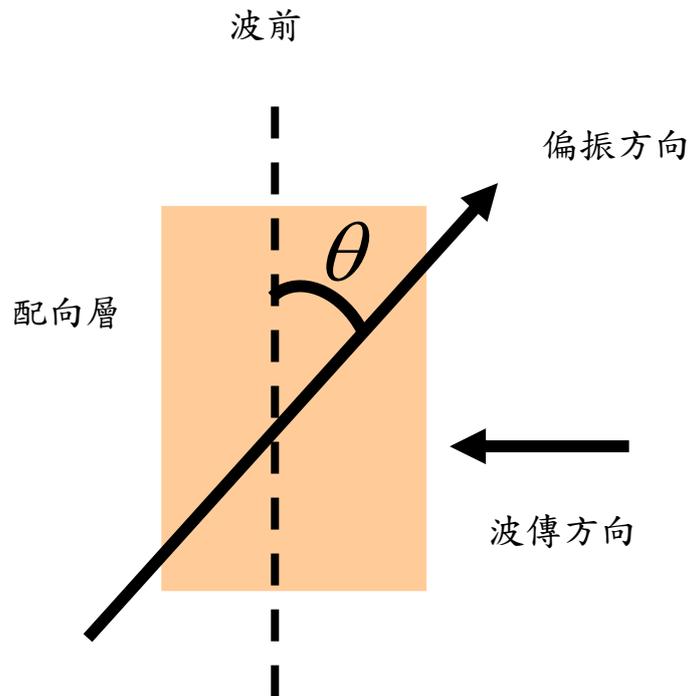


圖 4.18 超音波誘發配向層分子排列與偏振光夾角示意圖

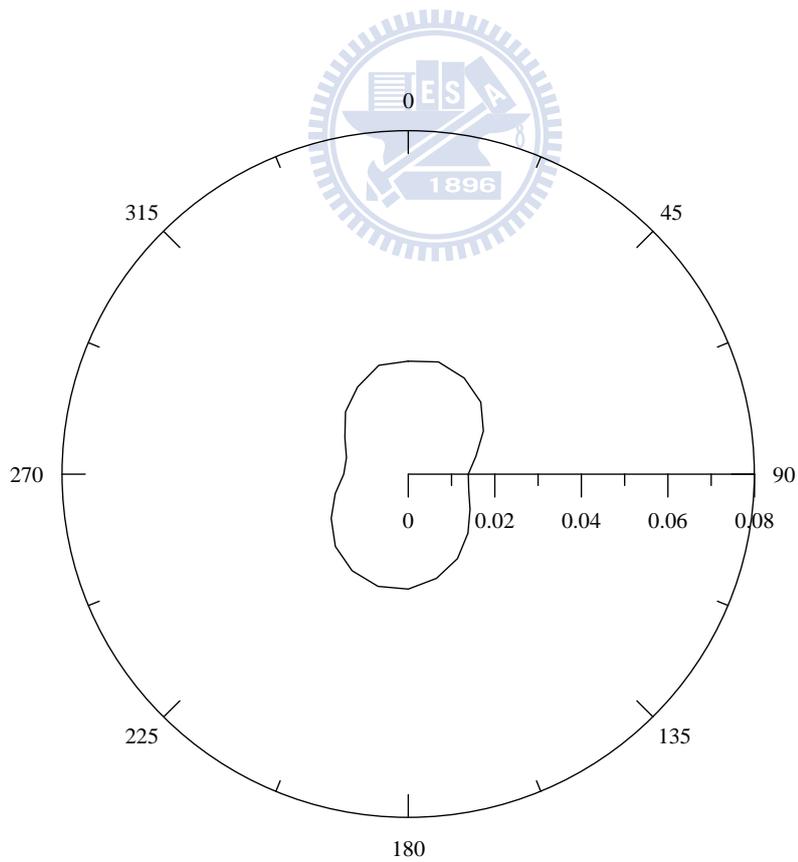


圖 4.19 超音波誘發配向層分子排列之紅外線吸收值極圖

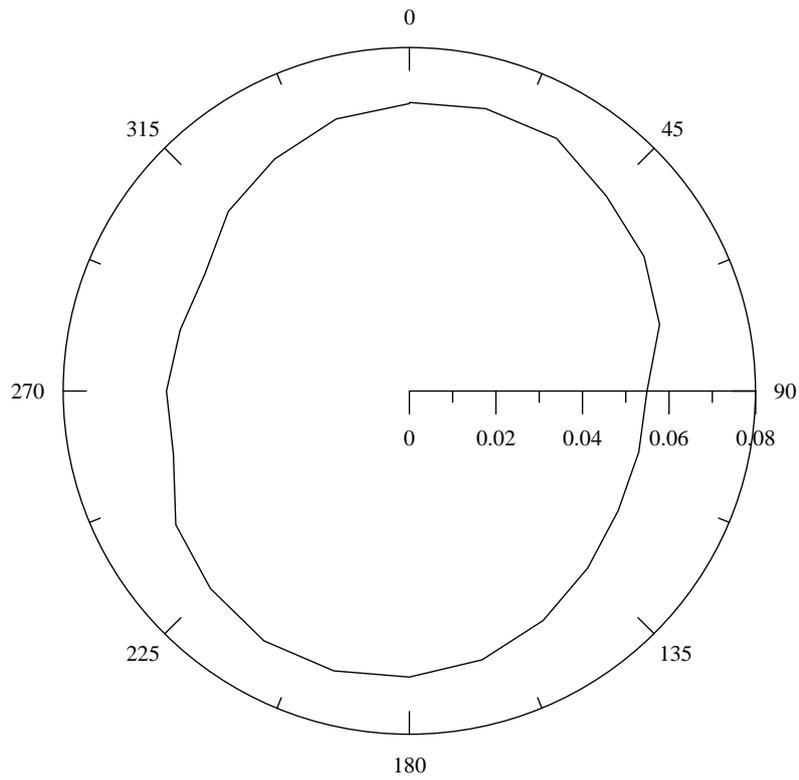


圖 4.20 未經處理的配向層之紅外線吸收值極圖

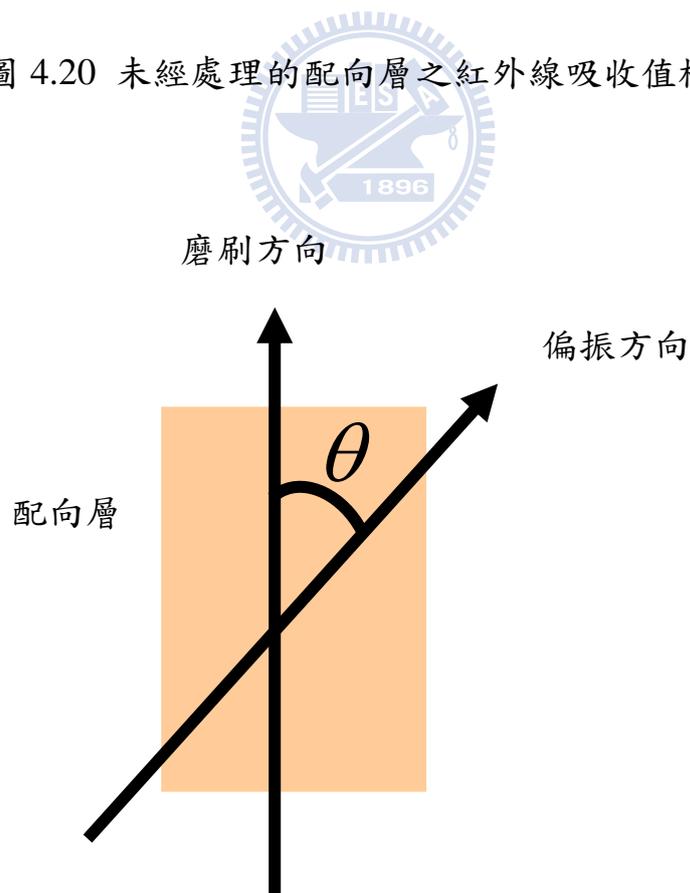


圖 4.21 磨刷後的配向層與偏振光夾角示意圖

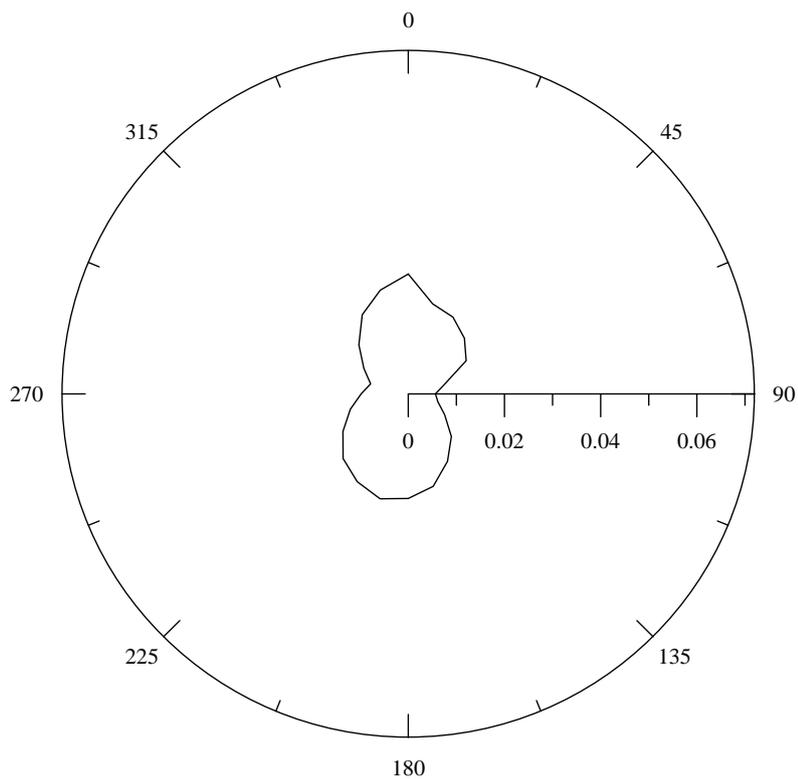


圖 4.22 摩刷後的配向層之紅外線吸收值極圖

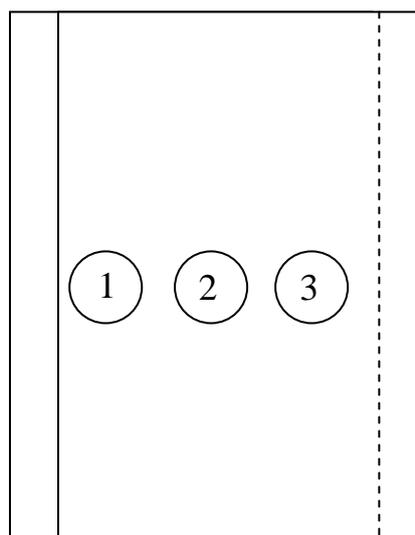


圖 4.23 穿透光強分析的三個量測位置示意圖

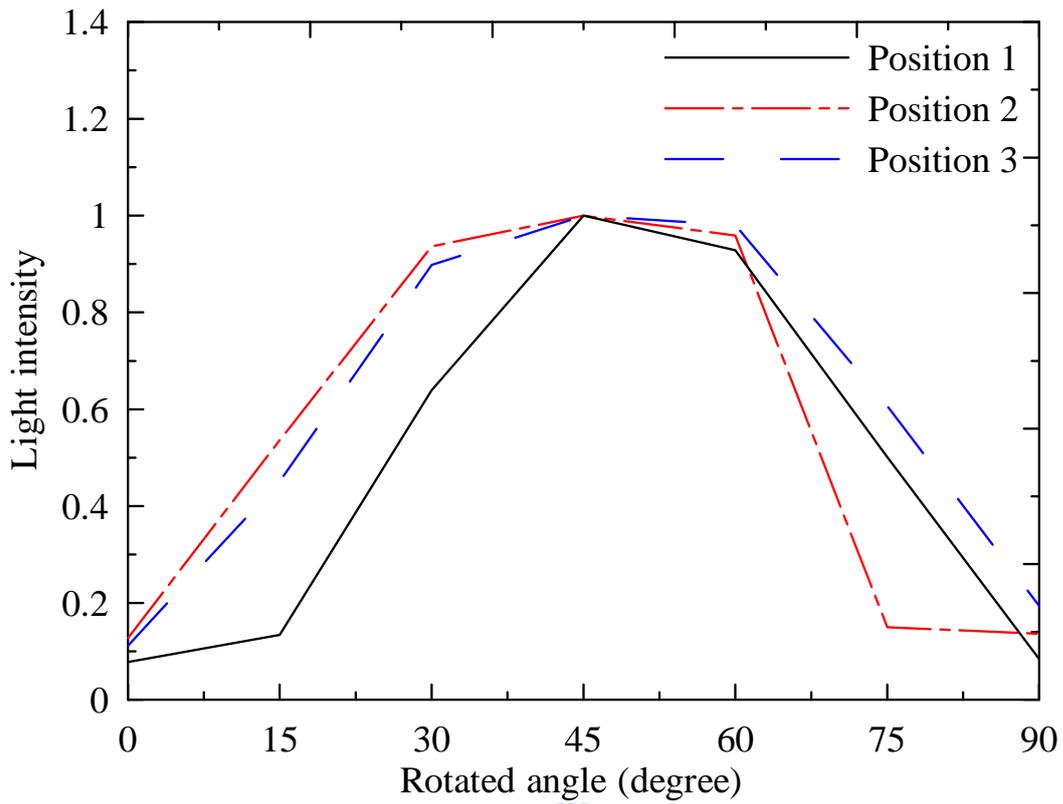


圖 4.24 試片 11 三個不同位置之穿透光強分佈

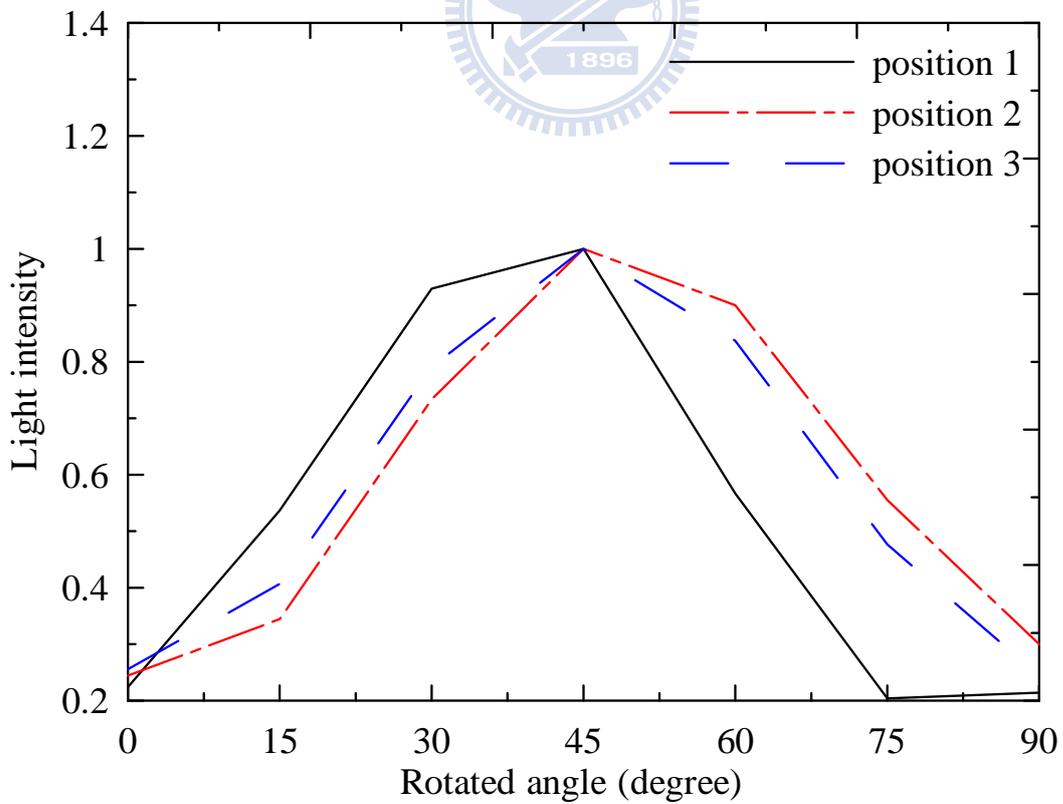


圖 4.25 試片 12 三個不同位置之穿透光強分佈