

國立交通大學

電子物理系碩士班

碩士論文

陽極氧化鋁薄膜及溝槽對液晶分子的傾角調變
之研究

Study on Alignment and Pretilt Angle Tunibility of Liquid
Crystal on Anodic Porous Alumina Films

研究生：黃天昱

指導教授：趙如蘋 教授

中華民國九十七年七月

陽極氧化鋁薄膜及溝槽對液晶分子的傾角調變之研究
Study on Alignment and Pretilt Angle Tunibility of Liquid
Crystal on Anodic Porous Alumina Films

研究生：黃天昱

Student: Tian-Yu Huange

指導教授：趙如蘋 教授

Advisor: Prof. Ru-Pin Pan

國立交通大學

電子物理系碩士班

碩士論文



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 2008

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十七年七月

陽極氧化鋁薄膜及溝槽對液晶分子的傾角調變之研究

研究生：黃天昱

指導教授：趙如蘋 教授

國立交通大學電子物理系碩士班

摘要



陽極氧化鋁為一種能自我排列高密度堆積的六角形奈米孔洞結構，並且能隨著需求而改變孔徑的大小，由於簡單易做且價格低廉，因此目前廣泛的被應用於成長奈米結構之模具材料之中。

本研究利用電壓控制陽極氧化鋁的孔徑由 6.25 nm 至 83.33 nm，並且使用陽極氧化鋁薄膜作為液晶配向層，配合摩刷及蝕刻製作氧化鋁溝槽，希望由不同溝槽寬度和比例能調變液晶分子的預傾角。線寬在 15-50 μm 範圍間具有水平配向效果，預傾角在 0.42° 與 0.76° 之間，且與線寬大小無關係；溝槽下陷處與突起處之比例可影響預傾角的大小。本工作可控制預傾角在 0.5° 及 3.8° 之間。

Study on Alignment and Pretilt Angle Tunability of Liquid Crystal on Anodic Porous Alumina Films

Student: Tian-Yu Huang

Advisor: Dr. Ru-Pin Pan

Department of Electrophysics
National Chiao Tung University

ABSTRACT

Anodic alumina oxide film is the nano holes which are the hexagon of self-organization and highly dense accumulation. It changes the holes with different needs. Due to simple production process and low cost, it's has been used in general public to the modal materials of the growing nano structure at present.

This project aims to change the pretilt angle of liquid crystal with different width and proportion of the groove, which uses the voltage to control the diameter of holes between 6.25 nm and 83.33 nm, and uses anodic alumina oxide as the alignment layer, and produce the anodic alumina oxide film with groove structure with rubbing and etching. The width is between 15-50 μm , the alignment of nematic liquid crystal is homogenous. The pretilt angle which is between 0.42° and 0.76° has nothing to do with width and may be influenced by proportion of dented and protruding places. This project aims to control pretilt angle between 0.5° and 3.8° .

致謝

在碩士班這兩年中，首先要感謝趙如蘋老師細心及耐心的指導，趙老師敏銳的物理直覺和嚴謹的實驗態度，幫助我在實驗上的研究能有正確的方法與態度，兩年下來的諄諄教誨，不僅僅是學術研究上的能力提升，相信對將來的工作及生活也助益良多。

接著要感謝宗達、信穎、家任、卓帆等學長們在實驗上的教導，當我實驗遇到問題時，學長們也很熱心的教導我實驗的原理以及應該注意的事項，感謝學長們在實驗上給我的幫助。

感謝實驗室的同儕，昱智、逸君、孟秋、勝嵐，很開心有你們這些同學，在課業、生活上的問題可以一起討論，讓我兩年的研究生期間充滿了樂趣。

感謝實驗室的學弟，哲瑄、韋達、正彬、兆鈺、呈暉，有你們的幫忙讓我們無後顧之憂的衝刺實驗。

最後要感謝我親愛的父母、哥哥、姊姊、毓晴、宜芸，以及我的親戚們，還有我的高中同學、大學同學和好朋友們，因為你們的陪伴，我的人生加上了翅膀，使我展翅高飛，在未來的日子裡還渴望有你們陪我共同邁進。

目 錄

中文摘要	.....	i
英文摘要	.....	ii
致謝	.....	iii
目錄	.....	iv
圖表目錄	.....	vi
一、	緒論.....	1
二、	實驗系統與原理介紹.....	4
2-1	陽極氧化鋁製程原理.....	4
2-2	黃光製程原理.....	6
2-3	液晶盒樣品預傾角量測原理.....	8
三、	樣品製作與實驗方法.....	12
3-1	樣品製作.....	12
3-1-1	清洗玻璃.....	12
3-1-2	玻璃基板熱蒸鍍鋁膜.....	13
3-1-3	鋁膜玻璃基板陽極氧化處理.....	13
3-1-4	陽極氧化鋁膜基板磨刷處理.....	15
3-1-5	光罩製作.....	15
3-1-6	黃光製程.....	15
3-1-7	蝕刻溝槽.....	16
3-1-8	組合樣品及灌液晶.....	16
3-2	光譜儀量測.....	17
3-3	Conoscopy 觀察.....	17
3-4	氧化鋁溝槽結構觀察.....	18

3-4-1	光學顯微鏡觀察.....	18
3-4-2	SEM 觀察.....	18
3-5	預傾角量測.....	19
四、	實驗結果與討論.....	20
4-1	電壓與陽極氧化鋁孔洞關係之改善.....	20
4-2	陽極氧化鋁溝槽結果.....	23
4-3	磨刷過的陽極氧化鋁等比例溝槽結果.....	25
4-4	磨刷過的陽極氧化鋁不等比例溝槽結果.....	27
4-5	液晶盒樣品之預傾角與各種線寬比例的關係.....	28
五、	結論與未來展望.....	30
5-1	結論.....	30
5-2	未來展望.....	31
5-2-1	在 ITO 玻璃上製作陽極氧化鋁.....	31
5-2-2	往細線寬製作.....	31
5-2-3	先製作出氧化鋁溝槽再磨刷處理.....	32
5-2-4	增加線寬比例或增加凹陷寬度.....	32
	參考文獻.....	33

圖 表 目 錄

圖 1-1	T. Maeda et al. 陽極氧化鋁薄膜 SEM 影像.....	34
圖 1-2	T. Maeda et al. 液晶傾角與陽極處理電壓關係圖.....	34
圖 1-3	T. Maeda et al. 陽極氧化鋁薄膜孔洞大小與電壓關係圖....	35
圖 2-1-1	電解電壓大小與陽極氧化鋁的孔徑關係圖.....	36
圖 2-1-2	氧化鋁表面部分電場的過程.....	36
圖 2-1-3	鋁在陽極氧化處理時擴張過程.....	37
圖 2-3-1	預傾角 α 與玻璃基板的關係.....	38
圖 2-3-2	光徑示意圖.....	38
圖 2-3-3	穿透率 $I(\varphi)$ 對 φ 作圖.....	39
圖 3-1-1	陽極氧化鋁裝置圖.....	40
圖 3-1-2	一次陽極處理反應流程.....	40
圖 3-1-3	兩次陽極處理反應流程.....	41
圖 3-1-4	樣品製作簡易流程圖.....	41
圖 3-2-1	光譜儀量測系統示意圖.....	42
圖 3-2-2	光譜儀各項參數設定.....	42
圖 3-3-1	Conoscopy 系統示意圖.....	43
圖 3-5-1	預傾角量測系統示意圖.....	43
圖 4-1-1	一次陽極處理電流與時間關係圖.....	44

圖 4-1-2	一次陽極處理不同電壓下的氧化鋁表面結構.....	44
圖 4-1-3	兩次陽極處理不同電壓下的氧化鋁表面結構.....	45
圖 4-1-4	陽極氧化鋁孔洞直徑與陽極處理電壓關係圖.....	45
圖 4-1-5	40~60V 小方格一次陽極處理電流與時間關係圖(2410)...	46
圖 4-1-6	60~70V 小方格一次陽極處理電流與時間關係圖(2400)...	46
圖 4-1-7	70V 小圓孔一次陽極處理電流與時間關係圖(2400).....	47
圖 4-1-8	一次陽極處理不同電壓下的氧化鋁表面結構.....	48
圖 4-1-9	兩次陽極處理不同電壓下的氧化鋁表面結構.....	49
圖 4-1-10	我和政穎學長的一次陽極處理不同電壓與孔徑之關係....	50
圖 4-1-11	我和政穎學長的二次陽極處理不同電壓與孔徑之關係....	50
圖 4-1-12	一次陽極處理及二次陽極處理不同電壓與孔徑之關係....	51
圖 4-1-13	不同電壓與一次陽極處理氧化鋁薄膜孔洞密度的關係....	51
圖 4-1-14	不同電壓與二次陽極處理氧化鋁薄膜孔洞密度的關係....	52
圖 4-1-15	電壓平方倒數與一次陽極處理氧化鋁孔洞密度的關係....	52
圖 4-1-16	電壓平方倒數與二次陽極處理氧化鋁孔洞密度的關係....	53
圖 4-2-1	氧化鋁溝槽寬度比例之定義.....	53
圖 4-2-2	氧化鋁溝槽在 SEM 下所看到的影像.....	54
圖 4-2-3	氧化鋁溝槽在 SEM 下所看到的影像.....	54
圖 4-2-4	氧化鋁溝槽液晶樣品在正交偏光鏡中的結果.....	55

圖 4-2-5	氧化鋁溝槽表面對液晶分子排列之示意圖.....	55
圖 4-3-1	線寬 15 μm (1:2)磨刷過陽極氧化鋁溝槽之結構.....	56
圖 4-3-2	磨刷過陽極氧化鋁溝槽之平均深度.....	56
圖 4-3-3	磨刷過氧化鋁溝槽對液晶分子排列之示意圖.....	57
圖 4-3-4	15 μm (1:1)蝕刻前有光組和蝕刻後已去光阻的基板用光學顯微鏡拍照，液晶樣品置於兩個互為垂直的偏光鏡中	57
圖 4-3-5	20 μm (1:1)蝕刻前有光組和蝕刻後已去光阻的基板用光學顯微鏡拍照，液晶樣品置於兩個互為垂直的偏光鏡中	58
圖 4-3-6	30 μm (1:1)蝕刻前有光組和蝕刻後已去光阻的基板用光學顯微鏡拍照，液晶樣品置於兩個互為垂直的偏光鏡中	58
圖 4-3-7	40 μm (1:1)蝕刻前有光組和蝕刻後已去光阻的基板用光學顯微鏡拍照，液晶樣品置於兩個互為垂直的偏光鏡中	59
圖 4-3-8	50 μm (1:1)蝕刻前有光組和蝕刻後已去光阻的基板用光學顯微鏡拍照，液晶樣品置於兩個互為垂直的偏光鏡中	59
圖 4-3-9	沒有溝槽的液晶樣品置於兩個互為垂直的偏光鏡中.....	60
圖 4-3-10	沒有蝕刻過且沒有磨刷過的氧化鋁液晶樣品結果.....	60
圖 4-3-11	ITO 玻璃和 40V 一次陽極處理氧化鋁的穿透光譜.....	61
圖 4-4-1	15 μm (1:2)蝕刻前有光組和蝕刻後已去光阻的基板用光學顯微鏡拍照，液晶樣品置於兩個互為垂直的偏光鏡中	61
圖 4-4-2	15 μm (1:3)蝕刻前有光組和蝕刻後已去光阻的基板用光學顯微鏡拍照，液晶樣品置於兩個互為垂直的偏光鏡中	62
圖 4-4-3	15 μm (1:4)蝕刻前有光組和蝕刻後已去光阻的基板用光學顯微鏡拍照，液晶樣品置於兩個互為垂直的偏光鏡中	62
圖 4-4-4	15 μm (1:5)蝕刻前有光組和蝕刻後已去光阻的基板用光學顯微鏡拍照，液晶樣品置於兩個互為垂直的偏光鏡中	63
圖 4-4-5	20 μm (1:2)蝕刻前有光組和蝕刻後已去光阻的基板用光學顯微鏡拍照，液晶樣品置於兩個互為垂直的偏光鏡中	63

圖 4-4-6	20 μm (1:3)蝕刻前有光組和蝕刻後已去光阻的基板用光學顯微鏡拍照，液晶樣品置於兩個互為垂直的偏光鏡中	64
圖 4-4-7	20 μm (1:4)蝕刻前有光組和蝕刻後已去光阻的基板用光學顯微鏡拍照，液晶樣品置於兩個互為垂直的偏光鏡中	64
圖 4-4-8	20 μm (1:5)蝕刻前有光組和蝕刻後已去光阻的基板用光學顯微鏡拍照，液晶樣品置於兩個互為垂直的偏光鏡中	65
圖 4-5-1	不同線寬等比例的氧化鋁溝槽液晶樣品與預傾角之關係	65
圖 4-5-2	15 μm 同線寬不等比例的氧化鋁溝槽液晶樣品與預傾角之關係	66
圖 4-5-3	20 μm 同線寬不等比例的氧化鋁溝槽液晶樣品與預傾角之關係	66
圖 4-5-4	不同線寬不等比例的氧化鋁溝槽液晶樣品與預傾角之關係	67
圖 4-5-5	不同溝槽凹陷寬度液晶樣品與預傾角之關係	67



第一章 緒論


液晶面板是目前被廣泛使用的高科技產品之一，而配向在其應用上是很重要的一部份。目前一般普遍使用的配向技術是摩刷聚亞醯胺薄膜[1]，但是這方法在配向的性能控制上是有限的，如靈活的調變預傾角、錨定能等等，在過程中也有可能產生污染，且液晶顯示器或液晶投影機均使用較強的背光模組，而強紫外光會使得聚亞醯胺薄膜產生變化，使得配向效果改變，因此使用無機的材料來配向將為一重要的目標。

另外還有傾斜蒸鍍氧化矽法[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，其中又以傾斜蒸鍍氧化矽法在垂直配向上已經發展多年，且可以藉由改變斜向蒸鍍的角度改變液晶配向的預傾角，但斜向蒸鍍系統需要使用高真空的系統，對於製作大面積的面版更為困難。

陽極氧化鋁(Anodic Aluminum Oxide，簡稱 AAO)的製程技術是將鋁箔當作陽極，再與適當的電解液和不易發生化學反應的金屬當做陰極形成電化學電池，特定條件下會在鋁箔表面生成氧化鋁(alumina)，它是具有自我組織(self-Organization)特性的奈米孔洞[5]，

所以最近幾年來被大量研究，且製作技術也已經十分成熟。

2004 年 T. Maeda 和 K. Hiroshima et al. 利用陽極氧化鋁薄膜當作配向層使液晶產生配向[6]，雖然其陽極氧化鋁孔洞結構並不規則且均勻如圖 1-1(a)(b)，配向效果與孔洞大小並無明顯的結果，如圖 1-2 及圖 1-3。但本實驗室已經成功控制陽極處理電壓產生直徑 10-65nm 的奈米孔洞，並且還對不同電壓下製作出來的陽極氧化鋁薄膜做光譜儀量測和表面能分析，以及對其液晶盒樣品做預傾角量測、Conoscopy 觀測和極角錨定強度量測，液晶分子的預傾角大約在 89.5 度到 90 度之間，而極角錨定強度最強可達 $8 \times 10^{-5} \text{ J/m}^2$ ，因此可作為非常好的垂直配向膜[7]。



預傾角是影響液晶螢幕顯示特性的重要參數之一，適當的預傾角可以增加對比，減少反應時間，而工業上所需要的預傾角也不盡相同，從小的預傾角至大的預傾角都有，如扭轉向列型(TN)液晶顯示器需要的預傾角約 2~3 度，常應用在手錶、計算機螢幕上；薄膜電晶體(TFT)液晶顯示器需要的預傾角約 5~8 度，常應用在筆記型電腦上；具有小預傾角的液晶元件會有光散射的效應，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，甚至可以利用預傾角的調變改善因視角所產生的色差，因此預傾角的量測是非常重要的。

所以本研究主題就是在探討如何利用陽極氧化鋁薄膜對液晶分

子的預傾角做調變，我將未經過磨刷處理的氧化鋁溝槽，以及經過磨刷處理過的氧化鋁溝槽對液晶分子的配向結果和預傾角結果寫在這論文裡；在第二章中，我們將會介紹陽極氧化鋁的原理，以及我們實驗的系統和原理；在第三章中，我們將會介紹實驗的方法、樣品的製作及量測的方法；而第四章中，我們將實驗所得到的結果進行討論與分析；最後第五章則是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 實驗系統及原理介紹

2-1 陽極氧化鋁製程原理

陽極氧化鋁(anodic aluminum oxide ; AAO)具有奈米尺寸結構，在多方領域上有廣泛的應用，主要原因就是因為陽極氧化鋁有自我組織的性質，以及其可以經由成本便宜的電化學處理方法產生大範圍且一致的孔洞結構。

氧化鋁可以由酸性溶液，如硫酸、草酸、磷酸等作為電解液來製做出六角形排列孔洞陣列[8]，而鋁箔的表面粗糙度會影響電場的一致性，電解液的溫度會影響氧化鋁的反應速率，且電解液的濃度會直接影響氧化鋁的品質。孔洞大小可以由幾奈米到數十奈米，而孔洞的大小主要和外加電壓與電解液有關，一般而言孔洞直徑和外加電壓呈線性關係[8]，如圖 2-1-1，且電解液使用硫酸所製作出來的孔洞直徑比草酸、磷酸來的小。

陽極氧化鋁的生長機制大致可以分為孔洞形成與穩態成長兩個階段[9-10]。開始陽極處理時，電場將 O^{2-}/OH^- 離子由電解液帶到金屬表面， Al^{3+} 離子也從金屬中移至金屬與電解液的介面，形成均勻的電場分佈，如圖 2-1-2(a)；接著穿透路徑會從金屬表面上的裂縫開始形

成，如圖 2-1-2(b)，然後電力線開始在路徑下方集中，如圖 2-1-2(c)，穿透路徑隨著時間增加，電場集中也越明顯，使高電場區較低電場區有更多的 Al^{3+} 離子被溶解，導致電場集中區有局部溶解的現象；接下來穿透路徑尖端下的電場發生橫向擴張，產生了最初始的孔洞，而孔洞下方因為有較集中的電場及電流，隨著反應進行，最後，呈現半圓形凹槽，並且逐漸擴張至凹槽與凹槽相互接在一起，如圖 2-1-3，也就是陽極氧化鋁的生長第一階段。

第二階段，在孔洞底部的電解液與氧化鋁膜的介面，因為有較集中的電場使此處的氧化鋁膜較快被溶解，所以孔洞會持續的向下延伸，只要電壓與溫度固定，最後就會形成六角形排列孔洞的氧化鋁膜。



2-2 黃光室製程原理

黃光室製程是本實驗最重要的製程項目，所以一定要了解每一個步驟的目的及基本原理，之後如有改變光阻、光罩，將會有利於重新測試新的參數。製程流程依先後順序為：HMDS→光阻→軟烤→曝光→顯影→定影→顯微鏡觀察→硬烤→蝕刻。

1.HMDS：改善有機物光阻和基板間的附著力，使親水性的表面

能很均勻塗佈上光阻，特別是對金屬和SiO₂有效。

2.光阻：分為正光阻和負光阻，主要成分是感光劑、有機溶劑、

樹酯。有機溶劑會在塗佈和軟烤中揮發，樹酯是結構

物，需要經過硬烤增強其機械性質，以利後續蝕刻。

3.軟烤：烤去光阻大部份溶劑，增加和基板的附著力。

4.曝光：對正光阻中的感光劑產生酸性物質；而負光阻則是在照

光處產生鍵結。曝光時加上濾鏡可以改善圖案變形的問

題，但是因為加上濾鏡，光的能量變小，所以需要增加

曝光時間。

5.顯影：分為正光阻顯影液和負光阻顯影液。正光阻顯影液為鹼

性溶液，將經過曝光產生酸性物質的正光阻破壞溶解；

負光阻顯影液則是將沒照過光未鍵結的負光阻去除。

- 6.顯微鏡觀察：顯影後必須藉由顯微鏡觀察製作出的圖形比例是否正確，並且確定該去除的光阻是否完全去除，如果沒有去除乾淨則無法進行蝕刻，且原因可能是曝光時間不夠，或是顯影時間不夠。
- 7.硬烤：將光阻中的樹脂成分烤硬，以利後蝕刻處理。
- 8.蝕刻：選用適當的溶液，將沒有光阻覆蓋的部份蝕刻去除，做出所需之表面。



2-3 液晶盒樣品預傾角量測原理[11]

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，因此預傾角的量測是非常重要的。

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 2-3-1。

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。

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 2-3-2 為單層液晶的光徑圖，其中，

$$\begin{aligned}\hat{n} &= (\cos \alpha \quad 0 \quad \sin \alpha) \\ \hat{k} &= (\sin \varphi \quad 0 \quad \cos \varphi) \\ \hat{k}_e &= (\sin \varphi_e \quad 0 \quad \cos \varphi_e) \\ \hat{k}_o &= (\sin \varphi_o \quad 0 \quad \cos \varphi_o)\end{aligned}\tag{2-3-1}$$

\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

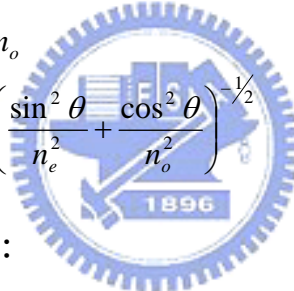
$$\cos \theta = \hat{n} \cdot \hat{k}_e = (\cos \alpha \sin \varphi_e + \sin \alpha \cos \varphi_e) \quad (2-3-2)$$

又在折射邊界，入射光與則射光需滿足 Snell's Law，則可得：

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

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：

$$n_o = n_o$$
$$n_e(\theta) = \left(\frac{\sin^2 \theta}{n_e^2} + \frac{\cos^2 \theta}{n_o^2} \right)^{-1/2} \quad (2-3-4)$$


o-ray 由 A→B 的光程為：

$$OPL_{o\text{-ray}} = n_o \frac{dz}{\cos \varphi_o} \quad (2-3-5)$$

e-ray 由 A→B 的光程為：

$$OPL_{e\text{-ray}} = n_e(\theta) \frac{dz}{\cos \varphi_e} + \left(\frac{dz}{\tan \varphi_o} - \frac{dz}{\tan \varphi_e} \right) \sin \varphi \quad (2-3-6)$$

由 (2-3-5)、(2-3-6) 可知 o-ray 與 e-ray 的光程差為：

$$OPL_{o\text{-ray}} - OPL_{e\text{-ray}} = dz \left[\frac{n_e(\theta)}{\cos \varphi_e} + \left(\frac{1}{\tan \varphi_o} - \frac{1}{\tan \varphi_e} \right) \sin \varphi - \frac{n_o}{\cos \varphi_o} \right] \quad (2-3-7)$$

由 (2-3-2)、(2-3-3)、(2-3-4) 將 $n_e(\theta)$ 以 n_e 、 n_o 、 α 、 φ 代換，則此

兩道光線的相位差 $\Gamma(\varphi)$ 為：

$$\begin{aligned}
\Gamma(\varphi) &= \frac{2\pi}{\lambda} \int_0^d f dz \\
&= \frac{2\pi}{\lambda} \int_0^d OPD_{o\text{-ray}} - OPD_{e\text{-ray}} \\
&= \frac{2\pi}{\lambda} d \cdot f(\alpha, \varphi)
\end{aligned} \tag{2-3-8}$$

其中

$$\begin{aligned}
f(\alpha, \varphi) &= \frac{1}{c^2} (a^2 - b^2) \sin \alpha \cos \alpha \sin \varphi \\
&\quad + \frac{1}{c} \left(1 - \frac{a^2 b^2}{c^2} \sin^2 \varphi \right)^{\frac{1}{2}} \\
&\quad - \frac{1}{b} (1 - b^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{1}{2}}
\end{aligned} \tag{2-3-9}$$

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

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

由 Jones matrix method 水平配向液晶樣品可得到[12]

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

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：

$$I(\varphi) = \frac{1}{2} \sin^2 \frac{\Gamma(\varphi)}{2} \tag{2-3-10}$$

將所量測到的穿透率 $I(\varphi)$ 對 φ 作圖，其模擬圖如圖 2-3-3，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：

$$\frac{d\Gamma(\varphi)}{d\varphi} = \frac{d}{d\varphi} \left(\frac{2\pi}{\lambda} d \cdot f(\alpha, \varphi) \right) = \frac{df(\alpha, \varphi)}{d\varphi} = 0 \tag{2-3-11}$$

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

當 $\varphi = \varphi_x$ 時：

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

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

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 (2-3-14)，因 n_e 、 n_o 均已知，解此方程式即可得到預傾角 α 。

第三章 樣品製作與實驗方法

3-1 樣品製作

3-1-1 清洗玻璃

1. 本實驗我們使用ITO玻璃。將所要使用的玻璃切割為 25×30 mm²。
2. 將玻璃放入燒杯內，加入中性玻璃清潔劑，再加水蓋過玻璃，將燒杯放入超音波機器中用超音波清洗 10 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。
4. 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 10 分鐘，將丙酮回收以免污染。
5. 將丙酮清潔完的玻璃放置於另一個乾燥的燒杯，加入甲醇(Methanol)到燒杯內，將燒杯放入超音波機器中用超音波震盪清洗 10 分鐘，將甲醇回收以免污染。
6. 甲醇清潔完的玻璃放置於另一個乾燥的燒杯，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 10 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。

3-1-2 玻璃基板熱蒸鍍鋁膜

1. 將清潔乾淨的玻璃基板以真空膠帶貼在包覆鋁箔紙的晶片(wafer)上，ITO 面貼在晶片上，無 ITO 面朝上。
2. 我們使用高純度的鋁錠(99.99%)，利用交大奈米中心的熱阻絲蒸鍍機(Thermal coater)在玻璃基板上蒸鍍鋁薄膜。



3-1-3 鋁膜玻璃基板陽極氧化處理

1. 將鍍上鋁的玻璃基板當作陽極，並使用鉑當作陰極，進行陽極處理，裝置如圖 3-1-1。
2. 陽極處理製程使用 15°C 草酸($H_2C_2O_4$)濃度 3wt% 當作電解液，並以磁石以 300rpm 轉速作均勻攪拌，使用 KEITHLEY 2400 電源電錶(Source meter)。

3. 陽極氧化處理有兩種製程方式：一次陽極處理及二次陽極處理。

一次陽極處理：給一固定外加電壓並同時紀錄電流-時間曲

線，直至電流趨近於零，表示鋁薄膜均電解

成不導電之氧化鋁薄膜，反應流程如圖 3-1-2。

二次陽極處理：將陽極處理的時間分為兩段，第一段時間為一

次陽極處理時間的一半，也就是將鋁膜半層

電解成氧化鋁，再用置入 60°C 鉻酸 1.5wt%

與磷酸 6wt% 混合液 40 分鐘，完整移除第一

次陽極處理產生的氧化鋁，再將剩下的鋁膜

全部電解成氧化鋁即完成，反應流程如圖

3-1-3。

4. 最後再放進 D.I water 用石英震盪器震 10 分鐘，將基板上的草酸洗淨。

3-1-4 陽極氧化鋁膜基板磨刷處理

1. 將處理好的陽極氧化鋁膜基板放置磨刷機台上，按下”主軸旋轉”，主軸選轉設定為 850，刻度 8。
2. 底座前進設定 100 後，按下”自動前進”開始磨刷，並進行兩次磨刷處理。
3. 將基板切割成 $25 \times 15 \text{ mm}^2$ ，準備做黃光製程。

3-1-5 光罩製作

利用 AutoCAD 程式，將要製作的圖形設計好，光罩選擇正片，且膜面向上，再依最小線寬選做該等級之光罩，最後附上檔案寄給台灣港建股份有限公司製作。



3-1-6 黃光製程

1. 烤乾基板上多餘的水氣，鍍上 HMDS，時間為 35 分鐘。
2. 鍍上正光阻 AZ4620，第一步轉速 1000rpm、10 秒，第二步轉速 5000rpm、30 秒。
3. 軟烤：溫度 90° ，時間 4 分 30 秒。

4. 將基板放置光罩對準曝光機，加入濾鏡，曝光時間設定 2.4 分鐘。
5. 在將已曝好光的基板浸入顯影液 AZ300，顯影時間 2 分 30 秒。
6. 使用光學顯微鏡確定圖形已經呈現在基板上。
7. 硬烤：溫度 120° ，時間 20 秒。

3-1-7 蝕刻溝槽

將已經完成黃光製程的陽極氧化鋁基板，浸入 60°C 鉻酸 1.5wt% 與磷酸 6wt% 混合液中 3 分鐘，再放入石英震盪器，依序用 丙酮 \rightarrow D.I water \rightarrow 丙酮 \rightarrow 甲醇 \rightarrow D.I water，每個步驟 10 分鐘，最後再用氮氣吹乾，送入烤箱中烤乾。

3-1-8 組合樣品及灌液晶

將蝕刻完的陽極氧化鋁基板對切成兩片 $12.5 \times 10 \text{ mm}^2$ ，再放入一間隙物 Mylar(spacer) $23 \mu\text{m}$ 於兩片基板中，反平行對夾形成一個空樣品，最後灌入液晶(E7, $T_c=60.5^{\circ}\text{C}$)，如圖 3-1-4。

3-2 光譜儀量測

我們所使用的光譜儀型號為 Ocean optics USB2000，系統裝置如圖 3-2-1，實驗前先將光源打開暖機 15-20 分鐘。暖機完打開電腦設定各項參數，參數如圖 3-2-2。使用檔光板將光源的光擋住設定為 Dark；再將木板移除將空氣設定為參考光(Reference)，接著將樣品放入樣品置放台上，便可紀錄下陽極氧化鋁薄膜樣品的穿透光譜。



3-3 Conoscopy 觀察


圖 3-3-1 為 Conoscopy 系統示意圖，平行光源經過透鏡後產生聚焦光源，使入射光具有很大的入射角度，光經過一對偏振片與樣品後在屏幕(CCD)成像，再經由軟體擷取影像。

3-4 氧化鋁溝槽結構觀察

3-4-1 光學顯微鏡觀察

在蝕刻前以及蝕刻後使用本實驗室的光學顯微鏡拍照，物鏡選用 40 倍，並比較蝕刻前和蝕刻後，光阻圖形、尺度、比例是否正確，但用光學顯微鏡不能看到真實陽極氧化鋁表面的孔洞結構。

3-4-2 SEM 觀察



製作完成的陽極氧化鋁薄膜為透明的，且由於所產生的孔洞大小非常小，所以必須使用交大奈米中心高解析度場射掃描電子顯微鏡(High-Resolution Scanning Electron Microscope, Hitachi S-4700i)觀察。把基板切一小塊 $3 \times 8 \text{mm}^2$ 貼在載台上，由於陽極氧化鋁是絕緣的金屬氧化物，而所使用的玻璃基板也是絕緣體，所以在觀察場發射掃描式電子顯微鏡(FESEM)前，必須先鍍一層白金以提供導電性。

3-5 預傾角量測

預傾角的量測方法有多種，本實驗中使用 Crystal rotation method，量測裝置系統如圖 3-5-1，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，旋轉角度由 -50° ~ 50° ，間距設定為 0.2° ，並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 。



第四章 實驗結果與討論

4-1 電壓與陽極氧化鋁孔洞關係之改善

由 KIETHLEY 公司提供的儀器規格中得知，之前我們所使用的 KIETHLEY 2410 source meter 所供最大電流為 21mA，而使用我們的實驗裝置在電壓加到 50V 時，會受到電流限制而維持在 21mA，如圖 4-1-1，原本預期陽極氧化鋁孔洞會隨電壓增加而擴大，但從圖 4-1-2、圖 4-1-3 及圖 4-1-4 中可以發現不論是一次陽極處理或二次陽極處理製程，電壓 50V 以上氧化鋁孔洞半徑就沒有再擴大。

因此我們決定更換儀器，改用 KIETHLEY 2400 source meter，它所供應的最大電流為 100mA，並且我將反應的面積縮小，由原本面積 4 cm^2 的正方形縮小為面積 1.69 cm^2 的正方形。結果經過面積縮小，使用原本 KIETHLEY 2410 source meter，電壓 50V 不會受到限流的影響，證明面積縮小確實可以降低電流，可是電壓加到 60V 限流問題還是存在，如圖 4-1-5；而使用 KIETHLEY 2400 source meter 後，電壓 60V 的限流問題已解決，但是電壓加到 70V 還是遇到限流的問題，如圖 4-1-6。

於是我將反應面積再度縮小成面積只有 0.283 cm^2 的圓孔，如圖

4-1-7，最後成功解決了電壓 70V 的限流問題，達到原本要求的需解決的目標。圖 4-1-8 為我做的一次陽極處理氧化鋁在 SEM 下看到的影像，圖 4-1-9 為我做的二次陽極處理氧化鋁在 SEM 下看到的影像。

將我做出來的各種電壓下與孔洞直徑關係的結果和政穎學長的結果放在一起做比較，一次陽極處理氧化鋁在反應電壓 50V 後，孔洞直徑有持續增加的趨勢，如圖 4-1-10；二次陽極處理氧化鋁在反應電壓 50V 後，孔洞直徑也都有明顯的增加，如圖 4-1-11；而我將我做的一次陽極處理氧化鋁及二次陽極處理氧化鋁結果放在一起做比較，可以得知不論是一次陽極處理氧化鋁還是二次陽極處理氧化鋁，孔洞直徑都有隨著反應電壓的上升而增加，如圖 4-1-12。

最後，我算出我所做的一次陽極處理氧化鋁及二次陽極處理氧化鋁薄膜，在不同電壓下的孔洞密度(number / μm^2)，結果如圖 4-1-13、圖 4-1-14；且由圖 4-1-12 的結果得知，電壓和孔徑成正比，而密度和孔徑平方成反比，所以推測密度和電壓平方的倒數成正比，結果如圖 4-1-15、圖 4-1-16。

此部分證明了一次陽極處理氧化鋁和二次陽極處理氧化鋁的孔徑都有隨著電壓上升而增加，原因是之前的實驗裝置受到電流限制的影響，導致在反應電壓 50V 後孔洞直徑就沒有繼續增加，並且使用我們實驗室的陽極氧化鋁裝置，所做出來的陽極氧化鋁孔徑最大可以

做到 83.33nm，電壓最高可以加到 80V，若繼續增加電壓值則會因儀器所供電流不足，受到限流的影響；一次陽極處理氧化鋁及二次陽極處理氧化鋁薄膜的孔洞密度會和電壓平方的倒數成正比。(由於 70V 以上反應時間太短，而二次陽極處理要取一次陽極處理反應時間一半，在製程上有困難，所以二次陽極處理製程只做到 70V。)



4-2 陽極氧化鋁溝槽結果

此實驗的構想，是想藉由政穎學長之前做的陽極氧化鋁表面垂直配向[4]，再配合微溝槽的水平配向，希望能調變液晶分子的預傾角；而此實驗是先將鋁膜製作成氧化鋁，再經過黃光製程，蝕刻出氧化鋁溝槽。(若是先將鋁經過黃光製程，蝕刻出鋁溝槽再製作成氧化鋁溝槽，會遇到可能有鋁線斷裂，則製作成陽極氧化鋁的過程中將會有部份鋁線不會氧化的問題。)

首先，我先定義溝槽寬度比例，如圖 4-2-1，例如線寬 $10\mu\text{m}$ (1:1) 的意思是凸起處之寬度是 $10\mu\text{m}$ 且與凹陷處的比例是 1:1，那若線寬 $10\mu\text{m}$ (1:2) 的意思則是凸起處之寬度是 $10\mu\text{m}$ 且與凹陷處的比例是 1:2，也就是凹陷處的寬度為 $20\mu\text{m}$ 。圖 4-2-2、圖 4-2-3 為不同線寬、比例皆 1:1 的陽極氧化鋁溝槽在 SEM 下所看到的影像，放大倍率有 200 和 1000 倍。

如圖 4-2-4，液晶樣品置於兩個互為垂直的偏光鏡中，溝槽方向與第一片偏光鏡夾 0 度以及 45 度，樣品有溝槽寬度 $15\mu\text{m}$ 和 $20\mu\text{m}$ 兩種，可以看出樣品沒有水平配向或是垂直配向的結果，無任何規律排列的跡象，所以結果沒有如預期的目標達到配向。

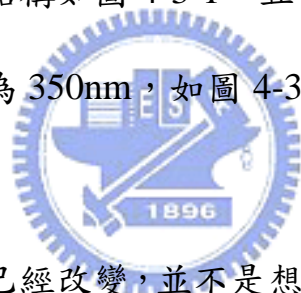
我們推測由於垂直排列的液晶分子到水平排列的液晶分子之間，液晶分子倒向趨勢沒有一致性，而會造成很多缺陷，如示意圖

4-2-5，所以陽極氧化鋁溝槽表面沒辦法使液晶達到配向，需要想辦法讓液晶分子有規律的傾倒於同一方向，才能產生配向效果，進而量測其預傾角。



4-3 磨刷過的陽極氧化鋁等比例溝槽結果

在實驗結果與討論 4-2 中可以得知，由氧化鋁溝槽基板做出來的液晶樣品沒有達到配向效果，推測由於垂直排列的液晶分子到水平排列的液晶分子之間，液晶分子倒向趨勢沒有一致性，所以為了要讓液晶分子有規律性的傾倒於同一方向，我在進行黃光室製程此步驟前，先將反應電壓 40V 的一次陽極處理氧化鋁基板放入磨刷機台做磨刷處理，再放入 60°C 鉻酸 1.5wt% 與磷酸 6wt% 混合液中三分鐘，蝕刻出氧化鋁溝槽，其表面結構如圖 4-3-1，且使用奈米中心的薄膜測厚儀量測出溝槽深度大約為 350nm，如圖 4-3-2，最後再將其製作成液晶樣品。



此方法的實驗架構已經改變，並不是想藉由陽極氧化鋁的垂直配向力和溝槽來改變液晶分子的預傾角，而是利用陽極氧化鋁的垂直配向力和磨刷過的陽極氧化鋁水平配向，希望能藉此調變液晶分子的預傾角，示意圖如圖 4-3-3。

我做了 5 種不同寬度且等比例的氧化鋁溝槽，溝槽寬度分別為 15 μm 、20 μm 、30 μm 、40 μm 和 50 μm ，將氧化鋁溝槽基板分割成兩片，再反平行對夾，灌入 E7 液晶。並且我將磨刷處理過但沒有蝕刻出溝槽的陽極氧化鋁基板組成一組液晶樣品，還有將磨刷處理過但沒有蝕刻出溝槽的陽極氧化鋁浸入 60°C 鉻酸 1.5wt% 與磷酸 6wt% 混

合液中三分鐘的基板，組成一組液晶樣品。

將蝕刻前有光阻和蝕刻後已去光阻的陽極氧化鋁基板用光學顯微鏡拍照，並將液晶樣品置於兩個互為垂直的偏光鏡中，溝槽方向與第一片偏光鏡夾 0 度以及 45 度，如圖 4-3-4 至圖 4-3-8。

結果等比例溝槽寬度為 15 μm 、20 μm 、30 μm 、40 μm 和 50 μm 的液晶樣品有水平配向，且磨刷處理過但沒有蝕刻出溝槽的陽極氧化鋁液晶樣品同樣也具有水平配向，如圖 4-3-9，而磨刷處理過但沒有蝕刻出溝槽的陽極氧化鋁浸入 60°C 鉻酸 1.5wt% 與磷酸 6wt% 混合液中三分鐘的液晶樣品，其具有垂直配向，如圖 4-3-6。

由於我最後所選用的是反應電壓 40V 一次陽極處理氧化鋁，所以我也將沒有蝕刻過且沒有磨刷過的氧化鋁基板製作成樣品，結果是垂直配向，如圖 4-3-10；並且量測沒有氧化鋁的 ITO 玻璃和有氧化鋁的 ITO 玻璃他們的穿透光譜，如圖 4-3-11，因為配向膜材料對於光穿透性質是很重要的，所以必須知道配向膜材料的穿透光譜。

4-4 磨刷過的陽極氧化鋁不等比例溝槽結果

此實驗共做了 8 種不等比例的氧化鋁溝槽液晶樣品。分別為線寬 15 μm 的(1:2)、(1:3)、(1:4)和(1:5)，也就是溝槽下陷處與突起處之比例為(1:2)、(1:3)...以此類推，以及線寬 20 μm 的(1:2)、(1:3)、(1:4)和(1:5)共 8 種基板，分割成兩片，反平行對夾，最後灌入 E7 液晶，組合成液晶樣品。

將蝕刻前有光組和蝕刻後已去光阻的陽極氧化鋁基板用光學顯微鏡拍照，並將液晶樣品置於兩個互為垂直的偏光鏡中，溝槽方向與第一片偏光鏡夾 0 度以及 45 度，如圖 4-4-1 至圖 4-4-8。

結果此 8 種陽極氧化鋁基板在蝕刻前有光組和蝕刻後已去光阻的線寬大小、比例，皆有達到預期的結果，且每組液晶樣品均有達到水平配向的效果。

4-5 液晶盒樣品之預傾角與各種線寬比例的關係

氧化鋁溝槽液晶樣品經過預傾角的量測及計算， $15\ \mu\text{m}(1:1)$ 、 $20\ \mu\text{m}(1:1)$ 、 $30\ \mu\text{m}(1:1)$ 、 $40\ \mu\text{m}(1:1)$ 、 $50\ \mu\text{m}(1:1)$ 不同線寬等比例的結果如圖 4-5-1，預傾角在 0.42 度與 0.76 度之間，且與線寬大小無關係。

氧化鋁溝槽液晶樣品經過預傾角的量測及計算， $15\ \mu\text{m}(1:1)$ 、 $15\ \mu\text{m}(1:2)$ 、 $15\ \mu\text{m}(1:3)$ 、 $15\ \mu\text{m}(1:4)$ 、 $15\ \mu\text{m}(1:5)$ 同線寬不等比例的結果如圖 4-5-2，預傾角在 0.51 度與 1.39 度之間，且隨著比例的增加，有較明顯的變化。

氧化鋁溝槽液晶樣品經過預傾角的量測及計算， $20\ \mu\text{m}(1:1)$ 、 $20\ \mu\text{m}(1:2)$ 、 $20\ \mu\text{m}(1:3)$ 、 $20\ \mu\text{m}(1:4)$ 、 $20\ \mu\text{m}(1:5)$ 同線寬不等比例的結果如圖 4-5-3，預傾角在 0.76 度與 3.79 度之間，且預傾角隨著比例的增加，有漸漸變大的趨勢。

如圖 4-5-4，將線寬 $15\ \mu\text{m}$ 五種比例的氧化鋁溝槽液晶樣品與線寬 $20\ \mu\text{m}$ 五種比例的氧化鋁溝槽液晶樣品，其液晶分子預傾角放在一起做比較，可看出在(1:2)到(1:4)之間，預傾角有逐漸上升的趨勢，且線寬 $20\ \mu\text{m}$ 結果更為明顯，但是在(1:4)到(1:5)預傾角就沒有繼續上升的趨勢。

如圖 4-5-5，將線寬 $15\ \mu\text{m}$ 和 $20\ \mu\text{m}$ 的結果放在一起，作溝槽凹

陷寬度與液晶分子預傾角之關係圖，可看出溝槽凹陷寬度越大，液晶分子預傾角與凹陷寬度關係明顯，然而這裡可以注意的一點是在溝槽凹陷寬度為 $60\ \mu\text{m}$ 處，由於凹陷寬度相較凸起寬度大許多，導致凸起寬度 $15\ \mu\text{m}$ 和 $20\ \mu\text{m}$ 的差異影響並不大，所以凸起寬度 $15\ \mu\text{m}$ 和 $20\ \mu\text{m}$ 兩者的預傾角接近。



第五章 結論與未來展望

5-1 結論

由以上結果可以得知，在本實驗室的陽極氧化鋁裝置下，電壓 20V 到 80V 之間，陽極氧化鋁的孔徑會隨著電壓上升而增加，且可以控制陽極氧化鋁的孔徑由 6.25nm 至 83.33nm。

未經磨刷處理過的氧化鋁溝槽無法使液晶分子配向，而經過磨刷處理過的氧化鋁溝槽，灌入 E7 液晶，組合成液晶樣品，可以達到水平配向效果。


等比例線寬 15 μm 到 50 μm ，液晶分子的預傾角在 0.42 度與 0.76 度之間，與線寬大小無關係；線寬 15 μm 溝槽下陷處與突起處之比例由(1:1)至(1:5)，預傾角在 0.51 度與 1.39 度之間；線寬 20 μm 溝槽比例由(1:1)至(1:5)，預傾角在 0.76 度與 3.79 度之間，且預傾角隨著比例的增加，有漸漸變大的趨勢。

5-2 未來展望

5-2-1 在 ITO 玻璃上製作陽極氧化鋁

目前本實驗在 ITO 玻璃上製作陽極氧化鋁會有產生氣泡而使基板製作失敗的結果，但 ITO 玻璃上製作陽極氧化鋁可使此液晶樣品有更好的科技應用，因此在 ITO 玻璃上製作陽極氧化鋁為一重要課題。[14-15]

5-2-2 往細線寬製作



由於線寬較大的樣品可以隱約看見溝槽線條，若要應用在顯示器上，則是一大缺失，且將線寬縮小，可以使樣品厚度相較大於線寬更多，以增加樣品中液晶分子排列的均勻度。所以嘗試往更小尺度的線寬製作是很好的目標，而我建議使用高密度活性離子蝕刻系統(High Density Plasma Reactive Ion Etching System)，乾式蝕刻出溝槽的方式結果應該會比較好，且線寬最小可以做到 1 至 2 μm 。

5-2-3 先製作出氧化鋁溝槽再摩刷處理

若先製作氧化鋁溝槽再進行摩刷處理，所組合成的液晶樣品說不定會有更好的結果，但是這種方法有一個重要的問題需解決，就是要如何只磨刷到溝槽凸起處，而不磨刷到溝槽凹陷處。

5-2-4 增加線寬比例或增加凹陷寬度

由實驗結果 4-5 中可得知，液晶分子的預傾角和線寬比例或凹陷寬度增加有較明顯的變化，所以若再繼續增加線寬比例或增加凹陷寬度，推測液晶分子的預傾角可以再持續增加，或是可以得不一樣的結果。



參考資料

- [1] C. Mauguin, *Bull. Soc. Fr. Min.* **34**, 71 (1911).
- [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] O. Jessensky, F. Müller, and U. Gösele, *Appl. Phys. Lett.* **72**, 1173 (1998).
- [6] T. Maeda and K. Hiroshima, *Jpn. J. Appl. Phys.* **43**, L1004 (2004).
- [7] 郭政穎, Study on Liquid Crystal Alignment by Anodic Porous Alumina Substrates, 國立交通大學電子物理系碩士班畢業論文, 2007.
- [8] A. P. Li, F. Müller, A. Bimer, K. Nielsch, and U. Gösele, *J. Appl. Phys.* **84**, 6023 (1998).
- [9] O. Jessensky, F. Müller, and U. Gösele, *Appl. Phys. Lett.* **72**, 1173 (1998).
- [10] Y. Xu, G. E. Thompson, and G. C. Wood, *Trans. Inst. Met. Finish.* **63**, 98 (1985).
- [11] T. J. Scheffer and J. Nehring, *J. Appl. Phys.* **48**, 1783 (1977).
- [12] Pochi Yeh and Claire Gu, *Optics of Liquid Crystal Displays*, (A Wiley Interscience Publication, New York, 1999)
- [13] S. Z. Chu, K. Wada, S. Inoue, and S. Todoroki, *J. Electrochem. Soc.* **149**, B321 (2002).
- [14] S. Z. Chu, K. Wada, S. Inoue, M. Isogai, Y. Katsuta, and A. Yasumori, *J. Electrochem. Soc.* **153**, B384 (2006).

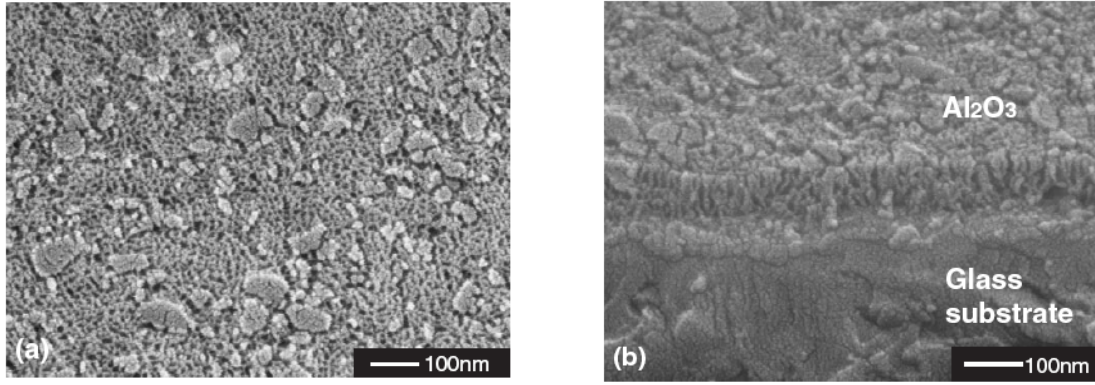


圖 1-1 T. Maeda et al.陽極氧化鋁薄膜 SEM 影像[6]，
(a)為正面影像，(b)為側面影像。

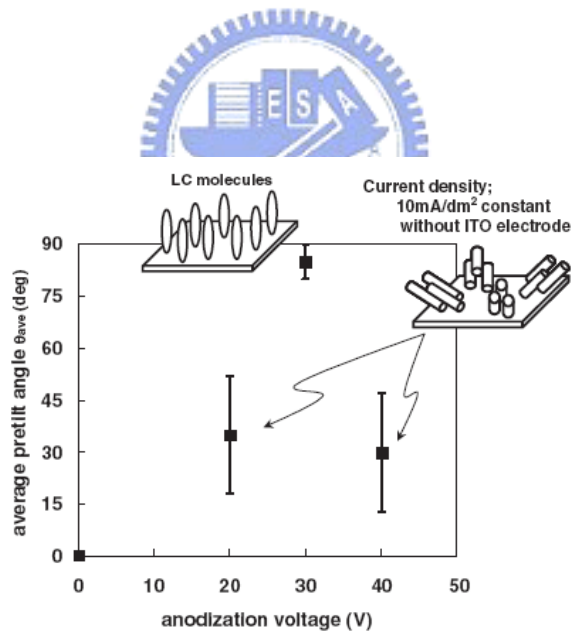


圖 1-2 T. Maeda et al.液晶傾角與陽極處理電壓關係圖[6]

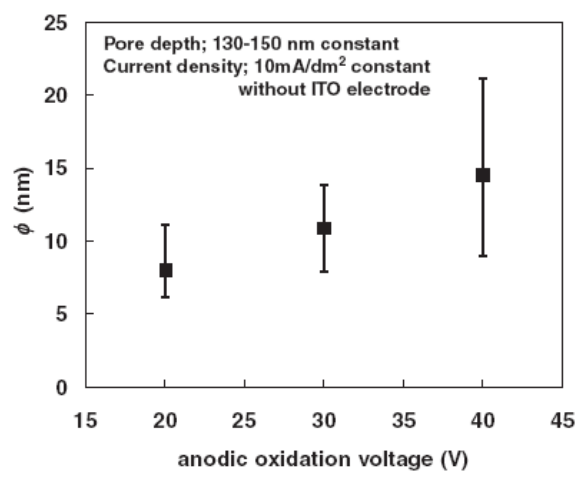


圖 1-3 T. Maeda et al.陽極氧化鋁薄膜孔洞大小與電壓關係圖[6]

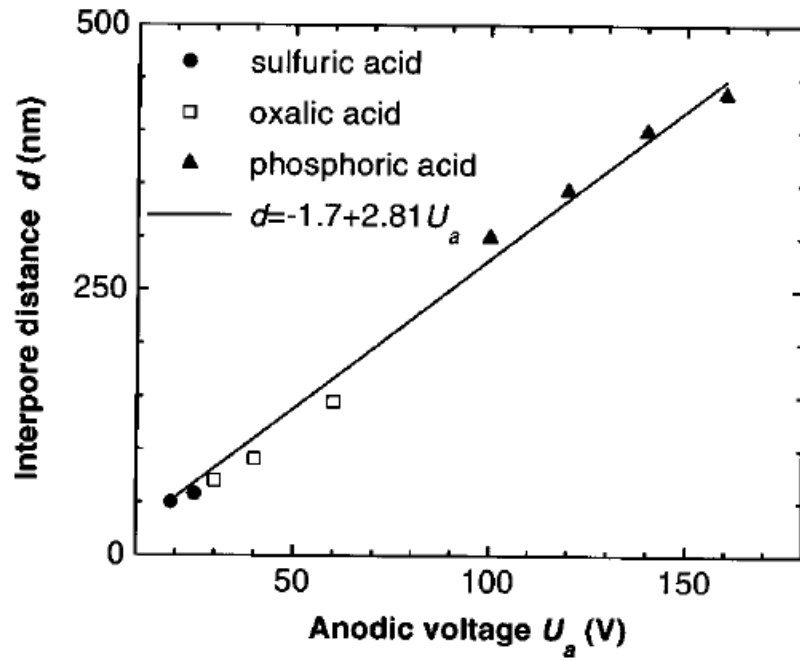


圖 2-1-1 電解電壓大小與陽極氧化鋁的孔徑關係圖[5]

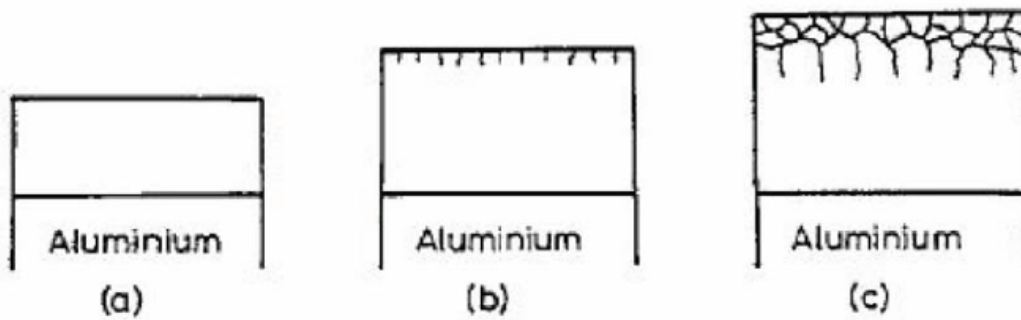


圖 2-1-2 氧化鋁表面部分電場的過程[7]

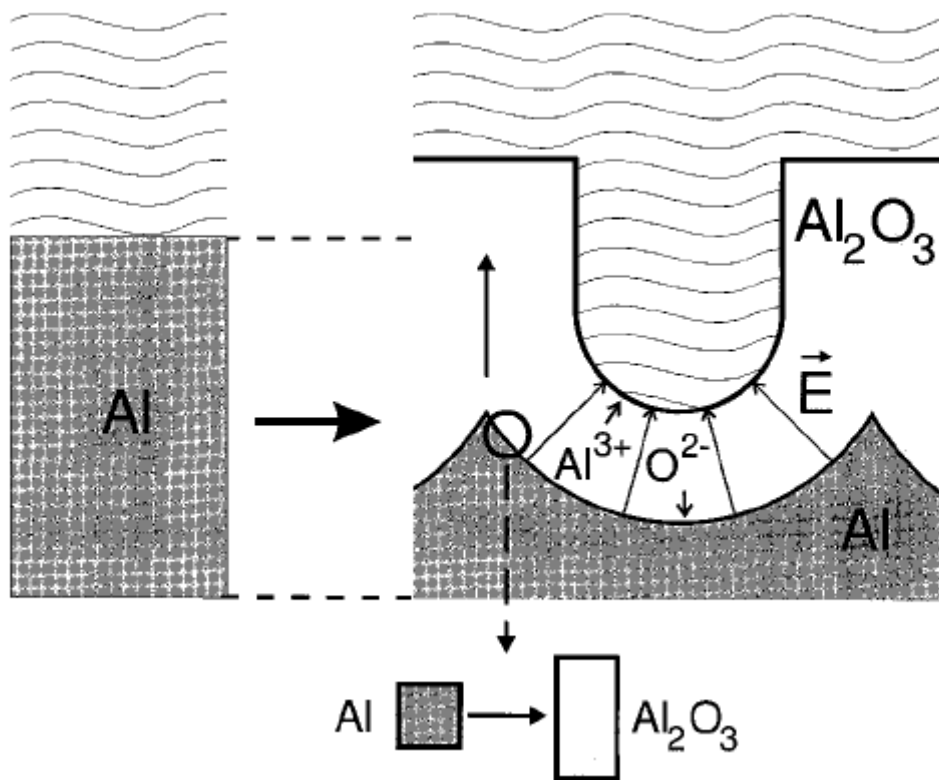


圖 2-1-3 鋁在陽極氧化處理時擴張過程[6]

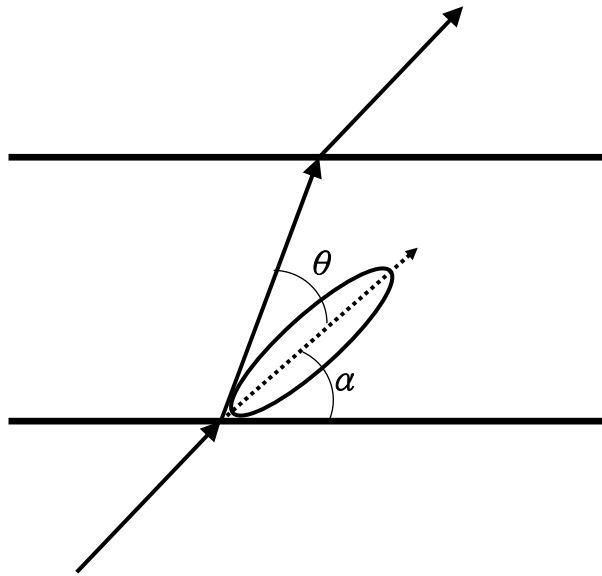


圖 2-3-1 預傾角 α 與玻璃基板的關係

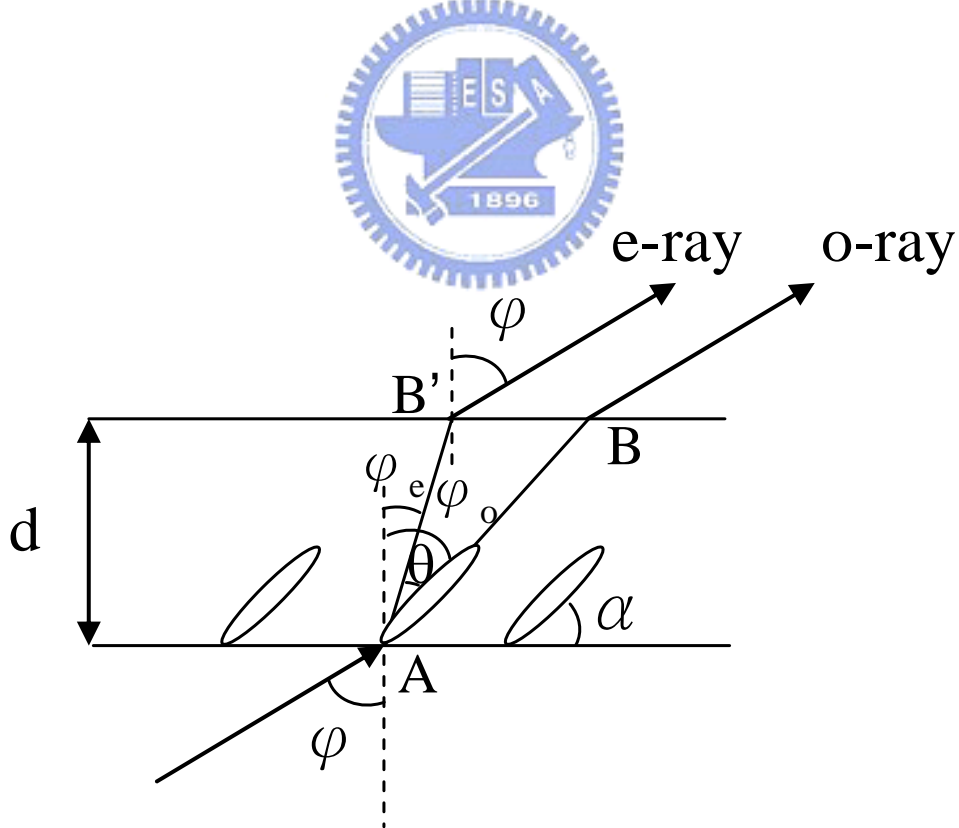


圖 2-3-2 光徑示意圖

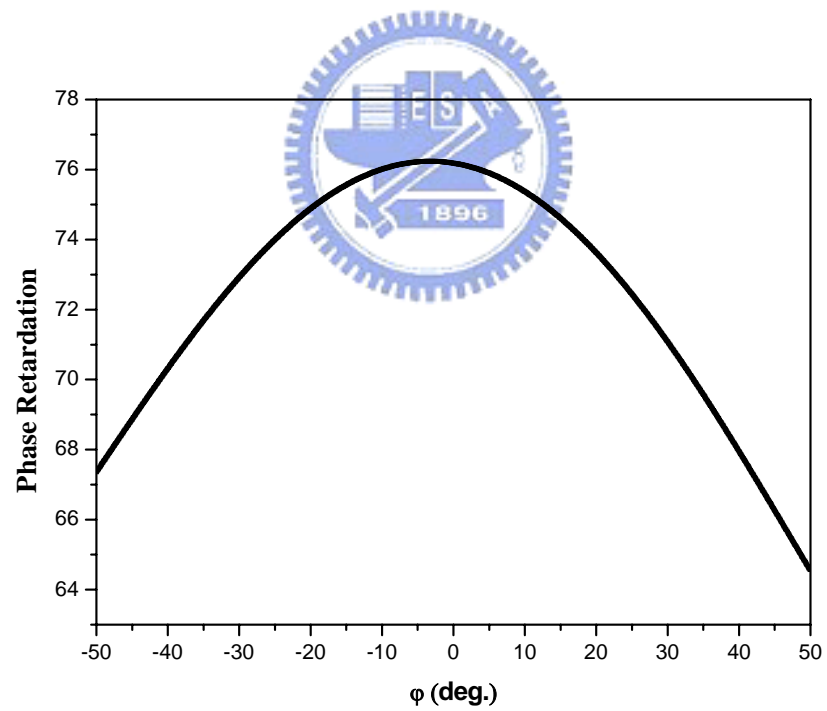
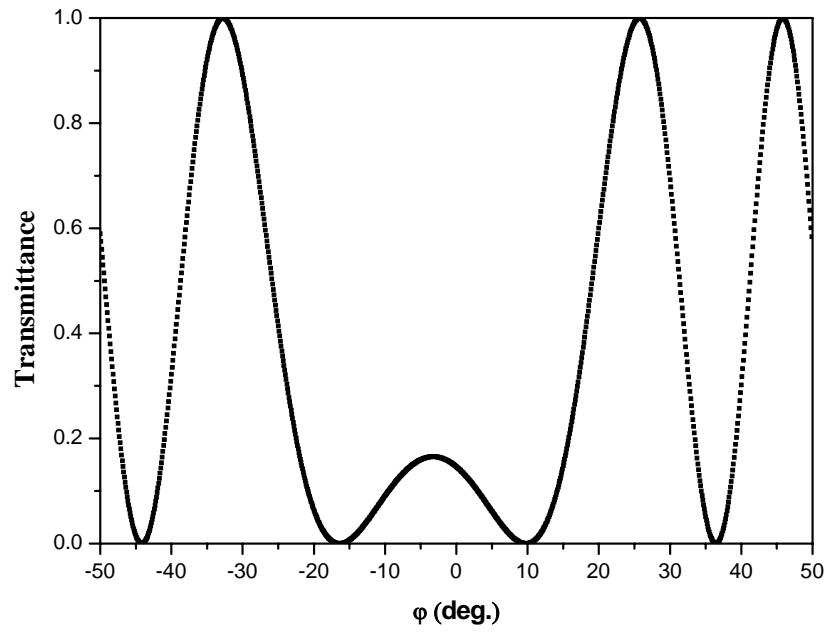


圖 2-3-3 穿透率 $I(\varphi)$ 對 φ 作圖，圖中顯示穿透率對稱點即為最大相位延遲的入射角。

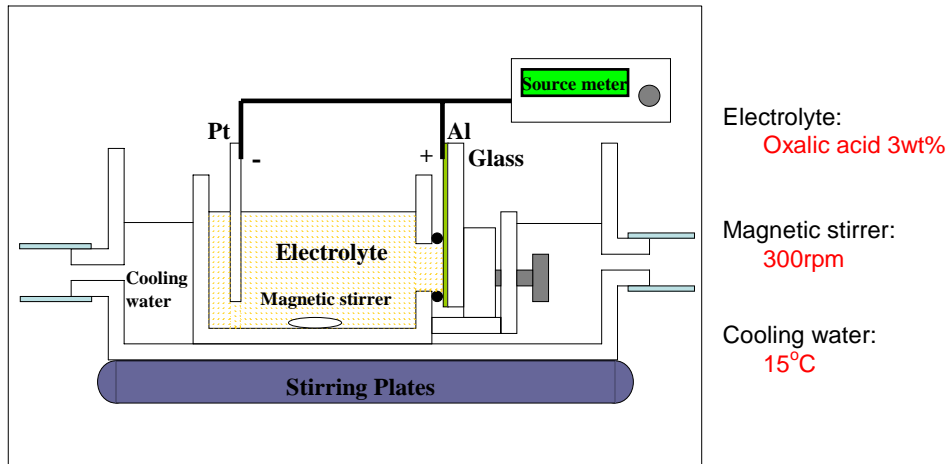


圖 3-1-1 陽極氧化鋁裝置圖

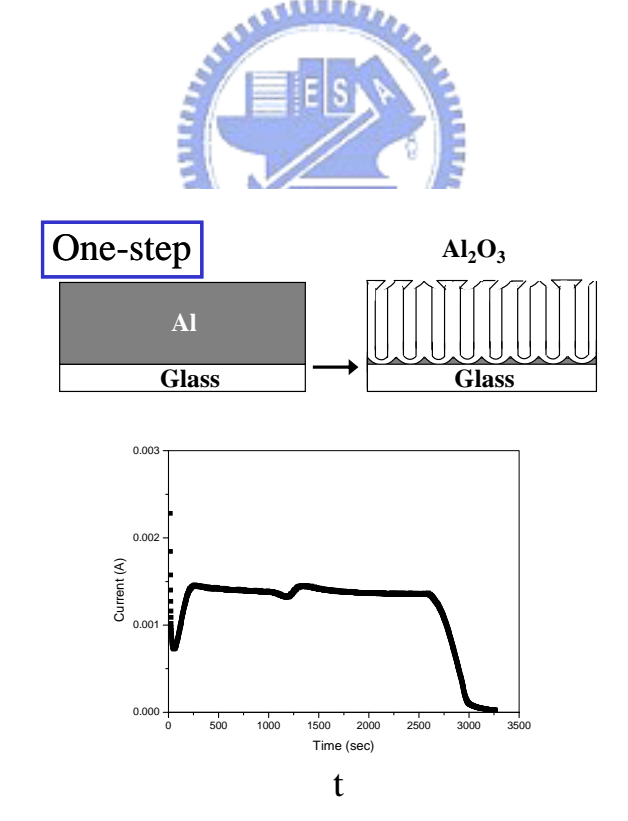


圖 3-1-2 一次陽極處理反應流程

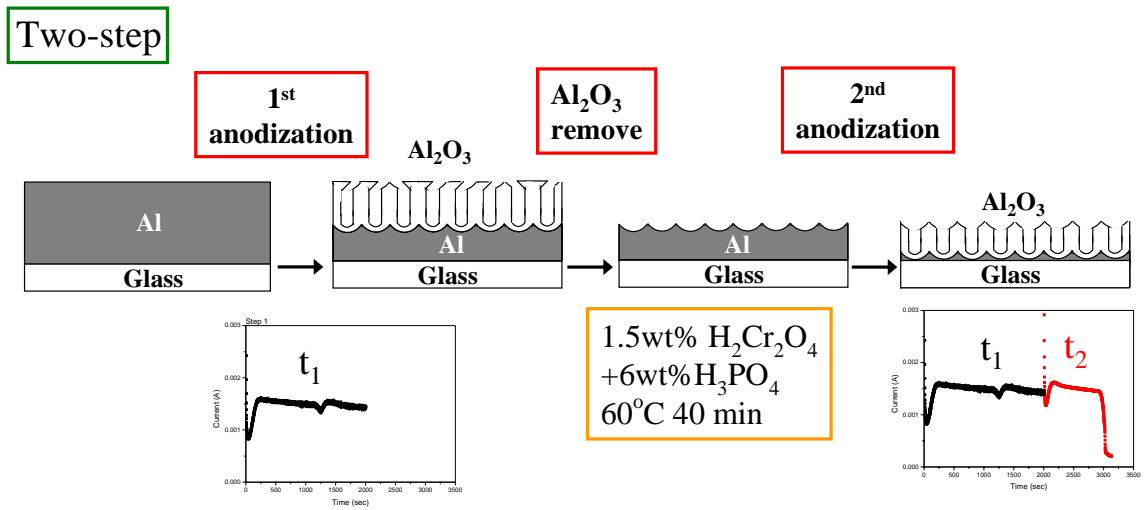


圖 3-1-3 兩次陽極處理反應流程

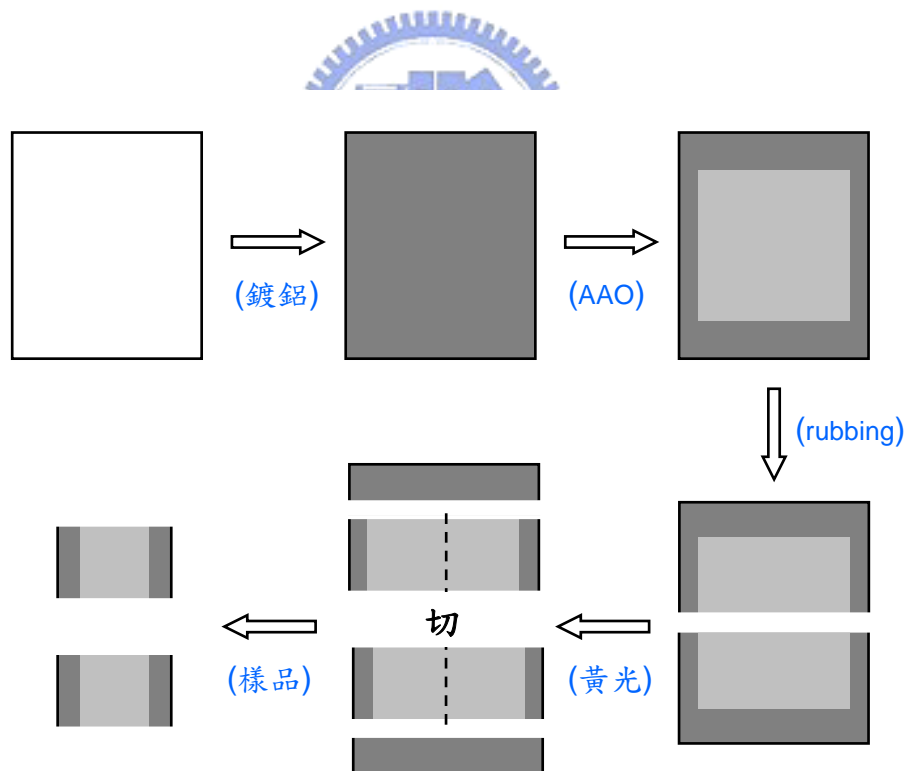


圖 3-1-4 樣品製作簡易流程圖

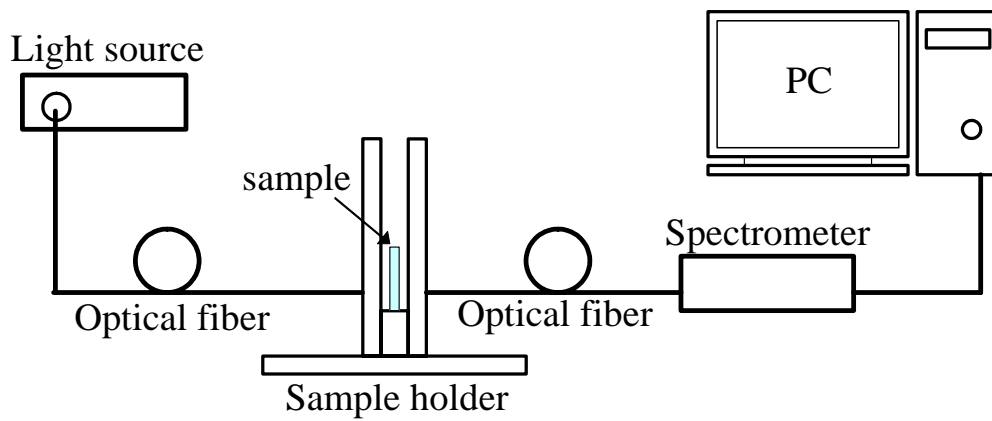


圖 3-2-1 光譜儀量測系統示意圖

	Spectrometer parameter
Integral time (ms)	100
Average	10
Boxcar	5
Flash Delay	100
Conect for Electrial Dark	√

圖 3-2-2 光譜儀各項參數設定

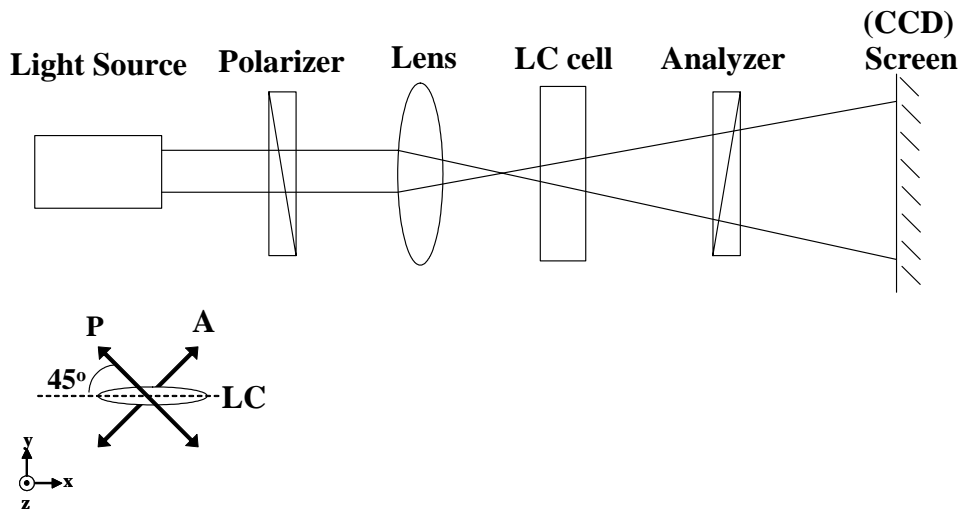


圖 3-3-1 Conoscopy 系統示意圖

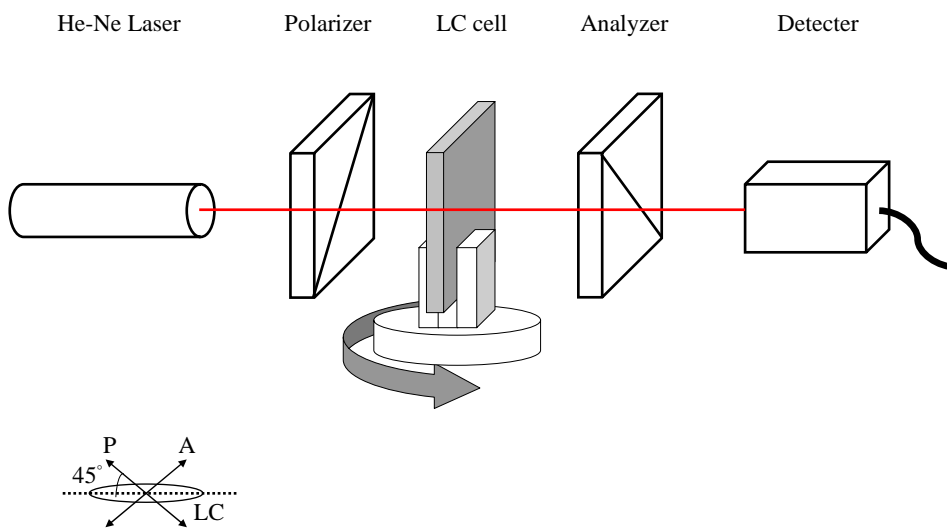


圖 3-5-1 預傾角量測系統示意圖

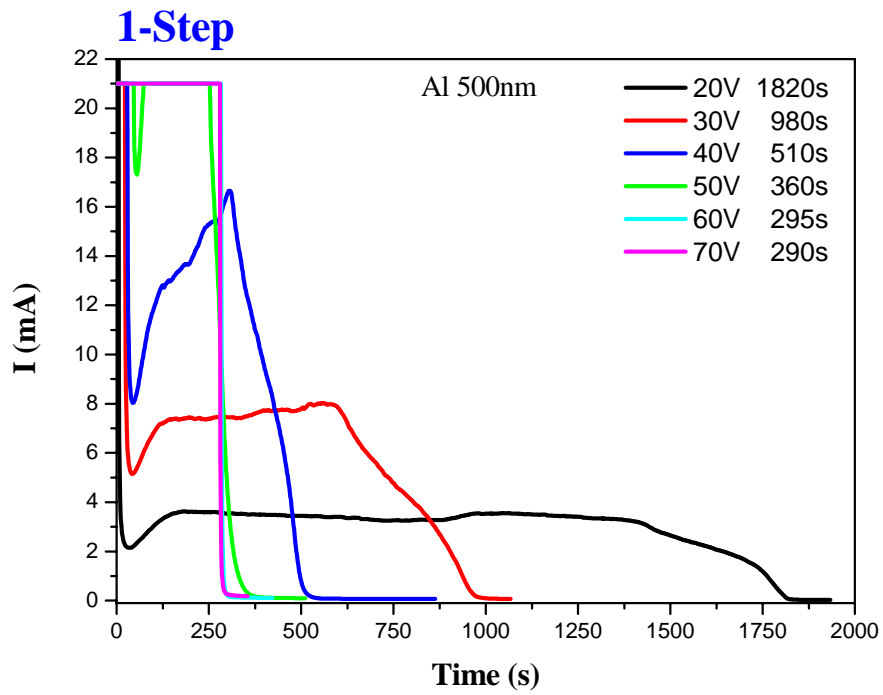


圖 4-1-1 一次陽極處理電流與時間關係圖[7]

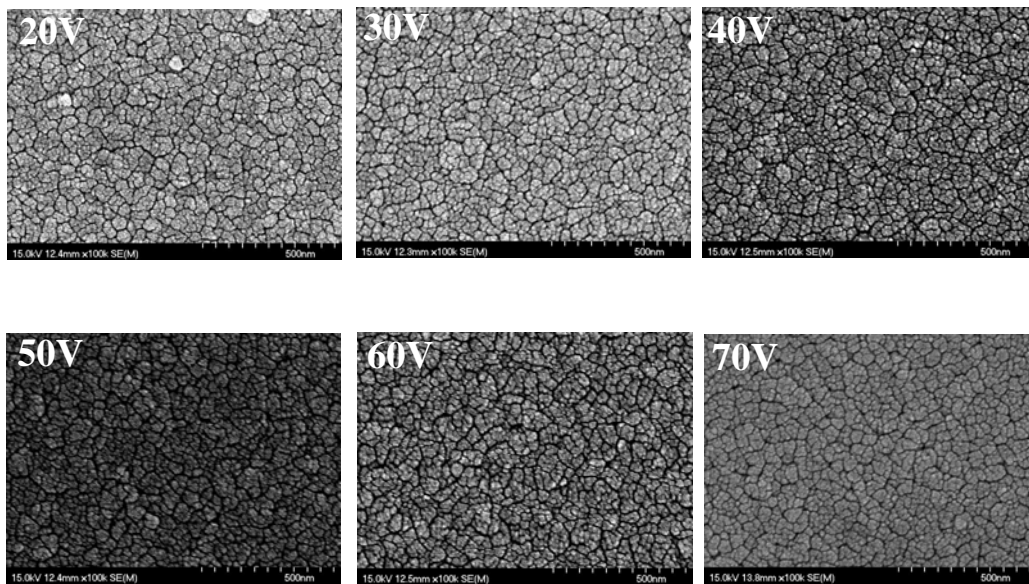


圖 4-1-2 一次陽極處理不同電壓下的氧化鋁表面結構[7]

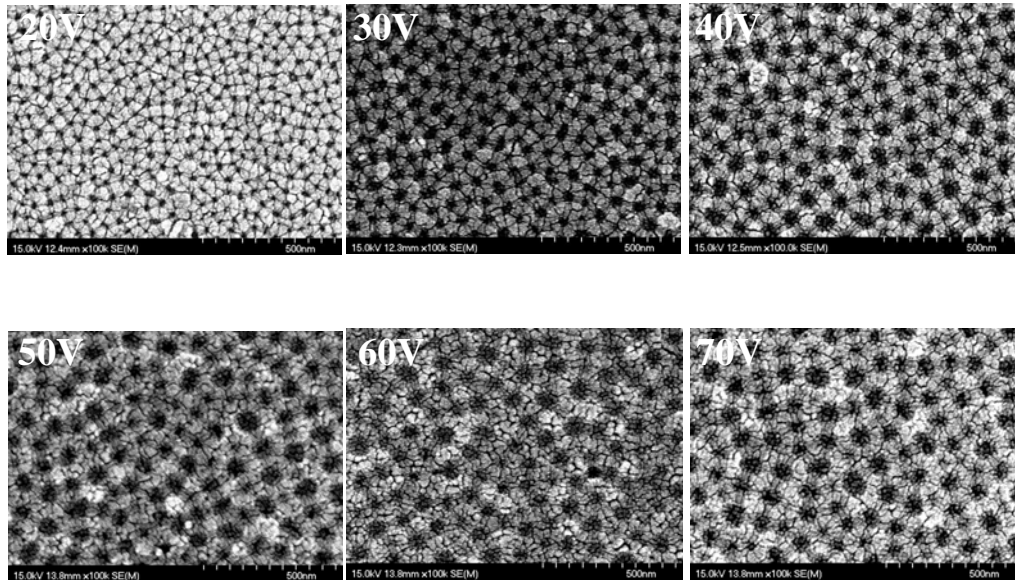


圖 4-1-3 兩次陽極處理不同電壓下的氧化鋁表面結構[7]

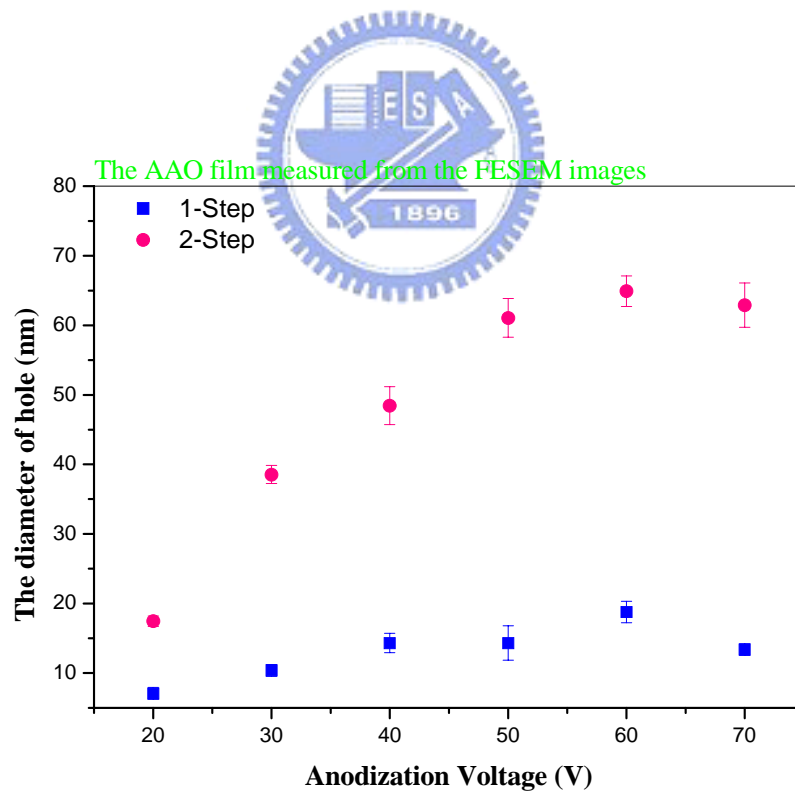


圖 4-1-4 陽極氧化鋁孔洞直徑與陽極處理電壓關係圖[7]

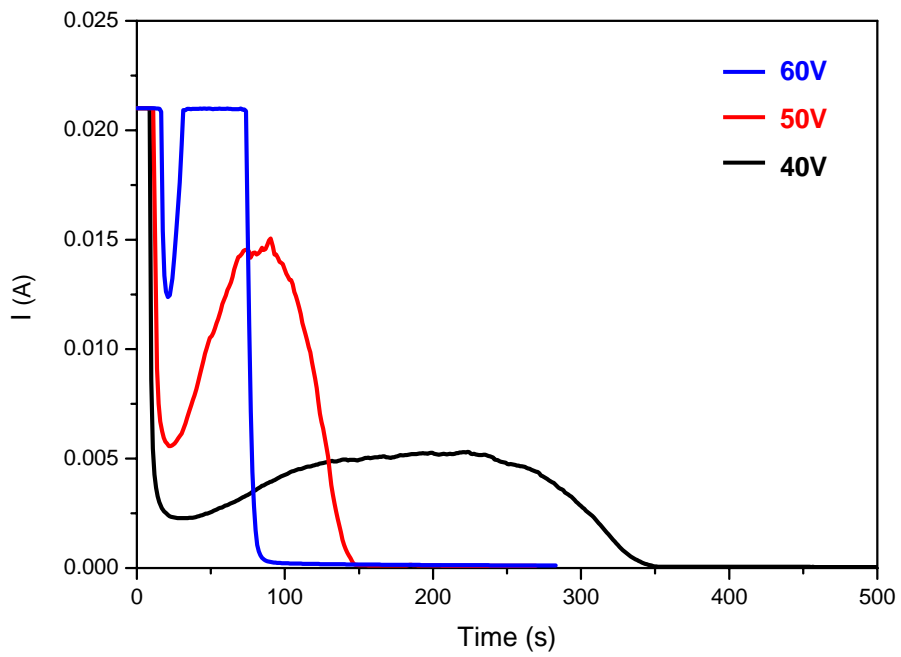


圖 4-1-5 40~60V 小方格一次陽極處理電流與時間關係圖(2410)

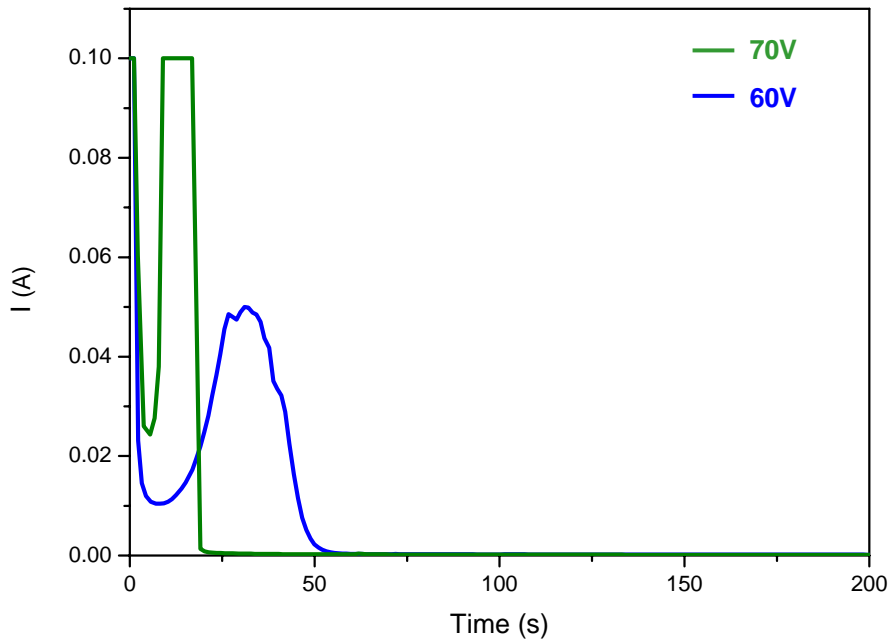


圖 4-1-6 60~70V 小方格一次陽極處理電流與時間關係圖(2400)

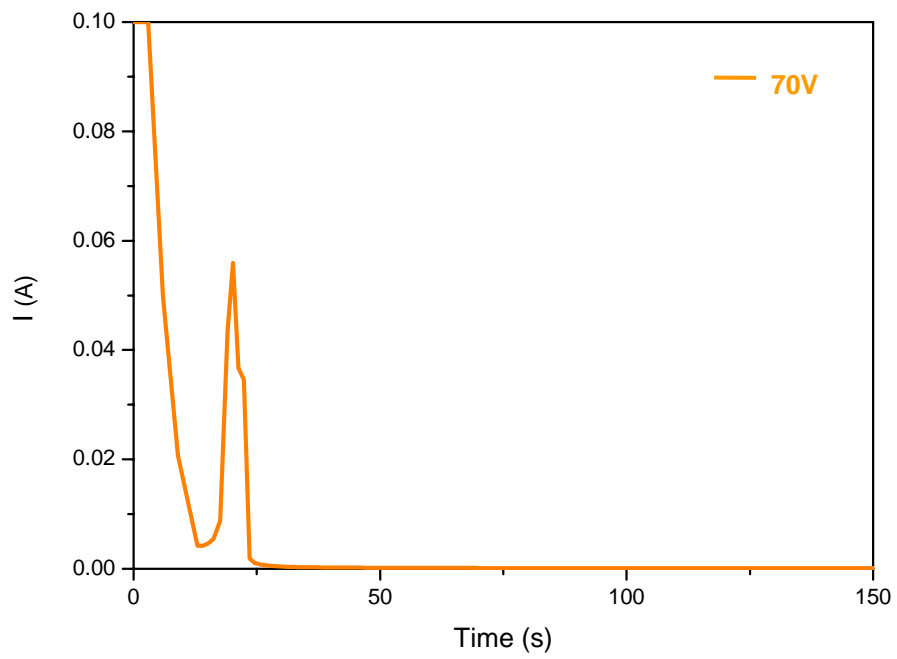


圖 4-1-7 70V 小圓孔一次陽極處理電流與時間關係圖(2400)

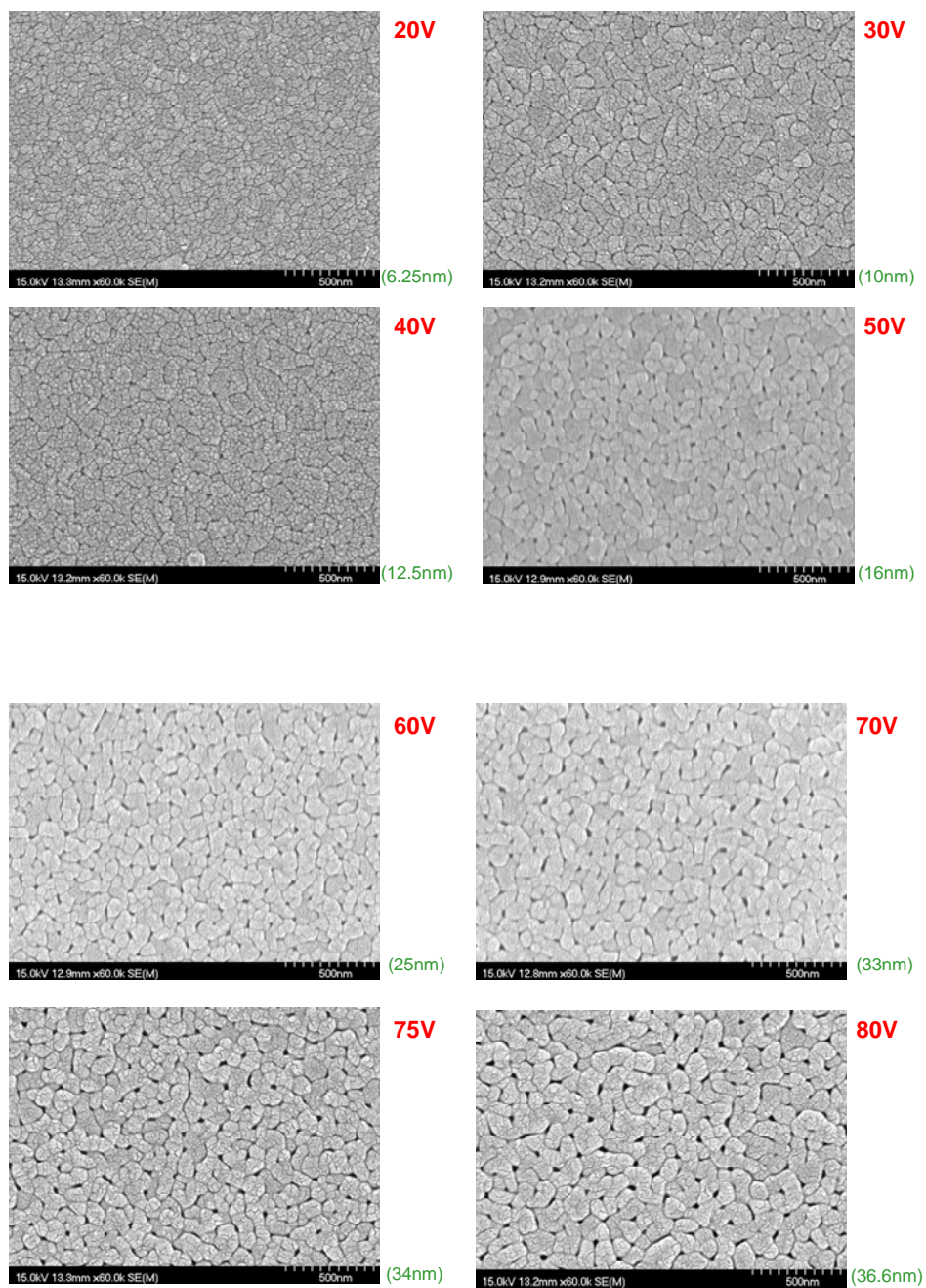


圖 4-1-8 一次陽極處理不同電壓下的氧化鋁表面結構

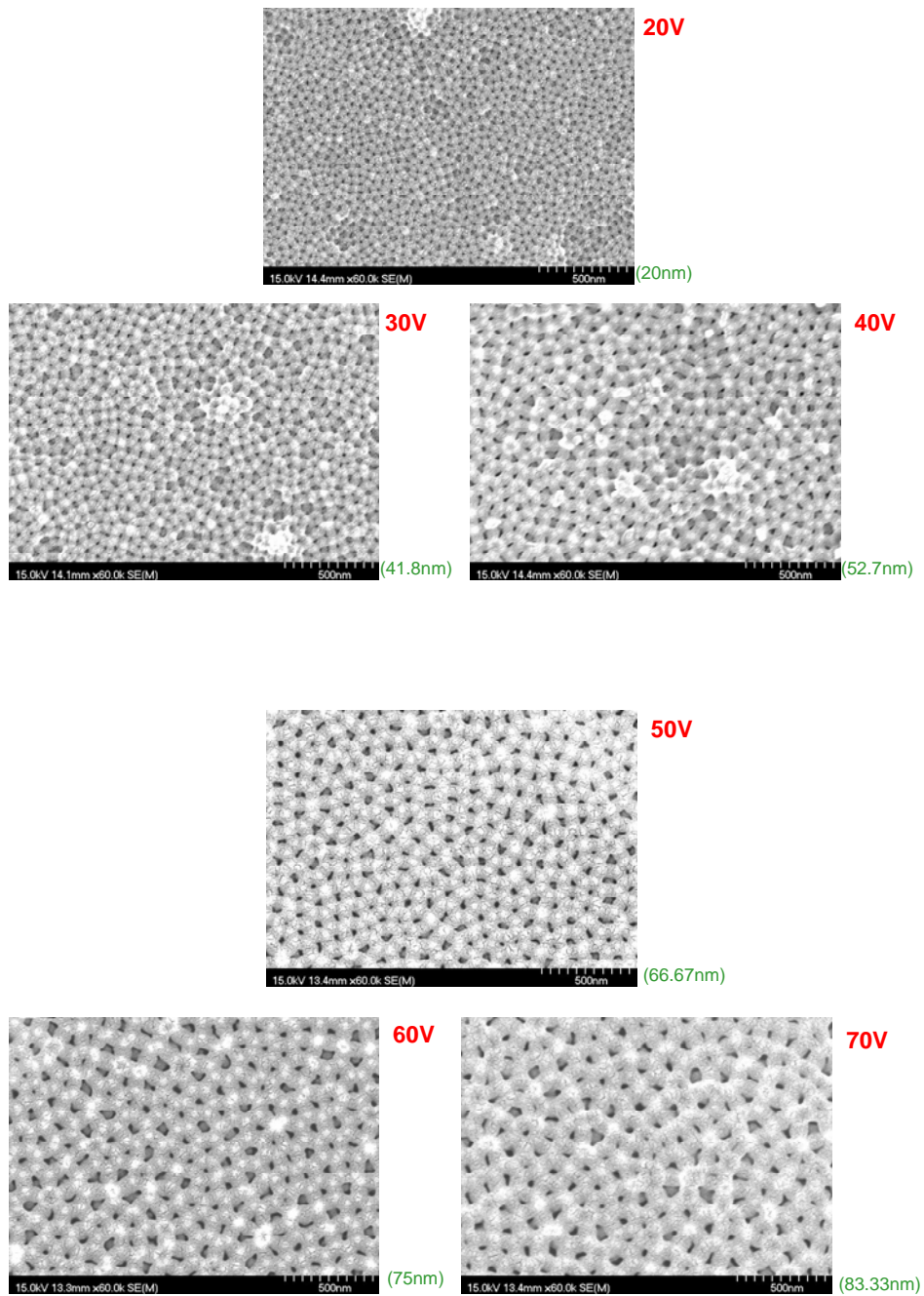


圖 4-1-9 兩次陽極處理不同電壓下的氧化鋁表面結構

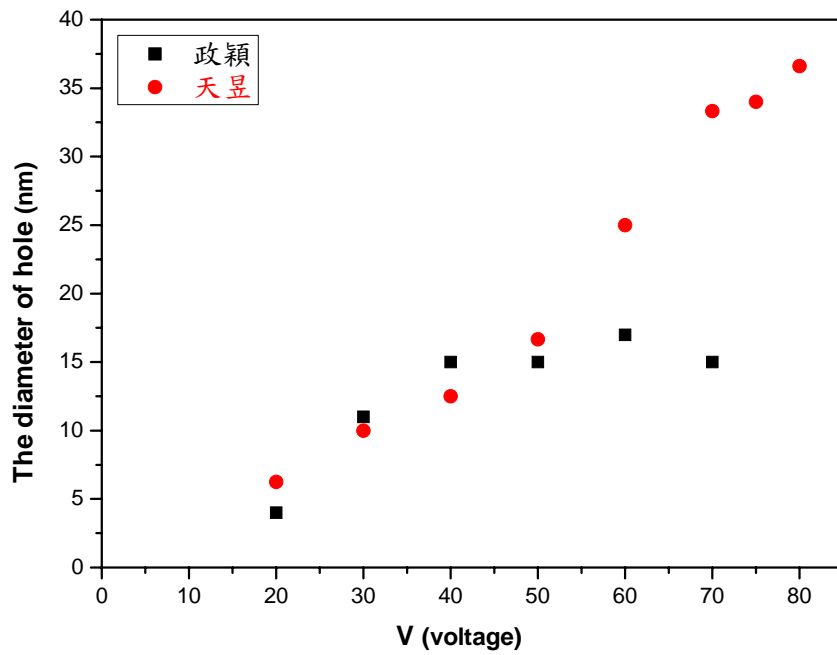


圖 4-1-10 我和政穎學長的一次陽極處理不同電壓與孔徑之關係

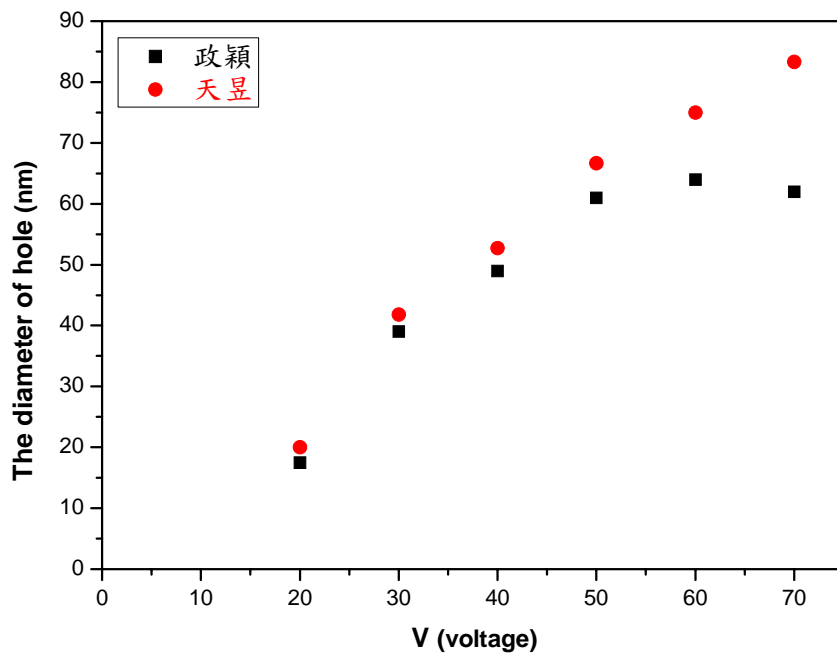


圖 4-1-11 我和政穎學長的二次陽極處理不同電壓與孔徑之關係

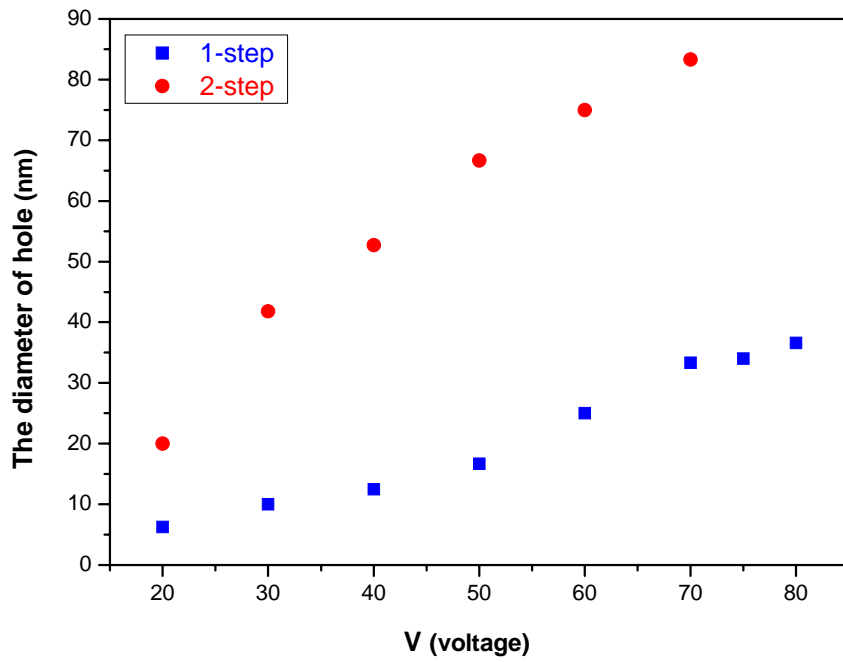


圖 4-1-12 一次陽極處理及二次陽極處理不同電壓與孔徑之關係

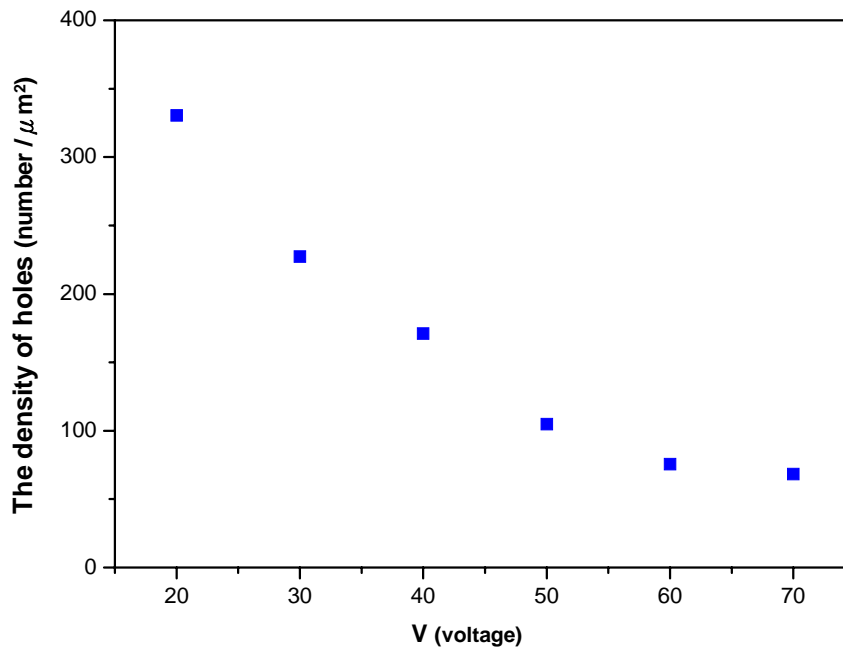


圖 4-1-13 不同電壓與一次陽極處理氧化鋁薄膜孔洞密度的關係

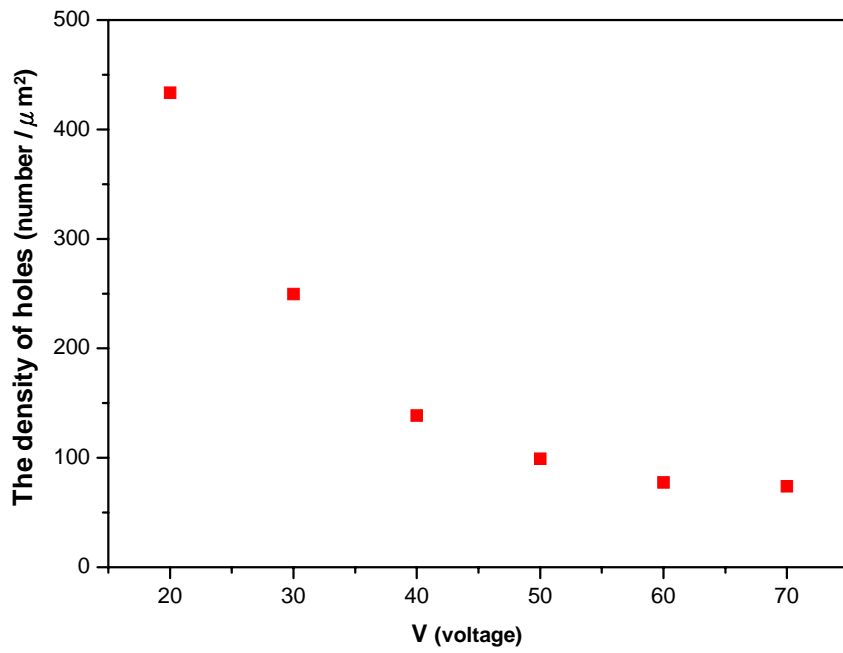


圖 4-1-14 不同電壓與二次陽極處理氧化鋁薄膜孔洞密度的關係

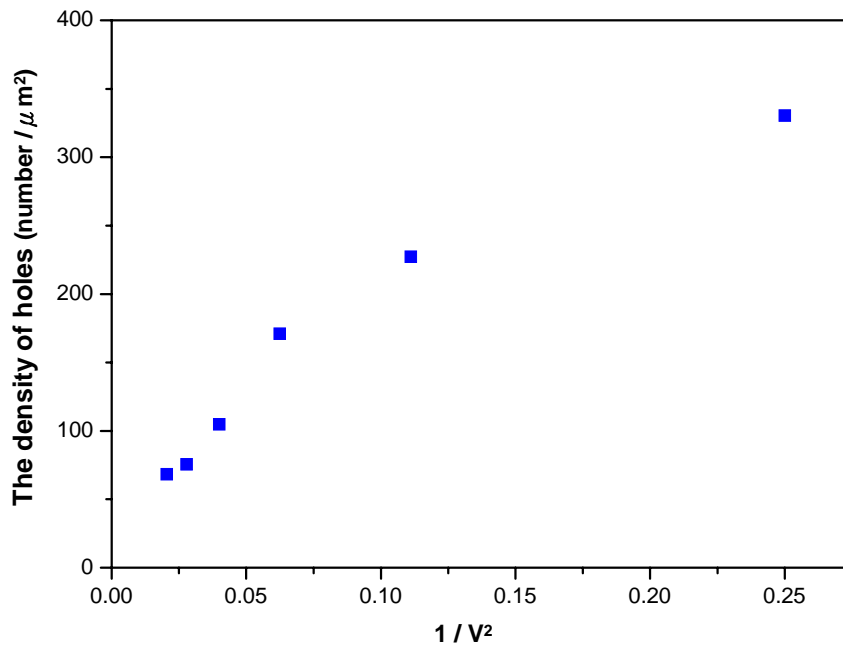


圖 4-1-15 電壓平方倒數與一次陽極處理氧化鋁孔洞密度的關係

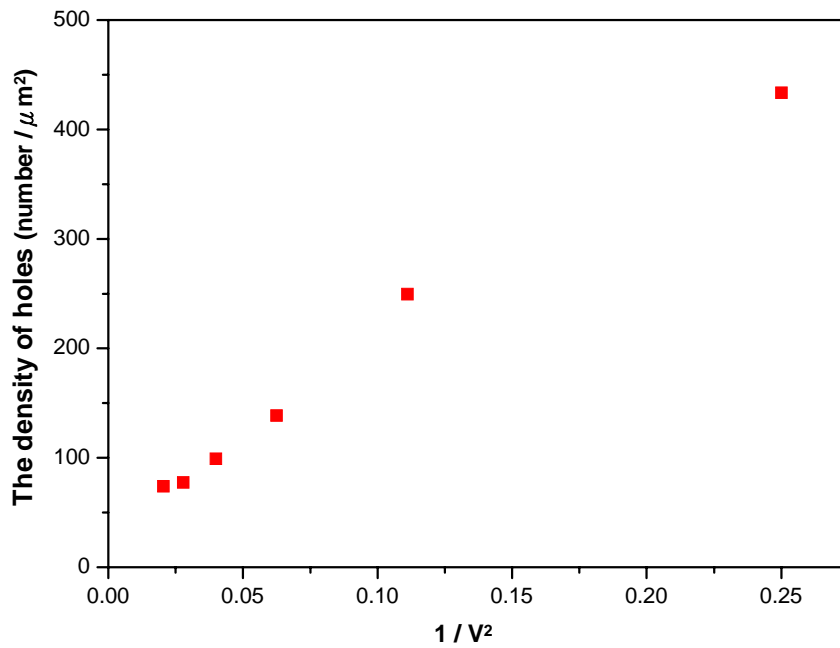
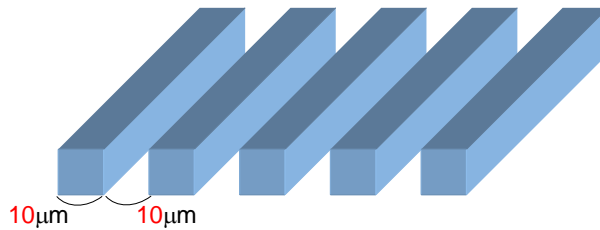


圖 4-1-16 電壓平方倒數與二次陽極處理氧化鋁孔洞密度的關係



例：線寬 $10\mu\text{m}$ (1 : 1)



例：線寬 $10\mu\text{m}$ (1 : 2)

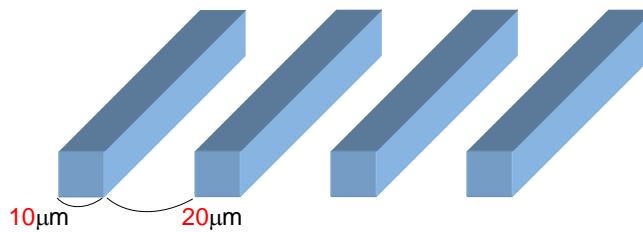


圖 4-2-1 氧化鋁溝槽寬度比例之定義

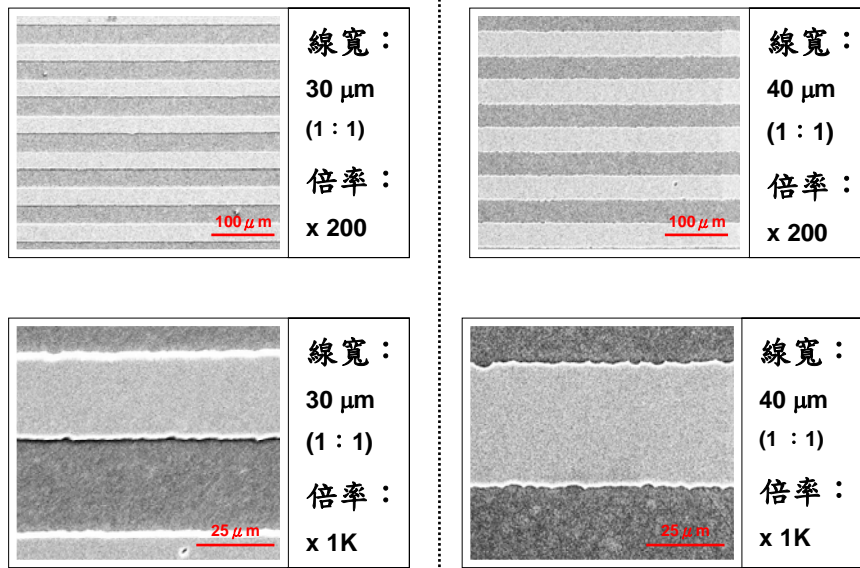


圖 4-2-2 氧化鋁溝槽在 SEM 下所看到的影像

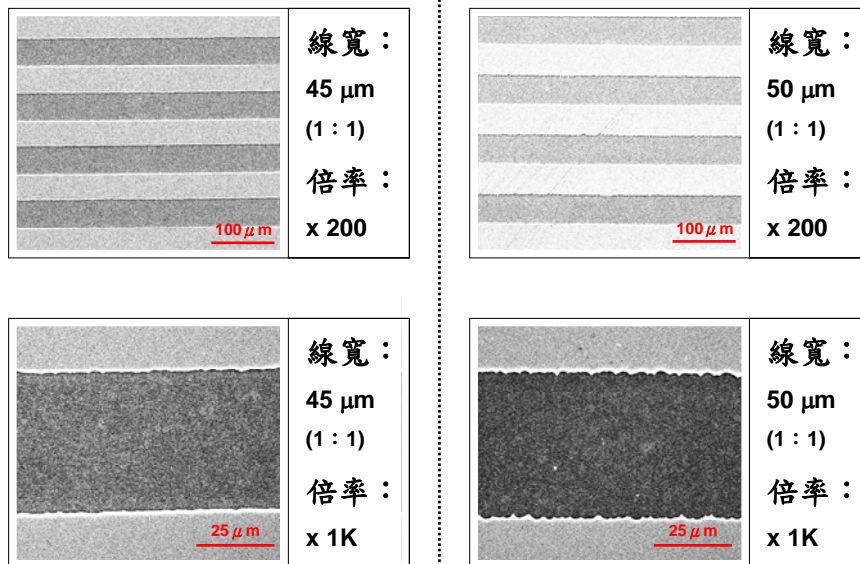


圖 4-2-3 氧化鋁溝槽在 SEM 下所看到的影像

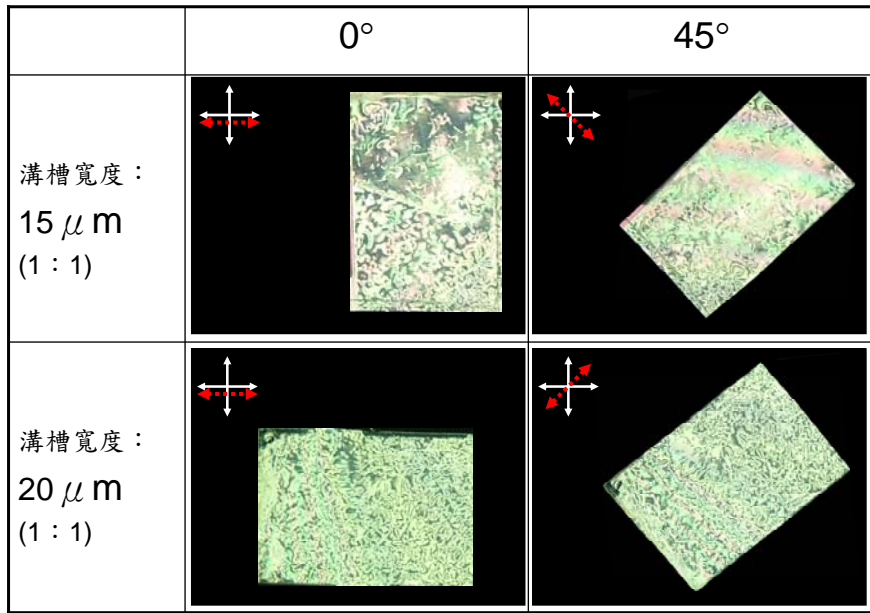


圖 4-2-4 氧化鋁溝槽液晶樣品在正交偏光鏡中的結果

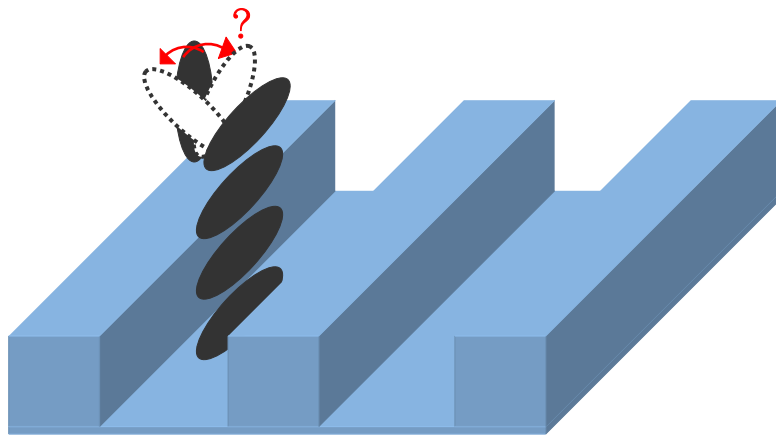


圖 4-2-5 氧化鋁溝槽表面對液晶分子排列之示意圖

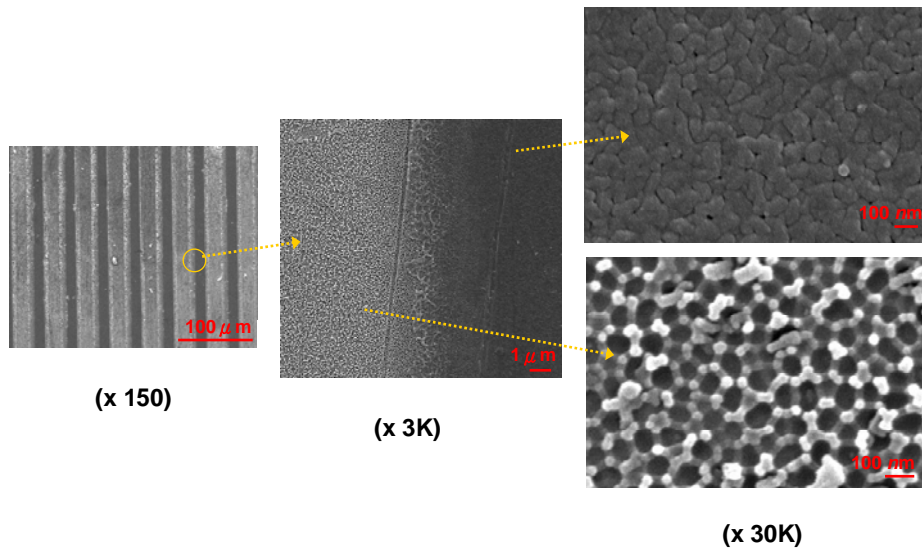
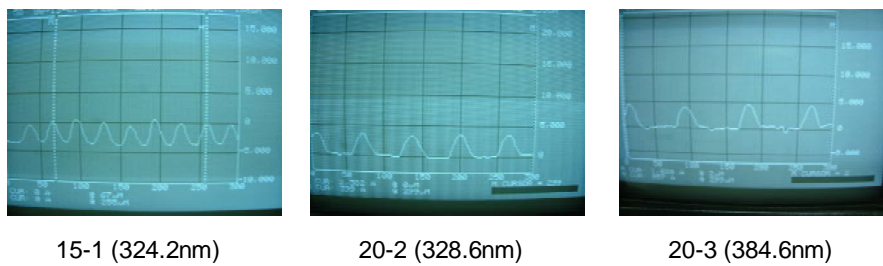


圖 4-3-1 線寬 15 μ m(1:2)磨刷過陽極氧化鋁溝槽之結構



溝槽平均深度大約為：350nm (\pm 30nm)

圖 4-3-2 磨刷過陽極氧化鋁溝槽之平均深度

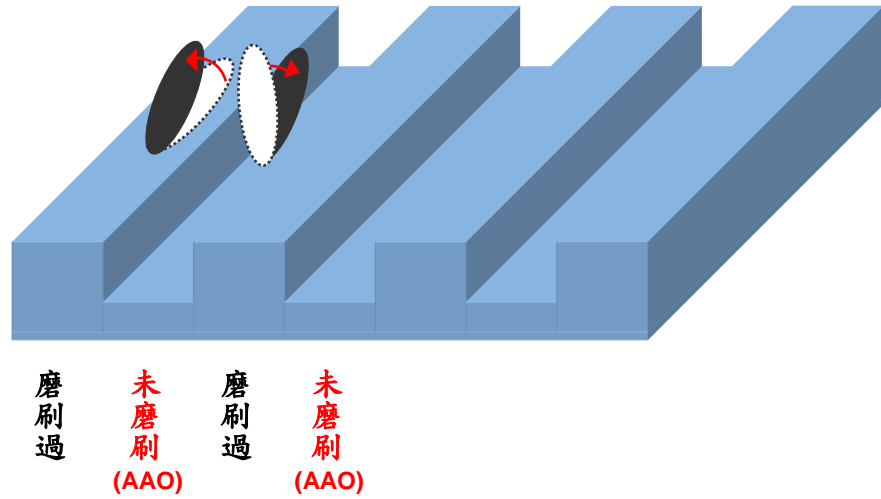


圖 4-3-3 磨刷過氧化鋁溝槽對液晶分子排列之示意圖

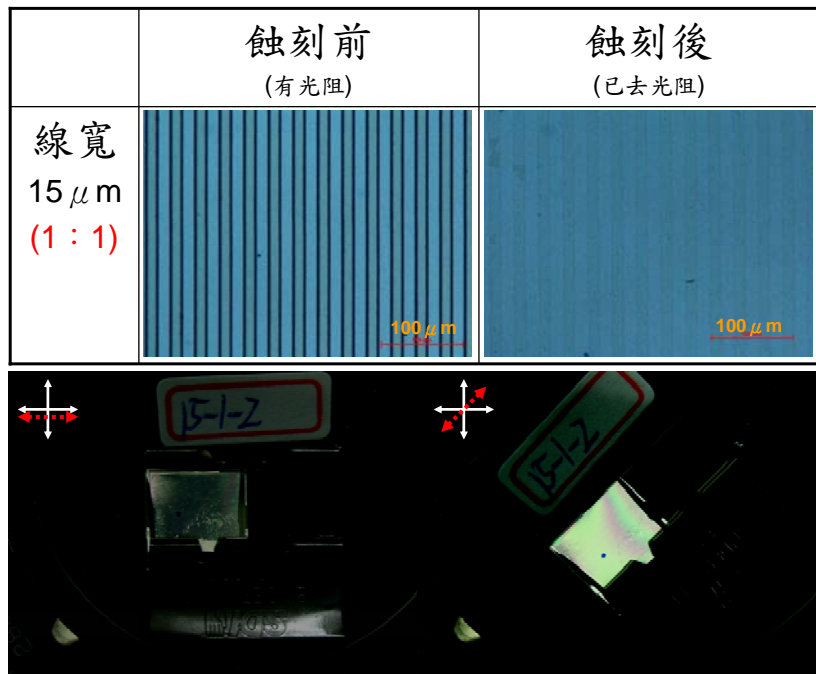


圖 4-3-4 15 μm (1:1)蝕刻前有光阻和蝕刻後已去光阻的基板用光學顯微鏡拍照，並將液晶樣品置於兩個互為垂直的偏光鏡中

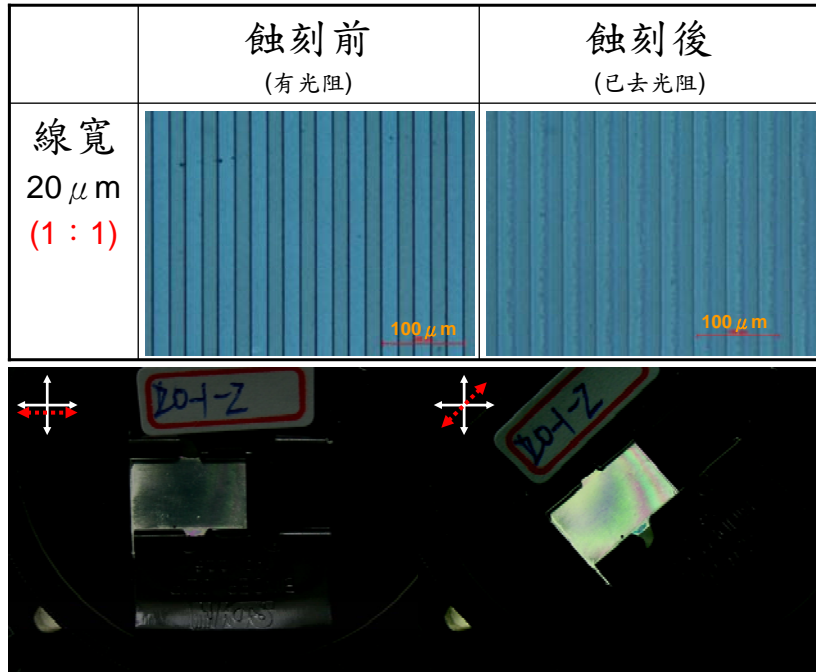


圖 4-3-5 $20\ \mu\text{m}(1:1)$ 蝕刻前有光阻和蝕刻後已去光阻的基板用光學顯

微鏡拍照，並將液晶樣品置於兩個互為垂直的偏光鏡中

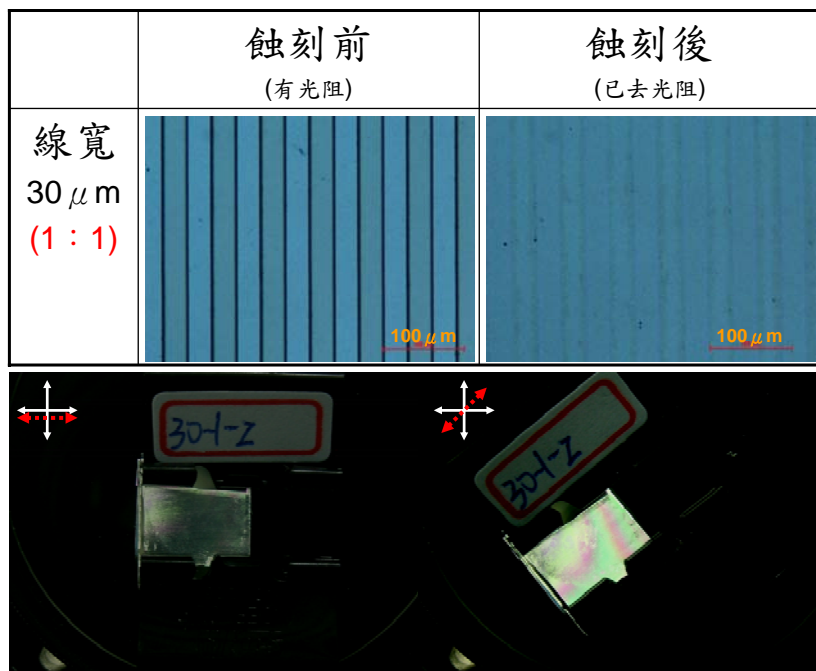


圖 4-3-6 $30\ \mu\text{m}(1:1)$ 蝕刻前有光阻和蝕刻後已去光阻的基板用光學顯

微鏡拍照，並將液晶樣品置於兩個互為垂直的偏光鏡中

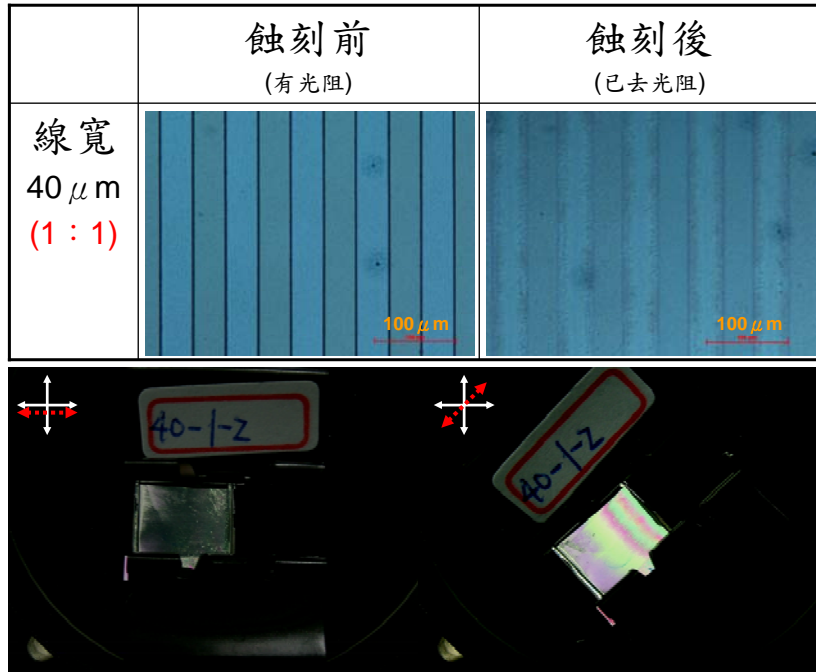


圖 4-3-7 40 μm (1:1)蝕刻前有光阻和蝕刻後已去光阻的基板用光學顯

微鏡拍照，並將液晶樣品置於兩個互為垂直的偏光鏡中

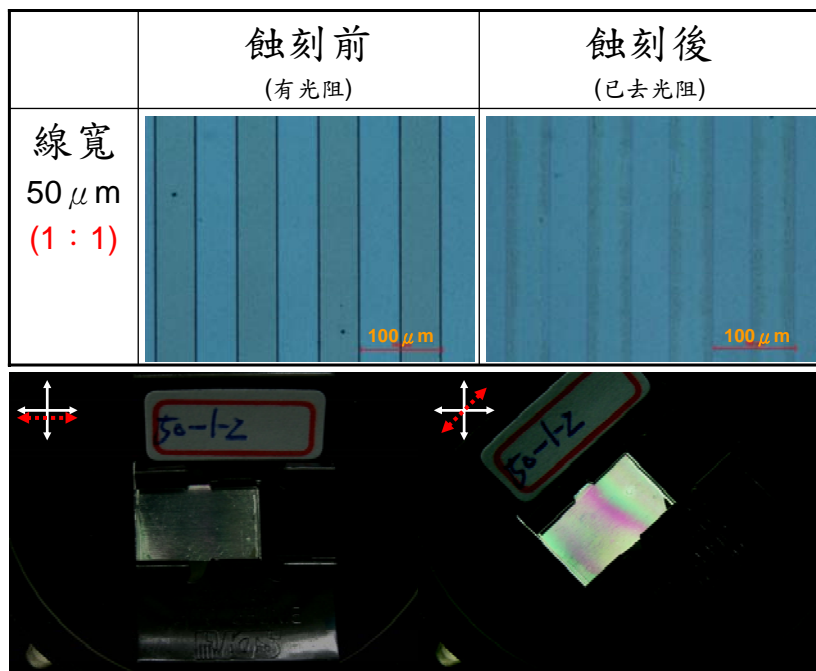


圖 4-3-8 50 μm (1:1)蝕刻前有光阻和蝕刻後已去光阻的基板用光學顯

微鏡拍照，並將液晶樣品置於兩個互為垂直的偏光鏡中

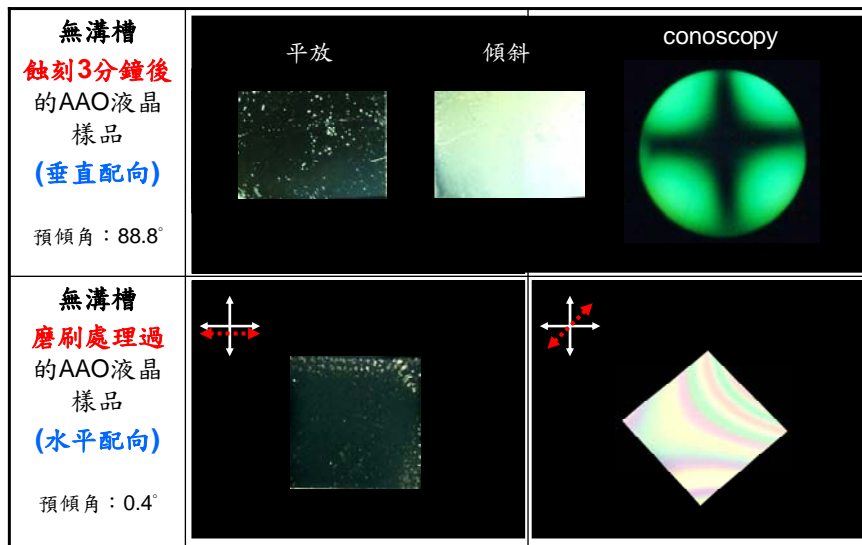


圖 4-3-9 將沒有溝槽的液晶樣品置於兩個互為垂直的偏光鏡中

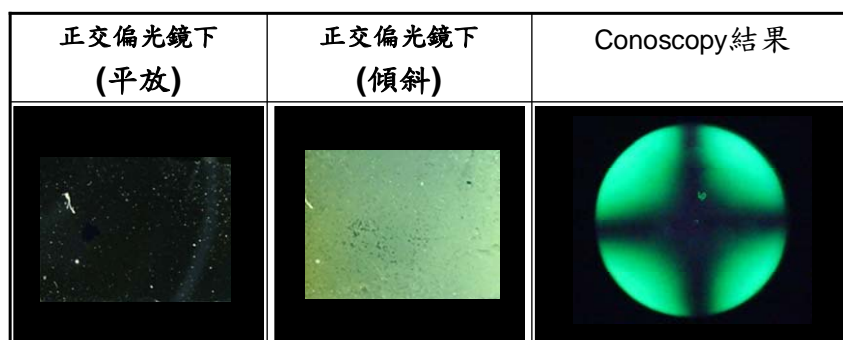


圖 4-3-10 沒有蝕刻過且沒有磨刷過的氧化鋁液晶樣品結果

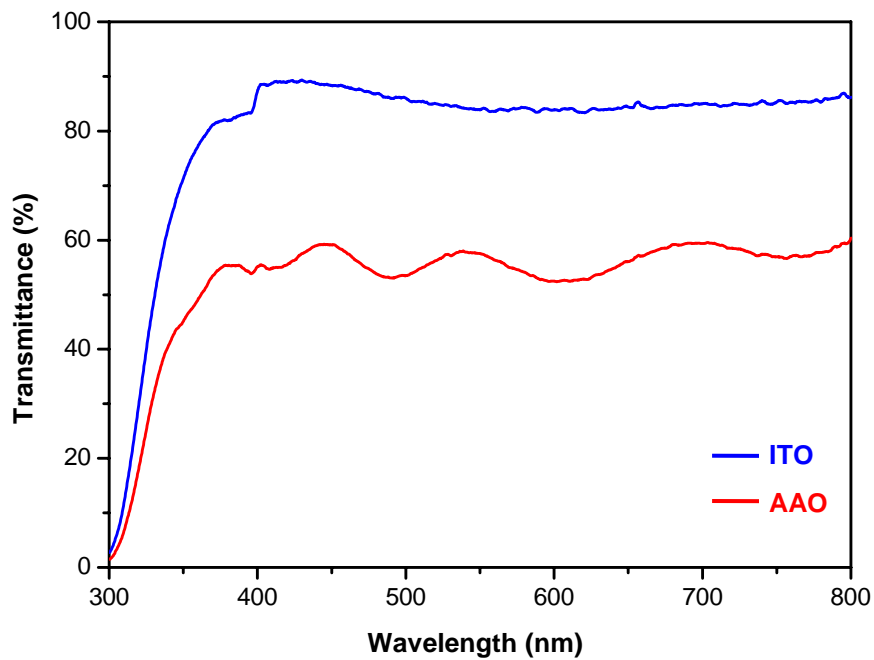


圖 4-3-11 ITO 玻璃和 40V 一次陽極處理氧化鋁的穿透光譜

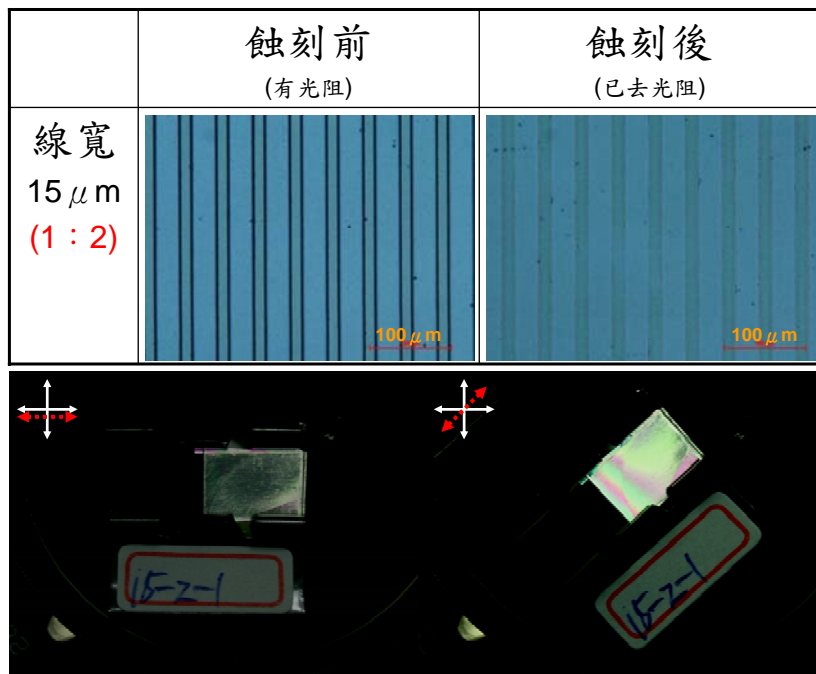


圖 4-4-1 15 μm (1:2)蝕刻前有光阻和蝕刻後已去光阻的基板用光學顯微鏡拍照，並將液晶樣品置於兩個互為垂直的偏光鏡中

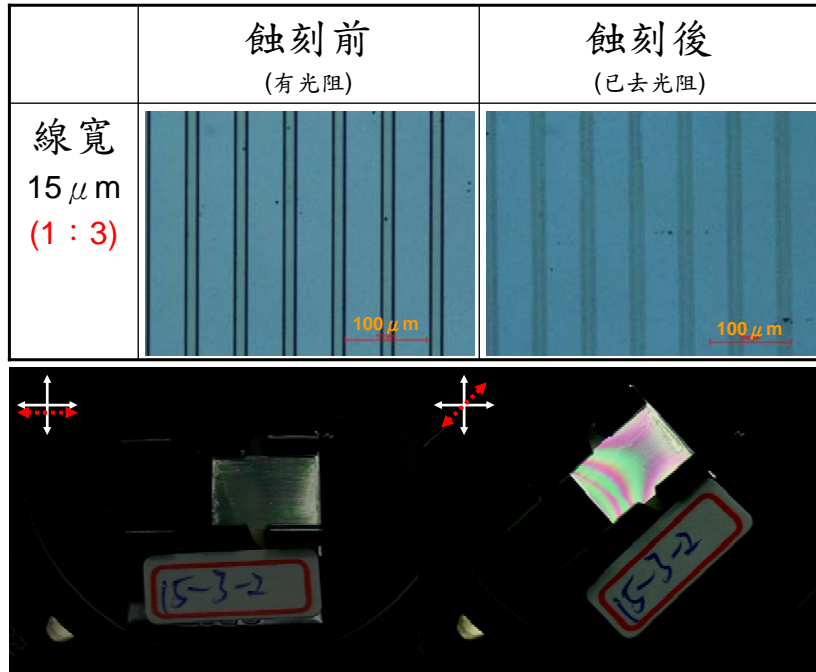


圖 4-4-2 $15\ \mu\text{m}(1:3)$ 蝕刻前有光阻和蝕刻後已去光阻的基板用光學顯微鏡拍照，並將液晶樣品置於兩個互為垂直的偏光鏡中

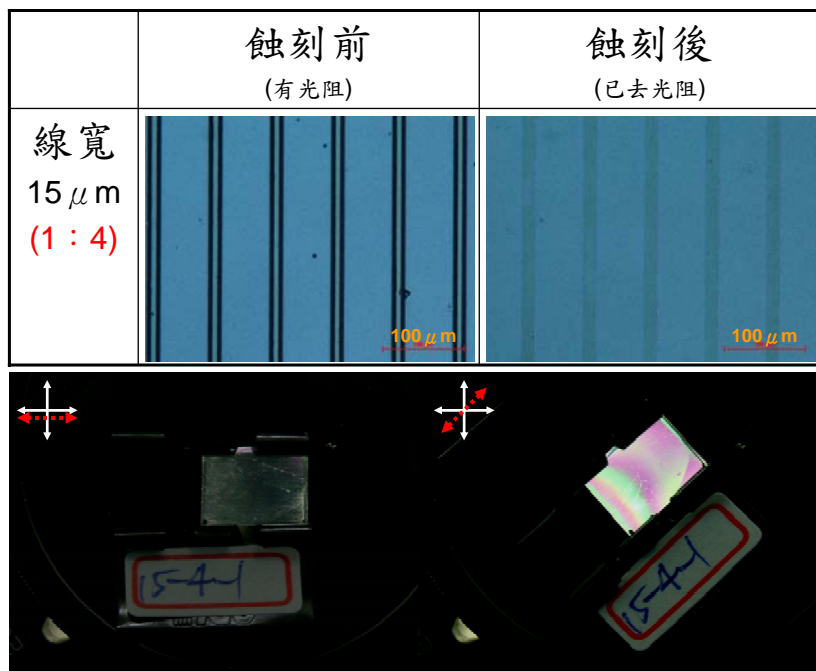


圖 4-4-3 $15\ \mu\text{m}(1:4)$ 蝕刻前有光阻和蝕刻後已去光阻的基板用光學顯微鏡拍照，並將液晶樣品置於兩個互為垂直的偏光鏡中

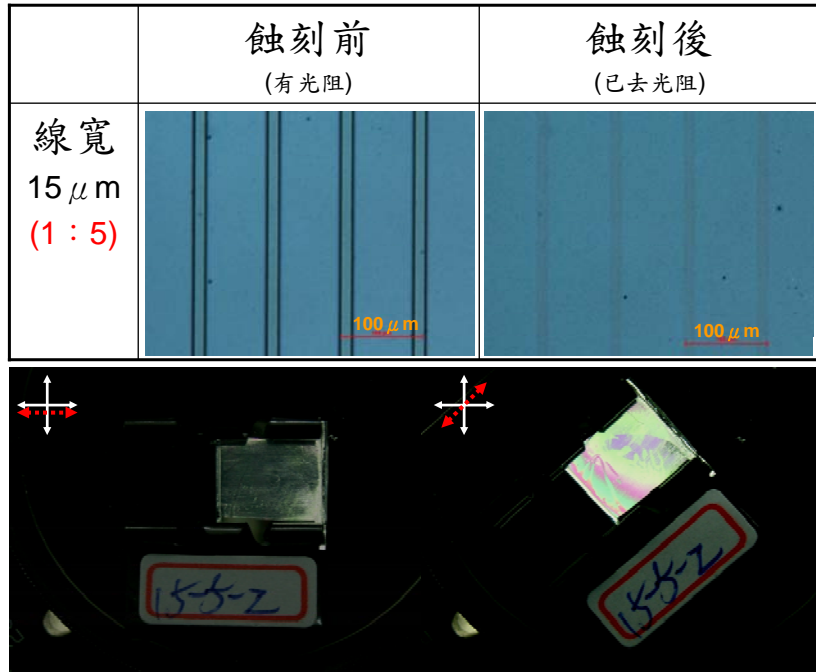


圖 4-4-4 15 μm (1:5)蝕刻前有光阻和蝕刻後已去光阻的基板用光學顯微鏡拍照，並將液晶樣品置於兩個互為垂直的偏光鏡中

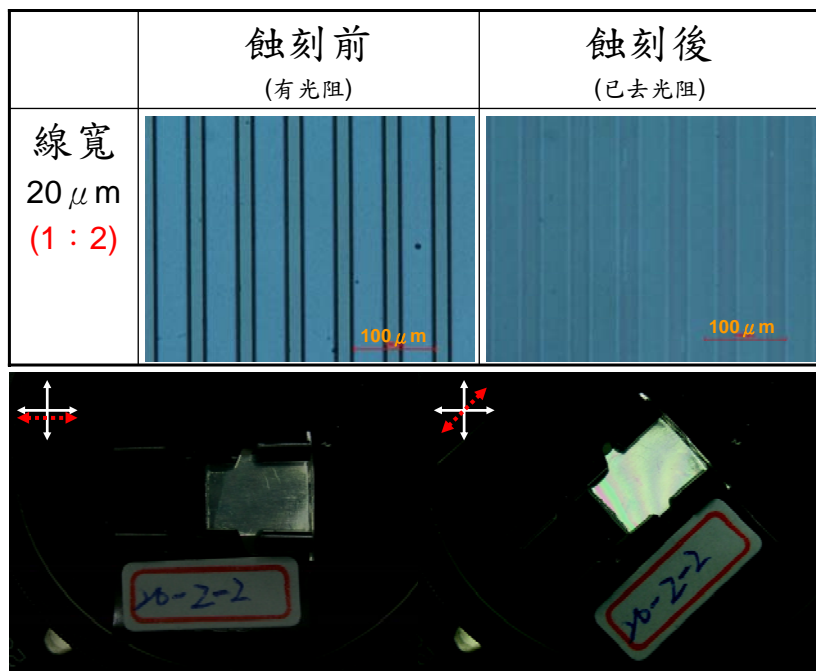


圖 4-4-5 20 μm (1:2)蝕刻前有光阻和蝕刻後已去光阻的基板用光學顯微鏡拍照，並將液晶樣品置於兩個互為垂直的偏光鏡中

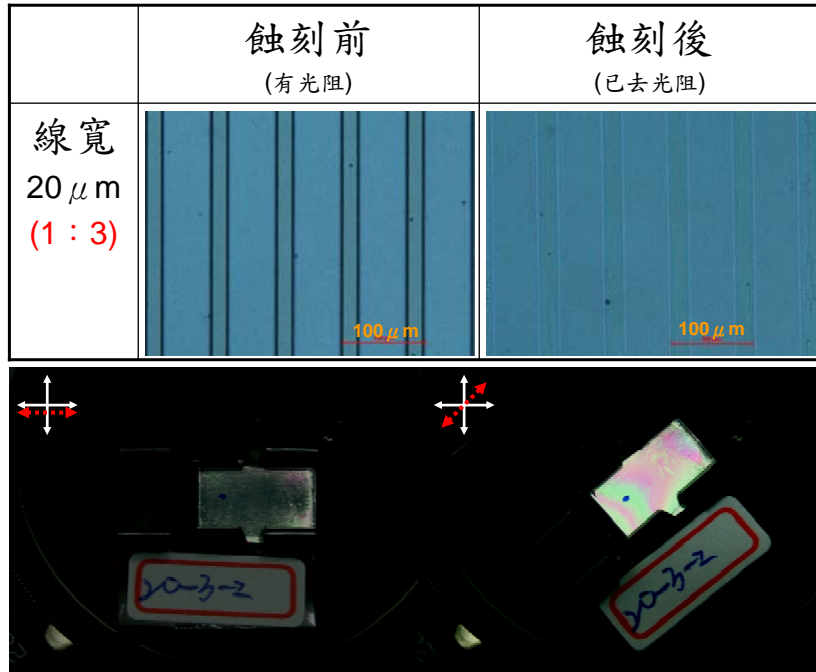


圖 4-4-6 $20\mu\text{m}(1:3)$ 蝕刻前有光阻和蝕刻後已去光阻的基板用光學顯

微鏡拍照，並將液晶樣品置於兩個互為垂直的偏光鏡中

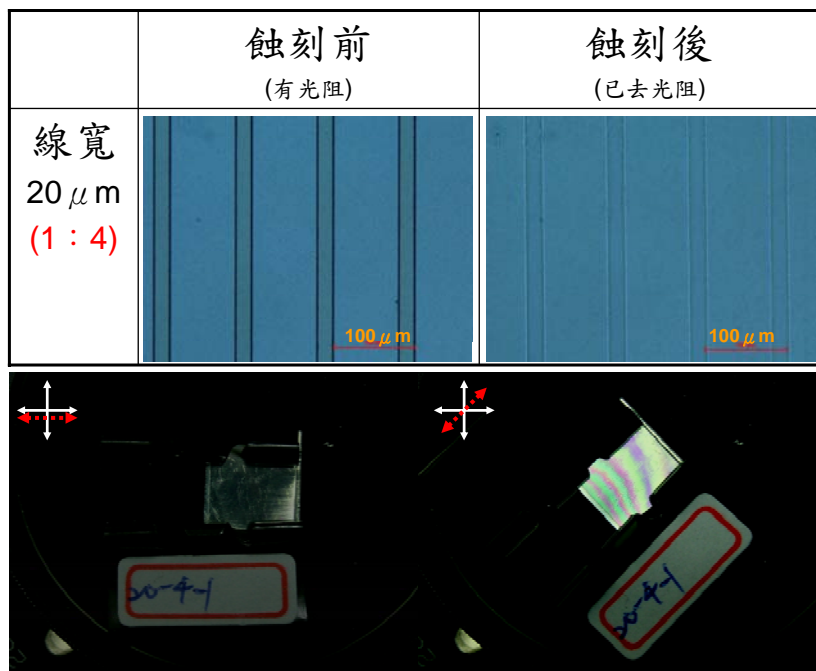


圖 4-4-7 $20\mu\text{m}(1:4)$ 蝕刻前有光阻和蝕刻後已去光阻的基板用光學顯

微鏡拍照，並將液晶樣品置於兩個互為垂直的偏光鏡中

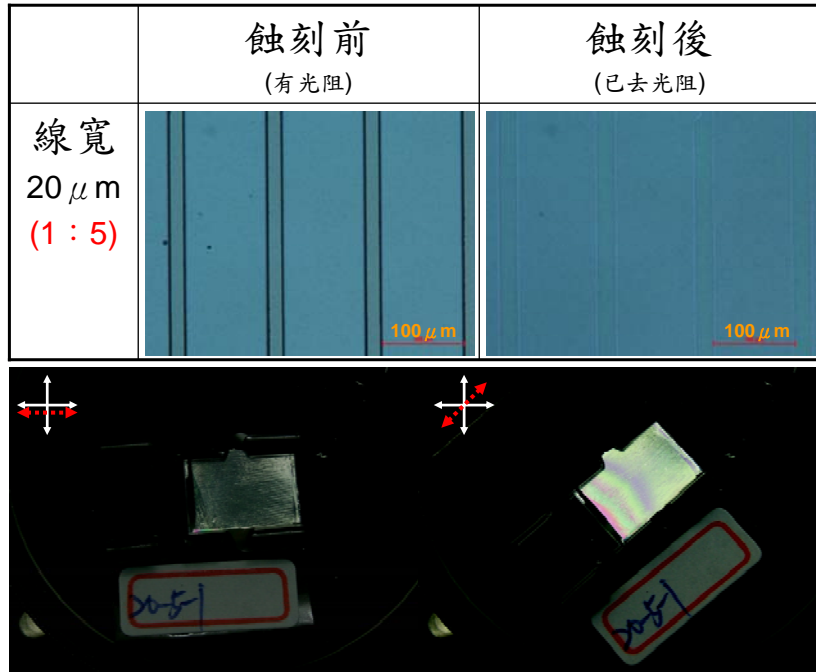


圖 4-4-8 20 μm (1:5)蝕刻前有光阻和蝕刻後已去光阻的基板用光學顯

微鏡拍照，並將液晶樣品置於兩個互為垂直的偏光鏡中

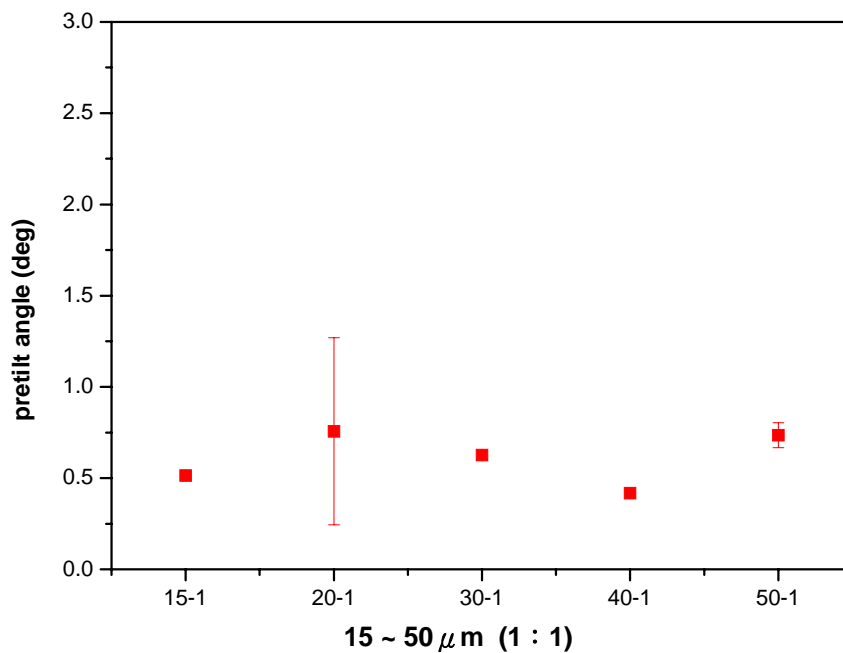


圖 4-5-1 不同線寬等比例的氧化鋁溝槽液晶樣品與預傾角之關係

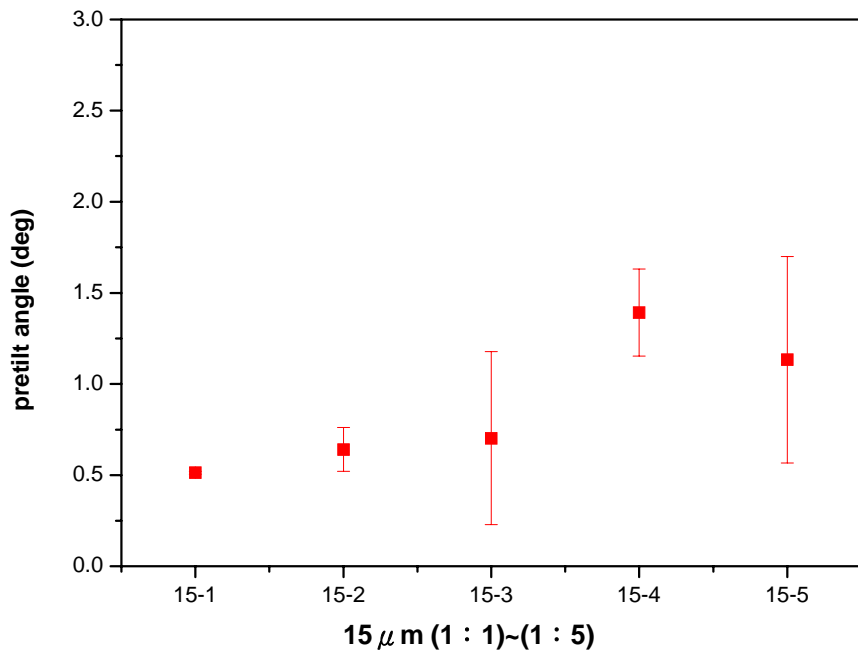


圖 4-5-2 15 μm 不等比例的氧化鋁溝槽液晶樣品與預傾角之關係

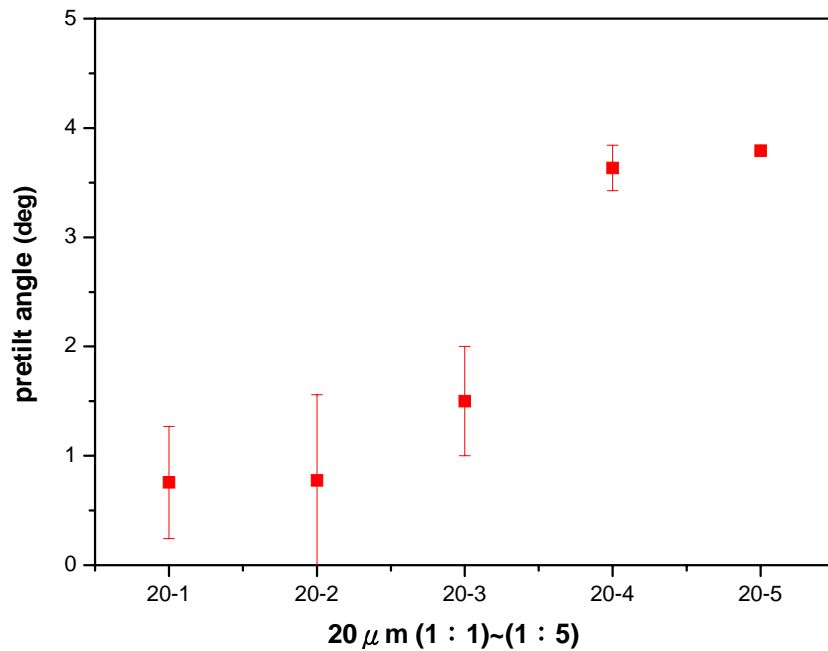


圖 4-5-3 20 μm 不等比例的氧化鋁溝槽液晶樣品與預傾角之關係

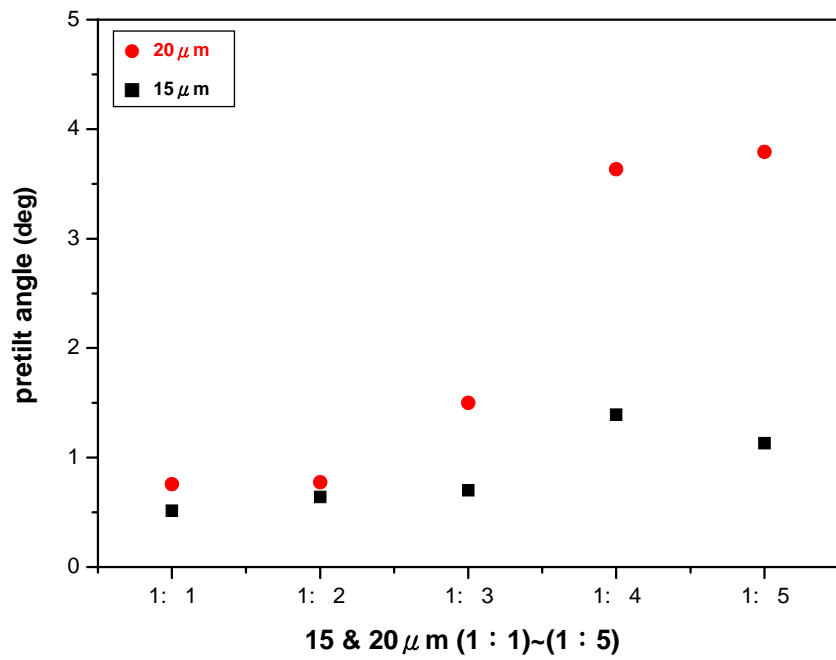


圖 4-5-4 不同線寬不等比例的氧化鋁溝槽液晶樣品與預傾角之關係

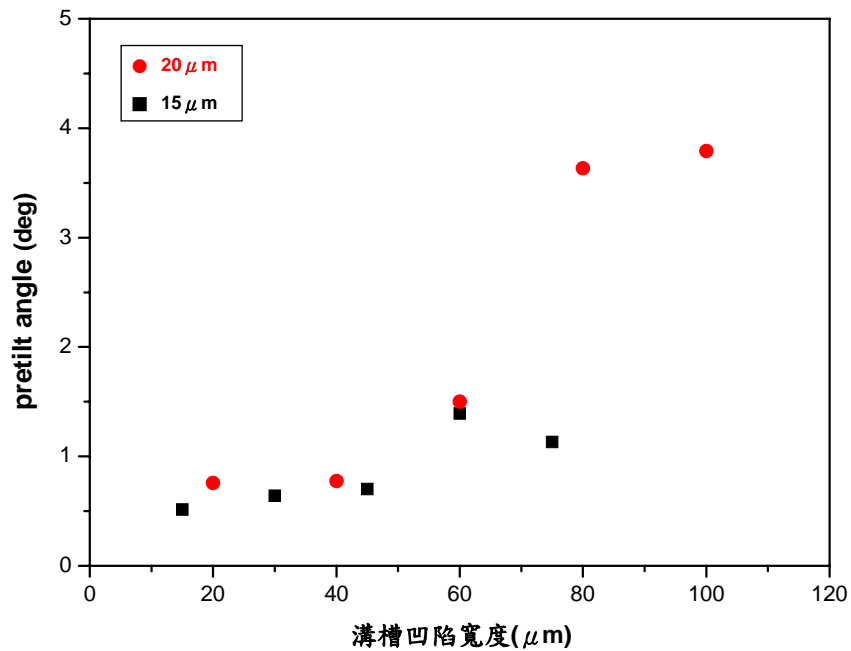


圖 4-5-5 不同溝槽凹陷寬度液晶樣品與預傾角之關係