

國立交通大學

機械工程學系

碩士論文

滾壓成形超薄導光板設計與製作之研究



**The Study of design and manufacture of thin
light guide plate for Roll to Roll UV embossing
process**

研究生：許正昇

指導教授：周長彬 教授

中華民國九十八年六月

滾壓成形超薄導光板設計與製作之研究

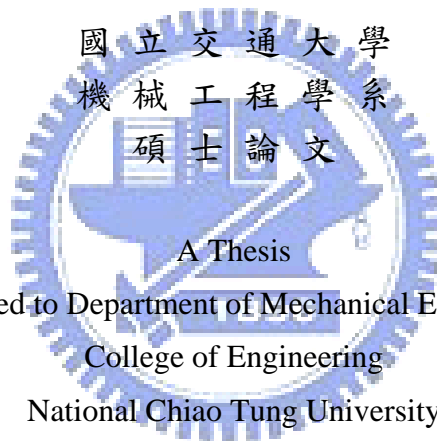
The Study of design and manufacture of thin light guide plate
for Roll to Roll UV embossing process

研究生：許正昇

Student : Cheng-Sheng Hsu

指導教授：周長彬

Advisor : Chang-Ping Chou



Submitted to Department of Mechanical Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Mechanical Engineering

June 2009

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年六月

滾壓成形超薄導光板之設計與製作研究

學生：許正昇

指導教授：周長彬

國立交通大學機械工程學系

摘要

光電產品為了因應市場需求，必須符合重量輕、體積小、使用效率高等設計要求，所以許多廠商爭先投入研究、改良產品以增加產品在市場上的優勢，其中改良產品本身的背光模組之導光板部分，不但可以達到節省成本、減輕重量、減少厚度，若能結合更快速、更有效率的製作製程，可提高產能、減少製作時間，將可大幅提高產品競爭優勢。

不同於傳統射出成形製作導光板，本研究目的在於利用滾壓製程製作超薄導光板，研究過程從導光板設計、模仁製作、UV 滾壓製作導光板到導光板光學檢測各方面均有討論，並針對銅板蝕刻與熱熔製程兩種不同方式製作的模仁所滾壓製作的導光板做比較，分析兩者間的差異，以便未來應用於導光板或是微光學元件製作上。

實驗結果顯示，滾壓 UV 轉印製作導光板製程可以製作薄形、大面積尺寸的導光板，雖然技術上需要經過複雜的測試過程與精細的參數設定，不過滾壓 UV 轉印技術仍是未來製作導光板的重點技術之一。

關鍵字：導光板、滾壓製程、熱熔製程

Design and Manufacturing of Ultra-thin Light Guide Plate using Roll-to-Roll UV Embossing Process

Student: Cheng-Sheng Hsu

Advisors: Chang-Pin Chou

Department of Mechanical Engineering
National Chiao Tung University

ABSTRACT

From market consideration, electron products such as light guide plate (LGP) of black light unit must conform to light-weight, small-volume, and high-efficiency, therefore a lot of manufacturers invested time and money for the improvement. The purpose of this research is to design and manufacture a LGP by using roll-to-roll UV embossing process which is different than the conventional injection molding processing.

This research started with the designing of a mold, and then a LGP was fabricated by the UV roll-to-roll embossing process. Finally, the optical properties were measured. Another molds made with etching process and reflow process were also fabricated for the comparison. The difference among these molds are discussed. The feasibility of future use of micro optics device was studied.

From the result of this study, the manufacturing of a thin and large LGP using roll-to-roll UV embossing process was achieved. Although more tests are needed to demonstrate its advantage, it is still an important technology for LGP in the future.

KEY WORD: Light Guide Plate, Roll to Roll, Reflow

致 謝

首先誠摯感謝指導教授周長彬老師，老師的細心教導與研究上的協助，使得兩年來的碩士生活獲益良多，無論是學習方面的建議與處世上的智慧，均給予學生莫大的受益。

感謝工研院的張延瑜博士提供在工研院工讀的機會，能讓我在工研院機械所中學習做研究的精神與堅持，不厭其煩的指正我的缺失，並且當我有疑惑時為我解惑，也十分感謝工研院機械所的周敏傑博士、嘉仁學長、文勛學長、家瑋學長、友南學長、沁如學姐、俊葳學弟，當我在工研院時給予許多協助。

412 實驗室在兩年的碩士求學生活帶給我許多歡樂，柏青、碩宇、家豪、良諺、正中學長們，你們的考古題讓我度過許多難關；元駿、貞慈、肇鴻、吉修、明良學弟學妹們，你們的幫忙與搞笑讓我銘記於心；當然最難忘的就是一起奮戰的同學，凱憶、佳杰、安佑、柏翰(其澧)，無聊的打屁、平常的美食之旅、期末考前的衝刺、口試前的慌張、口試後的放肆……，這些的點點滴滴讓我的兩年碩士生活絢爛多彩，謝謝你們。

最後要感謝我的家人，謝謝你們的支持並包容我的任性，讓我回到校園一圓碩士夢。在我求學過程中總是鼓勵我、支持我，並且以我為傲。謹以此文獻給支持我的家人，謝謝您們。

總目錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌謝.....	iii
總目錄.....	iv
圖目錄.....	v
表目錄.....	viii
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究動機.....	7
1.3 研究目的.....	9
第二章 文獻回顧.....	10
2.1 現今導光板製作方式.....	10
2.2 微結構模仁製作.....	12
2.3 導光板製作技術介紹.....	26
第三章 實驗流程與實驗步驟.....	37
3.1 實驗流程.....	37
3.2 實驗與檢測設備介紹.....	40
3.3 導光板光學設計與模擬.....	46
3.4 鋼板蝕刻製作模仁與導光板樣本測試.....	63
3.5 熱熔製程製作模仁與導光板樣本測試.....	72
3.6 滾壓參數對滾壓成形的影響.....	81
第四章 實驗結果與討論.....	86
4.1 光學模擬.....	86
4.2 鋼板蝕刻製作模仁與導光板樣本測試.....	101
4.3 熱熔製程製作模仁與導光板樣本測試.....	113
4.4 滾壓參數對滾壓成形的影響.....	119
第五章 結論.....	125
5.1 光學模擬.....	125
5.2 平面壓印製作與滾壓製程製作兩者的比較.....	126
5.3 熱熔製程製作模仁與鋼板蝕刻製作模仁兩者的比較.....	126
5.4 滾壓製程參數對導光板成形的影響.....	126
第六章 參考文獻.....	128
附錄.....	132

圖目錄

圖 1-1	背光模組之應用	5
圖 1-2	液晶顯示器的結構示意圖	5
圖 1-3	背光模組的構成	6
圖 1-4	光全反射示意圖及導光板破壞光全反射示意圖.....	6
圖 1-5	Omron 所使用的新型微結構.....	6
圖 1-6	傳統網點式微結構	6
圖 1-7	利用不同加工方式可以得到不同微結構.....	8
圖 2-1	現今導光板之射出成型製作過程	11
圖 2-2	鋼板蝕刻所得到微結構，其形狀精密度不佳、表面粗糙度也不好...	20
圖 2-3	R-cut & V-cut 微切削加工圖	20
圖 2-4	利用 V-cut 所製作的微結構.....	20
圖 2-5	V-cut 與 Fly-cut 加工法與刀具之不同.....	21
圖 2-6	飛刀加工(Fly-cut)可以依照不同工件材料、不同加工形狀來更換刀具及加工方位.....	21
圖 2-7	加工過程誤差產生之流程圖	22
圖 2-8	LIGA 製程示意圖	22
圖 2-9	電鑄技術內容	23
圖 2-10	雷射加工+reflow+類 LIGA 製程製作微透鏡模仁.....	23
圖 2-11	以拖拉方式製作非球面微透鏡陣列	24
圖 2-12	熱熔過程光阻變化情況	24
圖 2-13	熱熔製程+反應離子蝕刻製作微透鏡模仁.....	24
圖 2-14	射出成型流程	32
圖 2-15	噴墨式導光板製作示意圖	32
圖 2-16	噴墨式印刷設備	32
圖 2-17	分佈網點可依照位置不同而改變大小、分佈疏密.....	33
圖 2-18	滾筒製作 (a)滾筒微切削加工(b)平面模仁包覆滾筒.....	33
圖 2-19	滾壓設備與流程	34
圖 2-20	以 Roll to Roll 的方式生產 OPF 並將 OPF 附著於製作的導光板上.	34
圖 2-21	結合 OPF 的導光板與傳統背光模組的比較.....	34
圖 2-22	OPF 的實際應用	35
圖 2-23	微熱壓成形製程示意圖	35
圖 3-1	實驗流程圖	39
圖 3-2	紫外光固化設備	43
圖 3-3	滾壓製程流程示意圖	43

圖 3-4	輝度檢測儀	43
圖 3-5	導光板樣本組立在架構進行光學量測.....	44
圖 3-6	實驗中所使用的 LED.....	44
圖 3-7	原子力顯微鏡	44
圖 3-8	場發射掃描電子顯微鏡	45
圖 3-9	紫外光曝光燈箱	45
圖 3-10	紫外光曝光燈箱所發出光波長與強度對照圖.....	45
圖 3-11	SPEOS 光學模擬軟體	59
圖 3-12	SPEOS 模擬運算的流程	59
圖 3-13	標準模組組立後量測，導光板上各點光場大致相同(水平、垂直)..	60
圖 3-14	點光源的輝線與暗帶現象	60
圖 3-15	疏密網點佈點，圖中淡黃色元件為 LED 的位置.....	61
圖 3-16	模擬數據樣本的光源採取為導光板中線照度.....	61
圖 3-17	鋼板蝕刻所使用的光罩	69
圖 3-18	鋼板蝕刻完成後的導光板模仁	69
圖 3-19	鋼板蝕刻模仁所製作的導光板樣本(OM).....	70
圖 3-20	鋼板蝕刻模仁所製作的導光板樣本(SEM).....	70
圖 3-21	鋼板蝕刻網點粗糙度分析(AFM)	70
圖 3-22	將平面鋼板模仁包覆於滾筒上並且製作導光板.....	71
圖 3-23	滾壓製作導光板樣本	71
圖 3-24	將導光板組立至模組上進行光學檢測.....	71
圖 3-25	滾壓製作導光板樣本粗糙度分析(AFM).....	71
圖 3-26	光阻塗佈厚度量測(軟烤後)	78
圖 3-27	最初光阻圖形的 SEM 圖 (圖為直徑 50 μm).....	78
圖 3-28	持溫溫度 200 $^{\circ}\text{C}$ 、持溫時間四小時升溫示意圖	78
圖 3-29	熱熔參數數值熱熔後之 OM 圖，放大倍率為 500 倍.....	79
圖 3-30	50 μm 與 20 μm 的球形網點 SEM 圖	79
圖 3-31	以原子力顯微鏡量測數值與理想值所模擬出的輪廓做比較(50 μm)..	80
圖 3-32	以原子力顯微鏡量測數值與理想值所模擬出的輪廓做比較(20 μm)..	80
圖 3-33	脫模失敗的導光板與導光板模仁	84
圖 3-34	導光板兩端張力越大，正向力越大，捲材上的殘留層會越薄.....	84
圖 3-35	量測厚度不同導光板的殘留層	84
圖 4-1	分段式網點陣列佈點之模擬結果與照度分佈值.....	95
圖 4-2	連續式網點交錯佈點之模擬結果與照度分佈值.....	95
圖 4-3	以不同高斯角度進行光學模擬，其照度分布(a)與照度均勻性(b)的變化	96
圖 4-4	以不同高斯散射比例進行光學模擬，其照度分布(a)與照度均勻性(b)的	96

變化.....	97
圖 4-5 以不同漫射散射比例進行光學模擬，其照度分布(a)與照度均勻性(b)的變化.....	98
圖 4-6 各吸收係數與最小間距對出光效率之關係圖.....	99
圖 4-7 導光板網點位置以 AutoCAD 形式輸出位置.....	99
圖 4-8 設計吸收係數為 $8.5 \times 10^{-3} \text{mm}^{-1}$ 對應吸收係數的趨勢分佈圖.....	108
圖 4-9 設計吸收係數為 $1.7 \times 10^{-2} \text{mm}^{-1}$ 對應吸收係數的趨勢分佈圖.....	108
圖 4-10 設計吸收係數為 $3.4 \times 10^{-2} \text{mm}^{-1}$ 對應吸收係數的趨勢分佈圖.....	108
圖 4-11 模擬與量測的數值分析.....	109
圖 4-12 殘留層厚度過厚會造成色偏的現象.....	122
圖 4-13 微結構轉印比較.....	122
圖 4-14 微結構轉印缺陷.....	123
圖 4-15 微結構轉印缺陷.....	123
圖 4-16 微結構轉印缺陷.....	123



表目錄

表 2-1	可能對加工精度造成影響的各種因素.....	25
表 2-2	各種模仁加工的比較	25
表 2-3	各種導光板製作方式較	36
表 3-1	畫素內的模擬光線數與誤差的關係	62
表 3-2	張力與所殘留厚度對照表	85
表 4-1	初步模擬佈點的比較	100
表 4-2	吸收度不同與最小間距不同所做的光學模擬比較.....	100
表 4-3	吸收度測試表	110
表 4-4	組裝誤差量測表	110
表 4-5	鋼板蝕刻與光學模擬之比較	111
表 4-6	鋼板蝕刻滾壓製程與平面壓印之比較.....	112
表 4-7	熱熔製程與光學模擬的比較	117
表 4-8	鋼板蝕刻與熱熔製程的比較	118
表 4-9	調配網點填充率其光學性質的比較	118
表 4-10	殘留層厚度不同的光學比較	124
表 4-11	導光板 UV 光強度與成形速度對照表.....	124



第一章 緒論

1-1 研究背景

近年來，光電產業展蓬勃，每年均有大量新式的光電產品問世，例如 PDA、手機、衛星導航系統、數位相機、液晶電視，如圖 1-1 所示 [1] 等等。此類產品大多使用液晶顯示器做為資訊即時輸出的介面，LCD(Liquid Crystal Display)液晶顯示器的作動原理主要是以電流與電壓刺激液晶分子產生點、線、面配合背部光源構成畫面。其原理是在玻璃基板與薄膜晶體(TFT 液晶分子組)將液晶分子通電，產生偏轉角度，藉由光源產生暗影構成畫面，透過彩色過濾鏡組可改變顏色之深淺，顏色之決定則是控制在三層彩色濾光片上，藉由不同濾鏡產生不同色階，透過三原色混色達到顯示彩色畫面，液晶顯示器構造如圖 1-2[1]。由於液晶本身不發光，所以此類光電產品均藉由內部的背光光源所產生的光作為顯示器光源。利用產品系統內的背光模組將光以反射或是折射的方式，導出光至顯示的螢幕上，再由液晶顯示資訊。

然而現今電子產品均著重於重量輕、厚度薄、製作成本低、產品使用壽命長四個大原則。而且液晶顯示器大多為產品中必備的，其所占面積、厚度以及重量、生產成本等等都是光電產品設計製造時所需要考量的因素，若是能使液晶顯示器中的背光模組在整體產品中所占

的重量減輕、厚度變薄以及製作成本降低，就能增加產品本身重量輕、厚度薄的優勢，降低光電產品的製作成本，讓產品在市場上更有競爭力。

液晶顯示器中一般背光模組的組成如圖 1-3 所示，構造有發光源、反射板、導光板、擴散片、稜鏡片等等[2]。發光源的作用為提供光線，一般為數顆發光二極體(LED)或是冷陰極燈管(CCFL)為發光源，反射片的作用是将散射的光線反射至導光板，導光板的作用是将光源所提供的點光源或是線光源，均勻導出變成面光源，用以做為液晶顯示器的光源，擴散片則是將導光板所導出的光線打散，讓光線更加均勻分佈在顯示範圍內，並且遮蔽一些視覺上的缺陷(如亮點、灰線等)，稜鏡片的作用是将導光板所導出的光線折射到正面視角，讓光線更集中。其中導光板主要目的為利用導光板上所設計的精結構分佈來破壞光源在導光板內所造成全反射，如圖 1-4 所示利用微結構或示反光物質破壞光全反射的情況[3][4]，並將光源均勻的導出，讓發光源所提供的點光源或是線光源導正為面光源，所以導光板的光學設計與製造是背光模組製造過程中十分重要的一環。

液晶顯示產品在降低製作成本以及輕薄化的考量上，改善背光模組是一重大課題。改善背光模組的方法可以從多方面著手，包括導光板微結構改良、加強發光源強度、稜鏡片與導光板功能結合、創新背

光模組製作方法等等改善方法，其中導光板微結構改良與創新背光模組製作方法，是許多廠商與研發單位從事研究的方向。導光板微結構改良可增加光源的利用率，讓光透過導光板後減少能量被導光板吸收，達到輝度提升的目的，並且利用導光板上的微結構控制光線射出方向與出光均勻化，例如日本歐姆龍以新式的微結構，如圖1-5所示，取代不同於傳統的網點式微結構，如圖1-6所示，新式微結構的目的在於利用結構的形狀調整出光方向、增加光能量使用率，並且導正折射光出光方向，可以在減少光學膜片的情形下，一樣做到出光均勻化的效果[5][6][7]，或是改變導光板網點分佈狀況，用更少的LED來達到相同的效果，LED光源使用數量減少就代表著成本減少[8]；另一方面就是創新背光模組製作方法，在發光源、導光板、稜鏡片製作上利用不同材質或是改變製作方法將其厚度變薄、體積變小，或是功能互相結合等等，例如日本宮川的噴墨式導光板製作技術，利用噴墨印刷的方式製作導光板，導光板製作過程不須製作成形所用的模仁，而且可以隨時修正設計及網點位置，減化設計與製作模仁所需要的時間，也可製作大面積的導光板[9]，或是利用UV滾壓成型的方式製作導光板，在滾筒上刻劃出導光板網點原型，藉由滾壓並利用UV樹脂固化成形，形成導光板上的微結構，此種生產方式不僅可以大量連續式製作導光板，也可以製作大面積尺寸的導光板[10][11]，另外結合滾壓

的TRADIM /KURARAY 滾壓貼合製程，將導光板與擴散片、及稜鏡片等的光學薄膜，利用新型的滾壓壓印技術，將其結合做出總和厚度較薄的複合型導光板(OPF, Optical-Patterned Film)，減少背光模組整體的厚度[2]。背光模組的改善中，多是對於導光板本身做出改良與結合功能型的薄型光學膜片，因為背光模組中所占最大厚度就是導光板的厚度，所以多朝向薄型大面積導光板發展，一方面光學膜片的厚度約佔整體模組的30~40%，所以許多背光模組廠朝減少光學膜片使用數目方向研發[12][13]，結合上述的要求，導光板的製作均朝向輕薄化、出光均勻性佳、整合型功能(降低製作成本)的目標做多方面嘗試，改良及突破現有的製作瓶頸，以降低背光模組的製作成本及減少在產品所占的厚度，達到輕薄化的要求。



背光模組之應用範圍



圖 1-1 背光模組之應用[1]

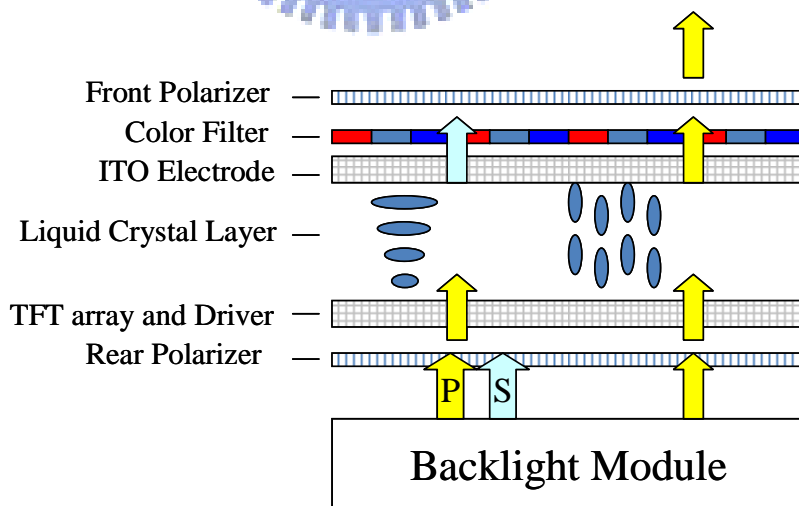


圖 1-2 液晶顯示器的結構示意圖[1]

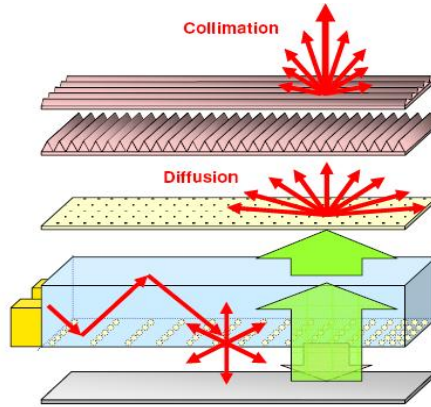
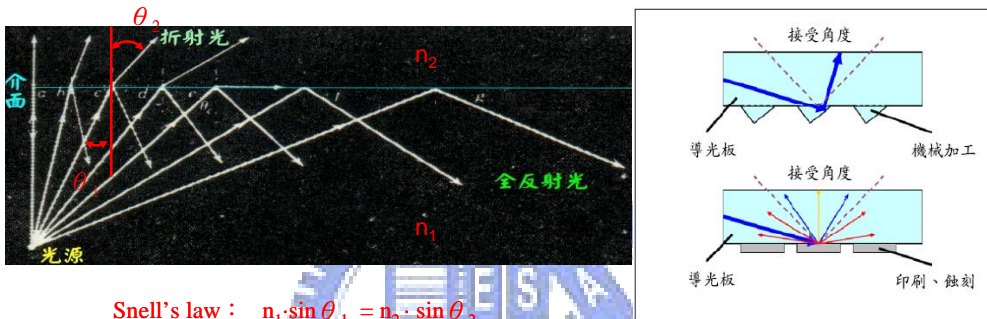
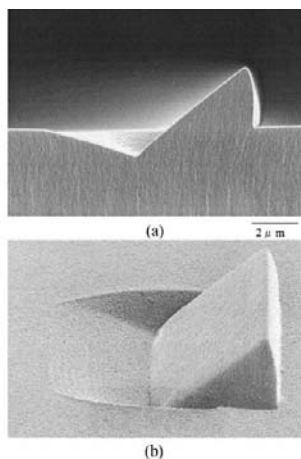


圖 1-3 背光模組的構成[2]



Snell's law : $n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2$

圖 1-4 光全反射示意圖及導光板破壞光全反射示意圖[4]



SEM photographs of a replicated HPC: (a) cross-sectional view and (b) top view.

圖 1-5 Omron 所使用的新型微結構[5]

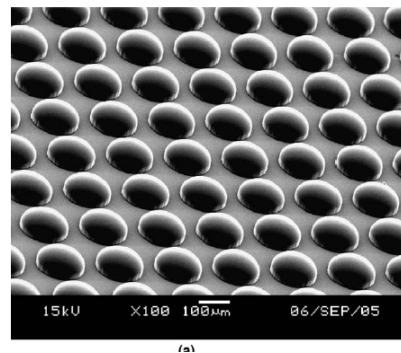


圖 1-6 傳統網點式微結構[5]

1-2 研究動機

目前導光板多以射出成形方式製作，射出成形所使用的模具模仁製作方式會依照所需要的功能不同而有許多種製作方式，如圖 1-7 所示，有蝕刻、噴砂、電鑄、微切削等等 [4]，但是製作模仁時多採用鋼板蝕刻或是微加工製作，鋼板蝕刻技術製作模仁成本低，速度快，但是在形狀精度上無法做到十分地精確，而且鋼板蝕刻製程所能製作的微結構尺寸有不少的限制，例如較小尺寸的微結構、微結構間隔較小、深寬比較高的結構等等無法利用鋼板蝕刻製作。而以微加工方式製造模仁，在加工材料及加工面上多少有限制，例如加工模具材料不能為鋼材，不然微加工所使用的鑽石刀具會與加工工件產生化學親和反應 [14]，而且在加工不同疏密微結構分佈的局部部分，必須分成多次加工，十分費時，雖然微加工製作導光板模仁，精度上十分精確，可以提昇導光板整體輝度，但是在調整局部出光均勻度上，還是略遜於網點分佈的導光板。針對此點，本研究嘗試利用熱熔方式(reflow)製作導光板微結構，經過電鑄翻模製作成模仁，相較於鋼板蝕刻來說，熱熔方式可以製作出形狀精度較佳、尺寸較小的鏡面微結構；相較於微加工製作來說，熱熔方式在調整局部微結構較容易，提升整體出光均勻度。

現今背光技術的趨勢逐漸朝向利用 LED 為背光源，顯示產品的背

光源體積縮小，意謂產品本身有可能更加輕薄化的前提下，導光板本身必須配合變薄，但是依照目前傳統塑膠射出成形的製作方法，在設備上必須改用高射速的射出成型機才能降低導光板的厚度，但是卻會面臨到導光板的平整性和量產性良率的問題。本文在探討利用 UV 固化、滾壓製程製作導光板，不同於傳統的射出成型製程，滾壓(Roll to Roll)製程生產方式為連續式生產，並且能生產大面積、超薄導光板，生產速度較優於射出成形[15]。

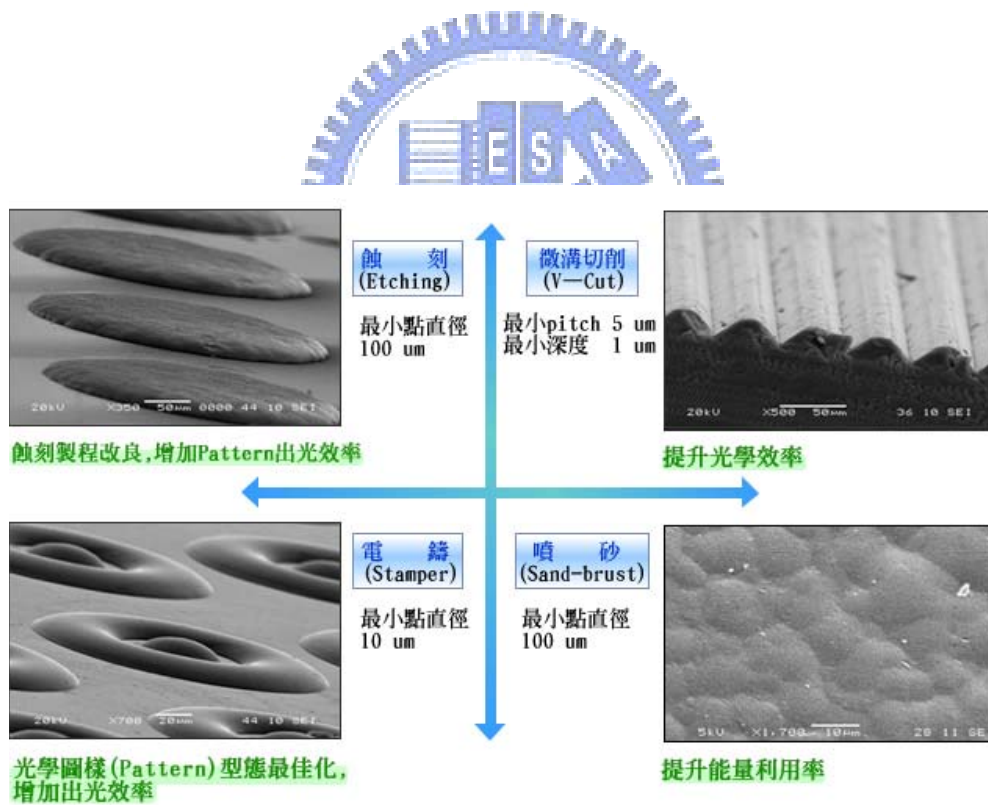


圖 1-7 利用不同加工方式可以得到不同微結構[4]

1-3 研究目的

LCD 顯示器背光模組中的導光板元件，朝薄形化趨勢(厚度降低)發展。超薄型導光板的技術領先廠商主要是日本廠商，如 Omron、Minebea 與 Citizen Electronics 等，都能製作厚度小於 0.3mm 的超薄型導光板，但主要展品都是 3 吋以下小尺寸面板。目前要製作超薄型導光板的主流技術還是使用高射速射出機，但其設備成本偏高與厚度降低有限，故需要開發新式技術以突破薄化瓶頸。本論文研究目的在於研究 Roll to Roll 生產技術在超薄導光板製作上應用之可行性，包含光學設計、微結構模仁製作、平面轉印驗證與滾壓製程驗證等。以滾壓成形製作出對角線 2 吋、厚度為 0.4mm 左右的超薄導光板，並量測光學性質，完成滾壓式導光板製程製作超薄導光板之可行性驗證。

第二章 文獻回顧

導光板的製作方法與製作過程已經有許多文獻探討，此章節就是介紹現今導光板製作方式、導光板模仁製作方式以及較新式的導光板製作技術。

2-1 現今導光板製作方式

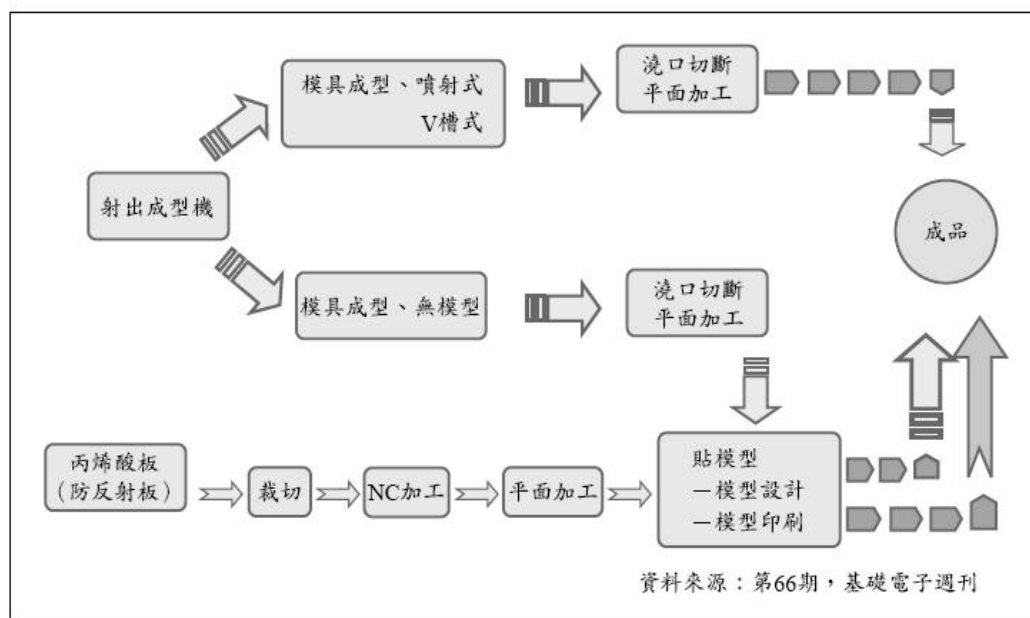
導光板製作方法上分為傳統的印刷式製程及較新式的射出成形製程[4]，其介紹如下：

印刷式導光板製程：利含高發散光源物質(SiO_2 、 TiO_2)的印刷材料，在導光板底面利用網板印刷印上圓形或是方型的擴散點，藉由印刷材料對光線散射的性質，破壞光全反射效應。

射出成形導光板製程：先將破壞全反射光路的光線導出微結構製作於成形模具(Stamper)上，再以射出成形方式將精密模具模仁上微結構點設計轉寫至導光板上。射出成形的流程圖如圖 2-1 所示，利用熔融狀態的導光板材料高壓注入模穴中，瞬間冷卻成形，再經由開模、脫模製作完成，一般中小尺寸導光板通常所使用的模穴為一模四穴或是一模八穴，大尺寸為一模兩穴[4]。

因為導光板的製作技術日新月異，無論是加工技術或是製造技術都成長許多，因此射出成形導光板的製作過程相較於以前容易許多，

不光是模仁加工製作方式進步或是大型射出成型機的引進，而且射出成形所製作的導光板無論在導光性能、能量利用率、均勻度、輝度上均優於印刷式導光板，所以在現今導光板製作上，射出成型製程逐漸取代印刷式製程成為導光板製作的主流 [16]。



導光板之製作流程

圖 2-1 現今導光板之射出成型製作過程[4]

2-2 微結構模仁製作

一般射出成形導光板在製作射出製程所使用的模仁會有依據導光板所需要的尺寸規格與成本、時間等等眾多的考量下，從許多不同的加工方法中選出最合適的模仁加工方法，一般在製作導光板模仁時往往不同規格的需求就會以不同的方式加工模仁，下列介紹其中幾種加工方式：

2-2-1 鋼板蝕刻

鋼板蝕刻技術顧名思義就是利用蝕刻技術在鋼板上蝕刻出所需要的導光板微結構模仁，蝕刻前必須製作蝕刻微結構所使用的光罩並將鋼板上塗佈光阻，曝光顯影後再進行蝕刻液蝕刻製程，蝕刻所需的時間會因為微結構大小、深度、蝕刻液等等因素而影響，鋼板蝕刻模仁完成後，依據鋼板表面性質坐抗沾黏或是電漿表面處理後再做為射出成形或是熱壓、滾壓等等導光板製作方法翻模轉印的模仁。用蝕刻鋼板製作射出成形製程所注模的模穴模具也是現在導光板模仁製作技術的主流之一。

利用鋼板蝕刻製作導光板模仁的優點有可以製作大面積尺寸、可成型圖案多樣化、製作速度快、技術成熟、價格便宜，但是缺點也不少，尺寸精確度不佳、表面過於粗糙，如圖 2-2 所示[17]、鋼板材料

本身的抗腐蝕性及耐磨性差、加工面受限制、有過蝕現象等等，這些優缺點是導光板模仁製作時所必須考量的參數[4][18]。

2-2-2 微切削加工

導光板模仁上的微結構可以利用微切削加工方式製作，依照微切削方式的不同可以分為 V-cut & R-cut 微溝槽切削或是 Fly-cut 單點切削等加工製程。

(1)V-cut & R-cut

V-cut & R-cut 微切削加工技術是利用 V 形或半圓形刀具在導光板模具工件材料上做微切削加工處理，如圖 2-3 所示[19]，可在模仁上切削出 V 型溝或是半圓形溝，而且可以依照刀具的角度與切削的角度來做出較複雜的加工形狀，因為是微刀具加工，所以在模仁加工過程中需要考慮到機械加工時所造成的誤差。

利用 V-cut 或 R-cut 加工導光板模仁的優點是加工精度高、因為切面平滑可以提高導光板輝度 10%~15%，而且能利用刀具與切削角度的變化做到形狀複雜的加工，如圖 2-4 所示，但是微切削加工缺點不少，例如成本高、需要高精定位及加工技術、加工的材料受到限制、需要多次加工程序等等的缺點[20]。

(2)Fly-cut

Fly-cut 又稱飛刀加工，不同於 V-cut、R-cut 類似鉋床的加工機制，Fly-cut 是利用類似銑床的加工機制，將刀具固定於旋轉輪上，旋轉刀具，讓刀具快速旋削模仁材料做微切削加工，如圖 2-5 所示 [20]，因為切削速度快，加工面十分平滑，而且加工機可以視加工工件材料不同或是加工微結構形狀來可更換不同的刀具，對加工件做出研磨、切削等加工形式，或是依照微結構形狀調整刀具旋削加工位置、角度，變換加工的方式做出更加複雜的結構，加工方式如圖 2-6 所示 [20]。

Fly-cut 就像 V-cut 或是 R-cut 一樣是微切削加工，所以具有加工面平滑、精度高、可以加工複雜的微結構、可以視加工工件不同替換不同刀具等優點，但是必須考慮到加工時所產生的誤差值，對誤差做補償或修正，其缺點是成本過高、需要做出加工補正、多次加工過程且費時、生產效率低等等，在這方面的再修正過程與加工需求，需要更進一步的改善 [20]。

隨著半導體與光電產業的發展，工業界對於加工的精度需求也不斷地向上修正，一般來說超精密加工之基本需求可以概括分成四項：(1)高形狀精度，(2)低表面粗糙度，(3)低變質層(damaged layer)，(4)低製造成本，影響加工精度的因素很廣，如表 2-1 所列 [3][4]，

考慮加工的精密度若需到達一定的加工水準，製作時對於加工機械本身在刀具定位、工件定位、刀具本身的精密度等等要求，以及加工時所造成的震動、夾治具的設計等等周遭環境會造成加工產生精度誤差、形狀誤差等等，製作模仁時這些細節必須一一考慮，誤差形成的過程圖，如圖 2-7 所示[19]，加工機具所能加工的導光板微結構，其所能達到的尺寸精密度是十分的重要，不僅僅會影響到設計上的誤差，也會造成導光板在出光效果上不如預期的結果。

2-2-3 微影蝕刻製程 LIGA + 電鑄翻模

以微影、曝光、顯影、蝕刻等半導體製程步驟，利用光罩及光阻在基材上曝光、顯影後，製作出導光板上所設計的微結構，但是由於此時模仁是由光阻與基板所構成的，這樣的結構過於鬆散、不安定，在製程上是無法直接做為模仁使用，所以必須利用電鑄製程或是使用金屬濺鍍的方式，在原本的模仁上製作一層金屬模仁、此時的金屬模仁可以作為製作導光板時所用模具模仁，這種微影蝕刻在利用電鑄上製作模仁的製作過程，稱為微光刻電鑄模造，又稱 LIGA(Lithography electroforming micro molding)，其流程圖如圖 2-8 [21][22]，模仁用於射出成形製程中製作導光板，經過注模、脫模後即形成導光板。

用 LIGA 技術製作導光板模仁的優點有尺寸精密度高、可以製作高

深寬比的微結構、工件材料使用上的範圍十分廣泛、結合電鑄製程方面的技術，可利用添加不同的電鍍材質改變電鍍層模仁的硬度、材質，提高模仁本身耐磨性與抗腐蝕性，增加模具模仁的使用壽命，[圖2-9](#)可以說明電鑄添加物及其具有的特性[\[22\]\[23\]](#)、而且LIGA的製作技術成熟，可以做尺寸較小、結構較複雜的微結構，但是缺點是LIGA製程的製作成本與鋼板蝕刻製程相較下成本高出許多、而且受限於微影曝光製程，生產效率低、不適合製作大尺寸面積，多適用於小尺寸模仁製作。



2-2-4 雷射加工技術、離子束加工技術

(1)雷射微加工 (Lasermachining): 以準分子雷射(Excimer Laser)或超快雷射(Ultra-short pulsed laser)對光阻進行微加工。若再配合熱熔法(reflow)可以製造出光阻之球面微透鏡陣列(micro-lens array)，如[圖2-10\[24\]](#)，後續製程以LIGA中之微電鑄即可製作出其微結構模具。此外，若能結合光罩設計與光罩、加工件間的相對拖拉運動則可製作出非球面之微透鏡陣列，如[圖2-11\[24\]](#)。

(2)電子束加工(E-beam machining): 以高能電子束作為光源，電子束透過掃描法(scan)或單元投影法(cell projection)對光阻進

行曝光且電子束微影技術可以提供100nm 以下的解析度。雖其加工速率十分緩慢但因其高解析度仍是發展的前景十分廣大。此外，低能電子束微影及限角度散射投影式電子束微影技術(Scattering with Angular Limitation Projection Electron Beam Lithography, SCALPEL)之開發將更進一步提升其解析度。

(3)離子束加工(Ion-beam machining): 其實離子束尤其是聚焦離子束(FIB: Focus ion beam)因具有足夠之能量可對許多模具材料如銅、鎳、矽甚至鑽石進行微加工直接製作模具，並不一定需經過微電鑄這道程序。也就是說可以省去微電鑄這道程序造成之誤差、時間及成本。此外，形狀精度之掌控與參數間之關聯性也是一項關鍵[15]。



2-2-5 熱熔製程(reflow) +反應離子蝕刻(RIE)

模仁上微結構製作方式是將微影後成形的光阻或是高分子材料的微小圓柱，經過數學計算及參數試驗，控制微小圓柱光阻的高度及體積，經由回溫過程將光阻軟化，軟化時微小圓柱光阻的表面形狀會逐漸變化，體積形狀變化會趨向於表面能最小的球形，如圖2-12所示，此過程中其作動的驅動力是熱整形的過程中，總表面自由能的減少，表面會逐漸變成鏡面球形微結構形狀，可以藉由控制微小光阻的大小與光阻的厚度來推估熱熔後所形成的微結構，此製作過程的優點

就是所形成的網點表面粗糙度極小近似鏡面，形成形狀接近球面形狀，多用於球形網點與圓柱形結構[25][26]。

熱熔網點的大小、成形的高度可以用數學計算式計算而得，依照鍾、梁等人在研究中可以利用幾個預設的假設為前提下，推導求得光阻熱熔成形後的形狀、高度[27][28]，在熱熔過程前後體積不變、熱熔成形的形狀為球形、光阻與基底的接觸面積為圓形而且熱熔後接觸面積不變等等假設的前提下可以推導得：

如圖2-11，假設 V_{Cyl} 為光阻圓柱體積、 V_{Spr} 為光阻熱熔後體積，可得

$$V_{Cyl} = \pi (L/2)^2 * d \quad (2-1)$$

$$V_{Spr} = \pi h^2 * (3r-h)/3 \quad (2-2)$$

假設熱熔前後光阻體積不變、接觸底面沒有擴張的現象、光阻熱熔成形形狀為球形可得

$$V_{Cyl} = \pi (L/2)^2 * d = \pi h^2 * (3r-h)/3 = V_{Spr} \quad (2-3)$$

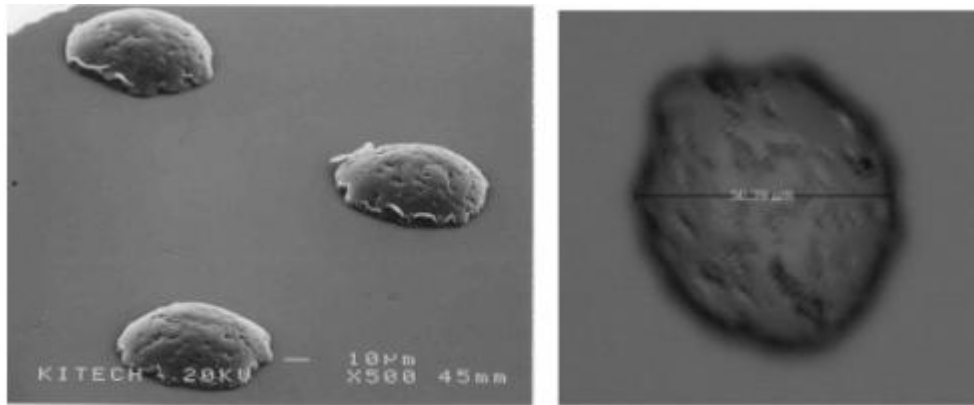
從中公式(2-3)可以得知光阻厚度與熱熔後光阻的高度之關係。

但是一般來說熱整形後所形成之結構如同微影蝕刻後的結構，微結構與基板間連接不安定，無法直接拿來做模仁使用，所以後續過程會再利用反應離子蝕刻(RIE：Reaction Iron Etch)的方式將微結構轉印至基材上或是利用電鑄、翻模的方式製作模仁後做模具使用，製作流程圖如圖2-13所示[17]。

2-2-6 比較

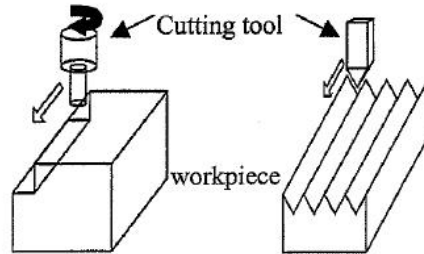
以加工精度、加工面限制、製作成本、技術成熟度、可否大面積製作等等生產考量的因素，對上述的製作模仁的方法做一概略的比較，並製作列表，如表 2-2 所列：





Microscopic and SEM images of etched dots on LGP surface.

圖 2-2 鋼板蝕刻所得到微結構，其形狀精密度不佳、表面粗糙度也不好[17]



微銑削及Micro grooving加工技術示意圖

圖 2-3 R-cut & V-cut 微切削加工圖[19]

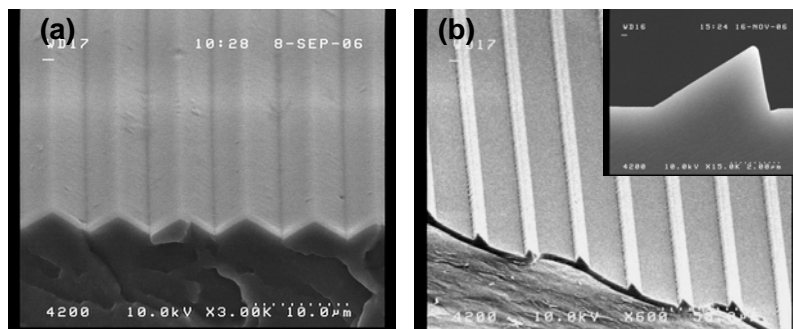


圖 2-4 利用 V-cut 所製作的微結構

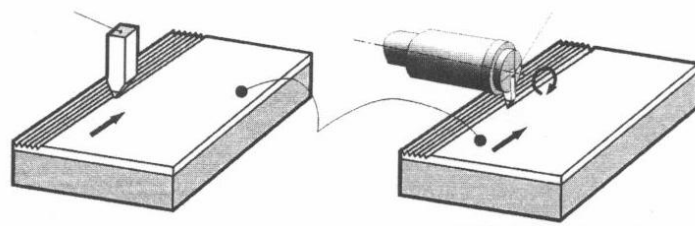


圖 2-5 V-cut 與 Fly-cut 加工法與刀具之不同[20]

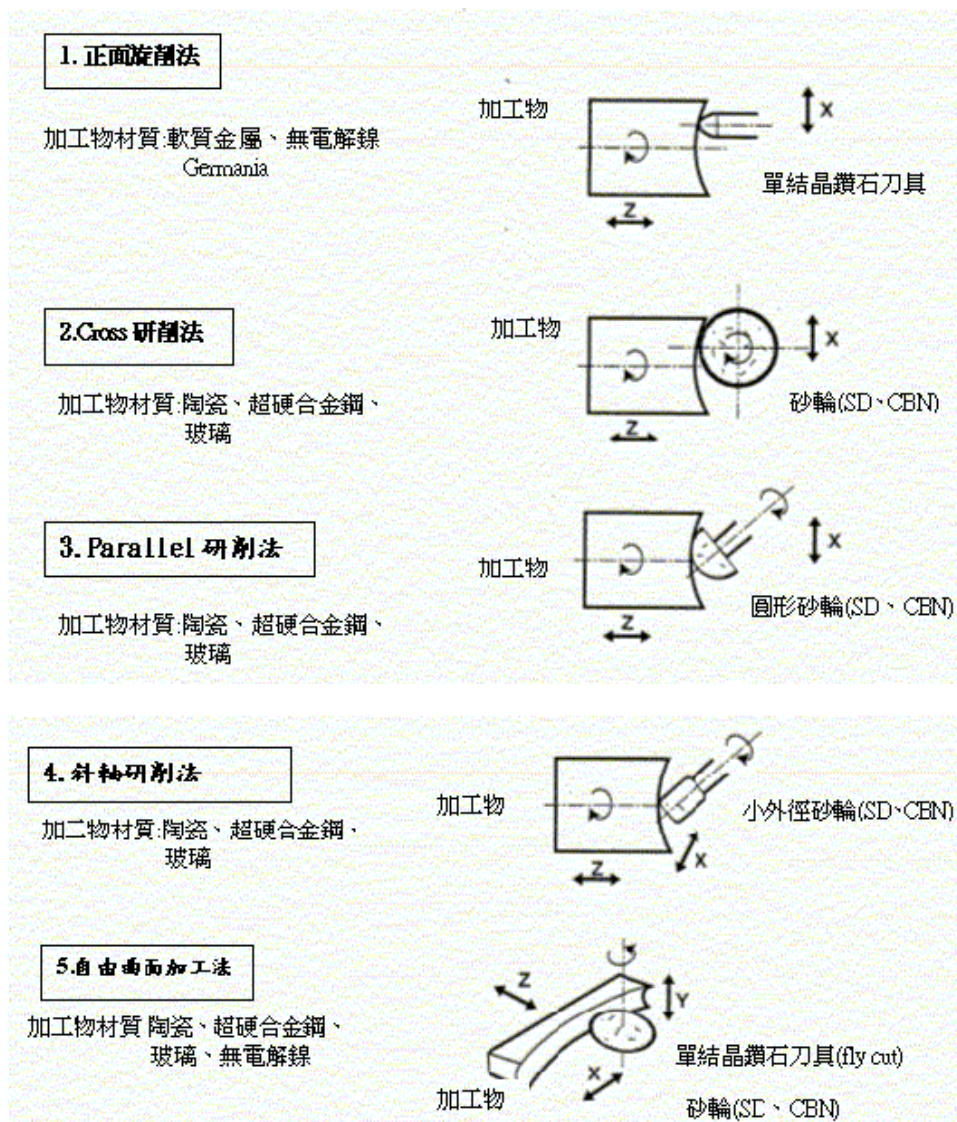
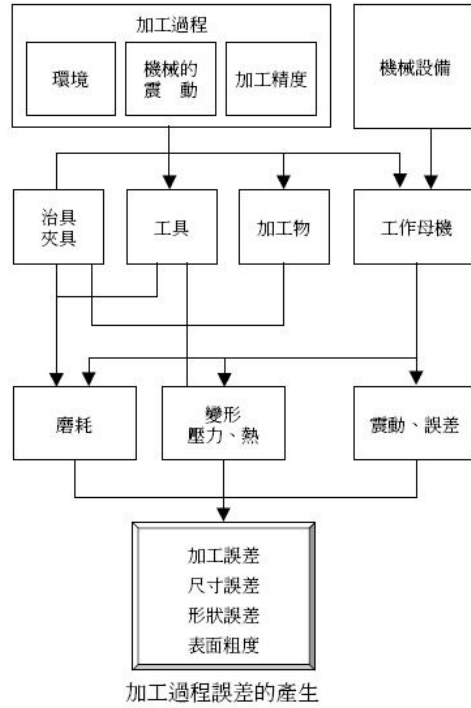


圖 2-6 飛刀加工(Fly-cut)可以依照不同工件材料、不同加工形狀來更換刀具及加工方位[20]



資料來源：南台科技大學網站 <http://elearning.stut.edu.tw>；工研院 IEK-ITIS 計畫(2004/12)

圖 2-7 加工過程誤差產生之流程圖[19]

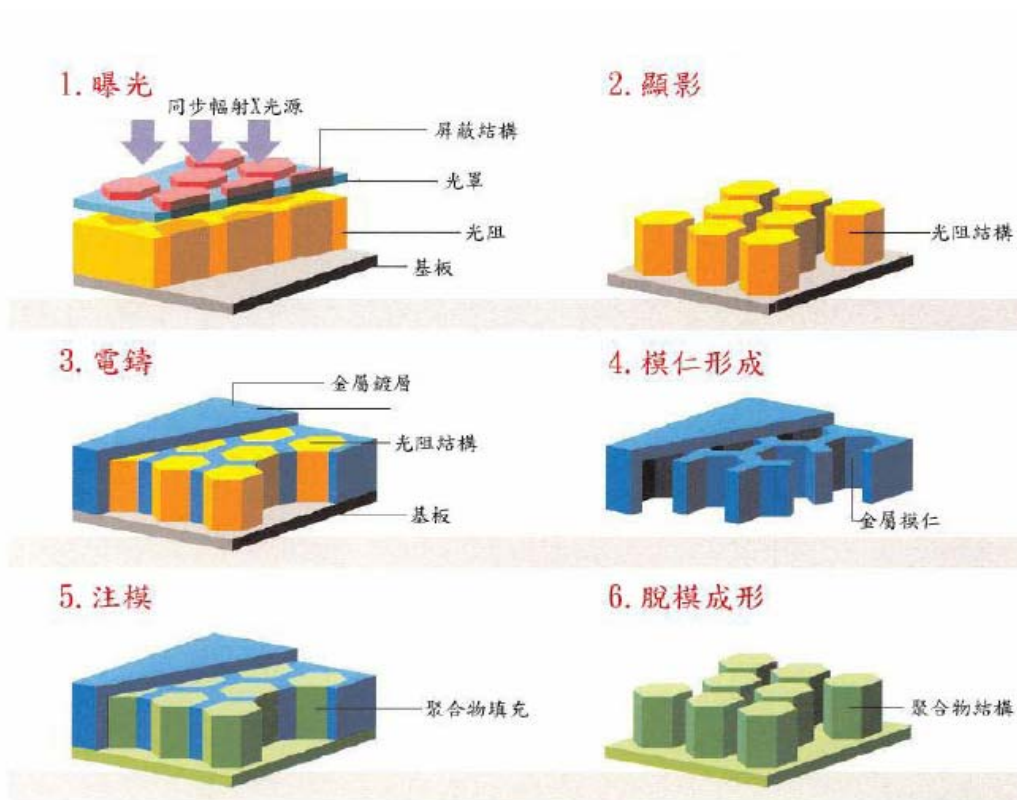


圖 2-8 LIGA 製程示意圖

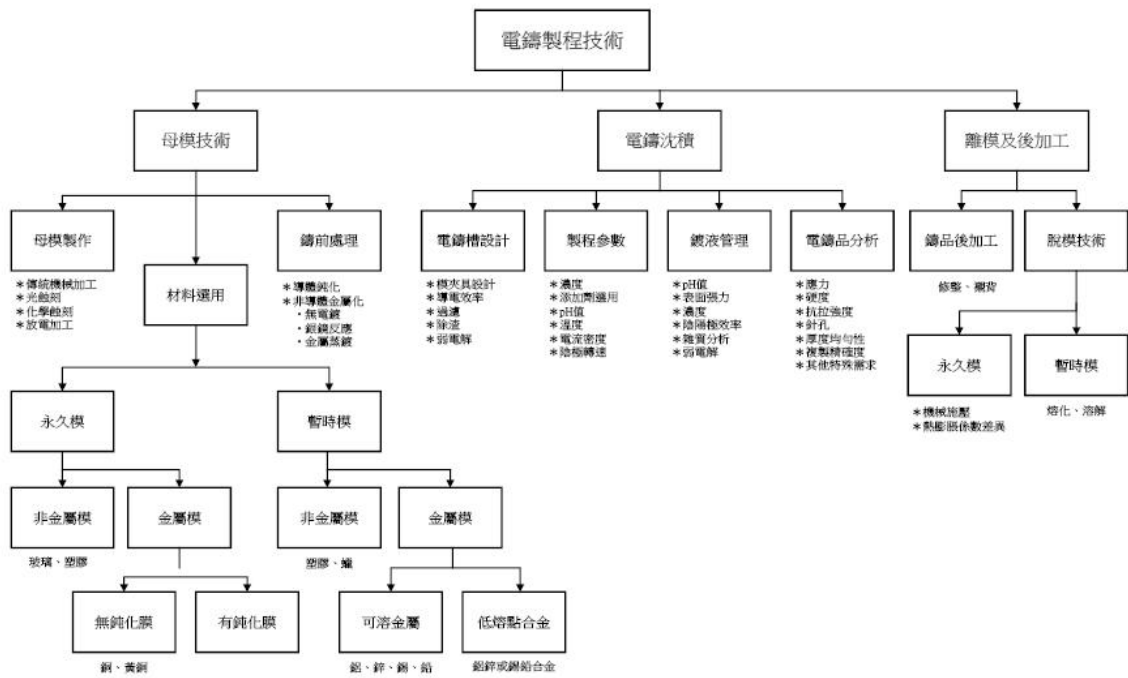


圖 2-9 電鑄技術內容[22]

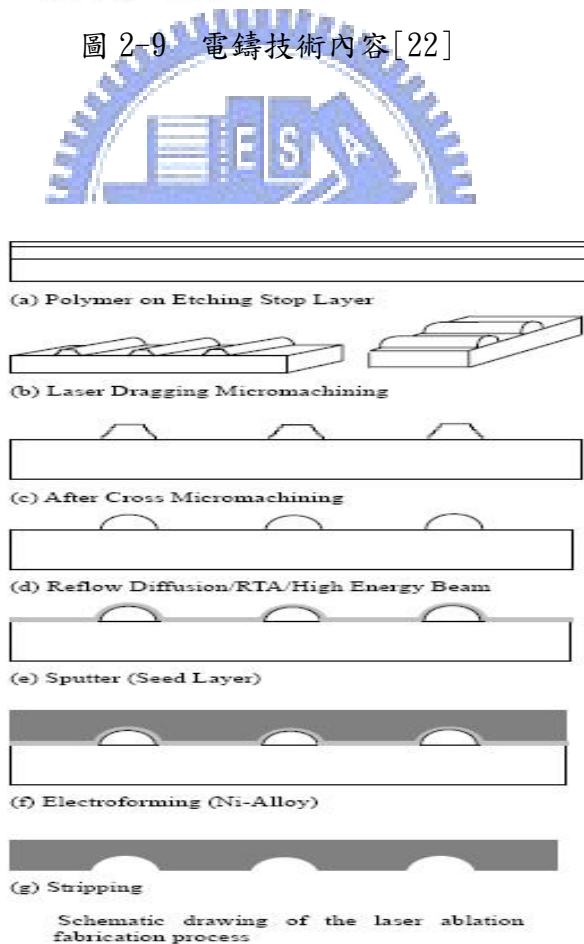
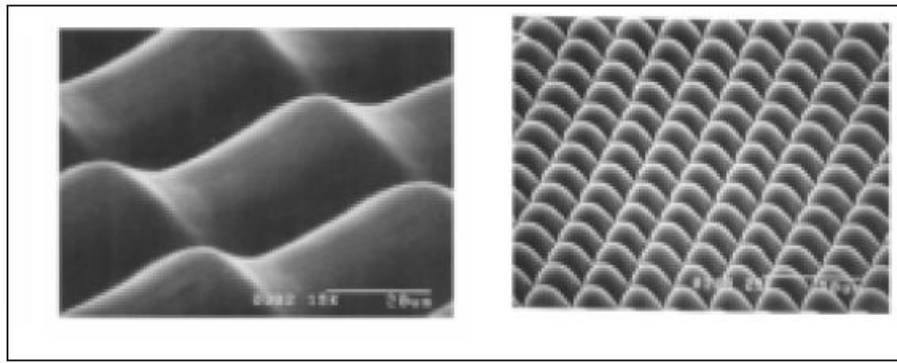


圖 2-10 雷射加工+reflow+類 LIGA 製程製作微透鏡模仁



準分子雷射拖拉加工微結構中拖拉方式與光罩關係圖及加工成品

圖 2-11 以拖拉方式製作非球面微透鏡陣列[24]

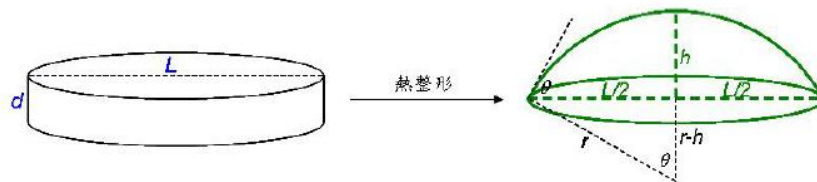


圖 2-12 熱熔過程光阻變化情況

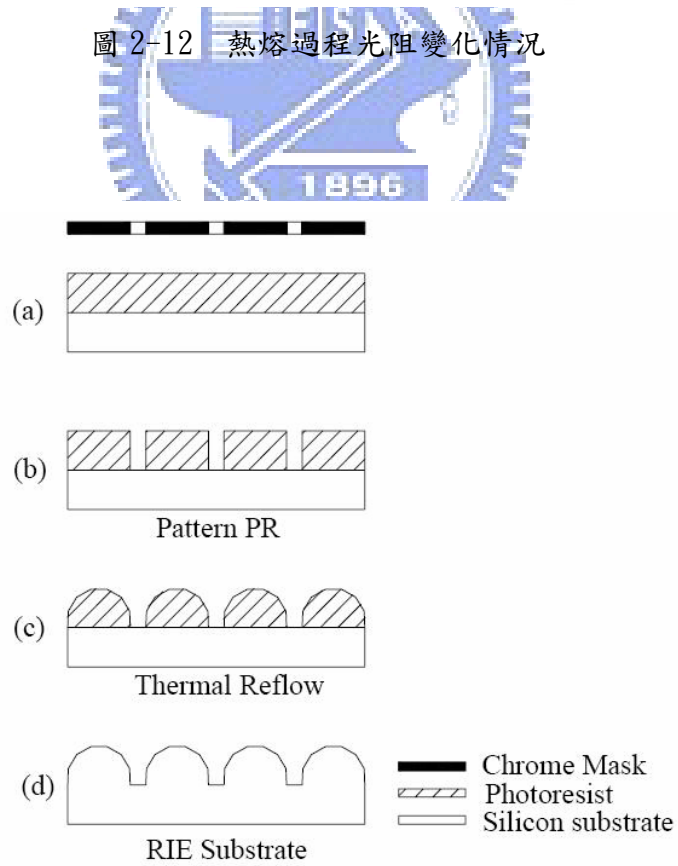


圖 2-13 熱熔製程+反應離子蝕刻製作微透鏡模仁[17]

表 2-1 可能對加工精度造成影響的各種因素[3]

加工機	加工條件	刀具	工件	環境因素
硬體部分	主軸轉速	幾何形狀	剛度	溫度
靜態誤差	進給率	剛度	膨脹係數	振動
幾何誤差	切削速度	磨耗	重量	壓力
熱飄移	切削液		夾持方式	濕度
材料不穩定			前加工	浮塵顆粒大小
動態誤差				
軟體部分				

表 2-2 各種模仁加工的比較

	鋼板蝕刻	微切削加工	LIGA	雷射、離子束加工	熱熔製程
加工精度	較差	佳	佳	佳	佳
加工面限制	有	有	無	無	有
材料限制	可蝕刻金屬	金屬(限制)	無	無	光阻
製作成本	中	高	高	高	中
技術成熟度	高	高	高	中	高
生產效率	高	中	中	中	低
大面積製作	可	可	不可	可	不可
翻模、電鑄	不需要	不需要	需要	需要	需要

2-3 導光板製作技術介紹

現今製作導光板大多是利用塑膠射出成型的方式來製作，結構上大概是 3.0~0.7mm 的壓克力板為主，當背光模組技術的趨勢逐漸朝向以 LED 作為背光光源的時候，相對對應的導光板的生產技術也隨之困難化，因為當背光光源體積縮小，表示顯示產品有機會變得更輕薄的前提下，導光板自然也要跟著變輕薄，這樣才能達到產品輕薄化的目的，而現有一般的導光板厚度大約為 1.0mm 左右，但是隨著市場趨勢與技術的要求下，導光板的厚度已經逐漸變薄，可以達到厚度約為 0.8 ~ 0.6mm 左右；由於導光板厚度突然變薄，這個因素在導光板製作成形方面將會出現一些問題，例如製程設備的改良、新技術的開發等等。如果期望利用傳統的射出成型技術完成薄型導光板的製作，那麼在設備上就必須改用高射速的射出成型機才行，當然目前一般所使用的射出成型也可以生產，但是卻會面臨產品的平整性和量產性的問題。所以對於導光板業者而言，因應產品輕薄化的趨勢，也就只能夠不斷地追求更新的技術，來生產低成本、符合需求的薄型導光板。

因為 LED 的開發技術進步，增加對於超薄導光板的市場需求，所以許多廠商及研發單位相繼投入開發新形式的生產技術，目前包括日本宮川、芬蘭 Modilis 等等業者開始利用新技術來生產新一代的薄型導光板。

2-3-1 傳統射出成形

現今業界所使用的導光板製作方式多使用射出成型方式，製作流程如圖 2-14 所示，早期以前一般塑膠、樹脂類的產品多是利用這種方式生產的，所以製作技術十分成熟，射出成形過程包含填充、保壓、冷卻三階段，填充階段為將熔融的高溫塑料由螺桿流經澆道、流道、澆口後擠至模穴中，將高溫塑料填充於模具中，保壓階段則是由澆口加壓往模穴內再填充熔膠，以補償成品因冷卻收縮及其可壓縮性所造成之損失，最後是冷卻階段，利用冷卻液將成品溫度降低，使得塑料冷卻固化，低於脫模溫度以下後將成品頂出。導光板射出成形是以有微結構之模具模仁做為模穴，將熔融狀態的成形材料(多為 PMMA)，經過上述的成形步驟製作導光板，現階段的導光板多為此方式製作 [29][3]。



2-3-2 噴墨式印刷技術

日本宮川導入噴墨技術來大量生產導光板，製作原理與設備如圖 2-15 與圖 2-16 所示 [30]。此技術是將 UV 成形的樹脂材質藉由噴墨頭射出，附著於 PMMA 材質薄膜上形成導光板上的微結構，但是 PMMA 對樹脂材質的附著性不佳，必須現做前置表面處理，噴墨設計上利用類似印刷的製作方式，以 SPEOS 光學軟體做為微結構的佈點設計，將

所設計數值輸出到噴塗設備中，噴頭可調整網點噴塗的大小、高度，如圖 2-17 所示，並在網點所在的預設位置噴塗樹脂材質到 PMMA 材質的導光板上，藉由 UV 成形將樹脂固化，經剪裁後就可做為導光板。採用噴墨技術生產以後，可以在時間成本上取得較短的開發時程，這是因為可以利用噴墨頭所射出的樹脂材料，直接在微鏡片上描繪而成，並不需要再使用金屬濺鍍方式或是微切削加工製作模仁，而且也可以立即變更設計值、改良微結構位置，利用精密的機械控制噴墨噴頭，以調整微結構大小與位置，因為設計上的便利，與過去相較之下，傳統射出成型需要 42 天的生產開發時間，若採用噴墨技術能夠大幅度地縮短生產開發時間，只需要 2~3 天即可 [9][30]。



2-3-3 滾壓製程

(1) 滾壓製程

滾壓製程是在滾筒上利用微切削加工刻上導光板微結構或是將平面模仁包覆在滾筒上，如圖 2-18 所示，利用滾筒壓印的方式並藉由 UV 成形樹脂塗佈在滾壓的導光板塑材上，以塗佈滾筒將樹脂塗佈均勻，滾壓印出導光板上微結構，壓印時利用控制紫外光局部曝光的方式使得 UV 樹脂固化，滾筒一邊滾壓成形固化，另一邊固化後脫模，其製作過程連續不間斷，製作方式如圖 2-19 所示，相較於射出成型階段

式的生產優異許多，而且可以製作厚度薄、面積大的導光板，但是製作過程控制必須十分謹慎，導光板捲材在輸送定位上需要做許多定位的偵測，導光板塑材滾壓時的張力控制、曝光前UV樹脂塗佈的均勻程度、滾壓時UV樹脂氣泡的產生、滾壓進給速度、UV光曝光區域是否對其他未曝光區域有影響、UV光強度等等因素，都會對導光板滾壓製作的品質造成影響[11][31][32][33]。

(2) 滾壓製程 — TRADIM /KURARAY 滾壓貼合

日本下一代移動用途顯示材料技術研究聯盟(TRADIM)採用 Roll to Roll 連續製程，嘗試製出具複合功能的薄型背光光學系統，複合結構如圖 2-20 所示。

TRADIM為了開發出可以以Roll to Roll連續製程製造的背光模組光學系統，設計新型式背光模組系統結構。目前的背光模組光學系統需使用4~5片導光板、反射板、擴散板、稜鏡片等光學片，才能確保背光模組達到一定程度的性能，而此次所設計的背光膜片統整，將上述功能彙集在一片薄膜上，導光膜與附有光學圖案的薄膜結合為一體，其製作過程如圖2-20所示。光源發射的光通過導光膜的全反射進行傳播，從結合部位入射至附有光學圖案的薄膜上(OPF：Optical Patterned Film)。利用整合型光學膜片與導光板結合，可以減少原

本多數的膜片的成本及厚度，其結構比較如圖2-21所示，且可彎曲的幅度大如圖2-22所示，並且在導光板製作上也可做連續式貼合製程，大幅減少膜片成本與組裝成本[34]。

2-3-4 熱壓製程

熱壓成形因為LIGA技術的快速發展，成微微機電系統製造高精度與高品質微結構關鍵成形技術之一，廣泛應用於精密光學與生物醫學元件之產品，加上熱壓成形設備的改良，使得微熱壓技術(mirco hot embossing molding)應用於光學微透鏡、導光板製作等等光學精密製作技術上。

標準微熱壓技術，其製作過程如圖2-23所示，依序為(a)裝置成形所需之模仁，並將高分子材料放置在基板上；(b)抽真空到 1.6×10^{-1} mbar，此動作是為了微結構成形時，如有殘留空氣殘留至模穴內，會造成品質不佳等缺點，接著加熱至材料玻璃轉換溫度以上並施以一預壓應力，目的在保持升溫過程塑膠材料的平整性，使材料能受到上下兩個加熱系統均勻加熱，增加成形時的均勻性；(c)當溫度升到設定的壓印溫度時(約高於玻璃轉換溫度(T_g) $20 \sim 50^\circ \text{C}$)，等待一小段時間使得材料達到均溫後才升高壓印壓力進行熱壓，壓印溫度、時間、壓力大小要是微結構與材料的種類而定(d)壓印一段時間後降溫並破

除真空進行脫模動作；(e)開模，得到高分子微結構成品。產品經過熱壓大量複製製作可以大大降低成本與穩定品質，但是過程中模具經過大量壓印次數後會有破損的情況產生，而且有熱膨脹收縮、成形時間過長等等缺點有待改進[3]。

2-3-5 製程比較

以模仁製作的時間、成形的厚度、製作成本、生產速度等等生產必量的產能因素，對於上述的導光板製程做分析、比較，並做大略整理，如表 2-3。



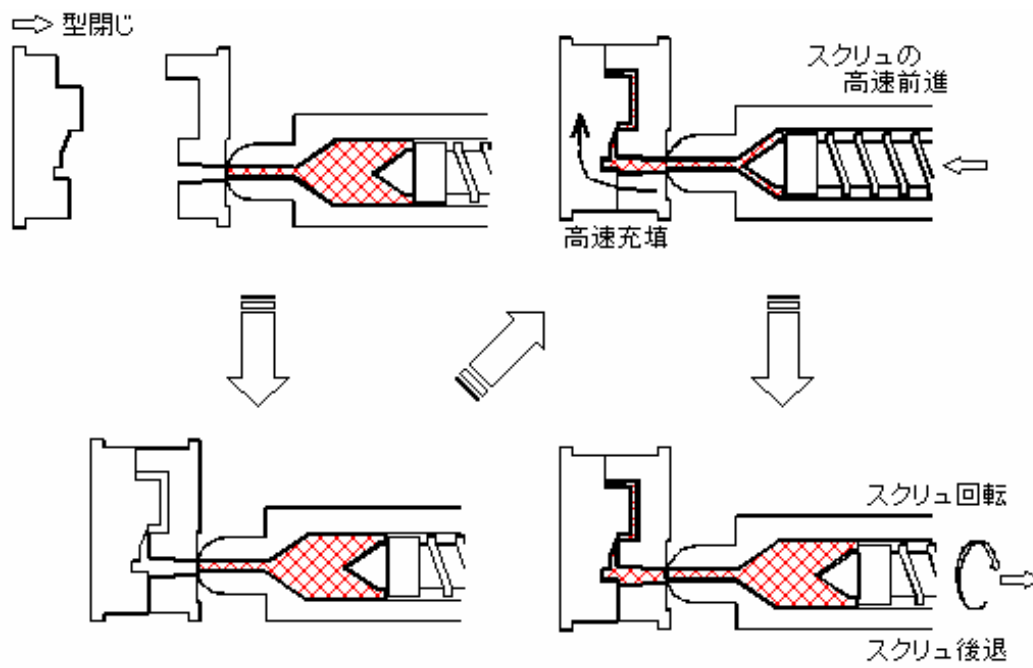


圖 2-14 射出成型流程

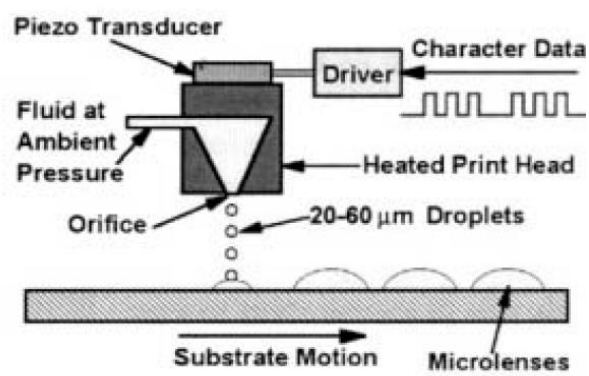


圖 2-15 噴墨式導光板製作示意圖

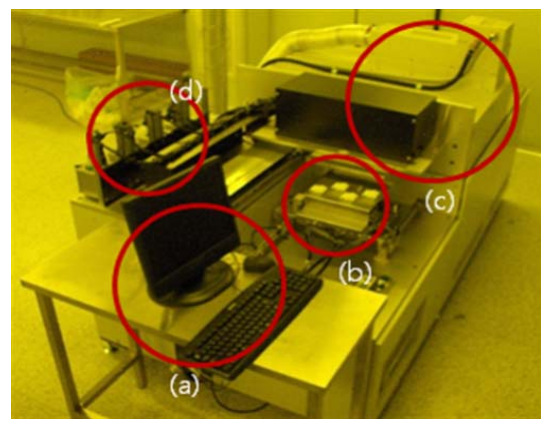


圖 2-16 噴墨式印刷設備[30]

(a)控制設備(b)噴墨頭(c)曝光設備(d)樹脂槽

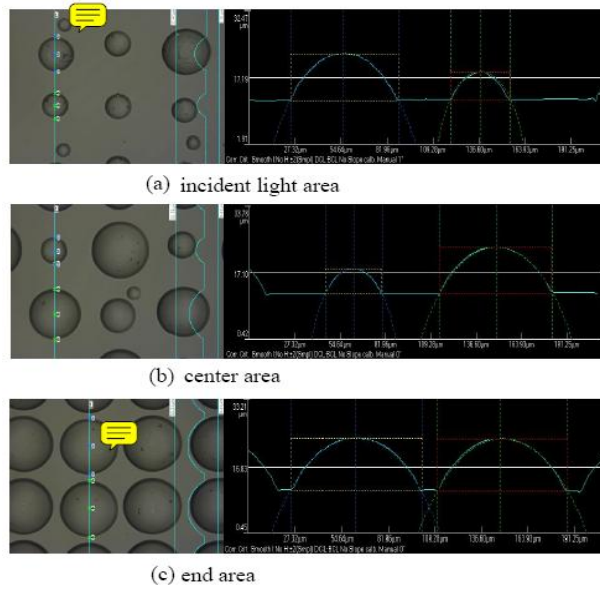


圖 2-17 分佈網點可依照位置不同而改變大小、分佈疏密[30]

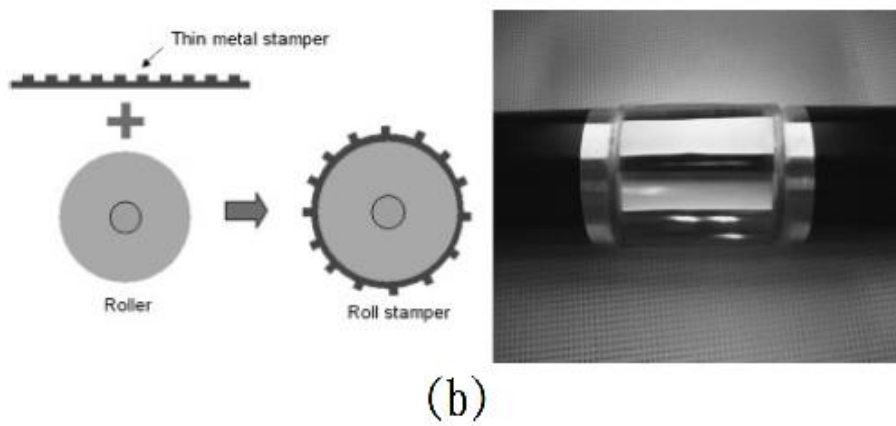
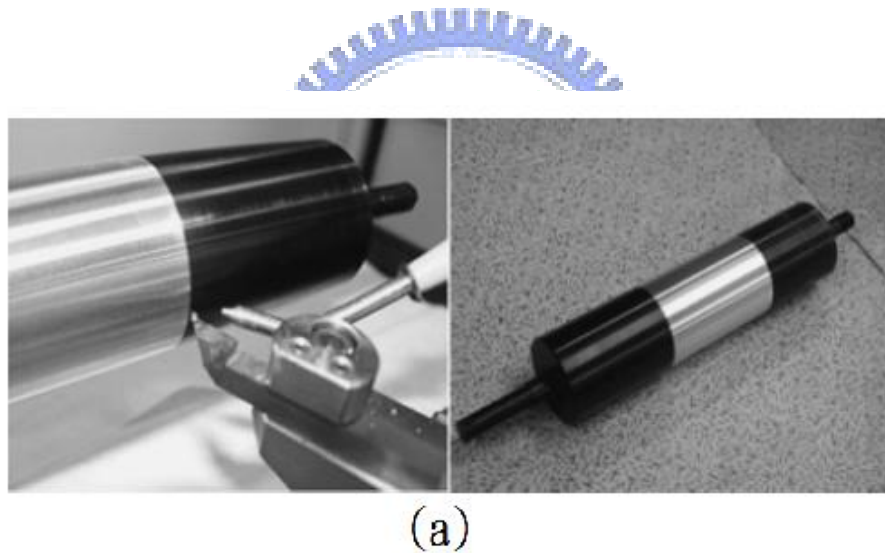


圖 2-18 滾筒製作 (a)滾筒微切削加工(b)平面模仁包覆滾筒[11]

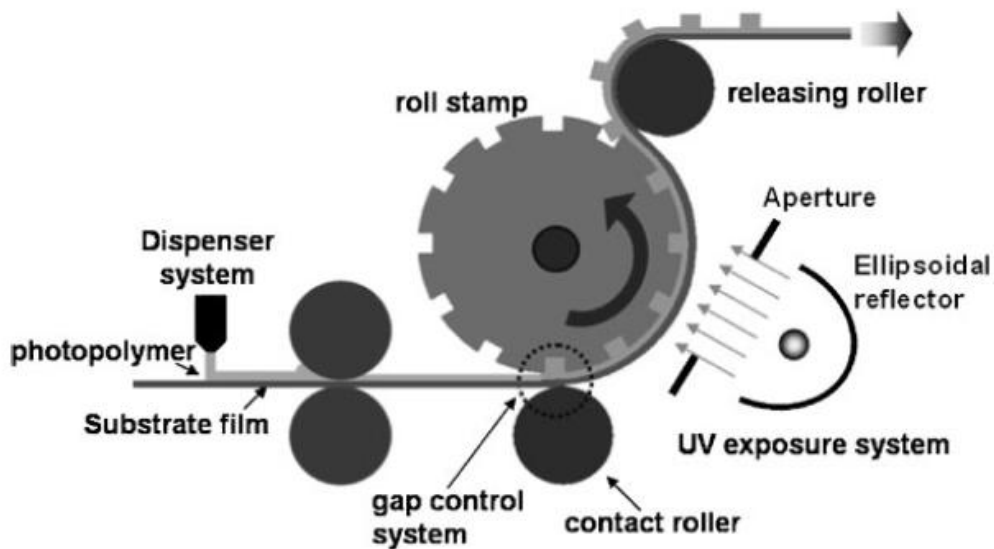


圖 2-19 滾壓設備與流程[11]

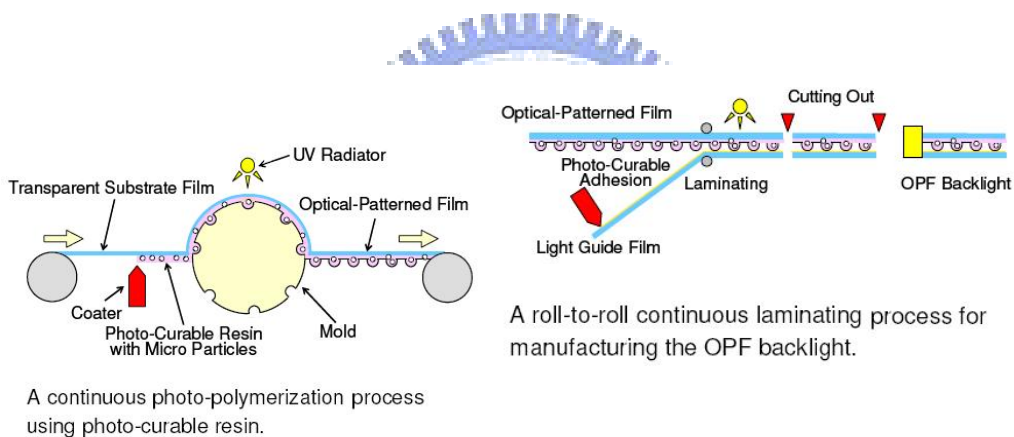


圖 2-20 以 Roll to Roll 的方式生產 OPF 並將 OPF 附著於製作的導光板上 [34]

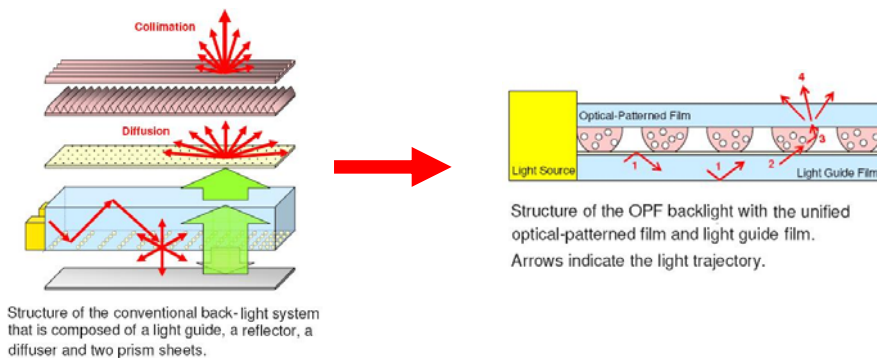


圖 2-21 結合 OPF 的導光板與傳統背光模組的比較[34]



圖 2-22 OPF 的實際應用[34]

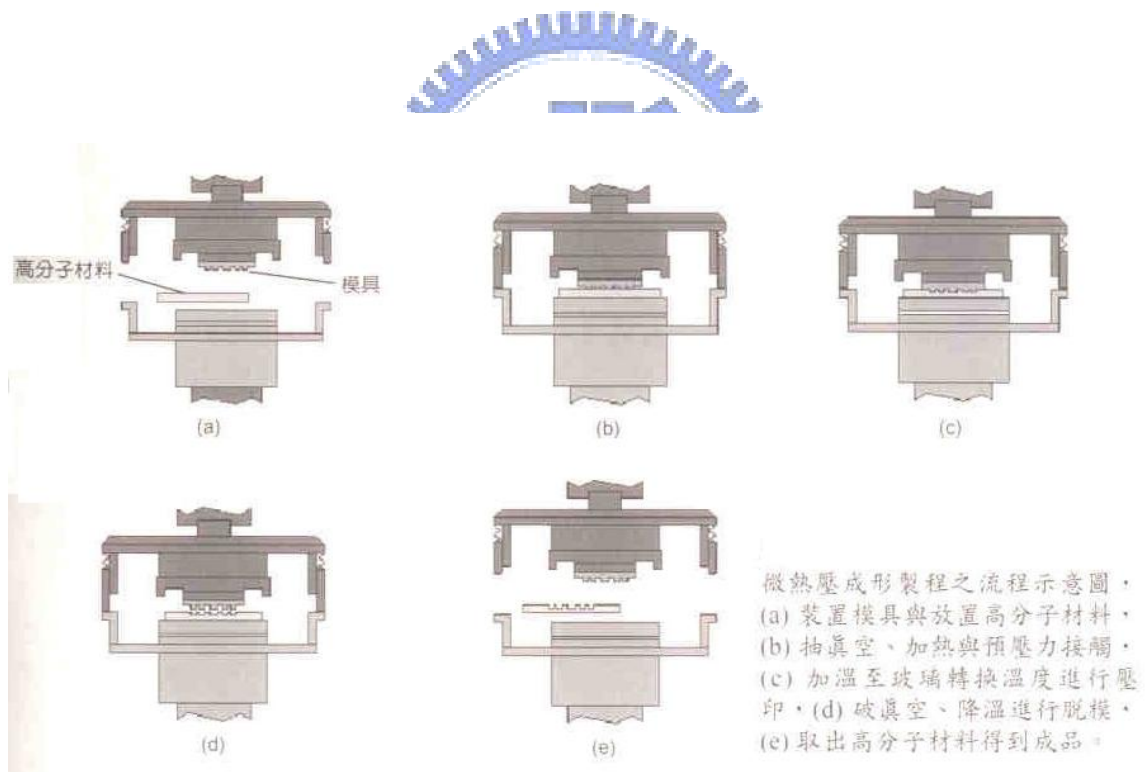


圖 2-23 微熱壓成形製程示意圖[3]

表 2-3 各種導光板製作方式較

	射出成形	噴墨印刷	滾壓製程	熱壓製程
模仁製作時間	長	不需要	長	長
大面積製作	有限制	可	可	不可
導光板厚度	0.5mm 以上	視基材而定	0.4~0.25mm	視基材而定
製作成本	中	低	低	高
生產速度	中	快	快	中



第三章 實驗流程與實驗步驟

本章節主要在說明研究時大略的實驗流程，以及介紹研究時所使用的儀器設備，並且針對研究中各種不同參數的實驗過程加以詳細敘述。

3-1 實驗流程

現今導光板製作多使用射出成形製作，本研究目的在研究滾壓製程製作導光板，研究主要分為四大部分：(1)導光板設計與光學模擬；(2)導光板模仁製作與平面驗證；(3)導光板滾壓製程與導光板輪廓分析與光學檢測；(4)模擬結果與檢測結果比較與討論。

首先是導光板設計與光學模擬，針對導光板之微結構佈點設計與光學模擬，設計出導光板佈點與記錄模擬所得的出光效率、均勻性等光學性質，建立導光板模仁樣本與設計時的要點。

第二部分是模仁製作，本研究中滾壓製程所使用的模仁分為兩種，一是由鋼板蝕刻所加工製作，將 SPEOS 模擬設計的導光板模仁網點輸出檔案並且利用檔案製作光罩用來做為鋼板微影蝕刻使用，模仁完成後對模仁表面做抗沾黏處理。另一是由熱熔製程(reflow)製作後，再經由電鑄翻模製程後製作而成，這一部分的實驗規劃中先進行的是熱熔製程參數的測試，其目的在找出熱熔製程中所能製作的網點

最佳參數，包括熱熔溫度、持溫時間、網點最小間距等實驗數值，以利模仁製作時所使用。後續再利用光罩將光阻曝光顯影於矽晶圓上，利用找出的參數將光阻熱熔成形後，經由電鑄翻模等程序製作導光板模仁；模仁製作完成先對模仁作平面驗證，測試輪廓分析與光學檢測。

第三部分是導光板滾壓製作與導光板輪廓分析與光學檢測。先將模仁包覆在滾筒上，以滾壓 UV embossing 的方式製作導光板，測試滾壓參數對導光板成形的影響(滾壓參數如捲材兩端張力、滾壓時成形的速度、UV 光曝光時的強度等)，並且對滾壓製作完成的導光板做輪廓分析與光學檢測。

最後是模擬結果與檢測結果比較與討論，以上述的檢測結果與模擬的結果做比較，討論兩者間的差異性與造成差異的原因。

實驗流程規劃如圖 3-1：



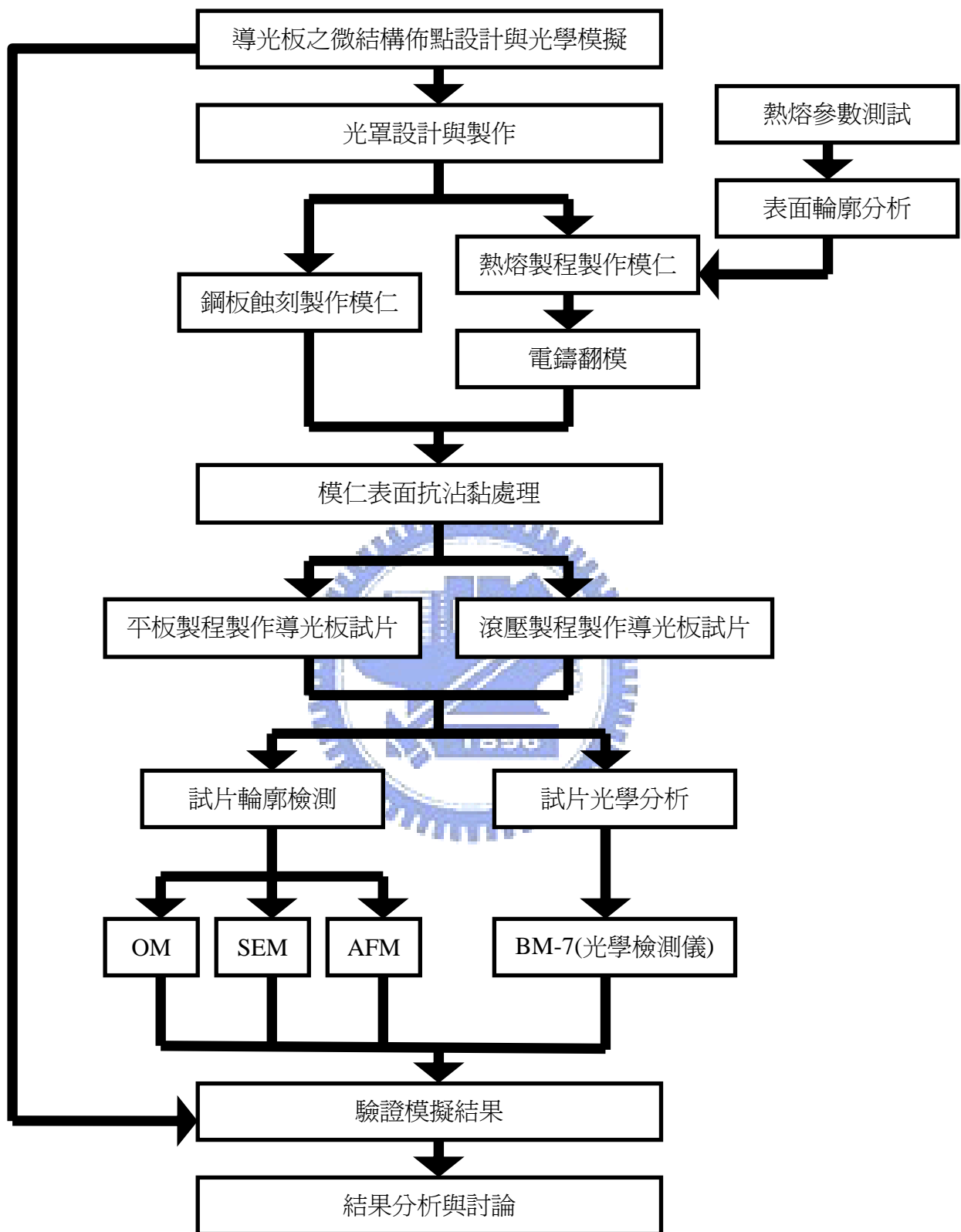


圖 3-1 實驗流程圖

3-2 實驗與檢測設備介紹

本研究過程中，實驗設備與檢測設備是必要的，包括實驗用的滾壓成形機，光學檢測用的輝度檢測儀與輪廓檢測用的 SEM 與 AFM 等等，下列將一一詳述設備的用途與在實驗中所扮演的角色：

3-2-1 紫外光固化設備

紫外光固化設備，如圖 3-2，是實驗中做為導光板滾壓成形的設備。依照 Roll to Roll 製程原理在滾輪上刻上導光板微結構作為滾壓所使用的模仁，利用滾輪帶動材料為 PMMA 的導光板捲材薄膜行進，薄膜經過上膠滾輪塗佈光阻後(本實驗中所用 UV 固化光阻為 TX-200)，再以滾輪上的模仁進行壓印。在壓印時使用紫外光固化樹脂或光阻，待微結構固化後進行脫模。此設備能在 Roll to Roll 滾壓輸送時同時進行壓印、固化、脫模等等程序在導光板捲材上形成微結構，微結構成形後進行導光板薄膜裁切，成為超薄導光板的成品。製作過程圖如圖 3-3 所示。

3-2-2 輝度檢測儀

輝度檢測器，如圖 3-4 所示，在實驗中是做為光學檢測儀器。滾壓製程所製作的超薄導光板成品經裁切成合適的大小後，將導光板實

際組合，並做光學量測、紀錄並分析。並將實作成品所量測的數值與其光學模擬數值的差異做比較，分析討論有何不同之處以及所造成差異點的原因為何。

3-2-3 所使用的檢測模組及使用之 LED 規格

檢測的導光板樣本為對角線2吋大小。檢測導光板試片時，會以標準模組測試，模組會加入反射片、擴散片、兩片稜鏡片等光學膜片，並將所使用的LED調整至最適合的位置與最佳驅動的狀態。模擬與檢測時所使用的LED個數為4個，如圖3-5。LED的規格為長為3.6mm、寬為1.1mm、高為0.4mm，發光面約2.4mm × 0.4mm大小，如圖3-6所示。其編號為99-218UNC_BIN019_TR8，適合厚度約0.4mm導光板所使用。



3-2-4 原子力顯微鏡(AFM)

本實驗用原子力顯微鏡來檢測導光板之微結構尺寸與表面粗糙度，驗證加工之導光膜上微結構尺寸規格與分析微結構表面粗糙度是否符合設計需求，如圖3-7。其作用原理是利用精密之探針，以接觸檢測的方式檢測試片上細微的變化，測量精密度可到達奈米級的尺寸。

3-2-5 場發射掃描電子顯微鏡(SEM)

場發射電子掃描顯微鏡，如圖 3-8，其作用原理是利用電磁場偏折、聚焦電子及電子與物質作用產生繞射、散射原理來研究物質的構造及微細結構的精密儀器，可用來檢測成形之微結構形狀與尺寸(包含斷面)，本實驗用場發射掃描電子顯微鏡來確定微結構尺寸、外形與設計值之一致性與差異。

3-2-6 紫外光曝光燈箱

當需要製作平面模仁時，必須利用平面壓印製作導光板樣本，此時用來做為曝光的設備就是紫外光曝光燈箱 (Dr. Hönle UV Technology 技術廠商設備)。設備與規格如圖 3-9 所示，進行 UV embossing 轉印製作導光板時，先是利用平板模仁塗佈光阻 (TX-200)，再以平面壓印的方式轉印，放置紫外光曝光燈箱內進行曝光。UV 曝光時間是可以估計，首先必須知道 UV 膠的吸收光波長範圍及燈箱 UV 光曝光時所發出的光波長強度，對照兩者間相互交集的波長強度，再計算燈箱所發出的功率大小，就可以估計所需要的曝光時間(本曝光設備所對應的光波長強度如圖 3-10)。



圖 3-2 紫外光固化設備

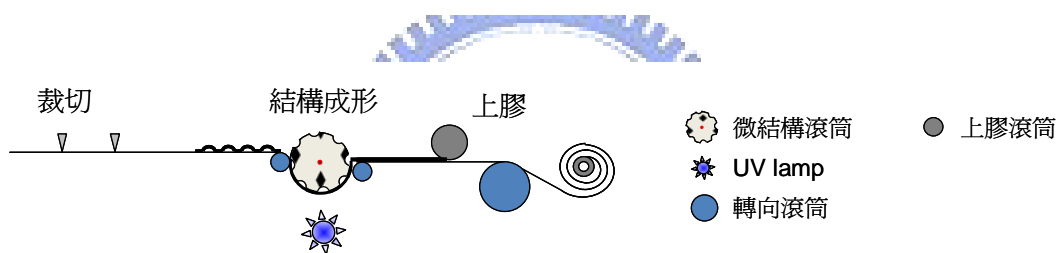


圖 3-3 滾壓製程流程示意圖



圖 3-4 輝度檢測儀

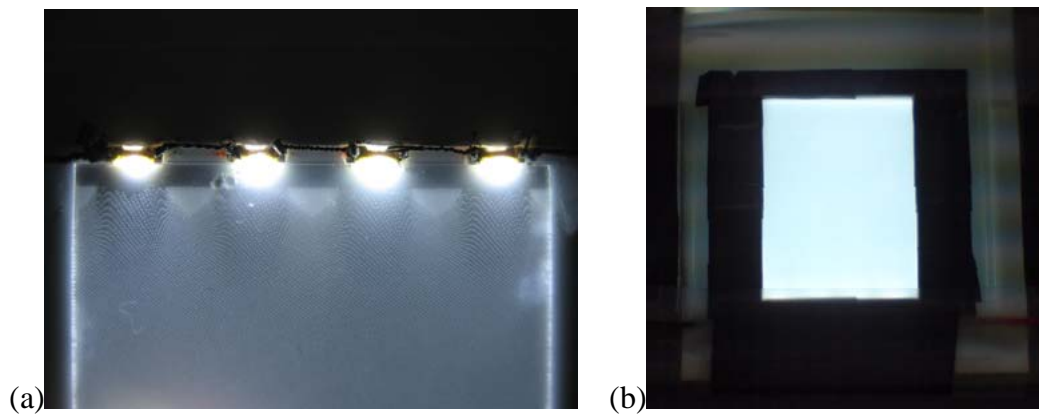


圖 3-5 導光板樣本組立在架構進行光學量測
 (a)組立導光板與光源 (b)附加光學膜片進行量測



圖 3-6 實驗中所使用的 LED

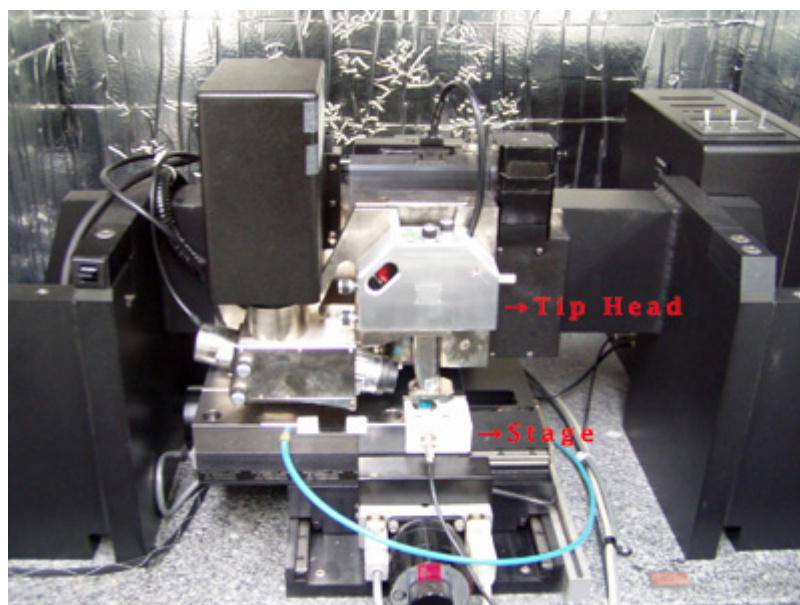


圖 3-7 原子力顯微鏡



圖 3-8 場發射掃描電子顯微鏡



	SOL 2
Electricity ¹⁾	230 V/ 50 Hz
Power of bulb	400 W
Dimensions L x W x H	43 x 43 x 60 cm
Weight	25 kg
Spectral distributions possible	UVA + VIS + IR (320 – 3.000 nm)
	UVB + UVA + VIS + IR (295 – 3.000 nm)
Illuminance	120.000 lux
Intensity	910 W/m ²

圖 3-9 紫外光曝光燈箱

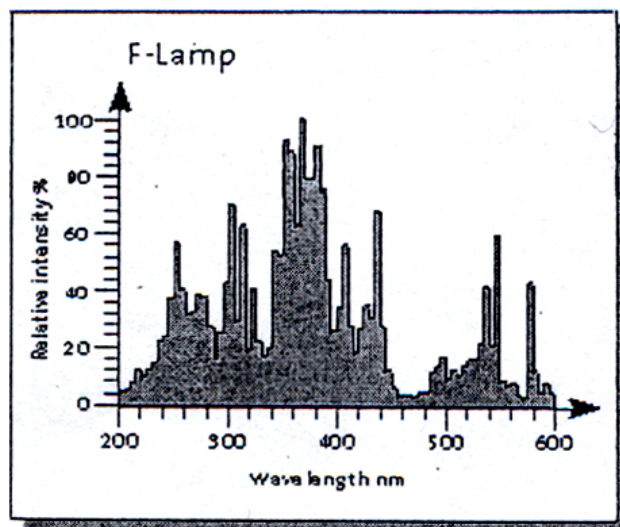


圖 3-10 紫外光曝光燈箱所發出光波長與強度對照圖

3-3 導光板光學設計與模擬

本論文中，導光板的製作是由設計到製作完成，研究過程包含整個製作流程，導光板的光學設計是初步、重要的一環，本章節是說明研究中所使用的光學模擬軟體、模組架構的建立、光學模擬設定條件等等。光學模擬模組的建立，包含對架構建立與材料與界面特性影響，先是利用 SPEOS 內部程式建立起導光板與導光板周邊元件設定，用來做為架構建立，再依照材料與界面特性的影響，設定對應的光學特性，讓光學模擬達到更佳真實。光學模擬的目在於找出設計時導光板微結構佈點的最佳佈點方式，並且藉由光學模擬結果歸納出 2 吋導光板的設計要點。

SPEOS 作為光學模擬時，可以藉由材質的設定，對於虛擬原型內的各項元件設定元件本身吸收性、反射率、光的擴散性、光線對於材料造成各反射的比例分配等等，只要詳細評估、設定各元件的光學特性，可以做出與真實狀況下差異不大的模擬結果，對於設計與製作導光板的研究來說，可節省試驗樣本的製作時間與成本。

3-3-1、光學模擬軟體介紹

本研究使用之光學模擬軟體為法國 Optis 公司所開發之 Speos，主要用於處理光學上的模擬及運算，光學模擬的示意圖如圖 3-11 所

示[35][36][37][38][39]。

1. 模擬運算流程

SPEOS 模擬運算的流程，如圖 3-12 所示依序分為模擬模組建立、光源設定、分析面設定、分析等等，先建立模擬模組，包含各項元件位置、大小、材質、光學性質等等的數值設定，接下來就是光源位置、強度的設定，再來就是進行模擬時所設定的光學量測面，包括量測面的面積、正向面、位置、解析度等等，最後就是進行模擬，會決定所模擬的光線數量，光線數越多，所需時間越長，模擬計算的誤差就越小，下列將詳細敘述各步驟所進行之工作：

(1) 建立虛擬原型(virtual prototype)：

建立虛擬原型的第一步驟是建立幾何圖形，SPEOS 可以利用程式內建多邊體建立模擬模組或是利用繪圖軟體匯入檔案，依照匯入的圖檔繪出模組幾何形狀、尺寸大小、個別相對位置等等，逐一建立起模組內的各項元件。

建立虛擬原型的第二步驟是定義材料及表面性質，SPEOS 可以利用內建的資料庫或是編輯器對已建立的幾何形狀模組元件，針對個別獨立的元件調整設定其材料性質及表面光學性質，包含反射率、折射率、材料能量吸收係數、表面反射性質包含反射形式與反射比例等等

光學特性做出定義，條件設定越詳盡越接近真實狀況，所做出的模擬就越接近真實狀況所呈現的光學性質。

(2)光源設定

光源設定就是在已建立的虛擬原型模組上加入光源，SPEOS 可以利用程式中內建的資料庫編輯設定光源，包含光源個數、光源位置、光源幾何形狀、光源強度、發光形式等等，更進階一點還可以設定光波長範圍，模擬可見光以外的光線。

(3)分析面的定義及模擬

利用已建立的虛擬原型作光學模擬，設定光學性質上所需要的量測面位置以及所需要量測分析之面積及正向面，並且定義量測分析面的模擬畫素，SPEOS 可以設定分析面的解析度，所設定解析度越大，分析面上的畫素越多，對於細部所呈現的光學性質會越精準，整體模擬分析的數值結果會越正確。

(4)執行模擬

最後就是進行光學模擬，可以依照內建的光學性質、反射形式、折射形式的建立，並且設定所需要的模擬光線數，模擬時所設定的模擬光線數與模擬誤差值有相當大的關係，所使用的模擬光線數越多，SPEOS 的模擬就能越接近真實情形，但是所需要的時間也越長，模擬數值輸出方面可依照所需求的分析數值，做出量測面輝度大小、整體

量測面的均勻性、光場等數值輸出。

2. 光學模擬誤差定義

由於光學模擬軟體是採用隨機取樣方式，以不同角度、不同強度的光線(群)分析計算一組光學元件的光學特性。因此，取樣數(光線射出數目設定)對模擬結果有著相當大的影響。SPEOS模擬軟體之精確度(precision)與模擬的畫素(pixel)所接收的光線數之關係如下式(3-1)所示[35]。

$$Error = 1 / \sqrt{N} \quad (3-1)$$

Error介於0和1之間， N 表示每一個畫素內收集到的光線數目。因此，當1個畫素內只有1條光線時，可得到其Error為1(100%)，隨著收集光線數目的增加，Error值逐漸下降，如表3-1所示。

當設定光線偵測面(sensor)的畫素為 100×100 時，光線數與誤差的關係就需再乘上畫素數(10,000)。因為每個畫素不會都接收相同的光線數，所以模擬所得到的精確度正確的定義應為平均精確度。由於模擬的精確度與畫素數和收集光線數目有關，愈高的精確度與較大的畫素數將需要更多的收集光線數目，此意謂著需要更多的運算時間。

一般採用的模擬分析策略是初步先以較低的精確度與畫素數求得趨勢並縮小參數範圍，取得較佳的參數組合後再進行更精確的模擬。

3-3-2 模擬模組的架構建立

本論文在模擬方面是以對角線 2 吋大小的導光板做研究主體。在 SPEOS 模擬架構上所建立的虛擬原型，均以手機顯示銀幕大小的規格去建立模擬模組，大略包含導光板初步設定、周邊元件設定、光源設定、量測面設定以及導光板網點佈點的優化策略等步驟，詳細介紹如下：

1. 導光板初步設定

預設導光板材質為 PMMA (聚甲基丙烯酸甲酯 Poly Methyl Methacrylate)，其吸收係數設定的範圍為一般導光板所使用的吸收係數約 $\alpha = 1.7 \times 10^{-3} \sim 1.7 \times 10^{-2} \text{mm}^{-1}$ ，導光板模擬尺寸規格設定為對角線兩吋大小，長 43mm、寬 30mm、高 0.4mm。

2. 周邊元件設定

導光板周圍非光源側均設置側邊反射片。反射片設定上為白反射片，反射率為 95%，吸收率約為 5%；導光板底部的底反射片為白反射片，反射率為 95%，吸收率約為 5%，反射片與導光板本體有間隔存在，其距離為 $10 \mu\text{m}$ 。除了反射片以外，另外在光源位置上下及光源後均設定吸收面。吸收面的主要目的在於避免模擬時光源位置過亮影響整

體出光平均值，造成模擬上的誤差。

3. 光源設定

在光源設定上，導光板優化模擬時光源設定為線光源，其強度為12 lm，因為一顆LED的強度大約為3 lm，實驗時所使用的LED數量為4顆。設定為線光源是為了簡化模擬程序，其目的是找出較佳的微結構佈點設計，但是作為模擬光學反射所造成的影響時與作為導光板設計時，其光源設定是以實驗中預定使用的LED規格做光源模組架構，使用4顆LED，發光面積為長度2.4mm×寬度0.4mm，模擬光線光波長為可見光範圍(380nm~780nm)。



4. 量測面設定

模組架構建立的最後一個步驟就是量測面的設定。本研究中量測面所測得的物理量是照度，與背光模組檢測的物理量輝度是有差別的，兩者間無法直接做比較，詳細敘述如附錄一。

當發光面各點的出光光場相同時，輝度的分布狀況與照度的分布狀況是一致的。在採用兩片相互垂直的稜鏡片的標準背光模組架構中，模組化後發光面各點的出光光場大致相同。本研究採用標準背光模組，經過實際量測後，結果如圖3-13所示，發光面上各點的水平光

場與垂直光場大致相同。因此，我們可以採用照度分布圖來進行導光板出光的優化。當然SPEOS也可以直接分析輝度分布，但與照度分析相較，模擬光線數需增加100~1000倍才能得到較準確的輝度分布結果，要多花費100~1000倍的時間才能完成優化。因此，經評估後決定以照度分布分析來進行導光板的優化。

本研究中，設定量測面面積為長度41mm、寬度30mm，量測面的位置在導光板導光方向上方2mm，正向面朝向導光板，接收由導光板所導出的光線用以做為分析，量測面在分析設定上的畫素為長邊41畫素、短邊30畫素，每一畫素面積為 1mm^2 。

3-3-3 光學模擬—導光板網點佈點的均勻性優化策略

導光板上的微結構設定為球形鏡面網點，微結構網點佈點方式以既有的導光板文獻所做的分析做參考依據[30][40][41]，以導光板光源前端較疏的佈點、導光板光源後端較密的佈點為佈點依據。研究中嘗試不同密度的網點調整與網點分佈。初期以佈點優化為主，在模擬時網點佈點可分為分段式與連續式，網點大小為 $50\mu\text{m}$ ，網點高度為 $13\mu\text{m}$ ，兩者佈點方式如下：

1. 分段式陣列佈點：

以 Matlab 程式寫出分段式間隔逐漸縮小的佈點方程式，將導光

板分為五區，越接近光源位置網點分佈間隔越大，越遠離光源位置網點分佈間隔越小。每區以相同間隔的網點作陣列分佈，網點疏密分佈較像階梯形式的曲線。

2. 連續式交錯佈點：

以 Matlab 程式寫出連續式間隔逐漸縮小的佈點方程式，越接近光源位置網點分佈間隔越大，越遠離光源位置網點分佈間隔越小，間隔為漸變式的逐漸縮小，網點作交錯分佈，以求達到最密網點分佈，網點分佈較接近溜滑梯形式的曲線。

利用上述兩種網點分佈形式，以 SPEOS 分別模擬兩者光學效果並比較兩者之間的差異，分析此兩種網點分佈形式的出光效率以及光損耗，將效果較佳的佈點方式做為網點佈點設計的依據。



3-3-4 光學模擬—各反射參數所做的模擬結果

在導光板設計上，主要的光線與材料或界面之相互作用有反射、折射(透射)與吸收，詳細敘述如附錄二。這些光學特性均可在 SPEOS 在進行設定。

真實狀況下，表面粗糙度會對光學性質造成影響，尤其是光學反射部分會依照表面粗糙度的不同，造成鏡面反射、擴散反射、漫射反射等現象，但是我們難以用量測的數據觀察得到反射面是以何種反射

性質做反射的，因此研究中只能利用改變參數模擬所得的照度分佈趨勢，以這種方法去分析反射面所呈現的光反射性質。本研究中依照加工方式的不同，會造成導光板微結構表面粗糙度變化，以致於造成光反射上的差異。所以在光學模擬的部份分別針對不同的光學性質下，各種的反射狀況下做光學模擬，將模擬結果與實作檢測比較，可以得知實作檢測大約的光學反射趨勢。

1. 表面粗糙度對於光學反射性質的影響

對於光散射效應相對於表面粗糙度的研究，已經有人投入其中的應用，蔡坤鋒曾以雷射光在冷軋鋼板表面造成的光散射來測量冷軋鋼板表面的粗糙度[42]。施盈儉也以鋁材、鎳材的製程進給速率結合光散射量測系統來量測製程進給速率對鋁材、鎳材的表面粗糙度之相對關係[43] [44]。但是光的反射效應並不是只有表面粗糙度單一因素影響，還包含材料本身光學特性、所使用的光波波長等等其他因素，不過可以得知的是光學元件的表面粗糙度會造成光反射上的不同，表面粗糙度越小的光學元件反射越接近鏡面反射，表面粗糙度越大的光學元件其光反射會有高斯反射，粗糙度更大者會產生漫射反射的光學反射[45]。

2. 光反射對於模擬的差異比較

對於表面粗糙度對於所呈現的光反射，因為時間與成本上的考量，本研究並沒有詳細對此加以實驗與量測，但是可以藉由 SPEOS 對於反射光的設定，可設定光反射所對應的參數為高斯反射的高斯角、鏡面反射、高斯反射與漫射反射等三種反射所占的比例，下列就是在預設的虛擬原型條件設定下，設定導光板厚度為 0.4mm，導光板材料吸收率為 $\alpha = 1.7 \times 10^{-2} \text{ mm}^{-1}$ ，光源設定上為 4 顆 LED，接近點光源的性質，[圖 3-14](#) 是當導光板前端網點未進行局部疏密調變時，由 1 顆 LED 點光源所形成的亮帶與暗帶現象，多顆 LED 會在亮帶交錯處造成局部的暗帶現象。因此，我們除了在光線傳遞方向的網點佈點上採取連續式疏密網點佈點，並在亮帶處做局部疏化佈點、暗帶處做局部密集佈點的設定，如[圖 3-15](#) 所示，經網點佈點後均勻性可達約 80% 左右，模擬數據樣本的光源採取為導光板中線照度，如[圖 3-16](#) 虛線的位置。

反射面所形成反射性質為何者我們是無法直接判斷，無法直接判斷的原因是因為光反射是否為反射比例或是反射角不同所造成的差異，也可能為兩者均有的狀況。反射角的公式如[附錄三](#)所示。所以研究中藉由調整反射設定參數，比較各不同參數對於光學模擬的影響。參數設定上為任意設定，模擬的目的在於找出因應參數變化的趨勢，

而不是詳細探求粗糙度所造成的光反射與所對應的光學性質。

(1) 高斯角不同造成模擬上的差異

一般反射面不一定只會造成光反射的種類不同，也可能造成光擴散角的不同。所以針對此現象，光學模擬時固定光反射中的鏡面反射與高斯反射所占的比例，鏡面反射比例為全部的 80%，高斯反射比例為全部的 20%，高斯反射的高斯角為可設定的變數。模擬參數依次設定高斯角為 10° 、 20° 、 30° 、 40° 、 50° 。利用 SPEOS 以這些參數做模擬的結果，去分析高斯角度變化後對於整體的照度趨勢變化是如何。



(2) 鏡面反射與高斯反射所佔比例不同造成模擬上的差異

光學模擬時固定高斯反射的高斯角為 25° ，針對光反射形式中的鏡面反射與高斯反射所佔的比例做比例調整。現在固定高斯反射的高斯角度為 25° ，調整鏡面反射與高斯反射所佔的比例，依次設定高斯反射佔整體的 20%、50%、70%、100%，藉此模擬結果觀察出當高斯反射的比例增加後，所對應的模擬照度變化趨勢為如何。

(3) 高斯反射與漫射反射所佔比例不同造成模擬上的差異

第三種參數模擬在設定上沒有鏡面反射的光學反射效果，反射參數上是以高斯反射與漫射反射所佔整體的比例做調整為主，其中高斯反射的高斯角固定為 25° ，調整變數為漫射反射所佔的比例，分別以漫射反射所占整體比例為 10%、20%、30%、40%、50%與 100%，分別模擬比較其結果，可以從模擬結果中得到隨著漫射比例的改變，所對硬的模擬照度變化趨勢為何。

我們可以利用實作所量測的數據結果來對照以上三種模擬結果的趨勢比較，從對照中可以得到實際光反射的趨勢，再進行模擬的光反射設定，讓光學模擬更佳準確。



3-3-5 光學模擬—網點分佈疏密與材料吸收係數對於模擬的差異

除了表面粗糙度造成反射的影響，還有其他因素會影響到整體的均勻性與出光效率，例如反射片反射率、導光板材料的吸收係數、導光板上網點間最小間隔對於整體設計上所造成的影響、個別光源的出光效率是否均勻等等因素都會造成導光板在量測數值上的變動。

下列所做的模擬是針對導光板材料的吸收係數與加工上網點所能達到最小間距兩種變數進行分析，固定參數為導光板網點大小為 $50\mu\text{m}$ ，網點高度為 $13\mu\text{m}$ ，分別調配導光板網點設計並做整體均勻

性、出光效率的光學模擬。當變數設定為導光板材料的吸收係數時，吸收係數分別設定為 $\alpha=8.5\times 10^{-3}\text{mm}^{-1}$ 、 $1.7\times 10^{-2}\text{mm}^{-1}$ 、 $3.4\times 10^{-2}\text{mm}^{-1}$ ，變數設定為加工上網點所能達到最小間距，最小間距設定上分別為 $5\mu\text{m}$ (網點最密集處填充率 66.01%)、 $10\mu\text{m}$ (網點最密集處填充率 55.32%)、 $20\mu\text{m}$ (網點最密集處填充率 40.49%)，各別做 SPEOS 的光學模擬，比較何種設定下出光效率較好，此光學模擬的目的在於可以了解到材料吸收係數與網點小間距對於導光板的出光效率有何影響，依據模擬的結果可以作為導光板射設計之依據。



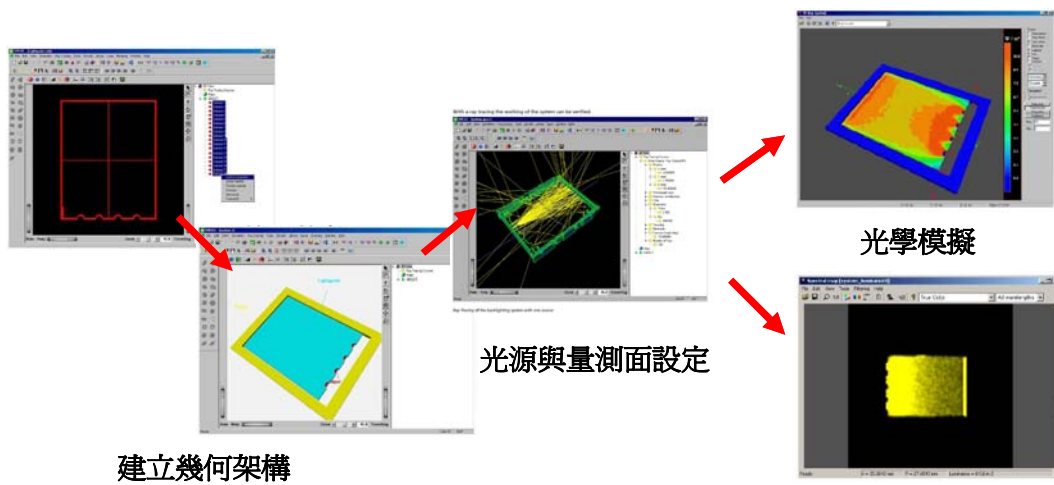


圖 3-11 SPEOS 光學模擬軟體

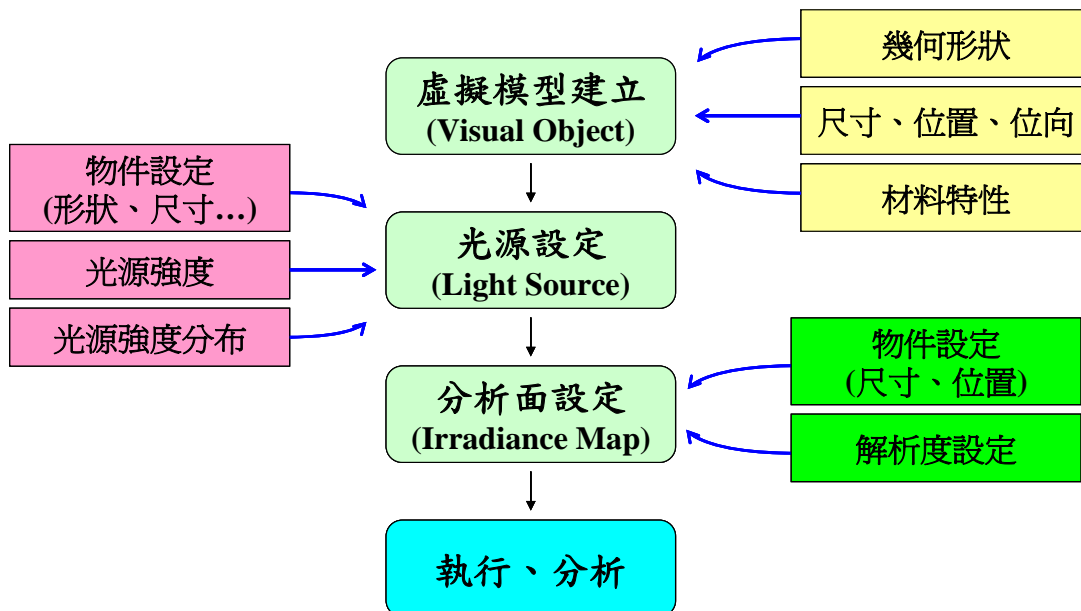


圖 3-12 SPEOS 模擬運算的流程

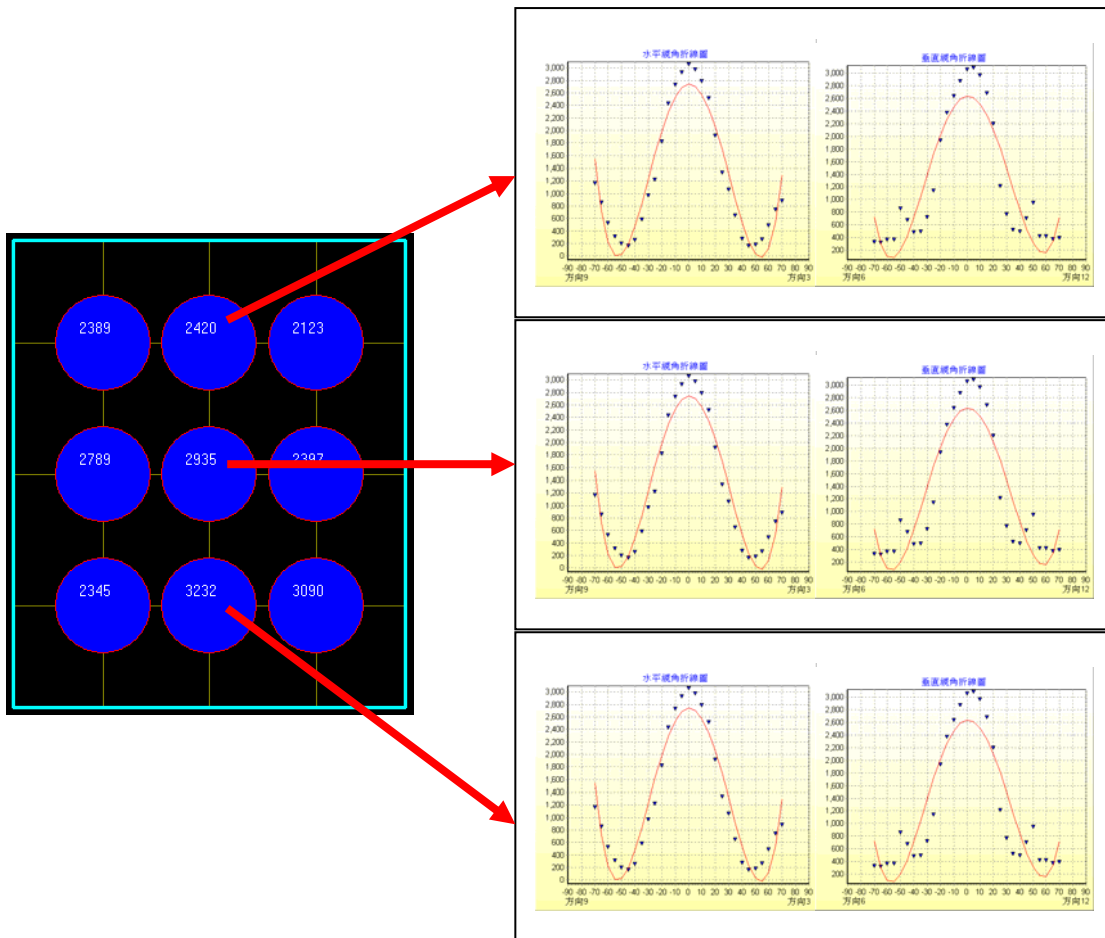


圖 3-13 標準模組組立後量測，導光板上各點光場大致相同(水平、垂直)

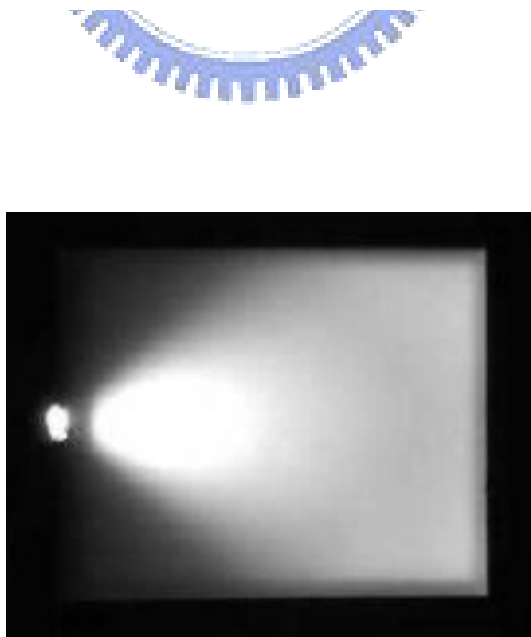


圖 3-14 點光源的輝線與暗帶現象

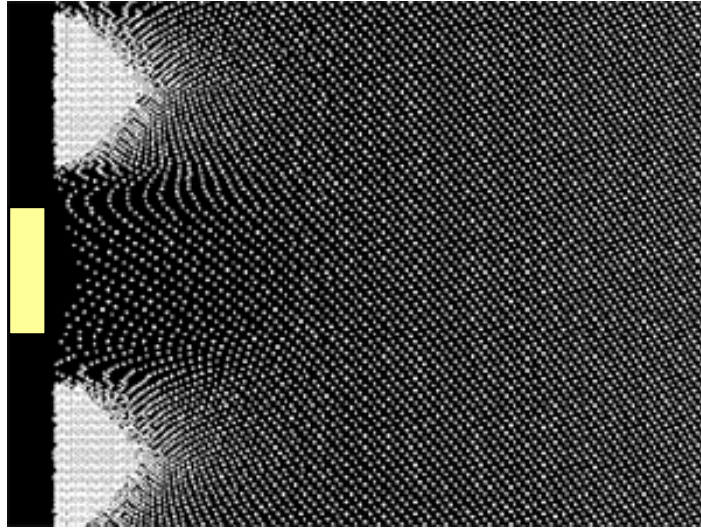


圖 3-15 疏密網點佈點，圖中淡黃色元件為 LED 的位置

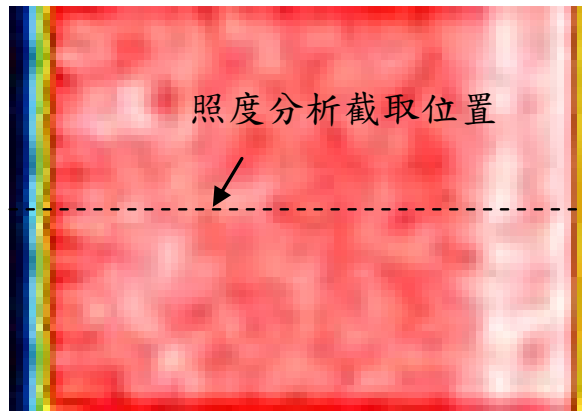


圖 3-16 模擬數據樣本的光源採取為導光板中線照度

表3-1. 畫素內的模擬光線數與誤差的關係

Error	Rays
100.0%	1
31.5%	10
10.0%	100
3.2%	1000
1.0%	10,000



3-4 鋼板蝕刻製作模仁與導光板樣本測試

鋼板蝕刻為本實驗滾壓 UV embossing 轉印製作導光板製程中所使用的主要模仁。本章節說明製作鋼板蝕刻製作模仁的過程、平板模仁 UV embossing 製作導光板、導光板樣本的光學檢測與輪廓檢測等等，並且與光學模擬分析做比較。

3-4-1 鋼板蝕刻製作模仁

首先利用 SPEOS 光學軟體所設計出來的導光板網點樣本以 AutoCAD 輸出成檔案格式，用以製作成蝕刻時所使用的光罩，如圖 3-17 所示。鋼板蝕刻作業委託工研院材化所進行鋼板網點蝕刻，預定蝕刻網點大小 $50\ \mu\text{m}$ 、深度 $13\ \mu\text{m}$ 。蝕刻完成後就是平板模仁，如圖 3-18，但是必須做進一步表面抗沾黏處理，模仁才算製作完成。模仁表面抗沾黏處理為拖工研院機械所進行。模仁製作完成後，先做平面壓印製作導光板，先以平面驗證光學性質與表面輪廓，再以委託工研院機械所進行平板模仁包覆滾筒作業，完成後就可以進行滾壓製作導光板的後續過程。

3-4-2 鋼板蝕刻平板模仁製作導光板測試

利用鋼板蝕刻所製作的導光板模仁，先是以平面壓印的方式製作

導光板樣板，藉由平面壓印所製作的樣本量測出其光學性質與評估 PMMA 導光板捲材的吸收係數，並且與光學模擬的結果做比較與分析。

1. 預估 PMMA 導光板捲材吸收係數實驗

因為實驗中所使用的 PMMA 導光板捲材是薄膜材質，厚度為 0.4mm，因為厚度過薄，其吸收係數連光譜儀都難以準確量測，所以在進行導光板製作前必須先將 PMMA 導光板捲材的吸收係數估計出來，才可進行後續的設計與製作製程。

由鋼板蝕刻的方式可製作大面積與成本低的優點來看，一次製作多種設計試驗樣本做為評估導光板吸收度的方法最為可行，評估吸收係數的實驗方式是分別設計材料在不同吸收係數下均勻性達到 80% 左右的導光板樣本。設計的模仁在鋼板蝕刻完成後，利用平面壓印的方式製作導光板樣本，製作完成後檢測平面模仁所轉印的導光板光學性質，可以依照所量測的導光板整體均勻性得知導光板捲材的吸收度大約的範圍，並且以 SPEOS 作光學模擬做二次驗證。

2. 組裝誤差實驗

由上述實驗可推得 PMMA 導光板捲材的吸收係數，我們對應此設計值的模仁(編號 400_10)所製作的導光板樣本進行多次組裝並做光

學檢測，這樣測試的目的在於試驗實驗中人為組裝誤差的範圍，這次試驗是針對實驗中所量測到的數據是否具有可信度有關。因為導光板的出光性質會隨著組裝過程中，外在因素、人為因素等等造成光學上的差異。同一個導光板樣本在組裝時會因為導光板與光源、反射片間微小的間距不同或是光學膜片組裝角度上些微的不同、導光板翹曲等等因素，就會造成檢測時數據的差異，能將這些差異減小到可容許的範圍，導光板的光學性質就會越接近所設計的數值，所以此試驗針對同一導光板做多次組裝試驗可以作為實驗中光學檢測的數據，對應在人為組裝上所造成的可能誤差範圍做為評估的依據。

3. 鋼板蝕刻平板模仁製作導光板光學檢測與光學模擬做比較

將導光板實際量測所得的數值與光學模擬的做比較，因為兩者間的物理量是不同的無法直接做比較，但是當發光面各點的出光光場相同時，輝度的分布狀況與照度的分布狀況是一致的。在採用兩片相互垂直的稜鏡片的標準背光模組架構中，模組化後發光面各點的出光光場大致相同，因此，實驗中採用模擬所得的照度分布趨勢與量測所得的輝度趨勢分布來進行檢測與模擬的比較。

4. 鋼板蝕刻平板模仁製作導光板輪廓檢測

因為模仁所使用為同一鋼板、相同蝕刻液製作，所以輪廓檢測只對單一樣本做測試。先利用鋼板模仁 UV embossing 平面轉印製作一導光板樣本，先以光學顯微鏡(OM)觀察並以比例測量其尺寸、大小。所得量測值為網點大小約為 $52\mu\text{m}$ ，深度約為 $12.9\mu\text{m}$ ，與設計值的直徑 $50\mu\text{m}$ 、深度 $13\mu\text{m}$ 、網點最小間隔為 $10\mu\text{m}$ ，相當接近，直徑誤差約 4%、深度誤差不到 1%，如圖 3-19 所示。

微觀量測以場發式掃描電子顯微鏡(SEM)觀察，可以觀察到鋼板蝕刻的網點其表面有些粗糙，並非是平滑鏡面表面，如圖 3-20 所示。

由於光學顯微鏡與場發式電子顯微鏡無法觀測表面粗糙度，針對此點以原子力顯微鏡量測蝕刻網點表面粗糙度，如圖 3-21 所示，量測位置約在蝕刻網點中心部位，其量測面積為 $5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$ 大小，可得知蝕刻網點中心部份的粗糙度約為 $R_a = 14.131\text{nm}$ 、 $R_{ms} = 18.481\text{nm}$ 。依照當表面不平整尺寸遠小於所使用之光波長，可視為光學平滑面的觀點來看 [45]，雖然蝕刻網點在光學上會些許散射的現象，但可以將其整體的光學反射均視為鏡面反射。

3-4-3 鋼板蝕刻模仁滾壓製作導光板測試


平面模仁製作完畢後，委託工研院機械所將模仁包覆在滾筒上，如圖 3-22 所示，並以滾壓 UV embossing 製程製作導光板，導光板捲

材經適當裁切後即可得導光板樣本，如圖 3-23 所示。

1. 鋼板蝕刻模仁滾壓製作導光板光學檢測與平面壓印做比較

將裁切後的導光板樣本組立於測試模組上，組裝後如圖 3-24，並利用輝度檢測儀做光學檢測，紀錄均勻性、光場等光學性質，將其結果與以平面壓印所製作導光板量測結果做比較，從兩者間的差異可以推得滾壓 UV embossing 製作過程與平面壓印製作之間的差異性。

2. 輪廓檢測



本實驗對於滾壓導光板輪廓檢測試驗中，只針對單一的網點去做輪廓分析，因此對於定位及網點偏移量的量測，沒有進行實驗上的規劃，因此滾壓 UV embossing 製作導光板的輪廓檢測分析，只針對滾壓製作導光板樣本做表面粗糙度的量測，對照平面 UV embossing 製作導光板的輪廓檢測數值，分析兩者誤差數值。

量測滾壓 UV embossing 製作導光板的表面粗糙度，量測位置約在網點中心，量測面積 $5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$ 大小，以原子力顯微鏡量測其粗糙度約為 $R_a = 22.592\text{nm}$ 、 $R_{ms} = 27.613\text{nm}$ ，如圖 3-25 所示，其數值與平面模仁 UV embossing 製作導光板的輪廓檢測分析製作的數據(粗糙度約為 $R_a = 14.131\text{nm}$ 、 $R_{ms} = 18.481\text{nm}$)有誤差，數據誤差可以推測是因

為兩次測量的網點並非同一網點，網點在角度、蝕刻輪廓上會有差異。

輪廓偏移檢測可以參考Suho AHN等人在滾壓實驗中所得的實驗結果[11]。其文獻中對於網點偏移量與尺寸誤差有深入探討，從實驗數據得知滾壓UV embossing轉印製作導光板的輪廓檢測分析製作與平面UV embossing轉印製作導光板的輪廓檢測分析製作的導光板，在相同模仁下網點位置偏移量誤差為 $\pm 0.3 \mu\text{m}$ 、網點尺寸的複製誤差約為 $0.05 \mu\text{m} \sim 0.02 \mu\text{m}$ 左右。



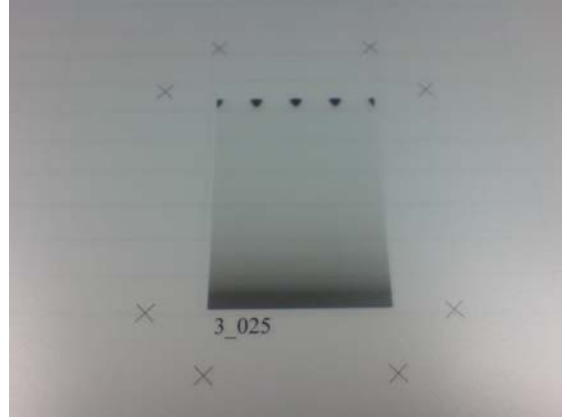
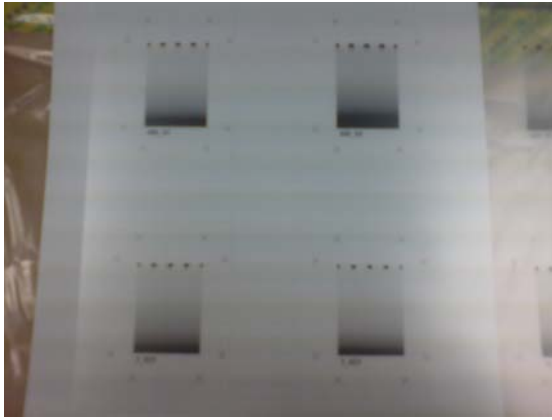


圖 3-17 鋼板蝕刻所使用的光罩

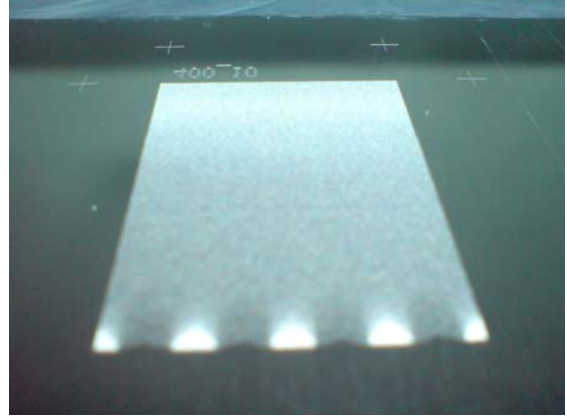
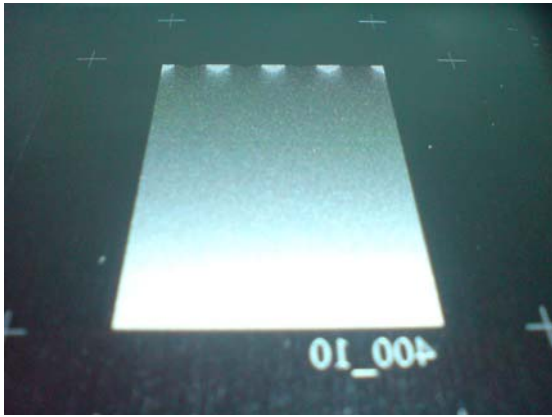


圖 3-18 鋼板蝕刻完成後的導光板模仁

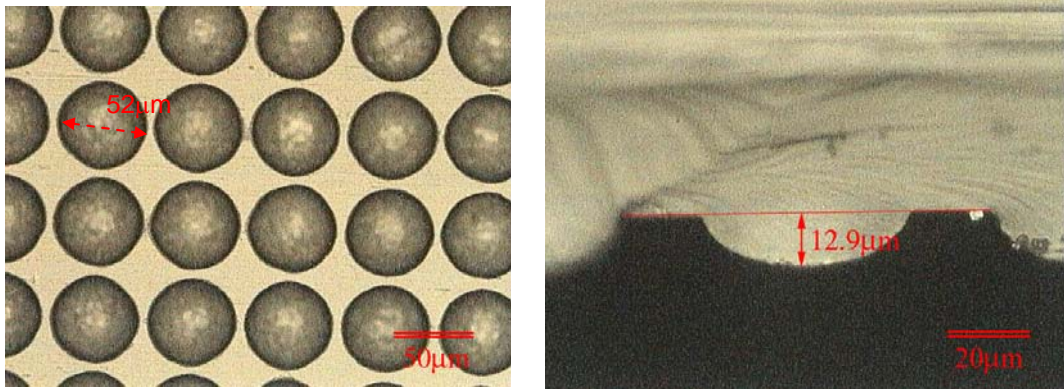


圖 3-19 鋼板蝕刻模仁所製作的導光板樣本(OM)

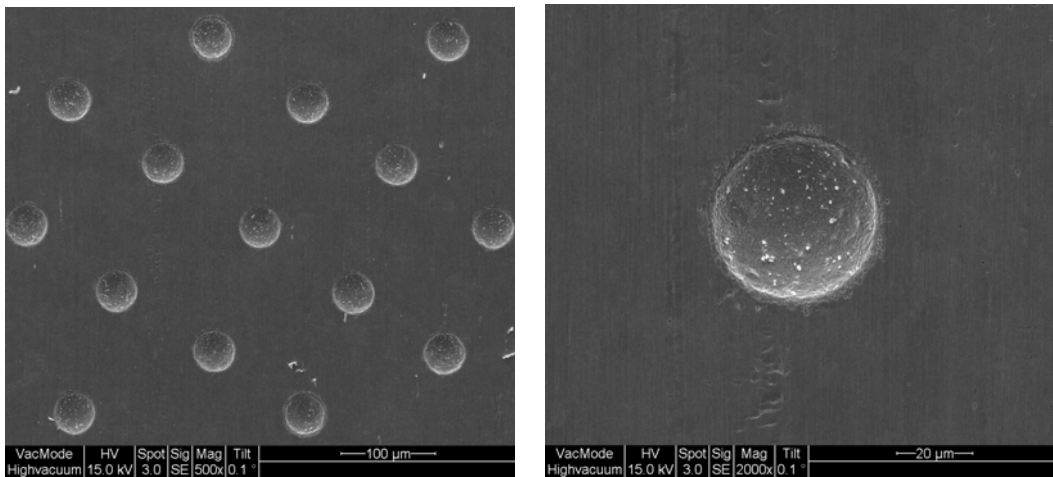


圖 3-20 鋼板蝕刻模仁所製作的導光板樣本(SEM)

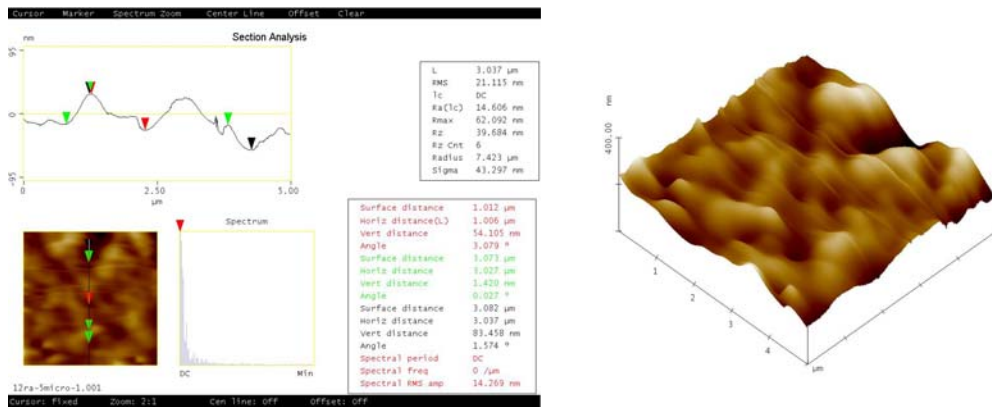
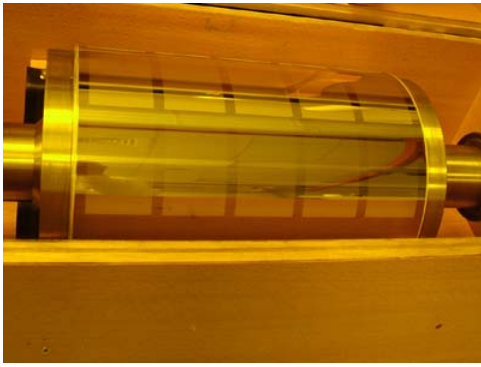
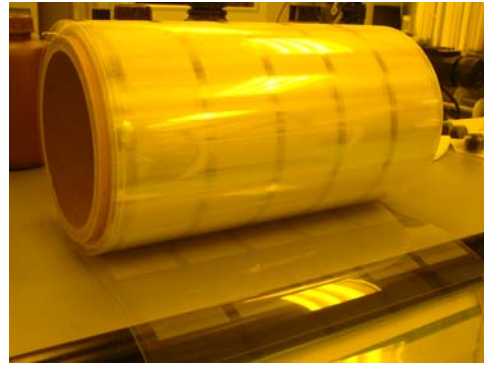


圖 3-21 鋼板蝕刻網點粗糙度分析(AFM)



(a) 模仁包覆滾筒



(b) 滾壓製作

圖 3-22 將平面鋼板模仁包覆於滾筒上並且製作導光板

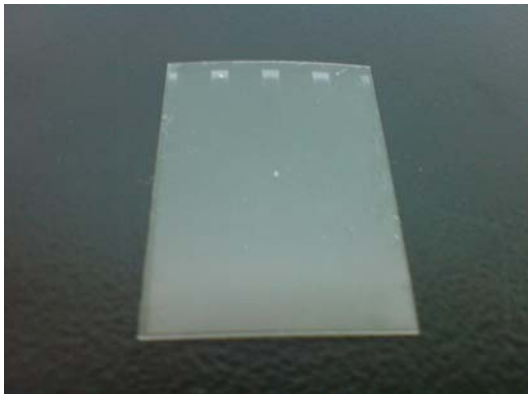


圖 3-23 滾壓製作導光板樣本

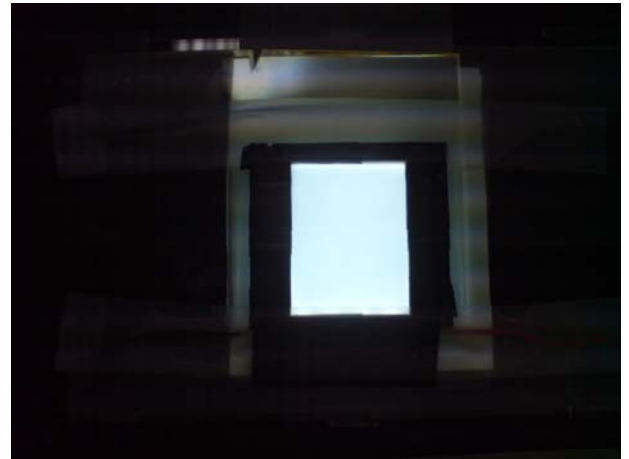


圖 3-24 將導光板組立至模組上進行光學檢測

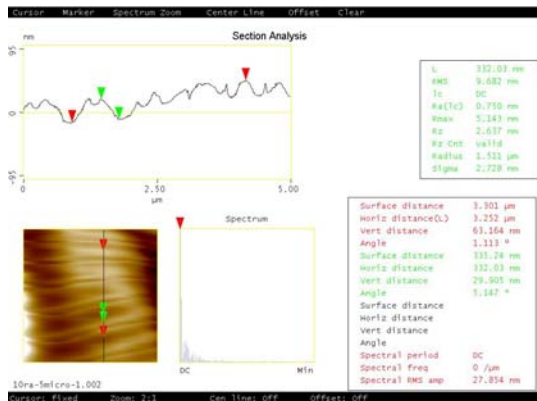


圖 3-25 滾壓製作導光板樣本粗糙度分析(AFM)

3-5 熱熔製程製作模仁與導光板樣本測試

本研究除了利用銅板蝕刻製作導光板模仁以外，還利用熱熔製程製作導光板模仁，目的在於比較兩者之間的差異性。熱熔製程製作導光板模仁前，須先將熱熔參數測試出來，再以熱熔製程製作導光板模仁。模仁製作完成後，以平面壓印的方式製作導光板樣本，量測其光學性質並與光學模擬結果、銅板蝕刻量測結果等做比較、分析。

3-5-1 熱熔製程參數測試

此熱熔參數試驗室為了後續導光板模仁製作時，設計微結構網點大小及高度最佳參數是否可行的前置作業，並且對於熱熔後的網點微結構做輪廓與表面分析。



1. 試片製作

測試熱熔參數所使用的試片是委託工研院微系統中心製作，使用6吋晶圓，所使用之光阻為 SPR-620，光阻旋塗塗佈均勻後，經儀器量測厚度約為 $4\mu\text{m}$ ，如圖 3-26。曝光後光阻圖案為圓形網點，直徑分別為 $20\mu\text{m}$ 與 $50\mu\text{m}$ ，SEM 掃描量測下，網點形狀如圖 3-27。

2. 熱熔參數測試

熱熔參數測試的目的在找出 1~2 組接近理想的熱熔過程製作鏡

面球形微結構，其數值可以套用於導光板設計與模擬的設計值，並不在於討論光阻在各溫度下的變化情形，所以在樣品的選用上，多優先選用適合的數值，並不討論其他參數數值所造成的差異。

在測試熱熔參數時，依據文獻上所探討熱熔現象，熱熔時溫度過高會造成光阻焦化，稱為過熔[25][46]。為了避免熱熔時產生過熔現象，在控制升溫溫度上，採用的加熱流程是由室溫加熱一小時到達指定持溫參數，並依照持溫時間參數維持一定時間後空冷至室溫。如此加熱過程可避免加熱時溫度上升劇烈造成過熔現象產生。

測試步驟首先分別測試不同持溫溫度測試溫度為 150°C、160°C、200°C，加熱過程由室溫升溫一小時至持溫溫度，持溫時間為 30 分鐘，隨後空冷至室溫，升溫曲線圖如圖 3-28，觀測時先以光學式顯微鏡(OM)觀察光阻熱熔狀況，依照光阻熱熔狀況判斷測試溫度是否到達光阻熱熔的 TG 點(溫度達到光阻可流動的溫度)，利用光學式顯微鏡所得的結果如圖 3-29，可以得知測試參數在持溫溫度 200°C 時可以得到較好的鏡面結構。

第二步驟為選定持溫溫度 200°C 改變持溫時間。持溫時間測試參數分別為 30 分鐘、1 小時、2 小時、4 小時；微結構為圓形網點，微結構直徑為 20 μm 與 50 μm ，利用光學式顯微鏡(OM)所得的結果如圖 3-29。但是因為光學顯微鏡已經無法觀測到更細微的表面變化，所以

在各持溫參數下，利用掃描式電子顯微鏡(SEM)分別觀測其表面粗糙度，如圖 3-30 所示，可以發現經由持溫時間的加長，微結構的表面結構漸漸趨於平滑，網點直徑 $20\ \mu\text{m}$ 依照量測顯示有較顯著的變化，微結構周邊的不規則突起，隨著持溫時間加長而漸漸趨於平滑。依照所觀測的結果發現持溫時間為 4 小時最為適合實驗所使用。

第三步驟是取測試參數為持溫溫度 200°C ，持溫時間為 4 小時這組熱熔參數，微結構為圓形網點，微結構直徑為 $20\ \mu\text{m}$ 與 $50\ \mu\text{m}$ ，此參數熱熔後觀察可得其表面輪廓較佳，並以原子力顯微鏡(AFM)量測表面輪廓與表面粗糙度，所得數值與預計的理想鏡面球形微結構做比較，如圖 3-31、圖 3-32，可以得到量測數值與理想值兩者之間的差異性不大。剖面輪廓表面與理想球形的輪廓相比，數值相近於理想值，網點高度依據公式 2-3 可以推估算出來，光阻厚度為 $4\ \mu\text{m}$ ，網點直徑為 $20\ \mu\text{m}$ 的光阻，經過熱熔製程後網點高度會變成約 $4.3\ \mu\text{m}$ ；光阻厚度為 $4\ \mu\text{m}$ ，網點直徑為 $50\ \mu\text{m}$ 的光阻，經過熱熔製程後網點高度會變成約 $5.2\ \mu\text{m}$ 左右，依據 AFM 所量測出來的數據，高度量測值跟預估值之間的誤差約在 3 % 以內。此網點成形的熱熔參數可以作為 SPEOS 光學軟體設計所使用，網點成形的大小與高度可以做為導光板網點設計上依據。

3-5-2 熱熔製程製作模仁與導光板樣本測試

本實驗中所做的熱熔製程製作導光板模仁，其目的在於對照鋼板蝕刻製作模仁，兩者的加工方法與加工過程不同，鋼板蝕刻可製作大面積尺寸、製程簡單快速，熱熔製程只能製作小面積尺寸，兩者所能製作的網點大小與網點間隔也不同，熱熔過程可製作較小的網點大小、網點間隔也較小、網點微結構粗糙度也較為平滑。

但是由於成本與時間上的考量，並無法製作與鋼板蝕刻相同的網點，所以須藉著 SPEOS 光學模擬的分析，分析兩種方式製作模仁所造成的差異。



1. 熱熔製程製作模仁

由於先前鋼板蝕刻的製程測試，可以知道導光板捲材的吸收係數範圍，以此吸收係數為設定值，利用 SPEOS 光學軟體設計熱熔製程所製作之模仁的導光板網點樣本以 AutoCAD 輸出成檔案格式，用以製作成曝光時所使用的光罩，光罩與光阻製作作業委託工研院微系統中心進行，預定製作的導光板網點大小 $20\mu\text{m}$ 、高度 $5\mu\text{m}$ 、網點最小間隔為 $5\mu\text{m}$ 。在曝光、顯影等過程後光阻利用熱熔製程所測試的參數進行熱熔製程，熱熔製程後模仁無法直接使用，必須經過電鑄、翻模等過程，此過程委託工研院機械所進行翻模鑄模的作業，然後進行平面

UV embossing 轉印製作導光板。

2. 熱熔製程平板模仁製作導光板光學檢測與光學模擬做比較

實驗會先以平面壓印製作導光板樣本，經過光學檢測後記錄其結果，並與光學模擬作比較、分析兩者之間的差異性。

3. 鋼板蝕刻與熱熔製程平板模仁製作導光板光學檢測做比較

本實驗中利用兩種方式製作導光板模仁，分別是鋼板蝕刻製作導光板模仁與熱熔製程製作導光板模仁，兩者在比較上鋼板蝕刻製程的成本較低、可以製作大面積範圍，製作模仁過程較簡單，但是網點蝕刻網點的表面粗糙度不佳，形狀精度上也略嫌不足；熱熔製程製作模仁成本較高，其製作過程也較繁雜，必須經過電鑄、翻模的二次製作程序，但比起蝕刻製程來說，可製作微結構的尺寸較小、微結構之間的分佈可較密集、表面粗糙度與形狀精度較佳等等優點。換句話說，利用熱熔製程製作導光板模仁，在設計上可設計網點結構較密集，出光效率較高的導光板，而且厚度較也較薄。

熱熔製程製作導光板的目的是做為與鋼板蝕刻比較的對照組，可以藉由兩者所製作的導光板實驗數值得知兩者之間的差異。但是在本實驗中，因為成本與時間的關係，無法以熱熔製程製作與鋼板蝕刻相

同大小的網點，兩者間無法直接比較。所以必須借助 SPEOS 光學模擬，推算出兩者之間的差異性。



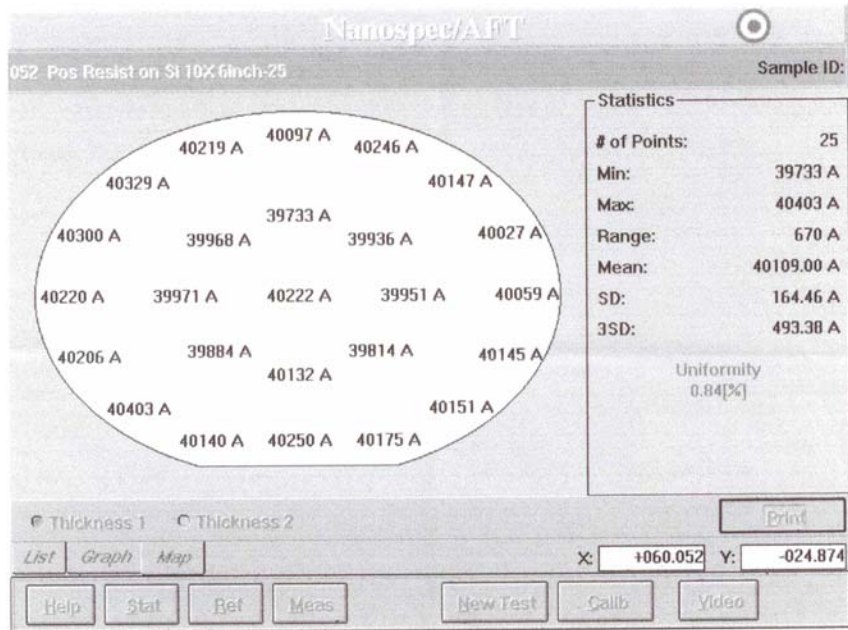


圖 3-26 光阻塗佈厚度量測(軟烤後)

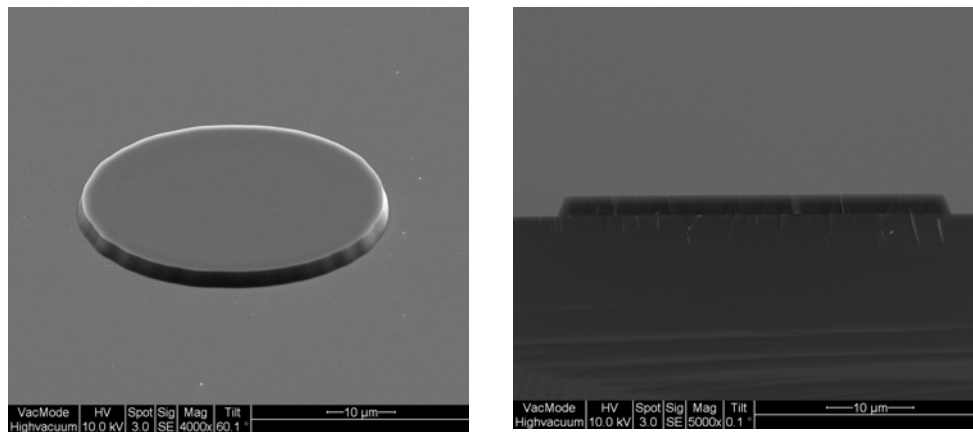


圖 3-27 最初光阻圖形的 SEM 圖 (圖為直徑 50 μm)

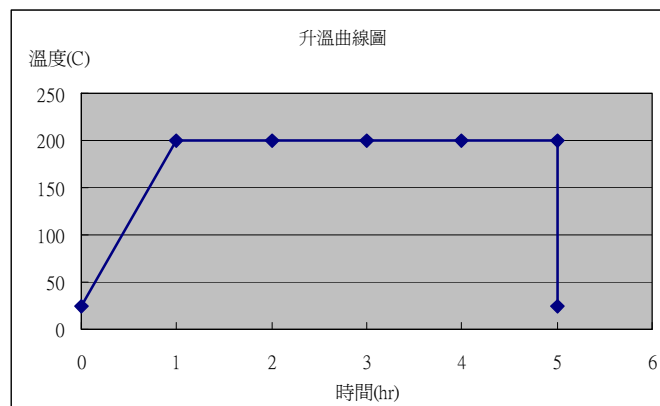


圖 3-28 持溫溫度 200°C、持溫時間四小時升溫示意圖

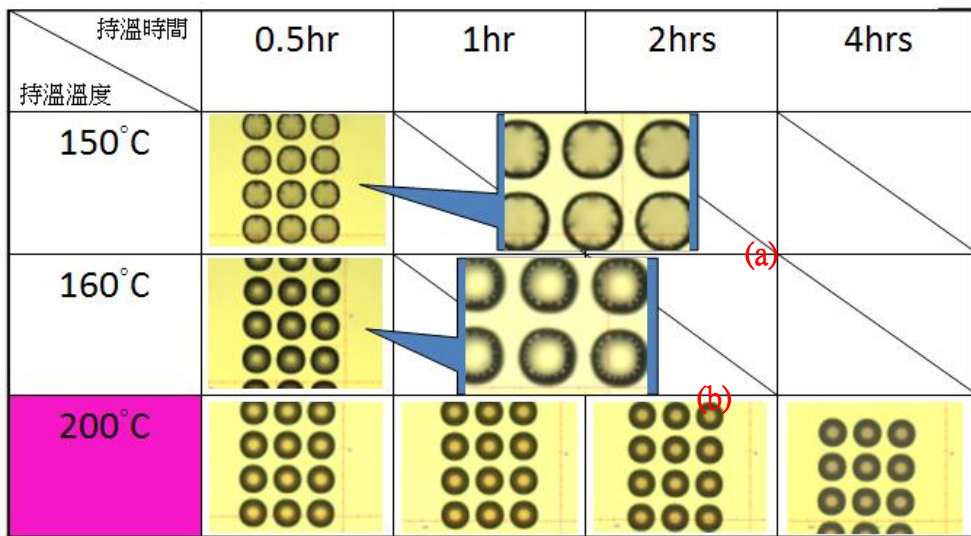


圖 3-29 熱熔參數數值熱熔後之 OM 圖，放大倍率為 500 倍
(a)(b)為放大倍率 1000 倍

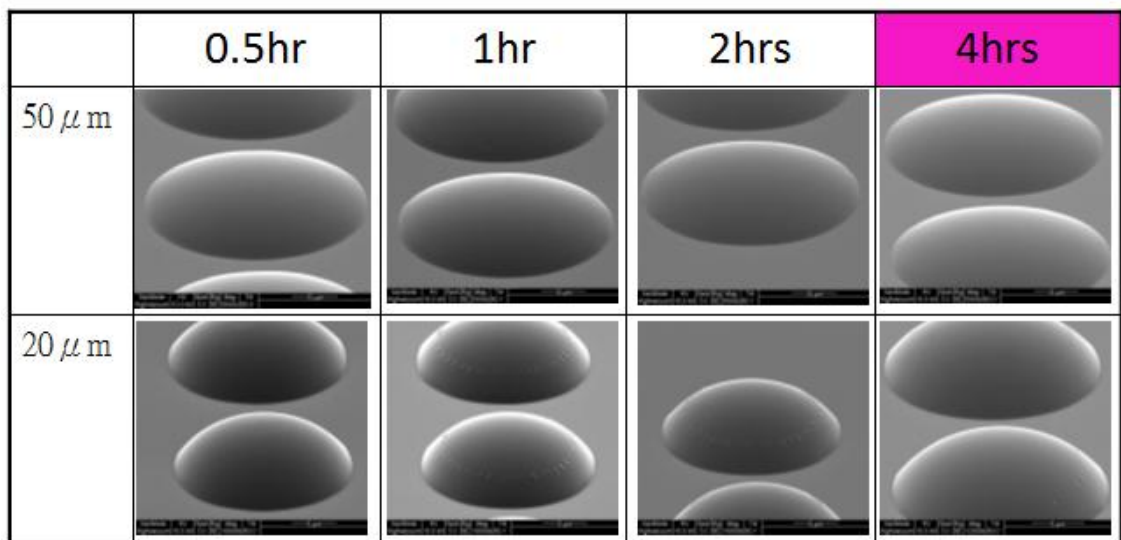
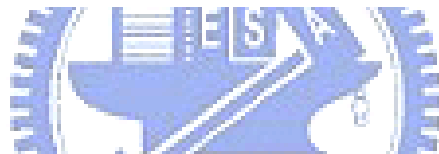


圖 3-30 50 μm 與 20 μm 的球形網點 SEM 圖

經由持溫時間的加長，微結構的表面結構漸漸趨於平滑，網點直徑 20 μm 依照量測顯示有較顯著的變化，微結構周邊的不規則突起，隨著持溫時間加長而漸漸趨於平滑

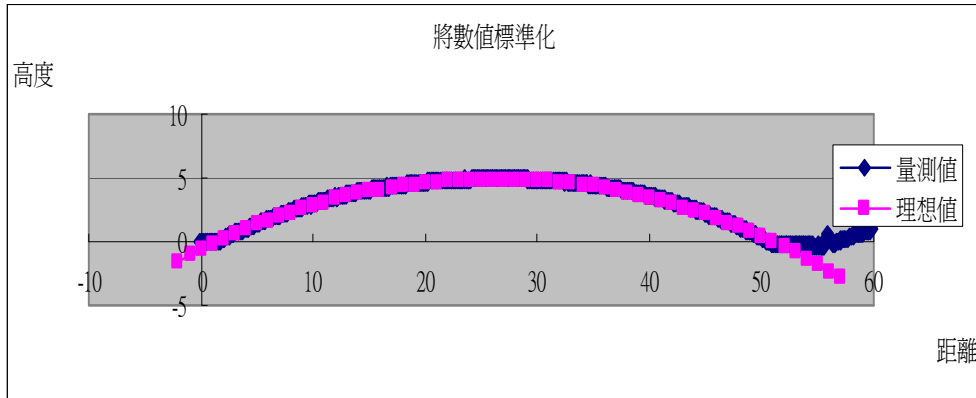
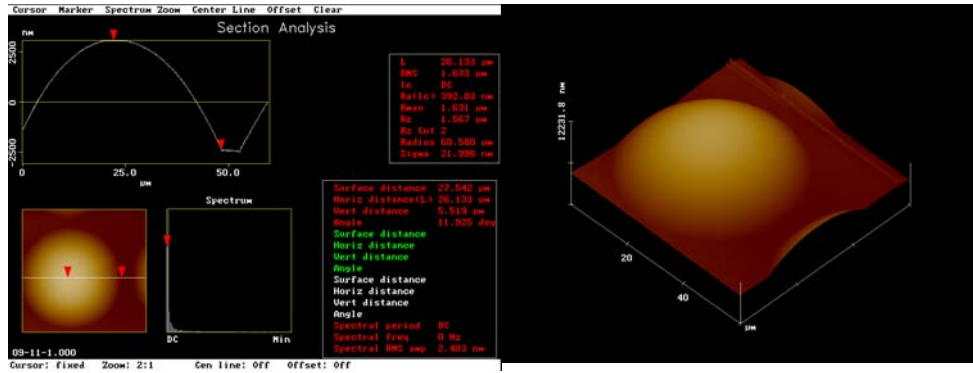


圖 3-31 以原子力顯微鏡量測數值與理想值所模擬出的輪廓做比較(50 μm)

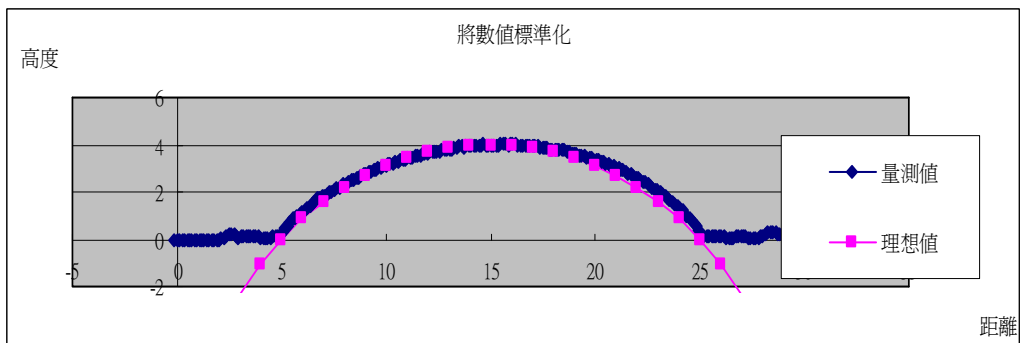
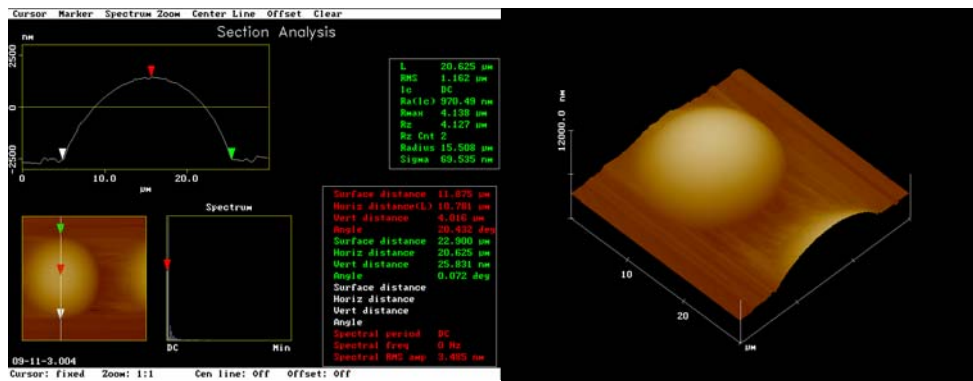


圖 3-32 以原子力顯微鏡量測數值與理想值所模擬出的輪廓做比較(20 μm)

3-6 滾壓參數對導光板成形的影響

實驗中利用紫外光固化設備做滾壓 UV embossing 製程製作導光板，本章節是針對對於滾壓 UV embossing 製程所設定的一些參數做說明，並且對於滾壓 UV embossing 製程可能造成的導光板缺陷做介紹。

3-6-1 UV 膠的選擇

滾壓製程中，UV 膠的選擇十分的重要，因為滾壓時會依據所使用的 UV 膠種類不同，製程上就會產生許多的影響因素，例如 UV 膠的黏稠度、對捲材的附著性、UV 固化劑量(UV 固化所必需的能量多寡)、對模仁的脫模性等等因素造成滾壓製程上的停擺，而且不同的 UV 膠會有折射率、吸收率與導光板捲材材質不同的問題，這樣會造成導光板在光學上導光的差異，當中影響最大的就是對導光板捲材的附著性與對模仁的脫模性，UV 膠對導光板捲材的附著性差會造成製程中滾輪上的模仁沾黏 UV 膠無法脫模，以致於模仁無法使用，UV 膠對模仁的脫模性差就會造成無法脫模的情況或是滾壓時導光板損壞與滾筒模仁結構被破壞，如圖 3-33 所示。

實驗中所使用的 UV 膠為 TX-200，固化時所需要固化劑量少、固化速度快、附著性高，但是 UV 膠本身黏稠性較高，流動性較差，為了容易脫模，所以模仁製作完成後必須做表面抗沾黏處理，此實驗用

模仁委託工研院機械所做表面抗沾黏處理，以降低 UV 膠對模仁的附著性，使得導光板滾壓成形時更容易脫模，以免造成滾壓時導光板損壞與滾筒模仁結構被破壞。

因為本研究中只使用 UV 膠 TX-200，並無其他 UV 膠或是 UV 光阻可供試驗使用，所以研究中並無詳細討論其他 UV 膠或是 UV 光阻對於製作導光板的差異性。

3-6-2 成形時導光板捲材的張力控制

導光板滾壓時，負責做為輸送傳動的滾筒對於導光板捲材兩端有張力作用，其張力作用在滾壓製程時兩端張力會對捲材造成一正向力，能使得導光板捲材貼合在模仁上，導光板捲材兩端的張力越大，所造成的正向力就越大，導光板捲材就越貼近模仁，進而使得導光板成品殘留層厚度越小如圖 3-34 所示，張力大小所對應的殘留層厚度如表 3-2(殘留層厚度為 $80\mu\text{m}$ 是在非作業張力下製作，嘗試製作殘留層厚度極厚的導光板樣本，以作為實驗中對照的測試)。

因為殘留層厚度越厚，導光板本身的厚度越大，代表著導光板製作厚度與設計上的厚度誤差越大，而且 UV 膠殘留層越厚，會造成導光板成品與設計上的誤差越大，以致於影響導光板整體出光。實驗時針對滾壓時導光板的殘留層厚度做探討，針對兩種極端的厚度，分別

為殘留層厚度約為 $80\mu\text{m}$ 與殘留層厚度約為 $10\mu\text{m}$ ，如圖 3-35 所示，並做光學上驗證，比較分析光學性質上的不同點。

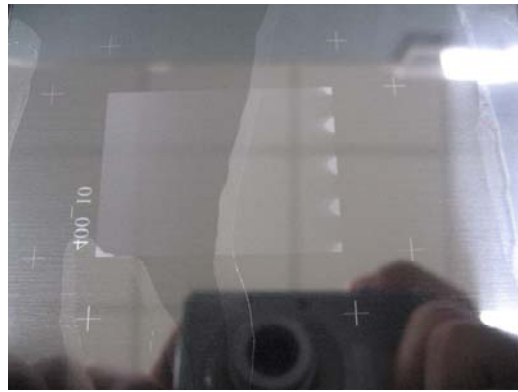
3-6-3 UV lamp 的強度與成形速度的控制

滾壓成形時 UV lamp 的強度與滾壓成形的速度是決定固化劑量 (UV 固化所必需的能量多寡) 的兩個重要因素，換言之固化劑量約為 UV lamp 的強度與成形速度的乘積，UV 固化劑量在選擇 UV 膠、決定導光板殘留層厚度、導光板捲材的透光率與吸收率等等滾壓製程前設計與準備時就已經固定了，所以在滾壓製程中必須讓決定固化劑量的兩個因素盡量配合，實驗時在製程中分別對這兩個參數做變動做探討。

測試對於導光板滾壓製程所造的影響，UV lamp 的強度為 I、II、III (工研院內部資料數據，不公開)，UV 光強度為 $I < II < III$ ，滾壓的成形速度為每秒 1 公尺、每秒 2 公尺、與每秒 5 公尺，針對這兩種滾壓參數分別做交叉測試製作導光板，藉此試驗可以得到 UV lamp 的強度與成形速度對於導光板的成形有何影響。



(a) 脫模失敗的導光板



(b) 脫模失敗的導光板模仁

圖 3-33 脫模失敗的導光板與導光板模仁

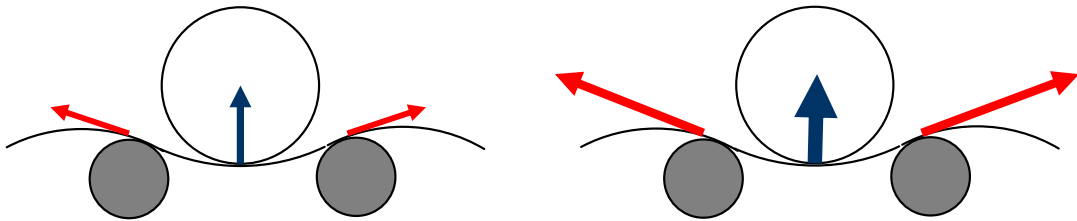


圖 3-34 導光板兩端張力越大，正向力越大，捲材上的殘留層會越薄



圖 3-35 量測厚度不同導光板的殘留層

表 3-2 張力與所殘留厚度對照表

張力大小(N)	殘留層厚度(μm)
10 N(非作業張力)	80 μm
32 N	20 μm
37 N	10 μm
42 N	4~8 μm (有缺陷)



第四章 實驗結果與討論

本章節是對於設計時所做的模擬結果與實驗過程中所做的各種實驗，一一提出做詳細的討論，並且針對模擬與實驗所得到的各項結論與發現做一小結。

4-1 光學模擬

光學模擬部份，研究中所討論部分是導光板的優化策略、各種反射參數對於模擬的照度趨勢影響、材料吸收係數與網點最小間距等等。以 SPEOS 做光學模擬，其光學模擬的結果與其相對的變化趨勢可以作為導光板的設計依據。



4-1-1 導光板出光均勻性優化策略

分別以(1)分段式陣列佈點與(2)連續式交錯佈點兩種佈點方式設計導光板，調整佈點時盡可能地將導光板的均勻性提高，並且利用 SPEOS 內部程式分析兩者的出光效率。調整網點時以調整網點間的間隔(pitch)為主，而不調整網點深度或是網點大小，這是因為我們希望在網點模仁製作時，網點微結構製作參數可以固定，調整網點分佈位置即可。

利用上述兩種網點分佈形式，以 SPEOS 分別模擬兩者光學效果並

比較兩者之間的差異，模擬結果如圖 4-1 與圖 4-2 所示。表 4-1 為列出此兩種網點分佈形式的出光效率分析以及光損耗分析。由模擬結果顯示，連續式網點交錯佈點出光效率為 74%，分段式網點陣列佈點出光效率為 70%。可以得到連續式網點交錯佈點有較佳的出光效率，且就模擬結果來看連續式交錯佈點擁有較均勻的照度分佈效果，約高於分段式陣列佈點 4%左右。因此，在後續設計與製作上會採用連續式網點交錯佈點方式進行優化。



對於連續式與分段式佈點可以看出連續式交錯佈點有較佳的出光效率與均勻性，但是連續式交錯佈點方式較為複雜，光源前端在初期模擬時照度偏低，並且初期設定為線光源，而正式量測或設計上使用點光源(LED)，導光板前端會有局部暗帶出現。針對此種狀況，導光板在設計上必須再做局部調整，會依照 LED 位置做網點微結構疏密排列，以調整導光板前端光源出光與均勻性。

4-1-2 對於各反射參數所做的模擬結果

真實狀況下，表面粗糙度會對光學性質造成影響，尤其是光學反射部分會依照表面粗糙度的不同，造成鏡面反射、擴散反射、漫射反射等現象。導光板微結構表面粗糙度變化，造成光反射上的差異，所

以在光學模擬的部分分別針對不同的光學性質下，各種的反射狀況下做光學模擬並且比較。參數設定上為任意設定，模擬的目的在於找出因應參數變化的趨勢，而不是詳細探求粗糙度所造成的光反射與所對應的光學性質。

4-1-2-1 高斯角不同造成模擬上的差異

光學模擬時固定光反射中的鏡面反射與高斯反射所佔的比例，鏡面反射比例為全部的 80%，高斯反射比例為全部的 20%，高斯反射的高斯角為可設定的變數。

模擬參數設定高斯角變數為 10° 、 20° 、 30° 、 40° 、 50° ，SPEOS 以這些參數做模擬的結果，可以看到高斯角的變化對於整體模擬結果，影響模擬結果差異不大，可以看出在高斯角 $10^\circ \sim 30^\circ$ 中模擬差異並不大，但是將高斯角設定為 40° 、 50° ，此參數下模擬時，前端入光側的照度會有小幅度的提升，提升程度約整體照度的 4%~7% 左右。原因大約是因為高斯角的變大，原本光線在小幅度高斯角時會全反射的狀況，會因高斯角度變化的關係造成光線折射出導光板，因此提升導光板入光側的照度，除此之外可以藉照度變化曲線看見高斯角對整體照度的變化影響不大，趨勢圖如圖 4-3。

4-1-2-2 鏡面反射與高斯反射所佔比例不同造成模擬上的差異

光學模擬時固定高斯反射的高斯角為 25° ，針對光反射形式中的鏡面反射與高斯反射所佔的比例做比例調整。對於 4-1-2-1 的模擬數值可以知道高斯角在 30° 以下對於整體照度變化影響不大，現在固定高斯反射的高斯角度為 25° ，調整鏡面反射與高斯反射所佔的比例，調變參數為光反射形式中的鏡面反射與高斯反射所佔的比例，設定高斯反射佔整體的 20%、50%、70%、100%。

由模擬數據可以觀察到隨著高斯反射的比例增加，光源前端入光側的照度，也會隨之增加，高斯反射比例愈高，入光側照度愈強，其原因如 1. 所說，隨著高斯反射的比例增加造成入光側更多光線折射出導光板，因此提升導光板入光側的照度，但是因為網點分佈不變，導光板入光側照度提升會造成導光板的遠光端照度稍稍下降，整體能量利用率與照度變化曲線差異不大，均勻性會隨著高斯反射的比例增加而稍稍下降。當高斯反射佔整體的 100%時，均勻性下降約 4~5%左右。趨勢圖如圖 4-4。

4-1-2-3 高斯反射與漫射反射所佔比例不同造成模擬上的差異

第三種參數模擬在設定上沒有鏡面反射的光學反射效果，反射參數上是以高斯反射與漫射反射所佔整體的比例做調整為主，其中高斯

反射的高斯角固定為 25° ，調整變數為漫射反射所佔的比例，分別以漫射反射所佔整體比例為 10%、20%、30%、40%、50%與 100%，分別模擬比較其結果。

從模擬結果可以知道當漫射反射所佔的比例越大時，光線越容易導出導光板，因此造成大量光線在導光板前端折射出導光板，而位在導光板較遠的位置其光線就越不容易傳達到，使得原本達到 75%左右的均勻性降低，當設定全部反射均為漫射反射時，均勻性會降低到 30%左右，所以可以從模擬結果得知當漫射反射所佔的比例越大，對於整體均勻性的影響越大，趨勢圖如圖 4-5。



由前述模擬結果可知，高斯散射對出光均勻性的影響不大，而漫射反射則會大幅降低出光均勻性。一般而言，漫射反射的表面通常為粗糙度極大的不規則面，如果網點表面的粗糙度不大，則我們相信網點表面的光學特性應以高斯散射為主。藉由網點粗糙度的分析可以大致判斷散射類型，從而作為模擬與時做的差距判斷依據。

4-1-3 導光板網點分佈疏密與材料吸收係數對於模擬的差異

此模擬是對導光板材料的吸收係數與加工上網點所能達到最小間距兩種變數，固定參數為導光板網點大小為 $50\mu\text{m}$ ，網點高度為

13 μm ，分別調配導光板網點設計並做整體均勻性、出光效率的光學模擬，當變數設定為導光板材料的吸收係數時，吸收係數分別設定為 $\alpha=8.5\times 10^{-3}\text{mm}^{-1}$ 、 $1.7\times 10^{-2}\text{mm}^{-1}$ 、 $3.4\times 10^{-2}\text{mm}^{-1}$ ，變數設定為加工上網點所能達到最小間距，最小間距設定上分別為 5 μm (網點最密集處填充率 66.01%)、10 μm (網點最密集處填充率 55.32%)、20 μm (網點最密集處填充率 40.49%)。

對上述參數各別做 SPEOS 的光學模擬，最後針對各模擬結果統整並且比較歸納，如表 4-2。

由表 4-2 可以看出，以編號 1、2、3，與編號 4、5、6，以及編號 7、8、9 為區別，由三組數據中可以觀察到，當最小間隔固定時，其出光效率會因為材料吸收係數不同而變動，當材料吸收係數越大，整體的出光效率會因為能量被材料吸收越多而下降。

由表 4-2 可以看出，以編號 1、4、7，與編號 2、5、8，以及編號 3、6、9 為區別，由三組數據中可以觀察到，當材料吸收係數固定時，其出光效率會因網點最小分佈間隔而變動，當網點最小分佈間隔越密時，設計上可以做更密集的網點佈點，將光線更有效率的導出導光板，提高出光效率。換句話說，就是當網點最密集的填充率越大，出光效率就越大。

我們將表 4-2 數值作為圖表分析，其結果如圖 4-6 所示，從中可以得到三個結論：(1)相同網點最小間距的狀況之下，吸收係數越低，出光效率越高。(2)相同材料吸收係數下，網點最小間距越小，出光效率越高。(3)材料吸收係數對於出光效率的影響遠大於網點最小間距。

由上述三種結果可以得到，製作導光板時先要選定吸收係數較低的導光板捲材，並且在模仁加工上選擇精密度較佳、可製作網點的間距較小的加工方式，這樣才可以提高導光板的出光效率，以實驗所得來說，網點最小間隔 $5\mu\text{m}$ 與 $10\mu\text{m}$ 在吸收係數相同下，網點最小間隔 $5\mu\text{m}$ 的出光效率約高於 $10\mu\text{m}$ 的出光效率 2~3% 左右。



4-1-4 光學模擬小結與導光板設計樣本

在上述章節的設計中，網點直徑 $50\mu\text{m}$ 、網點高度 $13\mu\text{m}$ 、網點最小間距 $10\mu\text{m}$ 的微結構可採用鋼板蝕刻製程進行製作，現有鋼板蝕刻不易再縮小網點直徑。當網點間距太大時，網點出光所造成的亮點不易勻化，必須提高擴散片的霧度才能提高均勻性，避免模組化後仍可由人眼看出局部亮點，造成品位(發光品質)上的問題。但擴散片霧度的提升將導致能量利用率的下降，因此一般導光板設計上不希望網點間距太大。當出光網點結構固定時，隨著導光板厚度的降低，必須

加大網點間距才能維持一定出光面均勻性。反之，當網點最大間距固定時，隨著導光板厚度的降低，必須降低出光網結構的特徵尺寸才能維持一定出光面均勻性[47]。因此，我們以熱熔製程(reflow)為加工方式，進行網點直徑 $20\ \mu\text{m}$ ，網點高度為 $5\ \mu\text{m}$ 的優化設計。

SPEOS 可以設定各種元件的光學性質，包括元件材料、材料吸收係數、反射折射性質、各種反射所占的比例等等因素所造成的光學效應，對於導光板設計來說，只要能夠建立起接近使用狀況的虛擬原型，並加上接近材料材質與光學性質的參數設定，就可以藉此模擬出真實使用狀況下的出光效率。利用 SPEOS 預先做導光板設計樣本的光學模擬，可以減少錯誤樣本的嘗試，大幅節省導光板在設計上的製作成本與樣本製作時間。而且 SPEOS 可以做設定參數的調變，可做為單一設計版本下多方面不同點的測試，在導光板設計上十分的方便。

本研究使用 SPEOS 來做為 2 吋導光板設計，設計上分為兩種樣本，一是使用鋼板蝕刻加工方式製作模仁，另一是使用熱熔方式(reflow)製作模仁，兩種設計上所使用的網點不同，鋼板蝕刻的網點大小為直徑 $50\ \mu\text{m}$ 、高度 $13\ \mu\text{m}$ ，網點間最小間隔為 $10\ \mu\text{m}$ ；熱熔方式製作的網點大小為 $20\ \mu\text{m}$ ，高度為 $5\ \mu\text{m}$ ，網點間最小間隔為 $5\ \mu\text{m}$ ，在導光板設計上均以 4 顆 LED 做為光源，並在暗帶部位做局部密集網點佈點，整體佈點以連續式交錯佈點，如圖 4-7 所示，模擬時整體均

勻性只要求在 80%左右，這是因為導光板設計要達到出光均勻性 90%或是 90%以上，需要更多的時間來調整佈點方式與模擬，以本研究設計導光板並測試滾壓製作為主要的目的來說，設計上均勻性不需要到達這麼高要求的水準，所以模擬上以出光均勻性 80%左右為導光板設計最低要求，在光學模擬時將 2 吋導光板分為 30×41 個畫素，使用模擬光線數為 100 萬條光線數，依公式 3-1 可預測模擬誤差值平均約為 3.5%。



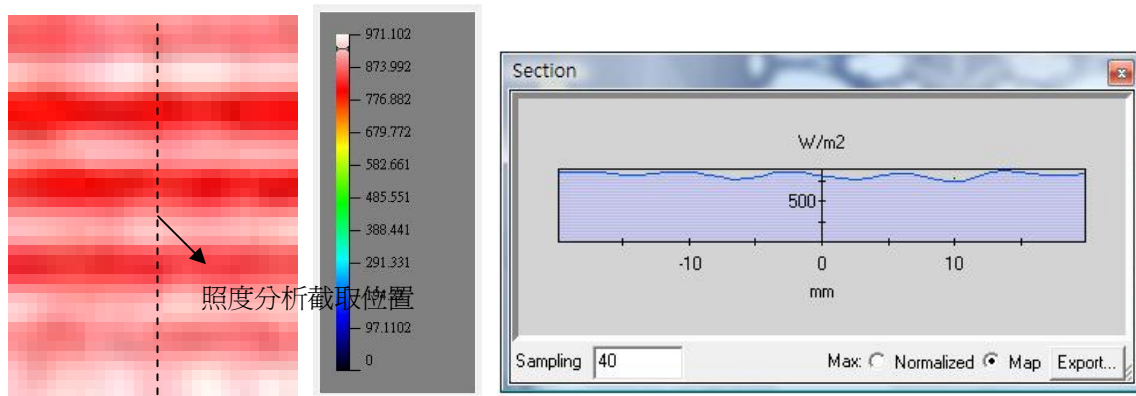


圖 4-1 分段式網點陣列佈點之模擬結果與照度分佈值

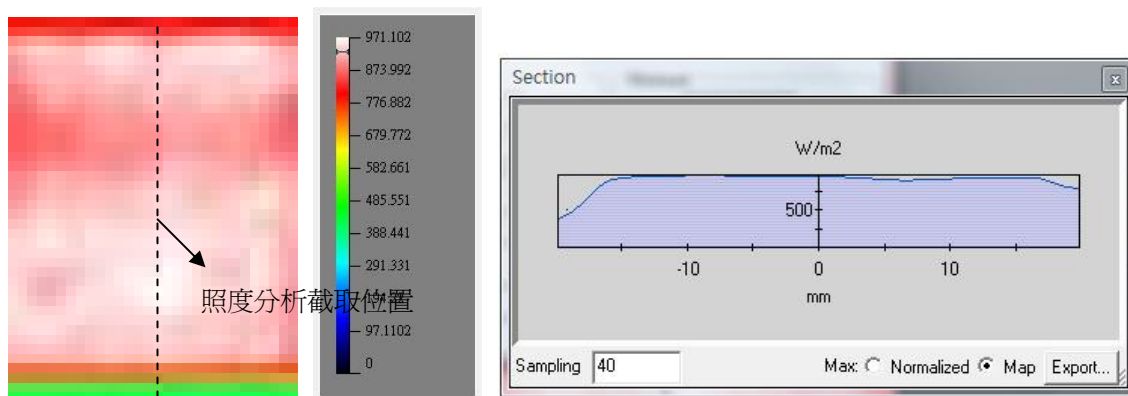
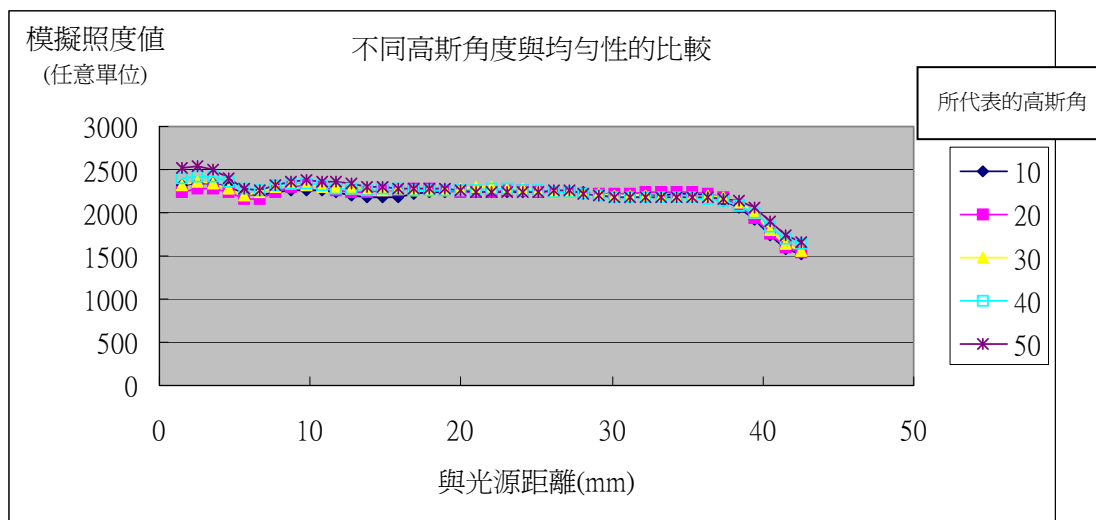


圖 4-2 連續式網點交錯佈點之模擬結果與照度分佈值

(a) 照度分布



(b) 照度均勻性的變化

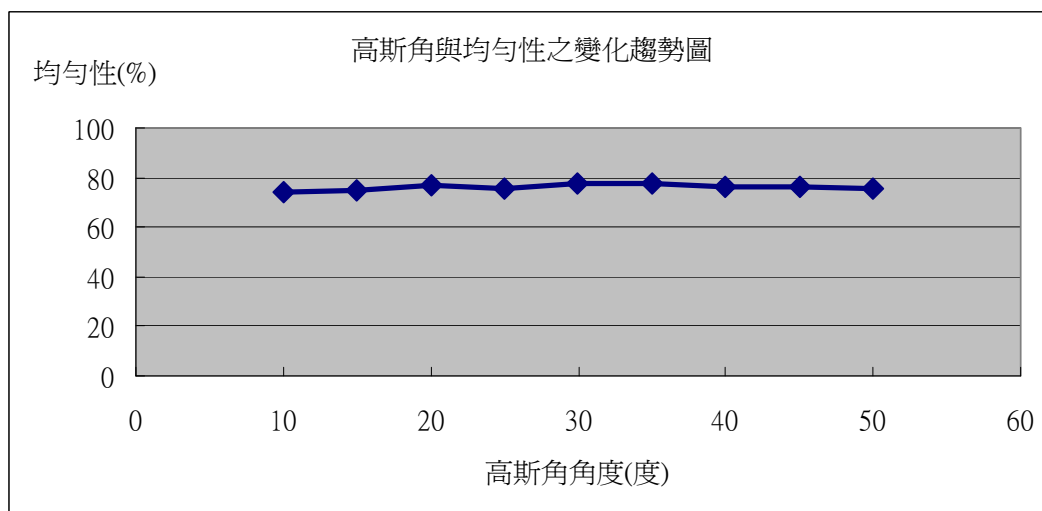
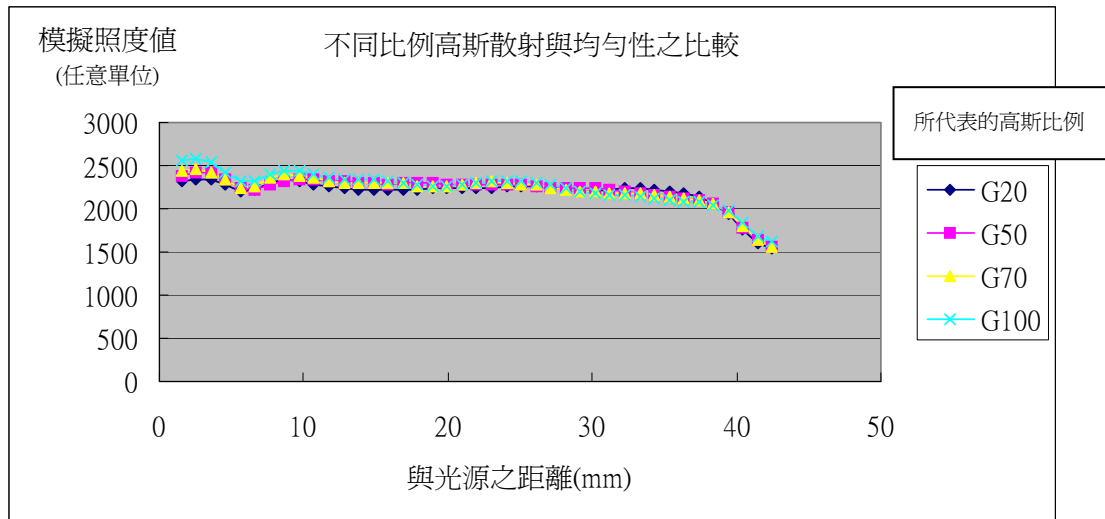


圖 4-3 以不同高斯角度進行光學模擬，其照度分布(a)與照度均勻性(b)的變化

◎所代表高斯角為 10 表示高斯角 10°

(a) 照度分布



(b) 照度均勻性的變化

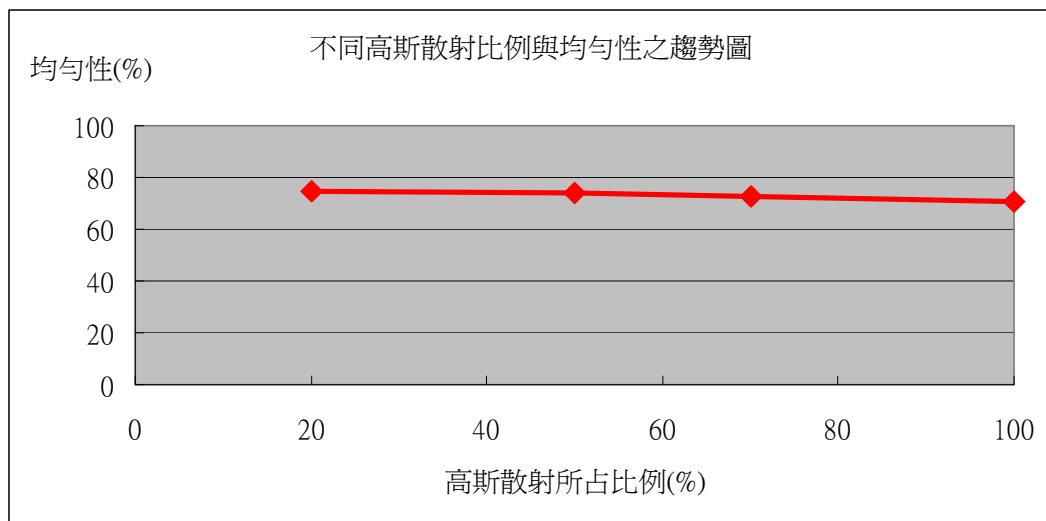
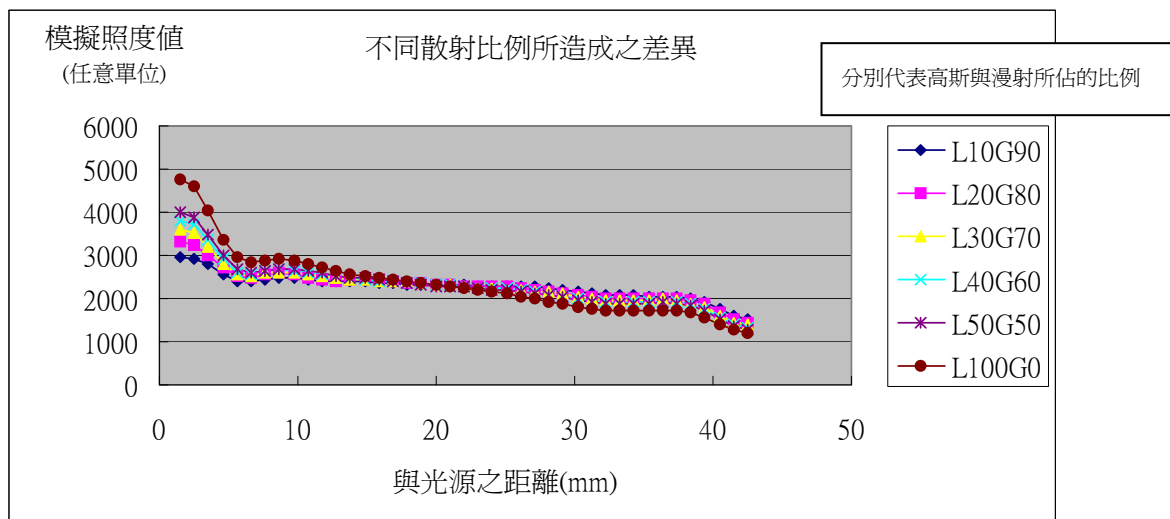


圖 4-4 以不同高斯散射比例進行光學模擬，其照度分布(a)與照度均勻性(b)的變化

◎所代表高斯比例為 G20 表示高斯散射比例佔整體的 20%，其餘為鏡面反射

(a) 照度分布



(b) 照度均勻性的變化

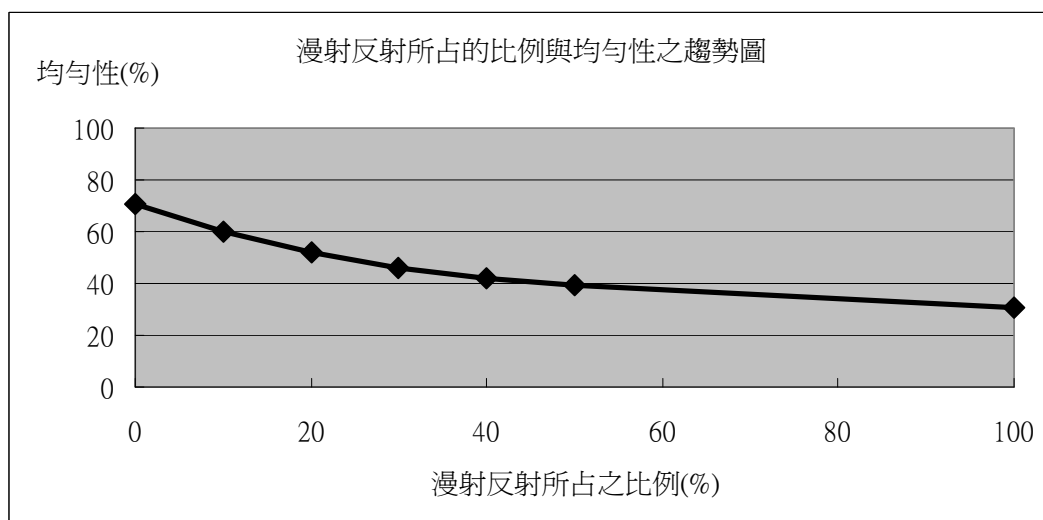


圖 4-5 以不同漫射散射比例進行光學模擬，其照度分布(a)與照度均勻性(b)的變化

◎ 所代表高斯與漫射比例為 L10G90 表示漫射散射比例佔整體的 10%，其餘 90% 為高斯反射

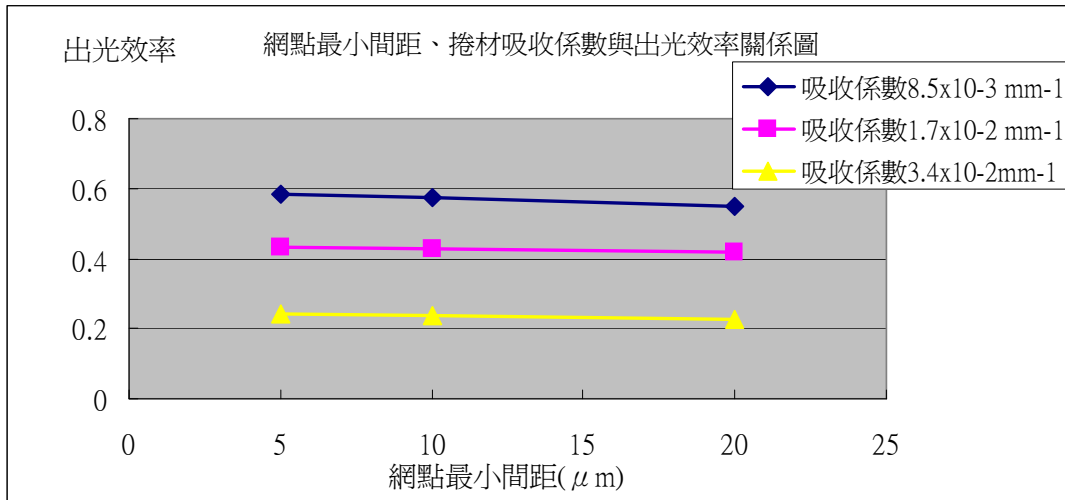


圖 4-6 各吸收係數與最小間距對出光效率之關係圖

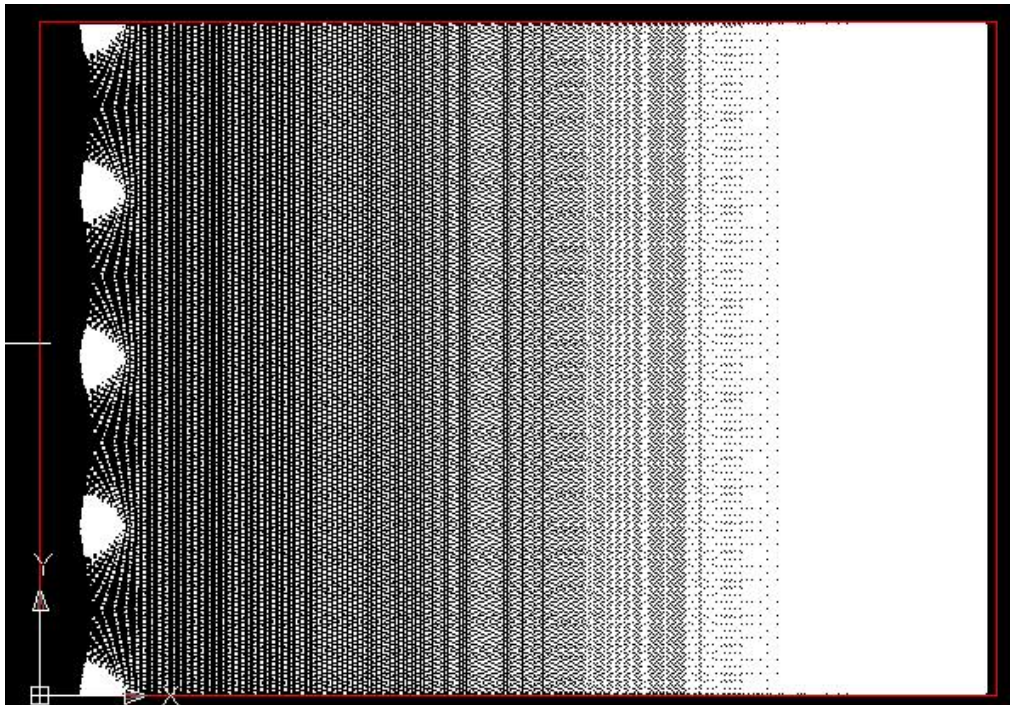


圖 4-7 導光板網點位置以 AutoCAD 形式輸出位置

表4-1 初步模擬佈點的比較

	分段式網點陣列佈點	連續式網點交錯佈點
出光效率	70.2%	74.6%
光源回射	22.7%	18.3%
導光板吸收	4.9%	4.9%
側框吸收	0.3%	0.3%
底框吸收	0.5%	0.5%
底反射片吸收	1.4%	1.4%

表 4-2 吸收度不同與最小間距不同所做的光學模擬比較

編號	網點尺寸(D/h)	模擬用吸收係數	導光板厚度	出光效率	均勻性
5 μm gap					
1	50/13	8.5×10^{-3}	0.4	0.584	77.54%
2	50/13	1.7×10^{-2}	0.4	0.432	82.44%
3	50/13	3.4×10^{-2}	0.4	0.243	77.82%
10 μm gap					
4	50/13	8.5×10^{-3}	0.4	0.573	82.62%
5	50/13	1.7×10^{-2}	0.4	0.43	87.13%
6	50/13	3.4×10^{-2}	0.4	0.238	81.68%
20 μm gap					
7	50/13	8.5×10^{-3}	0.4	0.549	82.96%
8	50/13	1.7×10^{-2}	0.4	0.416	78.12%
9	50/13	3.4×10^{-2}	0.4	0.224	85.26%

4-2 鋼板蝕刻製作模仁與導光板樣本測試

本研究實驗鋼板蝕刻製作模仁並且用以作為滾壓製程中使用，因為鋼板蝕刻成本較低，所以大部分的分析實驗均用此方式製作模仁作為實驗使用。以下敘述為各項實驗的實驗結果與小結：

4-2-1 預估 PMMA 導光板捲材吸收係數實驗

因為 PMMA 導光板捲材是薄膜材質，厚度為 0.4mm，其吸收係數難以量測，所以必須先將導光板捲材的吸收係數估計出來，才可進行後續製程；評估吸收係數的實驗方式是分別設計在不同吸收度下均勻性達到 80%左右的導光板樣本，設計的模仁在鋼板蝕刻完成後，利用平面印製作導光板樣本，製作完成後檢測平面模仁所轉印的導光板光學性質。

可以依照所量測的導光板整體均勻性得知導光板捲材的吸收係數大約的範圍，吸收係數試驗如表 4-3 所示。由表 4-3 可知道，設計值為吸收係數 $\alpha=1.7\times 10^{-2} \text{ mm}^{-1}$ 的導光板樣本(編號 400_10)做光學檢測，其出光最為均勻。因此可以推測導光板捲材的吸收係數大約為 $\alpha=1.7\times 10^{-2} \text{ mm}^{-1}$ 。

為了確保實驗所推測的數據範圍是正確的，我們再利用 SPEOS 作光學模擬作二次驗證。驗證方法是分別將所設計三種的導光板在所對應的三種吸收係數做交叉模擬，將其結果整理成照度分佈趨勢圖。將模擬的數值與量測數值標準化，並且做個別比較，由此分佈結果可以看出導光板捲材的吸收係數範圍為何。

(1) 設計吸收係數為 $8.5 \times 10^{-3} \text{mm}^{-1}$ 的導光板

我們將所此設計值的導光板佈點，分別在其他吸收係數下以 SPEOS 做光學模擬，模擬出各別吸收係數下的分佈趨勢並標準化。將標準化數值與量測數值做比較，可以看出模擬結果。模擬時導光板吸收係數為 $1.7 \times 10^{-2} \text{mm}^{-1}$ 的分佈趨勢與量測值標準化後的趨勢一致，趨勢圖如圖 4-8 所示，所以我們可以推估導光板捲材吸收係數約為 $1.7 \times 10^{-2} \text{mm}^{-1}$ 。

(2) 設計吸收係數為 $1.7 \times 10^{-2} \text{mm}^{-1}$ 的導光板

我們將所此設計值的導光板佈點，分別在其他吸收係數下以 SPEOS 做光學模擬，模擬出各別吸收係數下的分佈趨勢並標準化。將標準化數值與量測數值做比較，可以看出模擬結果。模擬時導光板吸收係數為 $1.7 \times 10^{-2} \text{mm}^{-1}$ 的分佈趨勢與量測值標準化後的趨勢一致，趨

勢圖如圖 4-9 所示，所以我們可以推估導光板捲材吸收係數約為 $1.7 \times 10^{-2} \text{mm}^{-1}$ 。

(3) 設計吸收係數為 $3.4 \times 10^{-2} \text{mm}^{-1}$ 的導光板

我們將所此設計值的導光板佈點，分別在其他吸收係數下以 SPEOS 做光學模擬，模擬出各別吸收係數下的分佈趨勢並標準化。將標準化數值與量測數值做比較，可以看出模擬結果。量測值標準化後的趨勢介於吸收係數為 $3.4 \times 10^{-2} \text{mm}^{-1}$ 與 $1.7 \times 10^{-2} \text{mm}^{-1}$ 兩者之間，趨勢圖如圖 4-10 所示。由圖 4-10 可知道 PMMA 導光板捲材吸收係數介於兩者，但是於由上述(1)(2)的佐證，加上量測值的誤差有可能為光學量測或是人為組裝所造成數值偏差，所以我們可以推估導光板捲材吸收係數約為 $1.7 \times 10^{-2} \text{mm}^{-1}$ 。

4-2-2 組裝誤差實驗

由上述實驗可推得導光板捲材的吸收係數，我們對應此設計值的模仁(編號 400_10)所製作的導光板樣本進行多次組裝並做光學檢測，這樣測試的目的在於試驗實驗中人為組裝誤差的範圍。這次試驗是針對實驗中所量測到的數據是否具有可信度有關。

此試驗針對同一導光板做多次組裝試驗可以作為實驗中光學檢測的數據，對應在人為組裝上所造成的可能誤差範圍做為評估的依據，在剔除誤差過大的數值後，對於量測數值作大略整理，整理如表 4-4。誤差約在 2~3% 左右。

由上述實驗我們可以得知，本研究中人為組裝上的誤差約在 2%~3% 之間，可以將此誤差數值估計在研究中作為參考。

4-2-3 鋼板蝕刻平板模仁製作導光板光學檢測與光學模擬做比較

利用 SPEOS 所做的光學模擬數據，並將模擬的導光板樣本以滾壓 UV embossing 製作導光板的輪廓檢測分析製程製作出來的導光板光學量測數據，光學模擬與實驗檢測數值如圖 4-11，將兩者結合做比較，可驗證實驗與模擬的差異。

因為模擬的照度值與檢測所量測的輝度值因為物理量的不同，無法直接做比較。但是我們可以依照所對應的照度分佈趨勢圖與輝度分佈趨勢圖，對照模擬的照度與檢測的輝度兩者的趨勢，可知兩者的趨勢大約是一致的，但是均勻性上誤差約 7%~8% 左右。兩者間的數值整理如表 4-5。

由表 4-5 可知，兩者間較值得探討的是均勻性上的差異，量測數值(87%)較高於模擬數值(80%)。造成均勻性差異的可能性為下列幾點：(1)光學膜片上的差異；(2)量測的範圍與模擬畫素的差異；(3)檢測點位置上的差異。

(1) 光學膜片上的差異

利用 SPEOS 做光學模擬時，並沒有設定擴散片、稜鏡片等光學膜片，這是因為擴散片在 SPEOS 光學模擬上設定十分困難，擴散片一面為平滑面，另一面為霧面，兩面的光學反射性質、折射性質不同，無法就單一面來設定。而且光線在稜鏡片折射後反射至擴散片，其光學性質也不好設定，因此模擬時並沒有光學膜片的設定。

實際檢測時，檢測模組組立時有光學膜片，擴散片會將光線打散，使得光線更加均勻化，而稜鏡片將光線集中，使得光線更加集中，所以光學膜片上的差異使得導光板的均勻性、輝度都有增加的效果。

(2) 量測的範圍與模擬畫素的差異

利用 SPEOS 做光學模擬時，解析度為 41×30 ，每一個畫素大小為 1mm^2 ，而檢測時所使用的光學檢測儀，其所檢測的範圍為直徑 2mm 的圓形大小，相較之下光學模擬部分因為畫素解析度較高，較細微部分

的數值也可以顯現，光學檢測儀所檢測的範圍大約是 3~4 畫素大小，可以說檢測範圍內這些部分畫素的平均值，在微細部分的解析度就沒有模擬來的高。

(3) 檢測點位置上的差異

模擬與量測上的差異，最大的部分是檢測點位置的差異，模擬時所有畫素的輝度值都會影響導整體平均值，包含邊框、入光側及遠光側較暗的地方，而量測時是針對導光板發光區做 3×5 的區間量測，量測時會避過一些較暗的地帶，這是因為量測的數值會因為周邊邊框所造成的反射導致量測誤差，因此量測時量測位置設定會距離邊框約 3 mm 左右才開始量測，因為量測位置上的差異，所以整體的均勻度會比模擬來得高。

在截取模擬數值上與量測位置相同處，模擬的均勻性數值(92%)還稍高於量測的數值(87%)，造成差異的可能原因是量測數值上的誤差或是模擬所造成的誤差(模擬誤差約 3.5%)。

就模擬與檢測的數值來說，兩者的均勻性已經達到模擬與設計時所要求水準，會因為光學膜片的影響增加輝度與均勻性，量測儀器解析度與模擬畫素的差異，量測的數值整體的輝度與均勻性會比模擬的數值高。

4-2-4 鋼板蝕刻模仁滾壓製作導光板測試

利用平面模仁包覆滾筒，以滾壓 UV embossing 製程製作導光板，並作光學量測。將前一小節利用平面壓印製作導光板的實驗結果，兩者結合做比較，可驗證平面壓印製作與滾壓 UV embossing 製程製作之間的差異。

我們將兩種方式製作的導光板做光學檢測，發現兩者之間的差異性不大，輝度值差約 2%，均勻性差 1% 左右，兩者的差異有可能是組裝上的誤差所造成的，而且兩者的輝度分佈趨勢也相同，兩者的比較如表 4-6。

滾壓 UV embossing 製作導光板與平面壓印製作導光板，兩者在光學檢測上的輝度值與均勻性相差無幾，而且輝度分佈的趨勢也大致相同。由上述結果驗證導光板製作也可以以滾壓 UV embossing 製作，而且其光學性質與平面壓印製作的導光板是相同的。

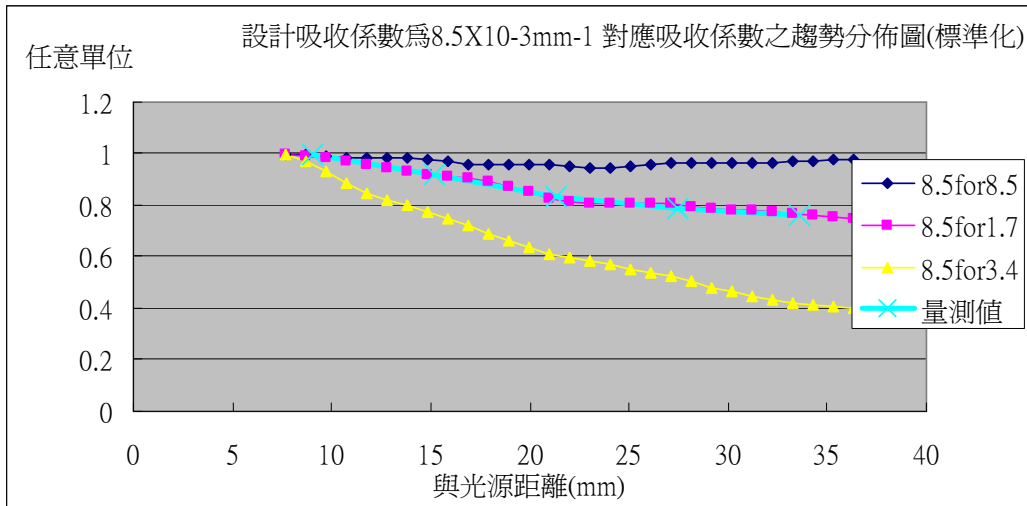


圖 4-8 設計吸收係數為 $8.5 \times 10^{-3} \text{mm}^{-1}$ 對應吸收係數的趨勢分佈圖

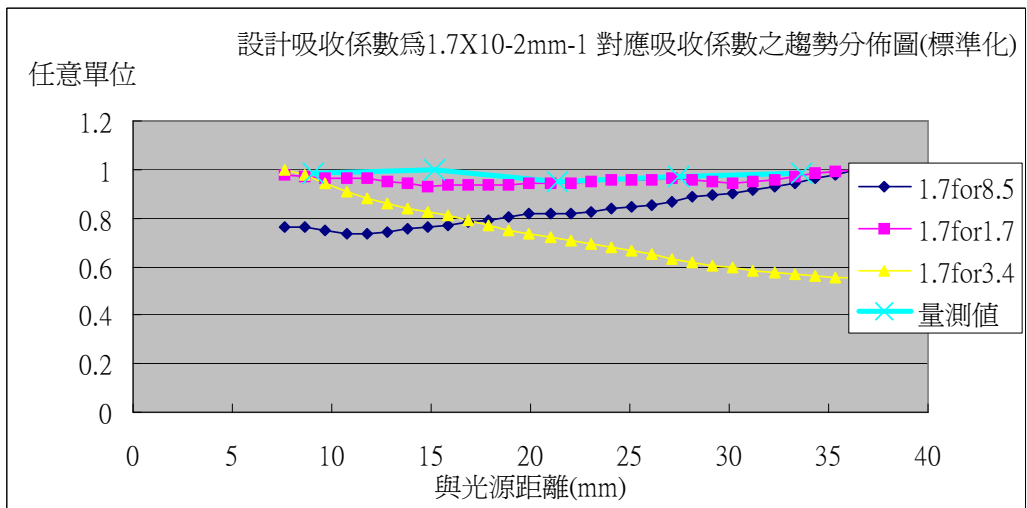


圖 4-9 設計吸收係數為 $1.7 \times 10^{-2} \text{mm}^{-1}$ 對應吸收係數的趨勢分佈圖

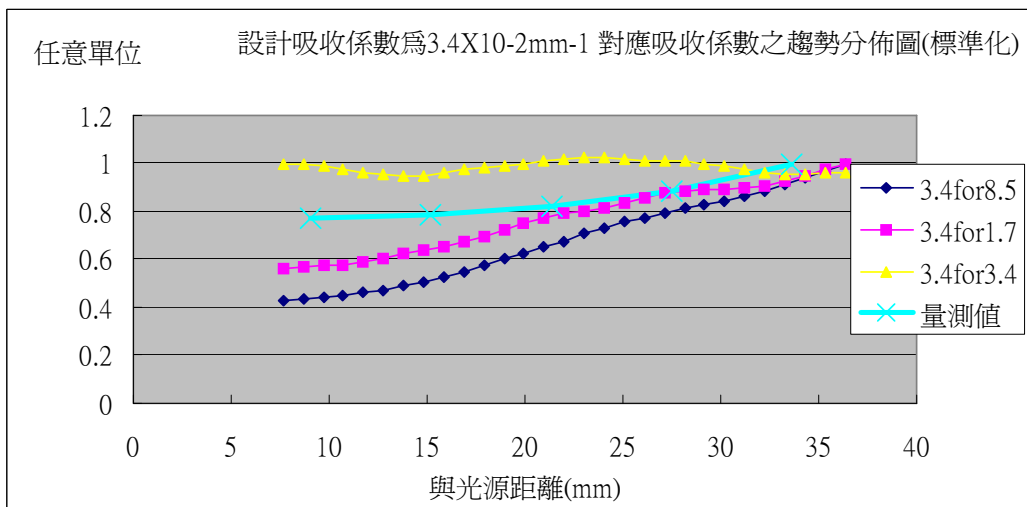
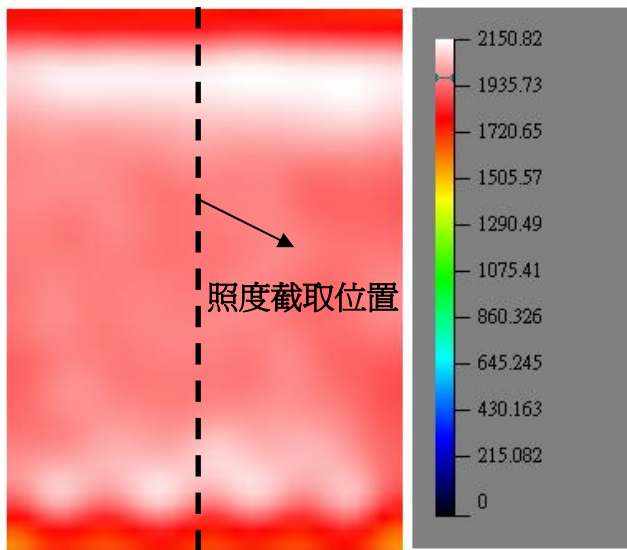


圖 4-10 設計吸收係數為 $3.4 \times 10^{-2} \text{mm}^{-1}$ 對應吸收係數的趨勢分佈圖



(a) 模擬值



(b) 量測值

圖 4-11 模擬與量測的數值分析



表 4-3 吸收度測試表

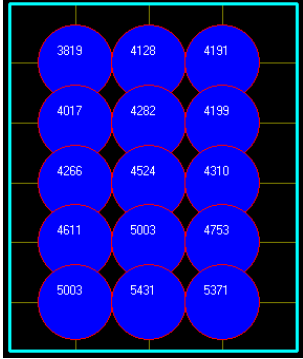

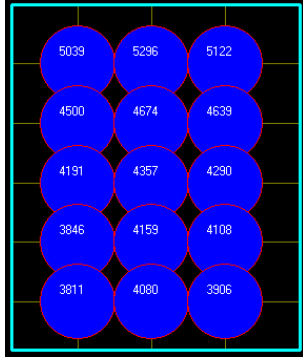
編號	400_09	400_10	400_11
吸收度 (設計值)	$8.5 \times 10^{-3} \text{ (mm}^{-1}\text{)}$	$1.7 \times 10^{-2} \text{ (mm}^{-1}\text{)}$	$3.4 \times 10^{-2} \text{ (mm}^{-1}\text{)}$
光學檢測			
平均輝度	4527.2 L(cd/m ²)	4349.533 L(cd/m ²)	4401.2 L(cd/m ²)
均勻性	70.32%	87.87%	71.96%
特性	導光板近光源端輝度較高	整體輝度較為平均分佈	導光板遠光端輝度較高

表 4-4 組裝誤差量測表

量測編號	平均輝度	均勻性
1	4370.267	88.27
2	4662.333	87.93
3	4174.533	86.36
4	4157.333	80.3
5	4715.933	80.96
6	4367.333	79.96
7	4339.067	77.23
8	4349.533	87.87
9	4606.067	84.71
10	4438.667	87.74
average	4418.107	
標準差	2.26%	

表 4-5 鋼板蝕刻與光學模擬之比較

類型	光學模擬	鋼板蝕刻(平面壓印)
網點大小 (直徑/高度)	50/13 μm	50/13 μm
網點間距	10 μm	10 μm
平均輝度	1976.11 (照度)	4349.53 L(cd/m ²)
均勻性	80.06% (92.1%)	87.87%
備註	1. 光學膜片的影響, 造成均勻性提高。 2. 量測位置差異	
趨勢比較	<p>光學檢測輝度與模擬照度趨勢圖</p> <p>(任意單位)</p> <p>與光源距離(mm)</p> <p>Legend: ◆ 光學模擬照度分佈 ■ 實驗檢測 1 ▲ 光學檢測 2 ▼ 光學檢測 3</p>	

表 4-6 鋼板蝕刻滾壓製程與平面壓印之比較

類型	鋼板蝕刻(滾壓)	鋼板蝕刻(平面壓印)																					
網點大小 (直徑/高度)	50/13 μm	50/13 μm																					
網點間距	10 μm	10 μm																					
平均輝度	4239.22 L(cd/m ²)	4349.53 L(cd/m ²)																					
均勻性	86.70%	87.87%																					
備註																							
趨勢比較	<p>平面壓印與滾壓製程之趨勢比較</p> <table border="1"> <caption>趨勢比較數據表</caption> <thead> <tr> <th>與光源距離(mm)</th> <th>滾壓製程 (L)</th> <th>平面壓印 (L)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>4200</td> <td>4400</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>4100</td> <td>4300</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>4100</td> <td>4200</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>4200</td> <td>4300</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>4300</td> <td>4400</td> </tr> <tr> <td>35</td> <td>4400</td> <td>4500</td> </tr> </tbody> </table>		與光源距離(mm)	滾壓製程 (L)	平面壓印 (L)	10	4200	4400	15	4100	4300	20	4100	4200	25	4200	4300	30	4300	4400	35	4400	4500
與光源距離(mm)	滾壓製程 (L)	平面壓印 (L)																					
10	4200	4400																					
15	4100	4300																					
20	4100	4200																					
25	4200	4300																					
30	4300	4400																					
35	4400	4500																					

4-3 熱熔製程製作模仁與導光板樣本測試

熱熔製程製作導光板模仁，其目的是作為對照所用，與鋼板蝕刻製程製作模仁相比之下，其差異點有何不同。但是由於成本與時間的關係，無法做同比例網點的比較，所以會藉由光學模擬的數值來分析與比較兩者之間的不同點。

4-3-1 熱熔製程平板模仁製作導光板光學檢測與光學模擬做比較

由表 4-7 比較熱熔製程與光學模擬兩者之間的差異，因為光學模擬是作為熱熔製程網點分佈上的設計樣本，理論上兩者之間差異不大。因為所量測到的輝度值與模擬的照度值因為物理量的不同無法直接比較，但是可以從兩者間的變化趨勢去探討。


將比較結果整理如表 4-7，由表 4-7 可看出兩者的趨勢變化相差不大，但是均勻性上有很大的差異，模擬值(80%)較量測值(93%)低許多。

在均勻性上的差異可以推測大約為(1)光學膜片有無的差異與(2)測量位置的不同兩個原因。

(1)光學膜片的差異

光學模擬時並沒有利用 SPEOS 建立光學膜片的模擬，這是因為擴散片在 SPEOS 光學模擬上設定十分困難，擴散片一面為平滑面，另一面為霧面，兩面的光學反射性質、折射性質不同，無法就單一面來設定。而且光線在稜鏡片折射後反射至擴散片，其光學性質也不好設定，因此模擬時並沒有光學膜片的設定。與實際量測時光學膜片具有打散光線、集中光場的效果相較之下，模擬數值會較實際量測時低是合理的。

(2) 測量位置的不同



另一個原因是量測點位置不同，光學模擬時會因為解析度與畫素的因素，將每一個 2 吋大小的發光面切割為 30×40 個畫素左右，每一個畫素大小約為 1 mm^2 ，而且都有一個輝度值，而模擬所得的均勻性與輝度值，就是 30×40 個畫素所構成的，但是導光板量測時只取整體 15 個量測數值點，邊緣輝度較暗的地帶沒有計算在內，每一個量測的點範圍為直徑為 2 mm 大小的圓點，其範圍與畫素相比面積約為 3:1，相對於模擬時的畫素來說範圍較大、精確性也較低。

模擬與量測上的差異，最大的部分是檢測點位置的差異，模擬時所有畫素的輝度值都會影響導整體平均值，包含邊框、入光側及遠光側較暗的地方，而量測時是針對導光板發光區做 3×5 的區間量測，量

測時會避過一些較暗的地帶，這是因為量測的數值會因為周邊邊框所造成的反射導致量測誤差，因此量測時量測位置設定會距離邊框約 3 mm 左右才開始量測，因為量測位置上的差異，所以整體的均勻度會比模擬來得高。

在截取模擬數值上與量測位置相同處，兩者之間的差異不大，模擬的均勻性數值(96%)還稍高於量測的數值(93%)，造成差異的可能原因是量測數值上的誤差或是模擬所造成的誤差(模擬誤差約 3.5%)。

4-3-2 鋼板蝕刻與熱熔製程平板模仁製作導光板光學檢測做比較

因為成本與時間的關係，研究中並沒有用兩種製程將相同網點大小製作並且比較，依有限的資源內只可以將兩種網點大小做比較(1)鋼板蝕刻，網點直徑 $50\ \mu\text{m}$ 、高度 $13\ \mu\text{m}$ 、最小間距 $10\ \mu\text{m}$ ；(2)熱熔製程，網點直徑 $20\ \mu\text{m}$ 、高度 $5\ \mu\text{m}$ 、最小間距 $5\ \mu\text{m}$ 。

熱熔製程與鋼板蝕刻製程相比之下，網點大小與網點間距都比較小，換句話說熱熔製程可以在設計上讓網點與網點佈點較密集，增加出光效率與輝度，並且可以較細微的調整局部疏密程度，提高整體的均勻性，而且熱熔製程所製作的網點接近鏡面，相較於蝕刻製程粗糙表面較沒有散射反射的現象，由表 4-8 可以看出輝度值比較上，熱熔

製程與蝕刻製程相比約高出 7.4%左右，輝度值提升較大、而均勻性在整體比較上差異約提升 5%左右，均勻性稍稍提升。

但是我們無法直接將熱熔製程輝度提升的變化歸納於是網點分佈較密集的原因或是網點較接近鏡面網點的原因。所以必須藉由光學模擬做出比較，所以我們利用 Matlab 調配兩種網點佈點的填充率(單位面積內網點所佔的面積大小)，將兩種網點的填充率調整至接近或相同，進行光學模擬，並對量測數值的輝度與均勻性做比較。

調整佈點並做 SPEOS 光學模擬，將結果整理如表 4-9。由表 4-9 的結果可以知道兩者間填充率修正後的差異誤差約 1%左右，兩者佈點的填充率對於模擬的照度影響不大。對此模擬結果若是正確的，我們可以從中得知熱熔製程製作模仁所生產的導光板有較好的出光效率，效率較高於鋼板蝕刻模仁所製作的導光板約 5~7%左右。

表 4-7 熱熔製程與光學模擬的比較

類型	光學模擬	熱熔(reflow)																														
網點大小 (直徑/高度)	20/5 μm	20/5 μm																														
網點間距	5 μm	5 μm																														
平均輝度	2117.04 (照度)	4669.467 L(cd/m ²)																														
均勻性	80.70% (96.44%)	93.84%																														
備註	1. 光學膜片的影響，造成均勻性提高。 2. 量測位置差異																															
趨勢比較	<p>(任意單位) 熱熔製程與光學模擬的趨勢比較</p> <table border="1"> <caption>趨勢比較數據表</caption> <thead> <tr> <th>與光源距離(mm)</th> <th>熱熔 (照度)</th> <th>模擬 (照度)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>-</td><td>2200</td></tr> <tr><td>10</td><td>4800</td><td>2200</td></tr> <tr><td>15</td><td>4600</td><td>2200</td></tr> <tr><td>20</td><td>4600</td><td>2200</td></tr> <tr><td>25</td><td>4800</td><td>2200</td></tr> <tr><td>30</td><td>4800</td><td>2200</td></tr> <tr><td>35</td><td>4800</td><td>2200</td></tr> <tr><td>40</td><td>4800</td><td>2000</td></tr> <tr><td>45</td><td>4800</td><td>1800</td></tr> </tbody> </table>		與光源距離(mm)	熱熔 (照度)	模擬 (照度)	0	-	2200	10	4800	2200	15	4600	2200	20	4600	2200	25	4800	2200	30	4800	2200	35	4800	2200	40	4800	2000	45	4800	1800
與光源距離(mm)	熱熔 (照度)	模擬 (照度)																														
0	-	2200																														
10	4800	2200																														
15	4600	2200																														
20	4600	2200																														
25	4800	2200																														
30	4800	2200																														
35	4800	2200																														
40	4800	2000																														
45	4800	1800																														



表 4-8 鋼板蝕刻與熱熔製程的比較

類型	鋼板蝕刻	熱熔(reflow)																		
網點大小 (直徑/高度)	50/13 μm	20/5 μm																		
網點間距	10 μm	5 μm																		
平均輝度	4349.533 L(cd/m ²)	4669.467 L(cd/m ²)																		
均勻性	87.87%	93.84%																		
備註		整體輝度提升 7% 左右，均勻性上升 5-6%																		
趨勢比較	<p>蝕刻製程與熱熔製程的趨勢比較</p> <table border="1"> <caption>蝕刻製程與熱熔製程的趨勢比較數據</caption> <thead> <tr> <th>與光源距離(mm)</th> <th>蝕刻 (L)</th> <th>熱熔 (L)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>4350</td> <td>4700</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>4250</td> <td>4650</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>4200</td> <td>4600</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>4400</td> <td>4750</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>4550</td> <td>4800</td> </tr> </tbody> </table>		與光源距離(mm)	蝕刻 (L)	熱熔 (L)	10	4350	4700	15	4250	4650	20	4200	4600	25	4400	4750	30	4550	4800
與光源距離(mm)	蝕刻 (L)	熱熔 (L)																		
10	4350	4700																		
15	4250	4650																		
20	4200	4600																		
25	4400	4750																		
30	4550	4800																		



表 4-9 調配網點填充率其光學性質的比較

網點大小(D/h)	網點最小間距	填充率(%)	平均照度	出光效率	均勻性(%)
50/13	10 μm	55.32%	1976.11	0.43	80.06%
50/13	12.5 μm	50.92%	1985.40	0.428	83.22%
20/5	3.9 μm	55.79%	2093.37	0.437	80.70%
20/5	5 μm	50.92%	2117.04	0.442	85.48%

4-4 滾壓參數對導光板成形的影響

實驗中利用紫外光固化設備做滾壓 UV embossing 製程製作導光板，本章節是針對對於滾壓 UV embossing 製程所設定的一些參數做試驗，例如兩端張力控制、UV 光強度與成形速度等等，並且對於滾壓 UV embossing 製程可能造成的導光板缺陷做介紹。

4-4-1 成形時導光板捲材的張力控制

利用滾壓 UV embossing 製程製作導光板，以可成形的殘留層厚度最厚的張力控制製作一導光板，作為殘留層厚度的比較。比較殘留層厚度厚與薄之間的光學差異性。



實驗時針對滾壓時導光板的殘留層厚度做探討，針對兩種極端的厚度，分別為殘留層厚度約為 $80\mu\text{m}$ 與殘留層厚度約為 $10\mu\text{m}$ ，並做光學上驗證，比較分析光學性質上的不同點，如表 4-10，可以看到殘留層厚度越厚，造成整體輝度、均勻性下降，而且會有色偏黃的現象。

因為殘留層厚度越厚，導光板本身的厚度越大，代表著導光板製作厚度與設計上的厚度誤差越大，而且 UV 膠殘留層越厚，除了造成導光板成品與設計上的誤差，影響導光板整體出光，輝度與均勻性有下降的現象，殘留層厚度厚的導光板會出現導光板遠光端輝度下降，

在導光板色澤上會有偏黃的現象，可在色差偏移座標上看出，如圖 4-12 所示，利用輝度檢測儀所量測出的色差數據，可以看出殘留層厚度厚會使得導光板遠光後端部分產生色差偏移，色差由白光逐漸偏向黃色光部分。

4-4-2 UV lamp 的強度與成形速度的控制

滾壓成形時 UV lamp 的強度與滾壓成形的速度是決定固化劑量 (UV 固化所必需的能量多寡) 的兩個重要因素，換言之固化劑量約為 UV lamp 的強度與成形速度的乘積。實驗中在滾壓 UV embossing 製程分別對這兩個參數做變動做探討，測試對於導光板滾壓製程所造的影響。



UV lamp 的強度為 I、II、III (工研院內部資料數據，不公開)，UV 光強度為 $I < II < III$ ，滾壓的成形速度為每秒 1 公尺、每秒 2 公尺、與每秒 5 公尺，滾壓 UV embossing 製作導光板參數與對所對應的固化成形狀況整理，如表 4-11。

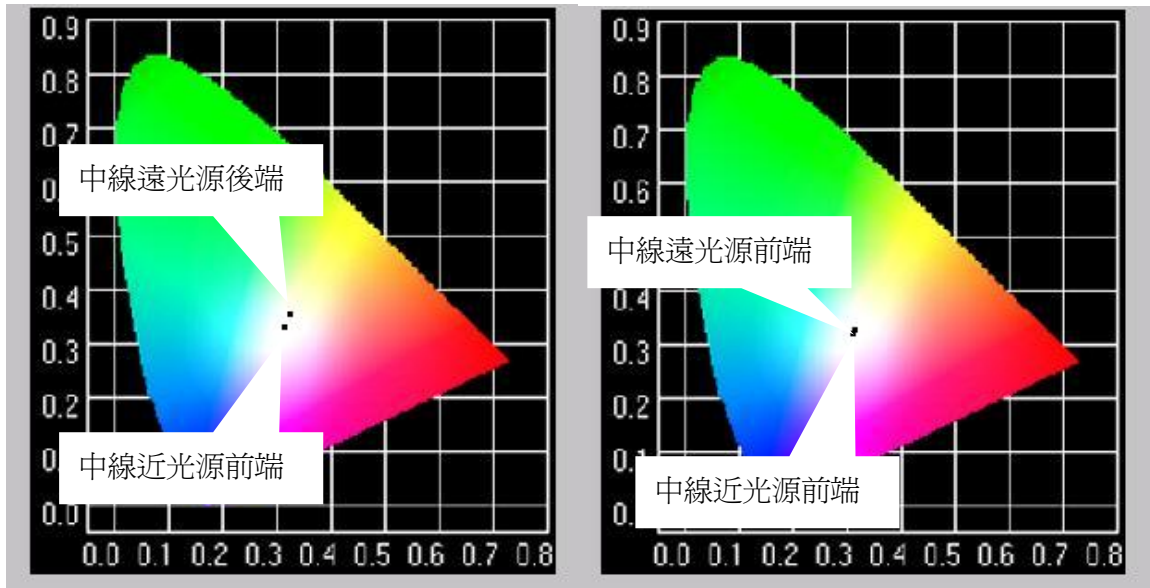
由表 4-11 可知，UV lamp 的強度越強，單位時間照光的強度越強，換句話說就是可以用更短的時間達到固化劑量，所以可以越較快速的速度做滾壓成形，但 UV lamp 的強度不是越強越好，因為模仁、

捲材與滾筒等等素材與設備都是會吸熱的，UV lamp 的強度越強會造成滾筒、捲材溫度上升，熱影響以及熱膨脹因素對製程的影響越大，所以必須以控制滾壓成形速度的方式加以配合，讓 UV lamp 的強度達到合適的光照參數。

4-4-3 常見的滾壓缺陷

滾壓 UV embossing 轉印製作導光板，製程中會因為材料本身、UV 膠、滾壓參數設定、捲材張力不均、捲材定位與對位轉印設定等等設定上稍稍的不同，導光板上就會就有可能會出現缺陷，例如對位錯誤、UV 膠厚度不均勻時可能會造成轉印不完全，如圖 4-13(a)；UV 膠本身有氣泡的時候，導光板就會產生有氣泡、缺陷，如圖 4-14；滾壓 UV embossing 製程中張力控制不均勻會導致導光板轉印時，結構未轉印或是 UV 膠厚度不均勻，如圖 4-15；UV lamp 的強度與成型速度設定不佳時，會造成 UV 膠未完全固化，脫模失敗，或是 UV 膠殘留在模仁上，如圖 4-16。

利用滾壓 UV embossing 製作導光板，不是單純的作業而已，需要多項因素的配合，才能製作出完好的導光板，這些參數的調配均是由多項錯誤的嘗試中去測試所得。



(a)殘留層厚度厚的色差變化

(b)殘留層厚度薄的色差變化

圖 4-12 殘留層厚度過厚會造成色偏的現象，由(a)(b)可看出殘留層厚度厚會使得導光板遠光後端部分產生色差偏移，色差由白光逐漸偏向黃色光部分



(a)微結構轉印不完全

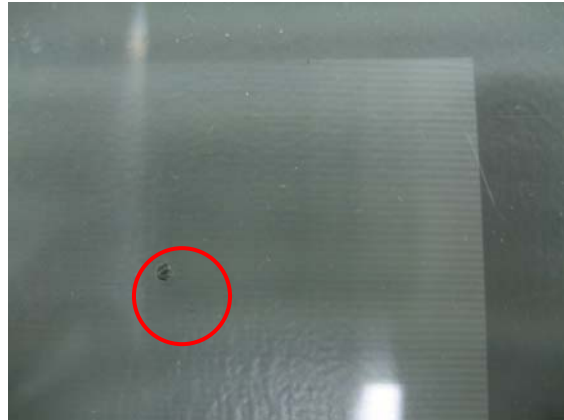


(b)微結構轉印良好

圖 4-13 微結構轉印比較



(a)轉印時產生氣泡



(b)轉印時產生缺陷

圖 4-14 微結構轉印缺陷



(a)結構未轉印

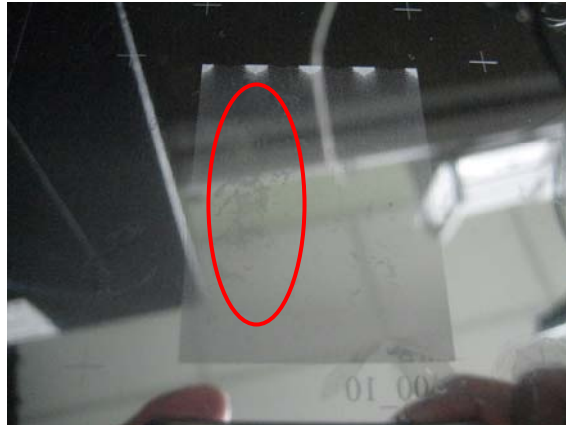


(b)UV 膠厚度不均勻

圖 4-15 微結構轉印缺陷



(a)UV 膠未完全固化造成脫模失敗



(b)UV 膠殘留在模仁上

圖 4-16 微結構轉印缺陷

表 4-10 殘留層厚度不同的光學比較

	殘留層厚度厚	殘留層厚度薄
整體厚度	0.483 mm	0.413 mm
殘留層厚度	0.084~0.080 mm	0.014~0.010 mm
殘留層比例 (占整體比例)	16.98%	2.90%
平均輝度	4140.7 L(cd/m ²)	4355.2 L(cd/m ²)
均勻性	76.4%	83.9%
色偏移	偏黃	無
近光端與遠光端 的色差偏移數值 (中線平均值)	近光端(0.3197, 0.3415) ↓ 遠光端(0.3368, 0.3519)	近光端(0.3117, 0.3318) ↓ 遠光端(0.3166, 0.326)



表 4-11 導光板 UV 光強度與成形速度對照表

UV lamp 強度	成形速度(m/min)	成形(固化)狀況
I	1	OK
I	2	NG, 部分 UV 膠未固化
I	5	NG, UV 膠呈現黏稠狀, 微結構未轉印製導光板上
II	1	OK
II	2	OK
II	5	NG, 部分 UV 膠未固化
III	1	OK, 但是捲材有嚴重翹曲
III	2	OK
III	5	NG, 但是有些結構可見到未固化跡象

第五章 結論

5-1 光學模擬

1. 利用 SPEOS 所設計的導光板在照度分佈趨勢與實際量測上輝度的分佈趨勢，在組裝光學膜片後兩者的趨勢是相同的。由模擬與實驗中可以驗證，SPEOS 作為導光板設計所使用是可以信賴的。
2. 模擬中隨著高斯反射的比例增加，均勻性會略有下降的趨勢，但是影響不大。根據模擬的數值與實際量測的數值來觀察，鋼板蝕刻與熱熔製程製作的模仁，其光反射性質可以視為是鏡面反射來看，雖有些微約 3%~5% 的誤差(鋼板蝕刻均勻性 87%、光學模擬 92%)(熱熔製程均勻性 93%、光學模擬 96%)，但是其中包含模擬上的誤差(3.5%)與組裝上的誤差(2%~3%)，所以以這兩種製程製作模仁時，設計導光板以鏡面反射為主要光反射是可行的。
3. 根據光反射的光學模擬結果，可以分析設計與實作兩者的差異，對照光反射模擬的趨勢，可以大約判斷出網點表面的光反射性質，再做光學設計上反射設定的變更，可以讓設計與實作間的誤差更小。
4. 經過 SPEOS 光學模擬，我們可以得知設計導光板時，選定導光板捲材的吸收係數須選擇吸收係數較小的材料，建議選擇吸收係數在 $\alpha=1.7\times 10^{-2}\text{mm}^{-1}$ 以下，而且加工方式須選擇可製作網點之間的

間距較小的加工方式，如此可以提升導光板的出光效率約 2~4%。

5-2 平面壓印製作與滾壓製程製作兩者的比較

1. 光學性質上，以平面壓印製作導光板與滾壓 UV embossing 製作導光板，其兩者的均勻性相差 1%，輝度相差約 2% 左右，兩者相差不多，所以利用滾壓 UV embossing 製作導光板是可行的。
2. 輪廓轉印精確度上，本實驗中雖然沒有探討，不過已有文獻對於滾壓轉印的誤差做研究，可以知到滾壓轉印的誤差為 $\pm 0.3 \mu\text{m}$ 、網點尺寸的複製誤差約為 $0.05 \mu\text{m} \sim 0.02 \mu\text{m}$ 左右。



5-3 熱熔製程製作模仁與鋼板蝕刻製程製作模仁兩者的比較

1. 相較於鋼板蝕刻，熱熔製程的出光效率較佳，約高出 5~7%，因為均勻性設計時並沒有一致，只須到達 80% 以上即可，所以均勻性的數據並不一定正確，但就實驗上可以得到熱熔製程均勻性相較於鋼板蝕刻約高出 5~6%。

5-4 滾壓製程參數對導光板成形的影響

1. 導光板殘留厚度越厚，對於整體出光影響越大，實驗中殘留層厚度占整體的 3% 時與殘留層厚度占整體的 17% 時相比，殘留層厚度

厚的輝度下降 4.5%、均勻性下降 7~8%，且有色偏現象，色偏黃。

2. 滾壓製程製作導光板，不僅是連續式生產，而且產能大，生產速度約是一般射出成型製程的 5~10 倍，所以一項是非常值得研究發展的技術，若是能更進一步地發展此技術，不僅僅是用於生產導光板，也可以生產其他微型光學元件。



六、參考資料

- [1] 王信陽 “背光模組用導光板發展課題”光連第 44 期，2003/03
- [2] A.Nagasawa, T.Eguchi, Y.Sanai, K.Fujisawa “A Novel Backlight System with the Unified Component” Proc. IDW/AD '05 1285 (2005)
- [3] 伍秀菁、汪若文、林美吟 光學元件精密製造與檢測 財團法人國家實驗研究儀器科技研究中心發行 民國 96 五月出版
- [4] 陳興華 “應用大面積光蝕刻製作導光板光學模仁” 工業材料材料雜誌 253 期 64-73 (2006)
- [5] Shigeru Aoyama, Akihiro Funamoto, Koichi Imanaka “Hybrid normal-reverse prism coupler for light-emitting diode backlight systems” Appl. Opt. 45, 7273-7278 (2006)
- [6] M.Shinohara, J.Takagi, M.Oba, M.Takeuchi “Curved prism array for controlling directivity of LED backlight” Proc. IDW '03 665 (2003)
- [7] G.Kurata, K.Sakurai, M.Ohira, Y.Kawabata, A.Funamotot, S.Aoyama “Sheetless backlight System for Mobile Phone” Proc. IDW '06 1727 (2006)
- [8] Akihiro Funamoto ,Shigeru Aoyama “LED backlight system with double-prism pattern” Journal of the SID 14/11, 2006 P1045~1051
- [9] Jang Hwan Hwang, Sang Goo Lee, Dong-Myung Shin “Reflection Pattern Printing for Light Guide Using an Ink-Jet Coating Method”SID 08 Digest 1472-1474
- [10]Seok-min Kim,Dongmook Kim,Shinill Kang “Replication of micro-optical components by ultraviolet-molding process” Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers J. Microlith., Microfab., Microsyst., Vol. 2 No. 4, 356–359 (October 2003)
- [11]Suho AHN, Minseok CHOI, Hyungdae BAE, Jiseok LIM, Ho MYUNG, Hongmin KIM, and Shinill KANG ”Design and Fabrication of Micro Optical Film by Ultraviolet Roll Imprinting” Japanese Journal of Applied Physics Vol. 46, No. 8B, 2007, pp. 5478–5484
- [12]A. Nagasawa, T. Eguchi, Y. Sanai* and K. Fujisawa “A Slim and

- Bendable Backlight System Manufactured by a Roll-to-Roll Continuous Process” IDW’06 945-948
- [13] Shigeru Aoyama, Akihiro Funamoto, Koichi Imanaka “Hybrid normal-reverse prism coupler for light-emitting diode backlight systems” Appl. Opt. 45, 7273-7278 (2006)
- [14] 馮雲棟 “微型元件與微形切削加工技術” 機械工業雜誌 254 期 134-138
- [15] 賴文郎、張復瑜 “微奈米滾筒模具製程與成形技術簡介” 機械工業雜誌 297 期 53-58 (2006)
- [16] 馮文宏 “微元件模具設計” 機械工業雜誌 259 期 172-184
- [17] Jong Sun Kim, Young Bae Ko, Chul Jin Hwang, Jong Deok Kim and Kyung Hwan Yoon ” A study on the fabrication method of middle size LGP using continuous micro-lenses made by LIGA reflow” Korea-Australia Rheology Journal Vol. 19, No. 3, November 2007 pp. 171-176
- [18] 龍柏華 “濕蝕刻製程簡介暨機台原理簡介” 光連雙月刊 2003, 11 48 期 37-41
- [19] 黃仲龍 “奈米加工之微機械加工技術簡介”
- [20] 王文瑞 “鏡面微結構超精密加工設備技術” 機械工業雜誌 267 期 P13-P22
- [21] Ehrfeld, W., 1990, Micro System Technologies, (ed. H.Reichl), Springer-Verlag, Heidelberg.
- [22] 楊啟榮, 微機電製程之精密電鑄技術
- [23] 周敏傑, 呂春福, 王紀雯, 何淑鈴, 葉信宏, 微結構之合金電鑄技術, 機械工業雜誌, 八月, 150 (1998).

- [24] Hsiharn Yang and Cheng-Tang Pan “Analogous Micro-optical Components Fabricated Using Excimer Laser Ablation” Tamkang Journal of Science and Engineering, Vol. 6, No. 3, pp. 145-150 (2003)
- [25] Feidhlim T. O’Neill, John T. Sheridan “Photoresist reflow method of microlens production Part I: Background and experiments” Optik 113, No. 9 (2002) 391–404
- [26] Feidhlim T. O’Neill, John T. Sheridan “Photoresist reflow method of microlens production Part II: Analytic models” Optik 113, No. 9 (2002) 405–419
- [27] 鐘明昌 “以熱整形方式形成微透鏡陣列之機制討論與應用” 東華大學材料科學與工程學研究所碩士論文 第二章, 2004
- [28] 梁逸平 “熔融法折射式微透鏡陣列之設計製造與檢測” 中央大學光電科學研究所碩士論文, 2001
- [29] 廖聲榮 “薄殼、微特徵成品之射出參數效應與最佳化成形研究中正大學博士論文(2005)
- [30] Chien-Hsiang Hung, Tsung-Han Yu, Jung-An Cheng, Chi-Hsien Chang, Yi-Hau Hsiau, and Chung-Hao Tien “Microlens Array by Ink-Jet Technology for LCD Backlight Applications” SID '08 Digest 1553-1555
- [31] 陳克昌、莊佳橙、陳信吉 Roll to Roll 捲送設備技術分析 機械工業雜誌 258 期 P122~136
- [32] Philippe Nussbaum “Simple technique for replication of micro-optical elements” Opt. Eng. 37(6) 1804–1808 (June 1998)
- [33] Suho Ahn, Joowon Cha, Ho Myung, Seok-min Kim, “Continuous ultraviolet roll nanoimprinting process for replicating large-scale nano- and micropatterns” Appl. Phys. Lett. 89, 213101 (2006)
- [34] A. Nagasawa, T. Eguchi, Y. Sanai* and K. Fujisawa “A Slim and Bendable Backlight System Manufactured by a Roll-to-Roll Continuous Process” IDW'06 945-948

[35]九十三學年度元智大學機械工程研究所王耀東碩士論文「液晶顯示

器之 直下型背光光學效能最佳化之研究」第三章

[36]“Optics Training,” Optis Corporation, 2001.

[37]“Speos 2004 Reference Manual,” Optis Corporation, 2003.

[38]“Speos 2004 Tutorial,” Optis Corporation, 2003.

[39]“Speos 2004 User’s Guide,” Optis Corporation, 2003.

[40]溫志湧，謝祥暉” 高效能導光板之微結構排列設計與分析”

Journal of Science and Engineering Technology, Vol. 3, No. 3, pp. 67-79 (2007)

[41]Katsuya FUJISAWA, Ikuo ONISHI, and Yasufumi FUJIWARA
“Edge-Light Backlight Unit Using Optically Patterned Film with
Plural Light-Emitting Diodes Placed on Side as Light Source”
Japanese Journal of Applied Physics Vol. 46, No. 38, 2007, pp.
L933–L935

[42]蔡坤鋒，光散射斑點法應用於冷軋鋼板表面粗糙度之量測模式，

元智工學院機械系碩士論文，(1995)

[43]施盈儉，鏡面模仁表面粗糙度之光散射效應研究，2007 台塑應用
工程技術研討會，(2007)

[44]施盈儉，超精密加工表面粗糙度之光散射效應研究，明志科技大
學機電工程研究所碩士論文，(2006)

[45]Voronovich, AG. Wave scattering from rough surfaces Berlin,
Heidelberg, New York: Springer, (1994)

[46]林哲平 “以微影製程開發新型光學微透鏡陣列模仁之研究” 台
灣科技大學機械工程系博士論文(2004)

[47]工研院內部研究資料，未公開

附錄一

1. 照度(模擬)：落在受照射物體單位面積上的光通量叫做照度

照度的公制單位為勒克斯(lux , $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm} / \text{m}^2$)

● lm (流明 光通量的單位)

2. 輝度(量測)：一光源或一發光表面之輝度(或亮度)是指每單位面

積，單位立體角，在某一方向上，自發光表面發射出的光通量，也可

說是人眼所感知此光源或發光表面之明亮程度的客觀量測值。

● 輝度的公制單位為每平方公尺的燭光值 (cd/m^2)

1 流明 = 1 燭光 · 球面度 ($1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot \text{sr}$)



附錄二

各種界面特性之影響之詳細敘述如下：

1. 模擬光線性質介紹 — 反射

光線反射可分為三種形式，鏡面反射(Specular reflection)、高斯反射(gauss reflection)和漫射反射(Diffuse reflection)，鏡面反射是指光線的入射角度(相對於反射面法向量)相等於反射的角度，如附圖-1(a)；高斯反射(又稱為擴散反射，Spread reflection)發生當在不平坦的表面且反射的光線超過一個角度，所有的反射光的反射角或多或少會與入射角相同，如附圖-1(b)；漫射形式的反射，光學上有時候又稱作“Lambertian scattering”或“Diffusion”，這種光學反射的情形發生在粗糙或不光滑的表面，其反射光會有許多不同的角度，如附圖-1(c)。

SPEOS可以在模擬時設定光學反射形式，針對不同加工面所造成的表面粗糙度，約略模擬出可能的反射性質，此設定對於模擬結果會更加接近真實的狀況

2. 模擬光線性質介紹 — 折射

一般光線在材料內部導出到材料外時會產生折射現象，根據材料本身

與介質的折射係數與入射光的角度(相對於介質交界面的法向量)兩者來決定折射光的角度，折射光之間的關係遵循 Snell' s law ，也就是折射定律，其關係式為

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (\text{附錄-1})$$

其中 n_1 、 n_2 為各材料的折射係數， θ_1 為入射光相對於介面之法向量的入射角度， θ_2 為射出光相對於介面之法向量的射出角度。

根據折射定律，當光由一個較高折射率的材料行進到一個較低折射率的材料時，隨著入射角的增大，折射光會愈偏離法線，當入射角達到一個臨界角度(Critical Angle)，折射光線將會通過兩種材料的邊界，如附圖-2中的No.4，若入射角再增大，所有的光線將被反射回材料的內部，此種反射成為全反射，如附圖-2中的No.5。

實際上有另一種形式的折射稱為穿透擴散，如附圖-3，光線會因為材料本身的光學性質、表面粗糙度、內部缺陷等等因素造成在穿透材料時，產生擴散的現象，相對於一般的折射現象，此種折射現象更為複雜，在進行 SPEOS 光學模擬，可以透過設定來模擬此種折射的發生，藉此接近真實情況。

3. 模擬光線性質介紹 — 材料吸收

光行經物體時所產生的現象不外乎是折射、反射、散射即吸收四

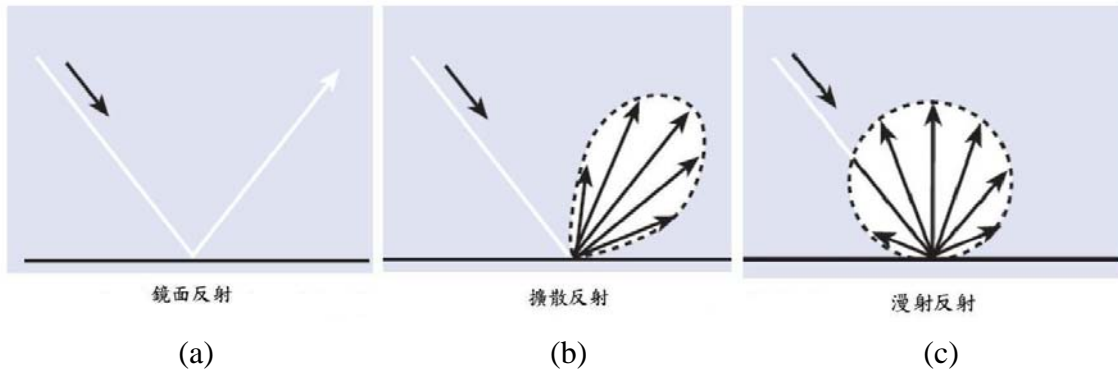
種現象，光在材料中行進時，一部分的能量會被材料本身吸收，所吸收部分的入射光將轉換成熱，許多材料會吸收特定波長的光線，稱之為選擇性吸收(Selective absorption)。材料本身對光線的吸收性可藉由“Lambert’ s law of absorption”表示：

$$I=I_0 e^{-\alpha x} \quad (\text{附錄-2})$$

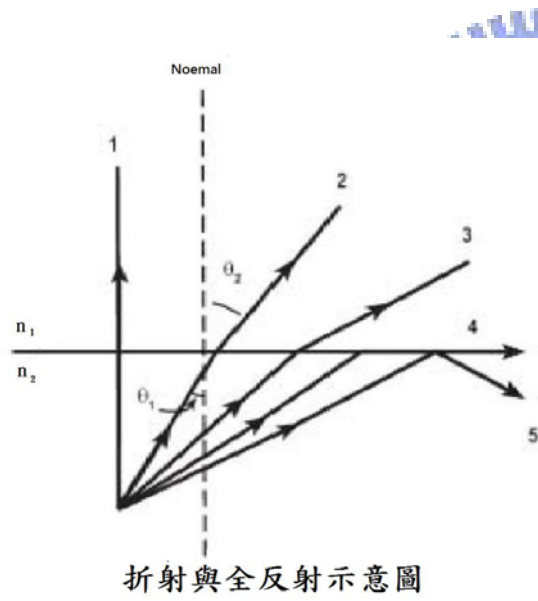
其中 I_0 為入射光線強度， I 為穿透光線強度， α 為材料吸收係數， x 為材料厚度。

所以光線在材料本身傳遞路徑越長或是材料為高吸收性材質時，所得到的出光效率會因為光線能量被材料吸收而降低，SPEOS可以藉由內建程式設定達到模擬材料本身預設的吸收率，做出更接近真實狀況的吸收情形。





附圖-1 各項反射形式示意圖[35]



附圖-2 折射與全反射示意圖[35]



附圖-3 穿透擴散[35]

附錄三

鏡面反射公式

- Specular：遵循反射定律與 Snell' s Law

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

散射反射公式

- Lambertian：遵循 $I_L(\theta) = I_0 \times \cos \theta$ (附錄-3)

- Gaussian：遵循 $I_G(\theta) = I_0 \times \exp\{-[(\theta')^2 / 2\sigma^2]\}$ (附錄-4)

σ 為高斯角

吸收公式

- $I = I_0 e^{-\alpha x}$

