

國立高雄應用科技大學  
模具工程系碩士班

碩士論文

超薄形導光板光學設計與  
精密成型之研究

**Study of the Optical Design and Precision  
Molding for the Thin Light Guide Plate**

研究生：黃彥文

指導教授：黃俊欽 教授

中華民國九十四年七月

超薄形導光板光學設計與精密成型之研究

Study of the Optical Design and Precision Molding  
for the Thin Light Guide Plate

研究生：黃彥文  
指導教授：黃俊欽 教授

國立高雄應用科技大學  
模具工程系碩士班  
碩士論文

A Thesis  
Submitted to  
Institute of Mold & Die Engineering  
National Kaohsiung University of Applied Sciences  
in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of  
Master of Engineering  
in  
Mechanical Engineering

July 2005  
Kaohsiung, Taiwan, Republic of China

中華民國 九十四 年 七 月

# 博碩士論文授權書

本授權書所授權之論文為本人在 國立高雄應用科技大學 (學院) 模具工程 系所  
九十三 學年度第 二 學期取得 碩士 學位之論文。

論文名稱：超薄形導光板光學設計與精密成型之研究

同意      不同意

本人具有著作財產權之論文全文資料，授予行政院國家科學委員會科學技術資料中心(或其改制後之機構)、國家圖書館及本人畢業學校圖書館，得不限地域、時間與次數以微縮、光碟或數位化等各種方式重製後散布發行或上載網路。

本論文為本人向經濟部智慧財產局申請專利（未申請者本條款請不予理會）的附件之一，申請文號為：\_\_\_\_\_，註明文號者請將全文資料延後半年後再公開。

同意      不同意

本人具有著作財產權之論文全文資料，授予教育部指定送繳之圖書館及本人畢業學校圖書館，為學術研究之目的以各種方法重製，或為上述目的再授權他人以各種方法重製，不限地域與時間，惟每人以一份為限。

上述授權內容均無須訂立讓與及授權契約書。依本授權之發行權為非專屬性發行權利。依本授權所為之收錄、重製、發行及學術研發利用均為無償。上述同意與不同意之欄位若未鉤選，本人同意視同授權。

指導教授姓名：黃俊欽

研究生簽名：黃俊欽 

(親筆正楷)

學號：109231616116

(務必填寫)

日期：民國 94 年 7 月 25 日

# 博碩士論文電子檔案上網授權書

(提供授權人裝訂於紙本論文書名頁之次頁用)

本授權書所授權之論文為授權人在 國立高雄應用科技大學 模具工程系碩士班 \_\_\_\_\_ 組 93 學年度第二學期取得 碩士學位之論文。

論文題目：超薄形導光板光學設計與精密成形之研究

指導教授：黃俊欽

茲同意將授權人擁有著作權之上列論文全文(含摘要)，非專屬、無償授權國家圖書館及本人畢業學校圖書館，不限地域、時間與次數，以微縮、光碟或其他各種數位化方式將上列論文重製，並得將數位化之上列論文及論文電子檔以上載網路方式，提供讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印。

- 讀者基非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印上列論文，應依著作權法相關規定辦理。

授權人：黃彥文

簽名：\_\_\_\_\_ 黃彥文

中華民國 94 年 08 月 07 日

國立高雄應用科技大學研究所學位論文考試審定書

本校 \_\_\_\_\_ 模具工程 \_\_\_\_\_ 系(所)  碩士班

博士班

研究生 \_\_\_\_\_ 黃彥文 \_\_\_\_\_ 所提之論文

超薄形導光板光學設計與精密成型之研究

Study of the Optical Design and Precision Molding for the Thin Light Guide Plate

碩士

合於 \_\_\_\_\_ 資格水準，業經本委員會評審認可。

博士

學位考試委員會

召集人 劉士繁 簽章

委

員

黃登剛

楊振斌

劉士繁

許丕明

指導教授

黃俊欽 簽章

研究所長

楊友耀 簽章

中華民國 94 年 7 月 25 日

# 超薄形導光板光學設計與精密成形之研究

學生：黃彥文

指導教授：黃俊欽 教授

國立高雄應用科技大學模具工程系碩士班

## 摘要

背光模組(backlight)是整個 TFT-LCD 顯示器光源亮度所在，其構造包括導光板、擴散片、稜鏡片、外框等，其中用於將 LED 的點光源引導成平面光源的零組件稱為導光板(LGP)，其掌控了背光模組的厚度大小與光亮度分佈，而在顯示器輕薄化的趨勢下，導光板的厚度亦朝向薄型化發展，而導光板的光學特性主要取決於表面的微結構設計，利用表面的微結構破除光線在導光板內部的全反射現象，使光線由導光板的出光面射出，提供顯示器面板所需的足夠光源。因此，微結構的幾何參數設計，以及在精密成型過程中的轉寫性對導光板的光學品質有關鍵性的影響。本文以 2.2 吋、厚度 0.6mm、成型塑料為聚碳酸樹脂(PC)、微結構為 V-型溝的超薄型導光板為例，探討表面的微結構設計以及成型條件對微結構成型的影響。設計參數包括 V-型溝的角度、高度、疏密分佈等，以非序列性光學描光技術進行光路分析，了解表面微結構對光學輝度和均勻性之影響，以作為微結構設計的依據。成型方式則分別比較傳統射出成型及射出/壓縮成型兩種製程，配合田口實驗計畫、導光板光學性質的量測、以及導光板微結構的尺寸量測，探討成型條件/光學性質/微結構的尺寸三者的關聯性。主要目的將藉由微結構的適當設計，以及製程條件的最佳化控制，提高微結構的成型性，以達到增加導光板光學品質的目的。

由研究結果顯示，超薄型導光板的成形視窗範圍隨著料溫改變，料溫高時，成形視窗明顯較大；而當料溫較低，則需要高射速及高模溫才能成形，且成形視窗明顯縮小。而對於 V-溝微結構的轉寫性，當 V-溝尺寸愈小愈難充填，且距離澆口愈遠轉寫高度愈低。比較射出成型與射出壓縮成型兩種製程可發現，以射出成型製程配合田口氏實驗計畫法，可得到最佳的 V-溝轉寫高度，而影響 V-溝成型的主要因子為塑料溫度與模具溫度；而以射出壓縮製程，其 V-溝成型的標準差低於射出最佳條件，且因以壓縮方式對於入光側 V-溝有更好的轉寫效果。觀察其應力光彈圖，射出壓縮成型可明顯降低其殘留應力，且翹曲量較小。而在光學性質方面，射出壓縮成型之導光板其光學性質優於射出成型，因入光側 V-溝轉寫比例高，且反射面的 V-溝轉寫均勻，使導光板平均輝度增加及均齊性提升。

關鍵字：導光板、微結構設計、精密成型

# Study of the Optical Design and Precision Molding for the Thin Light Guide Plate

Student : Yan-Wen Huang

Advisor : Professor Chung-Ching Huang

Institute of Mold and Die Engineering  
National Kaohsiung University of Applied Sciences

## Abstract

A backlight module consists of a light guide plate-LGP, a diffuser, a prism sheet, and a frame is the light source of TFT-LCD system. LGP, controls the light magnitude and distribution of the display, is one of the components that guide Point Light can transfer to Area Light. The thickness of a LCD is tending towards thin-type as well as LGP. Optics characteristic of LGP is determined by the micro-structure design. Using micro-structure to eradicate light from interior total reflection of LGP can make light inject from light-emitting surface of LGP, providing LCD sufficient light.

Thus, optic quality of a LGP is crucially affected by the micro-structure, and replication of Precision Injection Molding. In this thesis, a micro-structure of 2.2" V-cut pattern flat-type light guide plate (0.6mm in thickness) was studied and formed with plastics for optics grade Polycarbonate(PC). The surface of the micro-structure and processes condition is correlated with the mold of the micro-structure. Design parameter includes the angle, height, and density of the V-cut. The design of micro-structure is based on Non-Sequential Ray Tracing, it proceed the optical analysis to comprehend the effects of optics brightness and uniformity. Injection molding and injection compression molding are both implemented in the study. Taguchi Method, the measure of optics quality, and the size measure of micro-structure was illustrated the correlation of processes condition, optics quality, and the size of micro-structure. The main purpose was to achieve the quality of the LGP by raising the transcription of micro-structure and controlling and optimizing the processes condition.

In this study, it was found the scope of Molding Window changed subject to Melt Temperature. The higher Melt Temperature is, the bigger Molding Window is, and vice

versa. The transcription of the micro-structure of the V-cut was difficult to fulfill when the size of V-cut was smaller. From injection molding and injection compression molding, it was found that molding with Taguchi Methods can acquire the best Transcription Height of the V-cut. The primary factors that affect V-cut molding are Melt Temperature and Mold Temperature. Injection compression molding achieves the best condition because of the lower standard deviation of V-cut molding; compression molding helps better transcription to V-cut of the Incident surface. An observation on Photoelasticity Images and injection compression molding clearly inclines the residual stress and causes smaller warpage. As for optics quality, injection compression molding has better optics quality than injection molding. V-cut of the Incident surface possess higher percentage and uniformity of transcription, increasing brightness and uniformity of LGP.

Key words : Light Guide Plate, Micro-Structure Design, Precision Molding

## 誌 謝

感謝恩師 黃俊欽教授這兩年來的指導與栽培，使學生在碩士班生涯中，學習到相當多的觀念與知識，在此至最誠摯的謝意。感謝口試委員黃登淵教授、王珉玟教授、劉士榮教授及許丕明教授對本論文之指導與建議，使論文得以更加充實、完善。

在研究期間，感謝旭斌與宏耀 學長不辭辛勞的協助與指導，使我能順利完成論文。於研究室，感謝漢昇在這兩年來的幫助，彼此互相鼓勵一起學習，亦感謝學弟勇志、昱廷在論文與實驗上的協助，在我撰寫論文期間，幫忙處理研究室的事務，謝謝你們。在研究所的生涯中，感謝世朗、朝宗、正宏、如紘、光國、婉琪等同學們的陪伴，使我這兩年的生活過的豐富且充實。

最後，要感謝我的父母，感謝你們的支持、鼓勵與體諒，我愛你們。感謝一路陪著我的女友美秀，總是在我最低潮時鼓勵著我，使我心中充滿愛與關懷。最後將論文獻給支持、鼓勵我的大家，以表達我最誠摯的感激。

# 目 錄

中文摘要	-----	i
英文摘要	-----	ii
誌謝	-----	iv
目錄	-----	v
表目錄	-----	vii
圖目錄	-----	viii
第 一 章	緒論	
1.1	前言-----	1
1.2	背光模組簡介-----	2
1.3	導光板類型-----	3
1.4	文獻回顧-----	5
1.4.1	導光板光學設計探討-----	5
1.4.2	導光板專利探討-----	6
1.4.3	導光板射出成型探討-----	7
1.5	研究動機與目的-----	8
1.6	論文架構-----	9
第 二 章	導光板光學設計與分析	
2.1	基礎理論-----	22
2.2	導光板光學原理-----	24
2.2.1	導光板光路徑與內部全反射-----	24
2.2.2	導光板設計方法-----	24
2.3	光學模擬流程-----	27
2.4	微結構對光學性質的影響-----	28
2.4.1	V-cut 微結構尺寸對光學性質的影響-----	28
2.4.2	梯形-cut 微結構尺寸對光學性質的影響-----	29
2.4.3	Dot 微結構尺寸對光學性質的影響-----	30
2.5	薄形化背光模組設計結構-----	31
2.6	超薄形導光板光學設計與分析-----	32
2.6.1	入光側光學設計-----	32
2.6.2	出光面光學設計-----	33
2.6.3	反射面光學設計-----	34
2.6.4	背光模組光學模擬-----	35
第 三 章	超薄形導光板模具設計與成形分析	
3.1	模具設計-----	65
3.2	模流分析-----	65

第 四 章	超薄形導光板精密成型實驗	
4.1	實驗流程-----	75
4.2	實驗材料與設備-----	75
4.3	成型視窗實驗-----	77
4.4	微結構成型實驗-----	77
4.5	微結構成型最佳化實驗-----	78
4.6	射出壓縮成型實驗-----	80
4.7	光學輝度檢測實驗-----	81
第 五 章	超薄形導光板實驗結果與討論	
5.1	成型操作窗實驗探討-----	91
5.2	製程條件對微結構成型之影響-----	91
5.3	微結構成型最佳化探討-----	93
5.4	射出壓縮成型對微結構轉寫性之探討-----	94
5.5	微結構成型與導光板光學性質之關係-----	95
第 六 章	結論與未來研究方向	
6.1	結論-----	121
6.2	未來研究方向-----	122
參考文獻	-----	123
作著簡介	-----	126

## 表 目 錄

表 1-1	背光模組部品功-----	10
表 1-2	CCFL 與 LED 特性比較-----	10
表 1-3	依面板尺寸分類的背光模組構造-----	11
表 1-4	導光板技術比較-----	11
表 1-5	傳統與精密射出成型比較-----	12
表 2-1	各種物質之折射率-----	36
表 2-2	反射面 V-CUT 不等間距設計-----	37
表 2-3	反射面 V-CUT 設計結構-----	38
表 3-1	模流分析之成型參數-----	66
表 4-1	出光-LC1500 光學級聚碳酸脂(PC)物性表-----	82
表 4-2	Sodick-TR30EH 油電複合式 V 型機構射出成形機規格表-----	83
表 4-3	微結構成型實驗參數配置-----	84
表 5-1	田口氏實驗計畫法因子與水準表-----	97
表 5-2	田口氏實驗計畫法 L9 直交表-----	97
表 5-3	田口氏實驗計畫 V-溝量測結果-----	98
表 5-4	信號雜因比 S/N -----	101
表 5-5	回應表-----	101
表 5-6	田口式最佳條件的 V-溝量測結果-----	102
表 5-7	變異數分析-----	102
表 5-8	射出壓縮成型實驗參數-----	103
表 5-9	射出壓縮成型 V-溝量測結果-----	103
表 5-10	原始條件 V-溝量測結果-----	104
表 5-11	原始條件-光學輝度量測-----	104
表 5-12	田口式最佳條件-光學輝度量測-----	105
表 5-13	射出壓縮成型-光學輝度量測-----	106

## 圖目錄

圖 1-1	液晶顯示器結構總覽-----	13
圖 1-2	TFT-LCD 光的偏極現象-----	13
圖 1-3	背光模組結構展開圖-----	14
圖 1-4	直下式與邊光式背光模組-----	14
圖 1-5	機械加工法和蝕刻法之模仁示意圖-----	15
圖 1-6	LIGA 製程之薄板模仁-----	15
圖 1-7	薄板取代法之模仁示意圖-----	16
圖 1-8	擴散式導光板光漫射現象-----	16
圖 1-9	楔形及弧形外形的導光板-----	17
圖 1-10	雙邊光式導光板外形設計-----	17
圖 1-11	導光板入光側 V 形結構設計-----	18
圖 1-12	導光板入光處圓弧凹槽結構設計-----	18
圖 1-13	導光板入光面微結構設計-----	19
圖 1-14	導光板擴散點之光學設計-----	19
圖 1-15	V 形溝槽及稜形微結構設計-----	20
圖 1-16	圓弧形 V 形溝槽微結構設計-----	21
圖 1-17	交錯式 V 形溝槽微結構設計-----	21
圖 2-1	反射定律與折射定律-----	39
圖 2-2	光由光密介質進入光疏介質，不同角度的光線行進情形-----	39
圖 2-3	反射與漫反射-----	40
圖 2-4	表面粗糙度對光漫射之影響-----	40
圖 2-5	導光板入光面之光學原理-----	41
圖 2-6	導光板內部全反射-----	41
圖 2-7	常見之導光板特徵應用-----	42
圖 2-8	楔形導光板光學原理-----	43
圖 2-9	光路隨擴散點改變之情形-----	43
圖 2-10	光路隨 V-CUT 微結構改變之情形-----	44
圖 2-11	光路隨 V-CUT 之 pitch 改變之情形-----	45
圖 2-12	V-CUT 之出光效益參數-----	45
圖 2-13	光路隨 Dot 微結構改變之情形-----	46
圖 2-14	光學設計流程圖-----	47
圖 2-15	V-CUT、DOT、梯型-CUT 微結構之尺寸參數-----	48
圖 2-16	楔形導光板光路模擬-----	48
圖 2-17	V-CUT 角度參數之光學分析-----	49
圖 2-18	V-CUT 形狀尺寸之光學分析-----	49

圖 2-19	V-CUT—pitch 參數之光學分析-----	50
圖 2-20	梯形-CUT 側邊角度之光學分析-----	50
圖 2-21	梯形-CUT 頂端長度之光學分析-----	51
圖 2-22	梯形-CUT—pitch 參數之光學分析-----	51
圖 2-23	DOT 半徑參數之光學分析-----	52
圖 2-24	DOT 高度參數之光學分析-----	52
圖 2-25	DOT- pitch 參數之光學分析-----	53
圖 2-26	背光模組設計結構-----	53
圖 2-27	超薄形導光板尺寸如圖-----	54
圖 2-28	WHITE LED-NSCW335 光譜及發光強度-----	54
圖 2-29	超薄形導光板光學設計流程圖-----	55
圖 2-30	導光板入光側觀察面-----	56
圖 2-31	不同導光板厚度之光學分析結果-----	56
圖 2-32	不同入光側外型之光學分析結果-----	57
圖 2-33	入光側 V-CUT 角度參數之光學分析-----	58
圖 2-34	入光側 V-CUT 角度參數之光學分析圖-----	59
圖 2-35	入光側 V-CUT 高度參數之光學分析-----	60
圖 2-36	出光面 V-CUT 光學原理-----	60
圖 2-37	出光面 V-CUT 光路模擬-----	61
圖 2-38	反射面 V-CUT 高度參數之光學分析-----	61
圖 2-39	反射面 V-CUT 密度分佈曲線-----	62
圖 2-40	修正曲線-----	62
圖 2-41	反射面 V-CUT 密度分佈之曲線方程式-----	63
圖 2-42	背光模組之光學模擬結果-----	64
圖 3-1	模仁組裝的方式-----	67
圖 3-2	水路分佈圖-----	67
圖 3-3	模流分析實體網格-----	68
圖 3-4	導光板流動波前分佈圖-----	68
圖 3-5	導光板射出壓力分佈圖-----	69
圖 3-6	成型過程之鎖模力-----	69
圖 3-7	溫度分佈圖-----	70
圖 3-8	導光板 Z 軸翹曲分佈圖-----	70
圖 3-9	母模平面圖-----	71
圖 3-10	公模平面圖-----	72
圖 3-11	組立圖-----	73
圖 3-12	公母模實體-----	74
圖 4-1	超薄形導光板實驗流程-----	85

圖 4-2	Sodick-TR30EH 油電複合式 V 型機構射出成形機-----	86
圖 4-3	Taylor Hobson-Form Talysurf Laser 635 表面輪廓儀-----	86
圖 4-4	表面輪廓儀收錄器構造圖-----	87
圖 4-5	BM7 + BA664 六軸輝度計-----	87
圖 4-6	V-溝微結構量測位置圖-----	88
圖 4-7	田口氏實驗計畫法之實驗流程圖-----	89
圖 4-8	背光模組光學輝度量測-----	90
圖 5-1	成形視窗-----	107
圖 5-2	V-溝設計尺寸與模仁量測尺寸-----	108
圖 5-3	塑料溫度對微結構成形之影響-----	109
圖 5-4	模具溫度對微結構成形之影響-----	109
圖 5-5	射出速度對微結構成形之影響-----	110
圖 5-6	保壓壓力對微結構成形之影響-----	110
圖 5-7	保壓切換位置對微結構成形之影響-----	111
圖 5-8	保壓時間對微結構成形之影響-----	111
圖 5-9	冷卻時間對微結構成形之影響-----	112
圖 5-10	回應圖-----	112
圖 5-11	導光板翹曲量測-----	113
圖 5-12	應力光彈量測-----	114
圖 5-13	超薄型導光板成品及光學顯微鏡量測-----	115
圖 5-14	不同製程條件之入光側 V-溝外型尺寸-----	116
圖 5-15	不同製程條件之出光面 V-溝外型尺寸-----	117
圖 5-16	不同製程條件之反射面 V-溝外型尺寸-----	118
圖 5-17	背光模組-----	119
圖 5-18	原始條件-光學輝度量測-----	119
圖 5-19	田口式最佳條件-光學輝度量測-----	120
圖 5-20	射出壓縮成型-光學輝度量測-----	120

# 第一章 緒論

## 1.1 前言

平面顯示器 (Flat Panel Display) 產業迅速發展，在 2004 年其整體平面顯示產業達 7,150 億元，較前年成長 71%，且在 2005 年及未來產值可望超過台幣 1 兆元以上，平面顯示器產業已成為繼半導體產業之後，成為國內重要新興產業之一。平面顯示器的種類包含液晶顯示器 (Liquid Crystal Display, LCD)、電漿顯示器 (Plasma Panel Display, PDP)、有機電激發光顯示器 (Organic Light-Emitting Diode, OLED) 及場發射顯示器 (Field Emission Display) 等，其產品特性皆以輕、薄、短、小、省電、高亮度、高解析度、高品質為導向，其中以薄膜電晶體液晶顯示器 (Thin Film Transistor Liquid Crystal Display, TFT-LCD) 技術為國內主要發展重點，在政府積極推動及各廠商積極投入與量產實績下，從小尺寸之彩色手機、PDA 到大尺寸之平面電視應用，顯示著高品質顯示器的時代已經來臨。

薄膜電晶體液晶顯示器(TFT-LCD)即是利用液態晶體的光學特性進而達到其顯示的效果，其結構包括：背光模組(Back light Module)、偏光板(Polarizing sheet)、透光電極(Transparent Electrodes)、對準層(Alignment Layer)、液晶(Liquid Crystal)、彩色濾光片(Color Filter)和間隔裝置(Spacer)等零件，如圖1-1所示。TFT-LCD的顯示原理為由背光模組發出之光源照射在偏光板上，當光線在穿過偏光板後會產生偏極化現象，使每一個光線分子在能量、相位、頻率和方向上的特性都相同，偏極化的光線繼續傳遞至液晶層，此時將玻璃基板上的電晶體施以電流通過而產生電場變化，造成液晶分子偏轉，改變偏極化光線的偏光角度，因上偏光板僅允許特定偏光角度的光通過，所以不同的偏光角度的光所造成的光線強度會不同，藉此控制每個畫素(Pixel)的明暗狀態，如圖1-2所示。而不同偏光角度的光再經由彩色濾光片(Color Filter)使每個畫素(Pixel)中各包含紅藍綠三顏色，由彩色濾光片給予每一個畫素特定的顏色，就會顯示出各種不同的亮度和不同顏色的畫素，最後再經由各個畫素的組成顯示各種影像和圖形。

其中背光模組(Back Light Module)是TFT-LCD液晶顯示器當中重要的關鍵零組件之一，同時也是目前國內自製率最高的關鍵零組件。由於液晶

本身並不會發光，背光模組的功能即在於供應充足的亮度與分佈均勻的光源，隨著液晶顯示器製造技術的提昇，在大尺寸及低價格的趨勢下，背光模組朝著輕量化、薄型化、低耗電、高亮度及降低成本的趨勢發展，開發與設計新型的背光模組即為重要課題。

## 1.2 背光模組簡介

背光模組又稱背光板，其功能在於提供 LCD 面板之光源，其結構由燈源、導光板(Light Guide Panel, LGP)、光學膜片(擴散板、稜鏡片)、塑膠框等所構成(各部品功能及背光模組結構如表 1-1、圖 1-3 所示)。背光模組所用之光源必須具備高亮度及壽命長等特色，目前的光源有冷陰極螢光燈(CCFL)、發光二極體(LED)、電激發光片(EL)等，其中以冷陰極螢光燈及發光二極體使用最多，其特性比較如表 1-2 所示。因歐盟環保法規的制定自 2006 年 7 月 1 日起在歐盟市場嚴禁含汞、鉛、鉻、六價鎘等電子產品進入歐盟市場，因此 LED 有加速取代 CCFL 的趨勢，成為未來主要應用的環保光源。目前背光模組的種類依光源位置可分為直下式(Bottom Lighting)及邊光式(Edge Lighting)二種，如圖 1-4 所示，分別應用於不同之資訊產品及不同的液晶面板尺寸上，如表 1-3 所示。

### 1. 直下式背光模組

直下式背光模組應用在液晶電視(LCD TV)及19吋以上的液晶顯示器(LCD Monitor)，其設計是將光源放置於液晶面板正下方，藉由反射板反射後，光線向上經擴散板均勻分散後於正面射出，一般光源採用CCFL可依面板大小使用2至多之燈管，但同時也增加了模組的厚度、重量與耗電量，其優點為高輝度、良好的出光視角、光利用效率高及結構簡易化等。而因歐盟環保法規的制定，新式的大尺寸液晶電視已有使用LED光源的直下式背光模組設計，使用LED為光源的優點為反應速度快、高色再現性且無水銀等特性，但因大尺寸的背光模組所需LED數量多，LED產生的熱量高所以需在模組中加風扇協助散熱，若散熱問題沒有處理好，將會影響到整個液晶模組的穩定性，且因使用相當多的LED模組，對成本也是非常大的考驗，其散熱及成本等問題還有待克服。

## 2. 邊光式背光模組

邊光式背光模組一般常用於中小型顯示器，其設計是將光源置於整個背光模組的邊緣，採用 CCFL 為光源的邊光式背光模組應用在 19 吋以下的液晶顯示器及筆記型電腦，而採用白光 LED 為光源的邊光式背光模組通常應用在中小尺寸手機、個人數位助理(PDA)及數位相機等可攜式產品上。放置於側邊之光源使光線由導光板的側面導入，入射的光以全反射原理往另一端傳遞，當光碰到擴散點或光學特徵時，反射光會往各個角度擴散或折射，然後破壞全反射條件由導光板正面射出，並利用各種疏密、大小不一的擴散點及光學特徵，可使導光板均勻發光。以側邊入光式的光源設計配合導光板應用，可大大減少背光模組的重量及厚度，所以有輕量、薄型、窄框化、低耗電等特色，而導光板為掌控邊光式背光模組之輝度及輝度均齊性的關鍵元件。

### 1.3 導光板類型

導光板的作用在於引導光的散射方向，用來提高面板的輝度並確保面板亮度的均勻性，導光板的良窳對背光板影響甚鉅，是背光模組的關鍵零組件之一。製程上，導光板是利用射出成型來製造，依外形可分為楔形板和平板兩種。楔形導光板之背光模組，一般適用在筆記型電腦、手機、PDA 等需輕薄化的設計上。而平板式導光板之背光模組，一般適用在桌上型電腦、監視器等大尺寸產品，因目前可攜式產品的輕量化、薄型化及降低成本趨勢下，手機、PDA 等小尺寸用的背光模組，其導光板外形設計由楔形導光板轉變成超薄的均一厚度之導光板，厚度為 0.6~0.8mm 之間，因輕薄化的需求下，超薄形導光板之設計開發為目前的重要發展趨勢。而在導光板的光學特徵方面，依其設計可分為印刷式導光板、非印刷式導光板及擴散式導光板等，如表 1-4 所示。以下為各類導光板的製程簡介。

#### 1. 印刷式導光板

印刷式導光板是利用射出成型的方法將丙烯壓製成表面光滑的板塊，經切邊鏡面拋光後，以具有高反射且不吸光的油墨材料，在導光板的底面

上利用網版印刷的方式印上擴散點，使其光線能順利導出導光板。其技術適用於 17 吋以上之顯示器，早期因導光板之光學設計技術不成熟，須經常變動光學設計且光學特徵製造之費用昂貴，所以採用印刷式導光板技術，印刷式導光板技術能快速變更光學設計且具有開發成本低及生產快速的優點，但因需先製作導光板(空板)，再經由網版印刷製程將光學網點印刷於導光板的表面上，所以製程時間較長。

## 2. 非印刷式導光板

非印刷式導光板利用射出成型方式，在模內加上具光學特徵的模仁或薄板，使射出時在導光板的表面直接成形其微結構之幾何形狀，可謂一體成型亦減少了製程步驟，此方法適用於17吋以下之導光板，其中精密模具開發技術及精密射出成型技術為關鍵所在。光學特徵之製造方法有機械加工、蝕刻及薄板取代法，以下為其介紹。

### (1) 機械加工法：

即將金屬模仁利用超精密加工的方法，利用鉋削、銑削及研磨等方式，加工出其光學特徵形狀後，再裝入模具後進行射出成型，如圖 1-5 所示。

### (2) 蝕刻法：

即將金屬模仁利用咬花蝕刻的方法，蝕刻出其光學特徵形狀後，再裝入模具後進行射出成型，如圖 1-5 所示。

### (3) 薄板取代法：現今大概可分為兩種，其製程如下

- a. 將矽晶圓利用半導體曝光、顯影、蝕刻的方法，在矽晶圓上加工出其光學特徵形狀後，利用電鑄之方法，翻模製出其薄板模仁後(如圖 1-6 所示)，再裝入模具後進行射出成型。
- b. 將不鏽鋼板利用蝕刻的方法，在不鏽鋼上加工出其光學特徵形狀後，再裝入模具後進行射出成型，如圖 1-7 所示。

薄板取代法中利用半導體方法之費用和時間上付出較多，而利用不鏽鋼板進行蝕刻之方法比較節省時間和金錢，目前點狀之光學特徵形狀幾乎都採用後者。

### 3. 擴散式導光板

擴散式導光板則在材料中加入不同折射率的高分子聚合物，在密度均勻材料中若存有折射率相異的兩種材料時就會引發光漫射的現象，如圖1-8所示，以控制不同材料的成分與結構來控制其漫射的特性。此方式光的利用率高，但均齊性不易調整。

## 1.4 文獻回顧

導光板的光學設計為導光板的核心技術，而關於導光板光學設計文獻很少，其設計大多都是廠商的 Knowhow 而不輕易透露，一但有新式設計都是以申請專利的方式保護其設計，所以導光板相關專利相當豐富，尤其以日本，在世界各地所申請專利居多，從整體背光模組結構到導光板外形及各種表面微結構的設計都有包含在內。而在導光板的製程方面，導光板為精密的光學元件且表面具有微結構的特徵，在製作時不但要求高精度的外形輪廓尺寸，且須精確成型導光板表面上的微結構，以下針對精密射出成型、薄殼射出成型、微結構成型及射出壓縮成型作相關文獻之探討。

### 1.4.1 導光板光學設計探討

在導光板設計相關論文方面，Kalantar[1]對於手機及 PDA 用的背光模組提出新式設計，論文中說明背光模組光學原理及設計流程，並以光學模擬的方式來設計導光板。於導光板上下兩面分別設計 V 形溝槽及點狀的光學特徵，且僅使用一張 TIR 稜鏡片就可達到更好的光學效果。結果顯示其最高輝度為傳統結構的 1.44 倍，且厚度減少約 250 $\mu\text{m}$ 。Kalantar[2]於 2004 提出雙面發光導光板設計，應用在折疊式雙螢幕手機，僅使一片導光板可同時提供主螢幕和副螢幕所需之光源。導光板外型為楔形且逐漸變厚的設計，配合兩面的光學特徵設計及 TIR 稜鏡片，使 LED 光源轉換成雙面均勻的面光源，使用雙面發光導光板可節省了一個背光模組成本並減少手機厚度及重量。

在微結構的最佳化設計方面，施至柔[20]以數值模擬的方法，計算光波導的模態光場以建立擴散點的散射模型，利用導光板參數之調整使光亮

度均勻。蘇紹安[21]建立網點分布函數以光學模擬方式探討網點性質及導光板底面的傾斜角度，求得光學最佳化設計。方育斌[22]以光學模擬軟體，開發出一套最佳化設計準則，以區塊分割方式，調整各區塊之網點密度以得到最佳之輝度均齊性。詹展昌[23]針對導光板入光表面結構，如長方形橫向溝槽結構及稜形溝槽結構等設計，改變光線之光路分佈以改良背光源模組之亮線及光暈現象等問題。蔣宗樹[24]以實驗的方式驗證光學模擬的正確性，並探討殘留應力對於光學性質的影響。蔡俊欽[25]以實驗計劃法進行製程參數的最佳化探討，結合光學設計、模具設計、射出成型、光學檢測、微結構量測等技術，對具有 V 型溝槽之導光板作一完整的研究，發現熔膠溫度及保壓壓力是影響微結構轉寫性的主要因素。

#### 1.4.2 導光板專利探討

而在專利方面針對邊光式背光模組，探討導光板外形及表面微結構的設計專利。在導光板外形專利方面，Masaki Tadahiro [3]設計楔形及弧形之導光板，以導光板外形變化使光線角度改變，直到入射角度小於臨界角時而達到光線射出的目的(圖 1-9)。Ohta Youko [4]以雙邊光式導光板設計，導光板為雙楔形之設計使兩側燈管導入的光能破除全反射條件以達到出光的目的(圖 1-10)。Tsai [5]於導光板入光側設計 V 形結構，將光源導向兩旁減少光源間的暗帶分佈(圖 1-11)。Ono Toshiaki [6]將 LED 設置於導光板上，並將導光板入光處設計成圓弧凹槽，使 LED 的入射光能均勻發散進入導光板中(圖 1-12)。

而在導光板微結構設計的專利，Miyashita Junji [7]在導光板入光面設置不同的光學特徵如 V 形溝槽、圓形溝槽、圓形凸點、圓錐凸點、角錐及不規則條紋等微結構形狀(圖 1-13)。Kashima Keiji [8]以擴散點分佈於導光板的底面，且由入光側開始由疏到密由小到大的分佈設計，並定義其網點密度與輝度分佈間的關係圖(圖 1-14)。Shinohara Masayuki [9]於導光板的上下表面皆設計 V 形溝槽微結構且有不同的排列方向，及形狀是以兩 V 形溝槽相交而產生的稜形微結構設計，使用 V 形溝槽及稜形微結構設計提高導光板之輝度(圖 1-15)。Miyashita Junji [10]僅使用一顆白光 LED 為光源，以 LED 的光強度分佈設計圓弧形 V 形溝槽微結構，使導光板有效利用光源且輝度均勻(圖 1-16)。Yamakawa Hiroyuki [11]說明導光板以交錯式 V 形

溝槽微結構的設計，且變化 V 形溝槽的深度使導光板均勻出光(圖 1-17)。

### 1.4.3 導光板射出成型探討

射出成型能迅速的成型塑膠製品且具有成品低廉、適合大量生產及產品種類多樣化的特色。傳統的射出成型，主要要求於射出成品的完整性，控制熔膠溫度、射出速度、射出壓力等製程參數避免短射、毛邊及縫合線等現象，研究重點在於充填過程，然而隨著成品精度要求提高，射出成品的品質除了外形完整外，尺寸的精確度、分子定向、收縮翹曲及光學性質等，均有嚴格的要求。因此精密射出成型主要著重在後充填階段，保壓機構及模溫控制為影響品質的關鍵，Greener[12]曾就傳統與精密射出成型作一比較，如表 1-5 所示。

根據 JIS K6745 的定義，厚度 3.0mm 以上的是板，厚度介於 0.2~3.0mm 的是薄板，厚度在 0.2mm 以下的稱之為薄膜(Film)。而一般薄件成品的定義為流動長度除於壁厚之比值(L/T 比)，以截面厚度以 1mm 來說，L/T 比大於 150 時即稱為薄件。Losch[13]以射出成型實驗探討不同厚度的物件之成型狀態，其實驗指出當物件愈薄需要愈大的射出速度及射出壓力才可成型。Johannaber[14]以實驗指出薄件的射出成型需要比普通厚度的物件更大的射出壓力，隨著提高模溫可使壓力損失大大減少。杜俐芊[26]研究以基本的長直平板狀薄流路為對象，實驗結果顯示隨著模具溫度、塑料溫度、射出溫度、射出速率的提高可得到較長的充填效果，但同時物件表面會因殘留應力增加更容易產生鯊魚皮的缺陷。黃東鴻[27]探討薄殼射出件翹曲變形與殘留應力研究，以模流分析及田口式實驗法降低其翹曲變形，實驗結果顯示減少保壓壓力、升高模具溫度與熔膠溫度，皆可減少殘留應力，其中溫度的變動為對殘留應力最具影響。

目前在光電及投影顯示產品中，包含許多精密且具有表面微結構之元件如導光板、繞射光學元件、CD/DVD 光碟片等，而精度射出成型與微結構之複製成型技術為其重點，微結構在成型過程中，常因熔膠流動的遲滯效應、空氣包封、壓力不足、收縮等因素，造成充填不足，導致成型性不佳，嚴重影響成品的光學性質，例如出現暗痕或亮度不均等缺陷。Yoshii[15]曾就光碟片上的微結構做探討，當提高塑料溫度、模具溫度、射出速率及保壓壓力及時間，則可提高微結構的轉寫性。Despa[16]就高寬深比的微結

構做探討，其應用模流及熱傳原理做預測模型，推論出當模溫較高的情況下，則微結構成型視窗會明顯增大。羅志謙[28]使用具有 U-Groove 微形結構之鎳模仁，成形 60um 厚度之薄件雙面微結構成品，發現微結構轉寫效果佳，且隨模溫提高光學干涉紋階逐漸減少，有助於應力釋放。

射出壓縮成型(Injection Compression Molding, ICM)是在傳統射出成型的充填過程加入一壓縮步驟，不再單靠澆口傳遞壓力，而由壓縮機構自模壁全面施壓，以提升密度、改善收縮且可減少分子定向及殘留應力而增進尺寸精度。Friedrichs[17]等曾探討射出壓縮成型薄壁零件的設計與製程，指出影響射出壓縮成型的主要製程參數為壓縮距離、壓縮起始延遲時間、壓縮壓力、塑料溫度及模溫等。林昆燁[30]以射出壓縮成型方法探討楔形板製程，實驗結果發現，適當的壓縮壓力可有效的減低殘留應力的產生。但若壓縮壓力過大，反而會造成成品的分子定向增加，對於成品之品質造成不良的影響。因此以適當的壓縮壓力及壓縮時間，便能減低保壓壓力及保壓時間提高成品品質。

而以射出壓縮成型製程探討微結構成型的研究方面，吳宗祐[31]以射出壓縮應用於圓筒形的徑向壓縮及表面微結構的轉寫性研究，實驗結果發現壓縮壓力及模溫為射出壓縮製程中的重要參數，且對圓筒件尺寸精度及表面微結構成型性有明顯的提升。陳守仁[32]就具有 V 槽結構之光纖支架作精密射出及射出壓縮成形，探討製程參數對於成品品質之影響，評估 V 槽深度與寬度的成型尺寸，實驗結果發現高保壓壓力能減少成品的收縮，可得到較佳的尺寸控制且射出壓縮製程可明顯改善 V 槽之成型精度。

## 1.5 研究動機

TFT-LCD 液晶顯示器已廣泛的應用在行動電話、個人數位助理(PDA)及數位相機等可攜式產品上。隨著產品功能不斷提升，內部零組件的擴充以及輕薄短小的需求下，目前所積極追求的是更輕更薄的顯示模組。其中背光模組是 TFT-LCD 液晶顯示器當中重要的關鍵組件之一，背光模組為主要光源所在，而其光亮度分佈、模組厚度及材料成本，主要為導光板所掌控，導光板為其重要光學元件。所以在輕薄化的需求下，導光板勢必減少厚度，研發超薄形的導光板。超薄形導光板可使背光模組輕量化、薄型化、降低材料成本且縮短成形週期。而開發超

薄形導光板的困難點在於其光利用率低、微結構成形困難及薄件射出的引起內應力及翹曲問題。

所以，本研究結合光學設計、模具設計開發、精密射出成型、微結構檢測及光學檢測等作超薄形導光板產品設計開發技術的研究。以非序列性光學描光技術進行光路分析，了解導光板外型與表面微結構對光學輝度和均勻性之影響，進行超薄型導光板光學設計與分析。實驗部份，探討不同大小及位置的 V-溝微結構之轉寫性，探討成型條件對 V-溝轉寫性的影響，成型方式則分別比較傳統射出成型及射出/壓縮成型兩種製程，配合田口實驗計畫、導光板各面微結構的尺寸量測、以及導光板光學性質的量測。找出影響微結構成型的主要因子，達到製程條件的最佳化控制，提高微結構的成型性。並探討微結構成型與光學性質之關係，以增加超薄形導光板光學品質。

## 1.6 論文架構

本論文共分為六章，以下為本論文架構之簡單說明：

- 第一章 簡介 TFT-LCD 液晶顯示器以及背光模組的結構與種類，且針對導光板作產品技術分析和文獻探討，最後介紹本論文的研究動機。
- 第二章 本章首先介紹基礎理論及導光板的光學原理，並探討導光板光學特徵形狀對光學性質之影響，再者進行超薄形導光板的光學設計分析，進行導光板外觀及微結構參數設計，以得到良好光學性質。
- 第三章 本章探討導光板的成形分析與模具設計，就導光板之形狀，利用模流分析 Moldex 3D 軟體，進行 CAE 模擬，探討超薄形導光板的模具設計。
- 第四章 介紹本論文之實驗設備、實驗流程及方法，針對超薄形導光板作精密射出成型實驗、微結構轉寫性探討及光學檢測實驗等。
- 第五章 本章為實驗結果與討論，說明製程參數對微結構轉寫性之影響、微結構成型最佳化探討並比較傳統射出、射出壓縮成型製程，探討製程條件、微結構成型尺寸與光學性質間之關係。
- 第六章 本章為結論與未來研究方向，總結光學設計與相關實驗之結論，並探討未來的研究方向。

表 1-1 背光模組部品功能

部品名稱	功能 / 要求	材料
光源	高輝度、高效率、色再現性、壽命	熱陰極陰極螢光燈 (HCFL) / 冷陰極螢光燈(CCFL) ; LED ; EL
導光板	控制光的方向、提高輝度，且使面板輝度均一化。	板面上施予光學特徵之壓克力板或 PC 板
擴散板	將來自導光板之光源加以擴散	PET 或 PC 樹脂
稜鏡片	將經擴散板之散漫光，透過稜鏡之折射使光向垂直向上，亦即有集光作用	稜鏡材料、3M 專利 "BEF"光學膜
反射板	防止光源外漏之遮蔽板	PC 樹脂、鋁板、發泡 PET 膜

表 1-2 CCFL 與 LED 特性比較

	CCFL	LED
電壓	300 V 以上	5 V 以上
缺點	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 需高壓點燈、較耗電</li> <li>● 壽命：3~6 萬小時</li> <li>● 厚度大</li> <li>● 含水銀(環保問題)</li> <li>● 電磁干擾</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 輝度(20~40nt)</li> <li>● 成本高</li> <li>● 點光源特性，面光源應用時架構複雜</li> <li>● 若採螢光粉封裝則演色性不佳</li> </ul>
優點	高輝度	較環保
應用產品	LCD TV、LCD monitor、NB、PDA、攝影機、GPS	手機、DSC(1.3''~2.2'')、PDA
模組產品價格	27''約 NT5000 元	27''約 NT16000 元

表 1-3 依面板尺寸分類的背光模組構造

	光源	構造	主要用途
大型	直下型 冷陰極管光源	<p>Prime sheet 擴散sheet 擴散板 反射sheet 冷陰極管</p>	LCD TV LCD Monitor
中型	側邊 冷陰極管光源	<p>Prime sheet 擴散sheet 冷陰極管 導光板 反射</p>	Notebook LCD Monitor
小型	側邊 LED 光源	<p>Prime sheet 擴散sheet LED 導光板 反射</p>	攜帶電話 PDA 柏青哥

表 1-4 導光板技術比較

	生產方式	優點	缺點
印刷式	利用射出成型法，成型後的壓克力內面利用印刷方式，印出點形狀。	可輕量化，可改善微細的光，可任意設計構造、形狀。	須要成形模具費用。
非印刷式	利用精密模具技術，直接在模具上產生精密溝槽或球狀，產生光線均勻分布的效果。	高效率，低成本，可達輕量化，可任意設計構造形狀。	初次費用高，須耗時 模具開發時間較長。
擴散式	在壓克力材料上含有高分子聚合物，依內部光擴散方式，使導光板發光。	不用印刷。	改善困難，須花費成形模具費用。

表 1-5 傳統與精密射出成型比較[12]

	傳統射出成型	精密射出成型
成形重點	充填階段	後充填階段
開模溫度	低於波璃轉折溫度	低於波璃轉折溫度 且達到熱平衡
品質評估	短射、縫合線	均質化、顯微組織、 凹痕、收縮、內應力
厚件射出	容易	困難
薄件射出	困難	容易

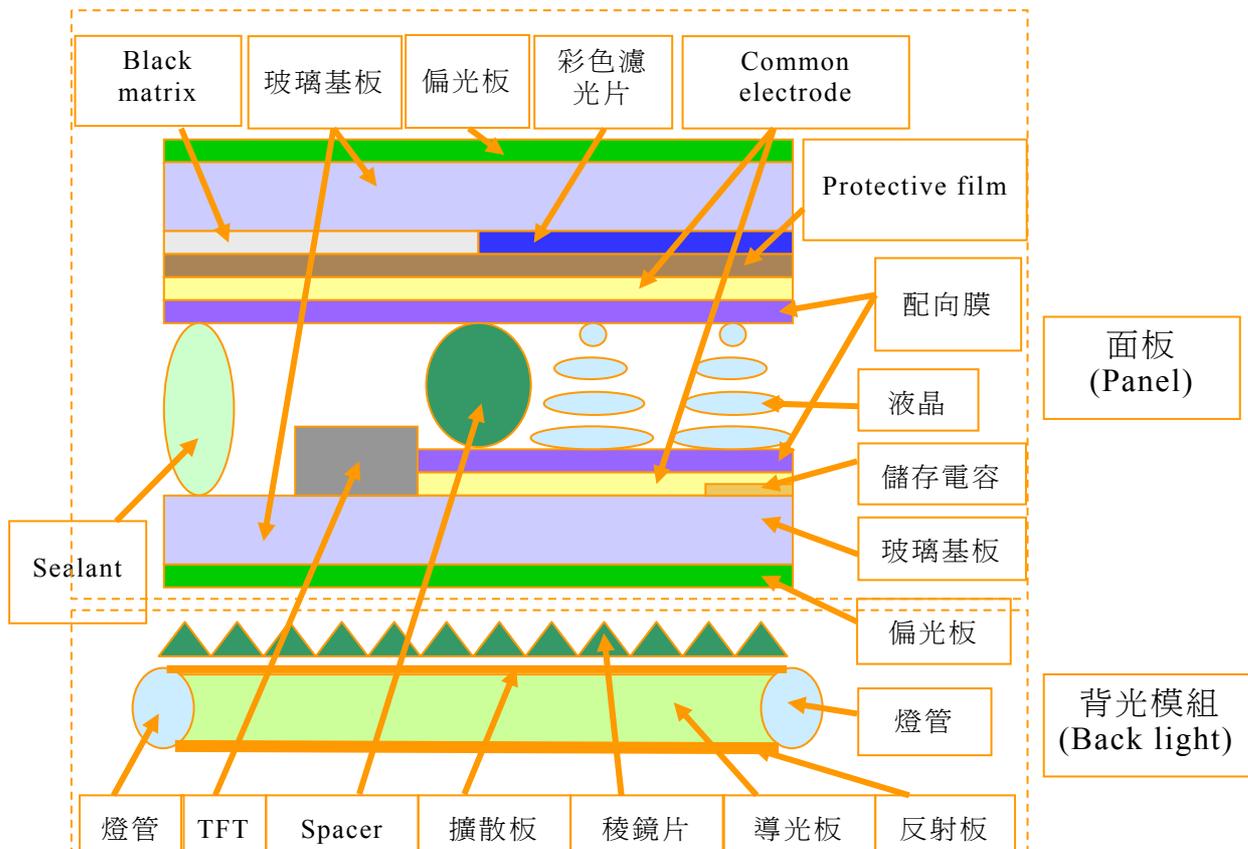


圖 1-1 液晶顯示器結構總覽[20]

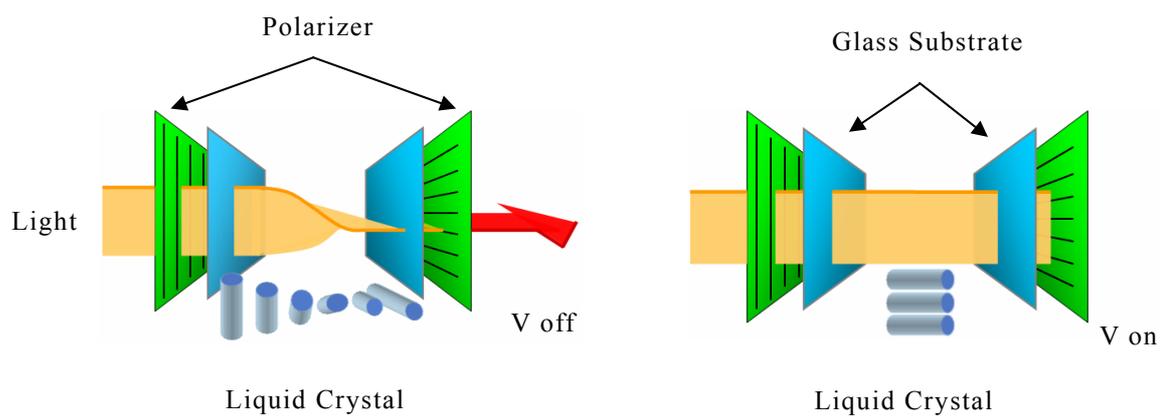


圖 1-2 TFT-LCD 光的偏極現象

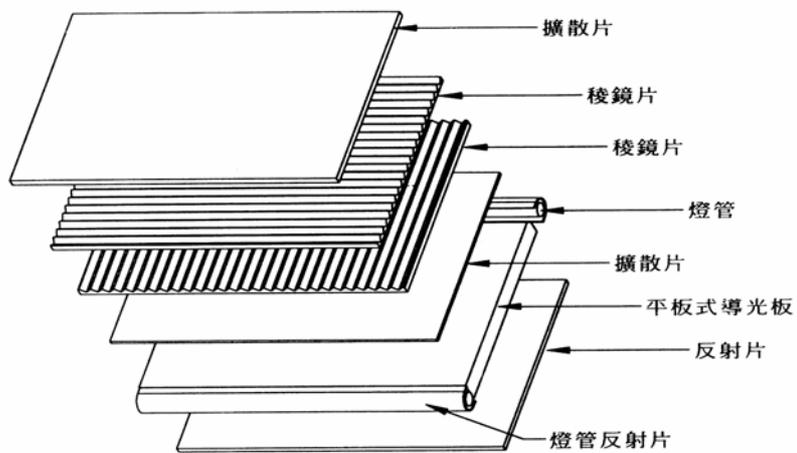


圖 1-3 背光模組結構展開圖[19]

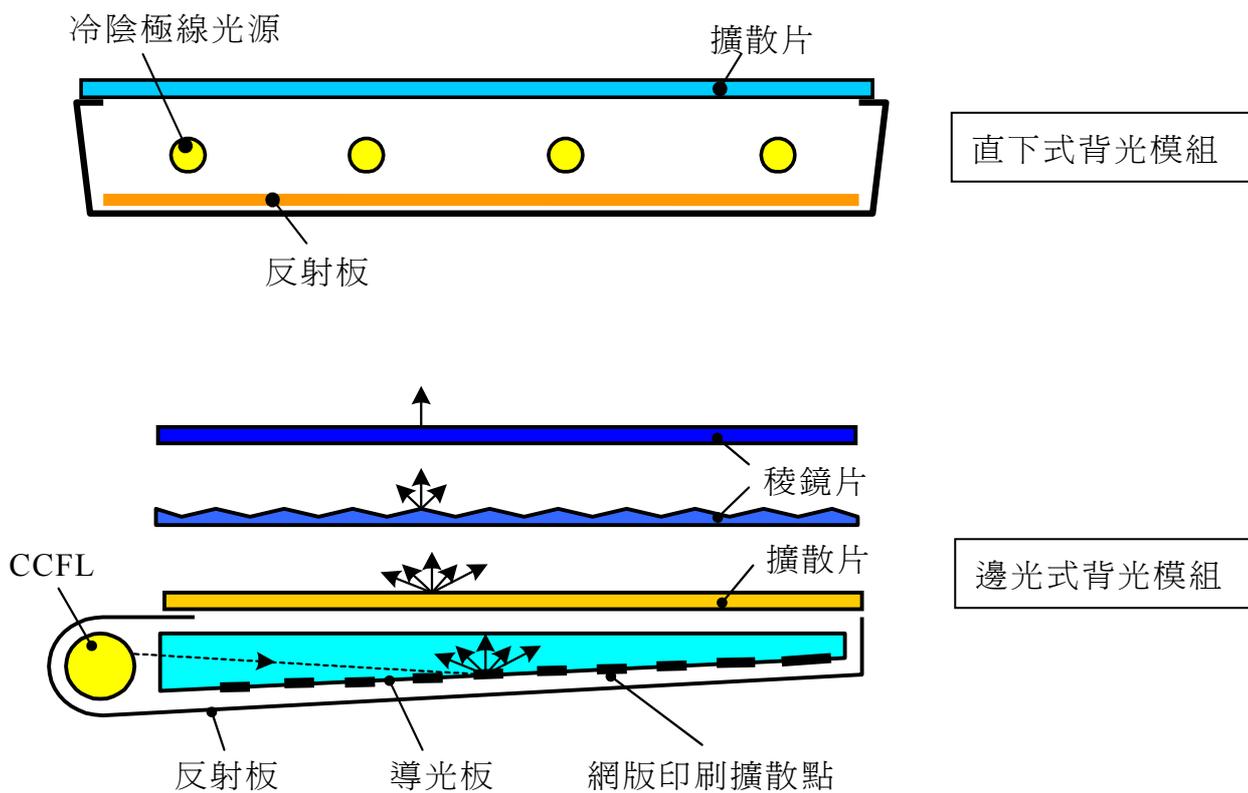


圖 1-4 直下式與邊光式背光模組

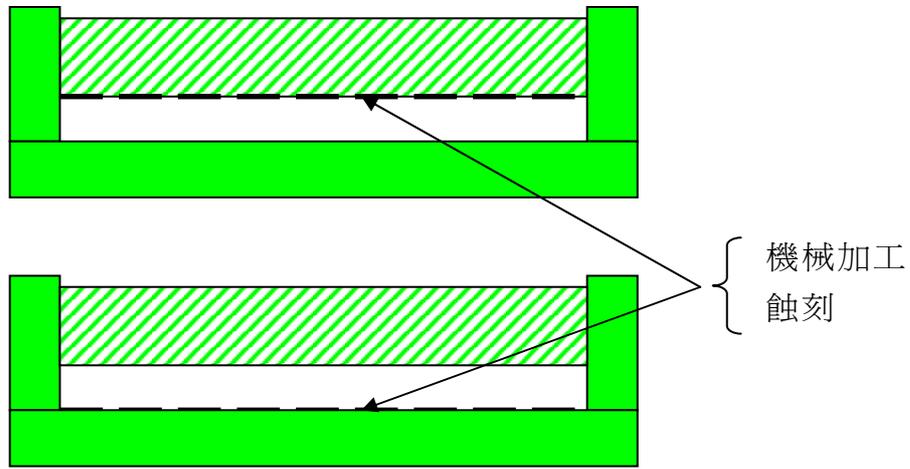


圖1-5 機械加工法和蝕刻法之模仁示意圖

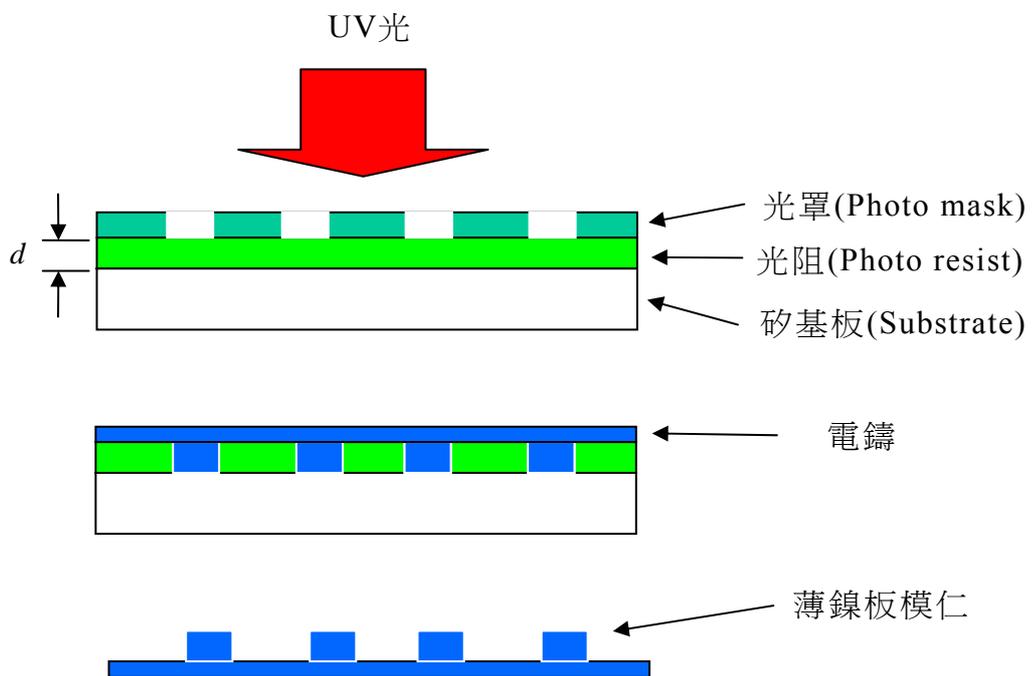


圖 1-6 LIGA 製程之薄板模仁

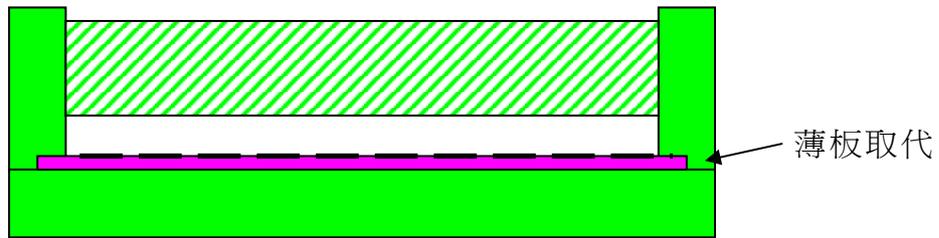


圖1-7 薄板取代法之模仁示意圖

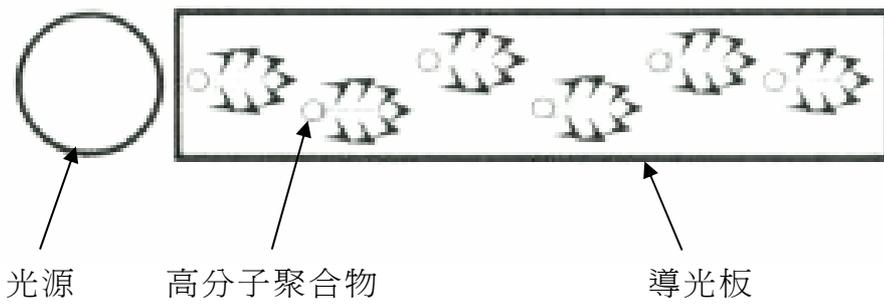
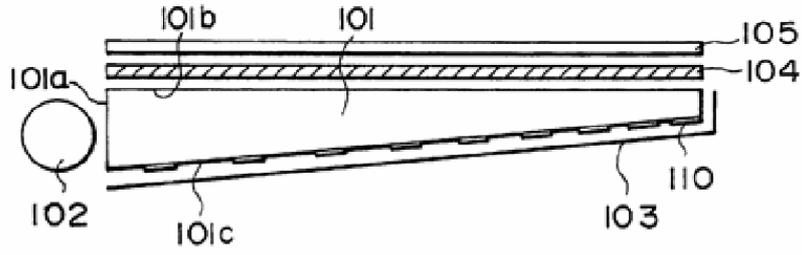
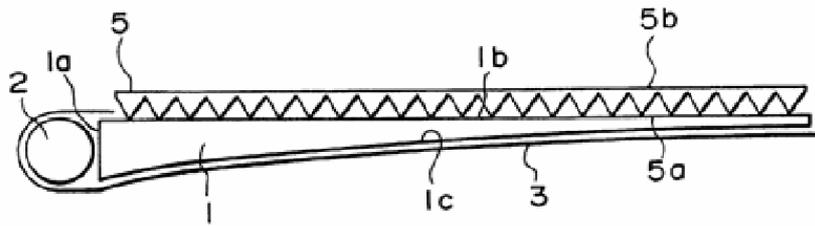


圖1-8 擴散式導光板光漫射現象



楔形導光板



弧形導光板

圖1-9 楔形及弧形外形的導光板(US-5940571)

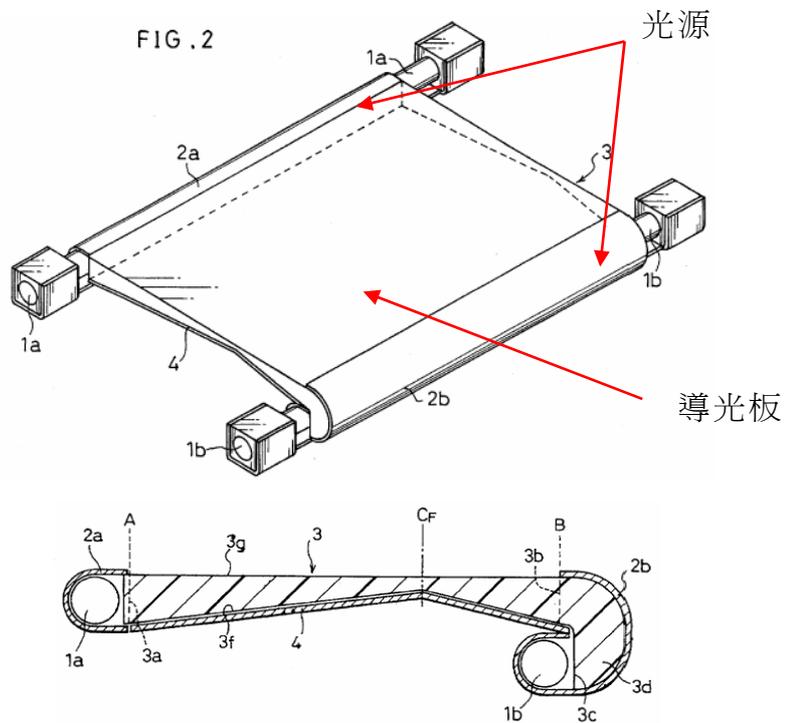


圖 1-10 雙邊光式導光板外形設計(US-5673128)

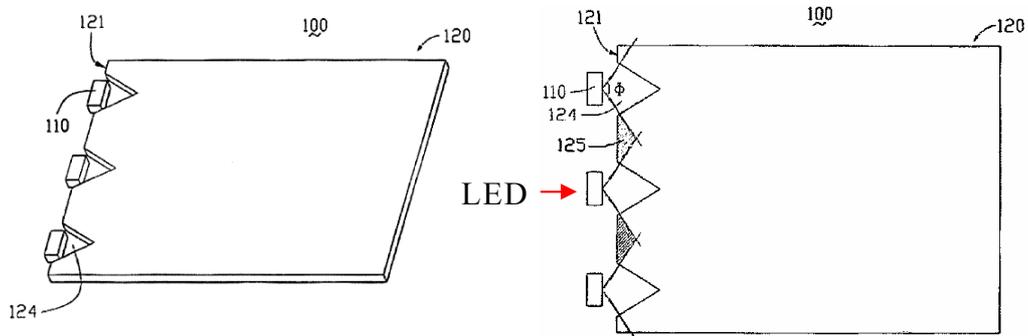


圖 1-11 導光板入光側 V 形結構設計(US-2005013127)

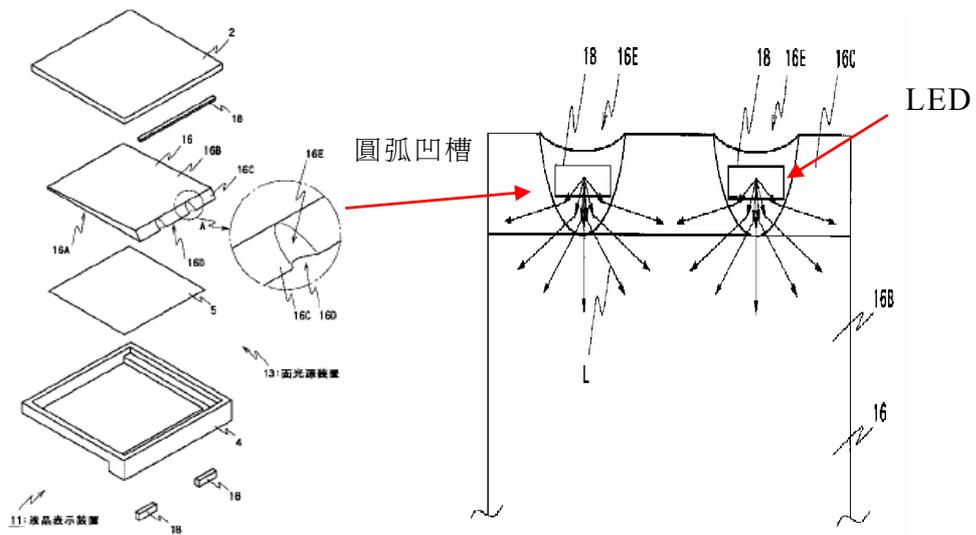


圖 1-12 導光板入光處圓弧凹槽結構設計(TW-592310Y)

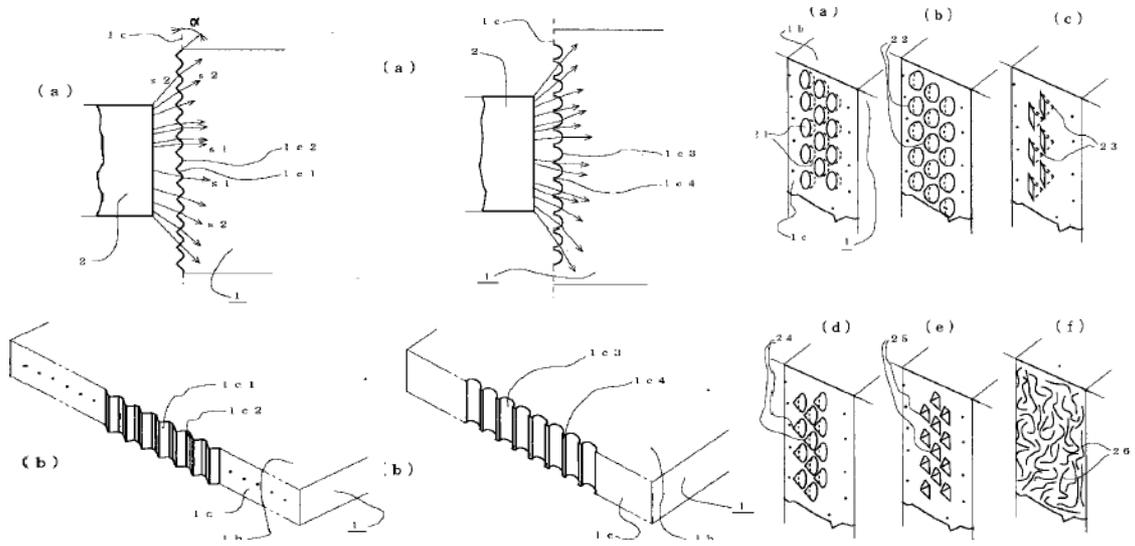


圖 1-13 導光板入光面微結構設計(JP-2002196151)

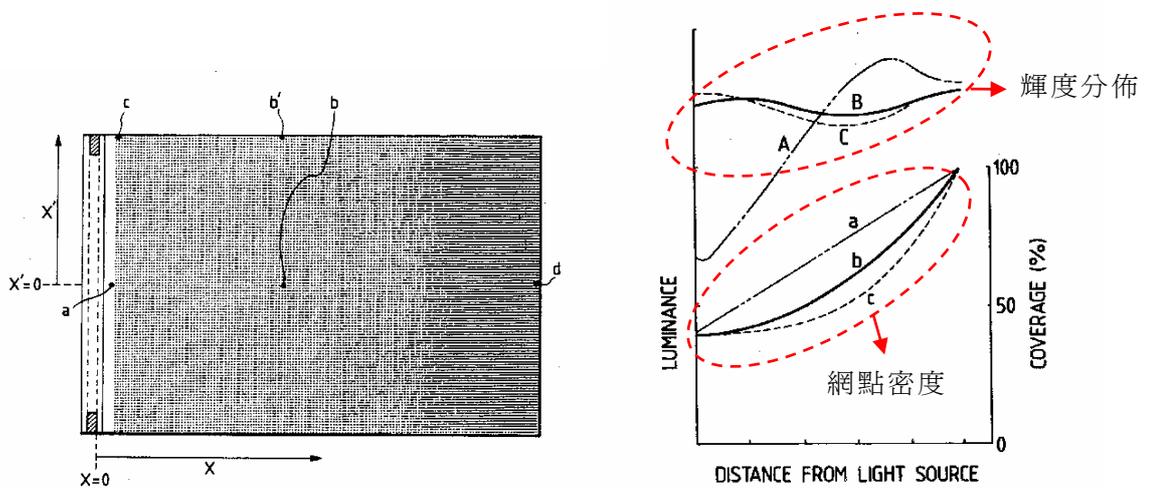
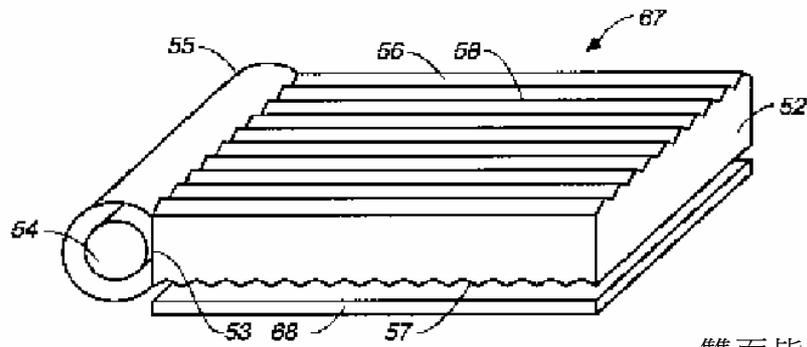
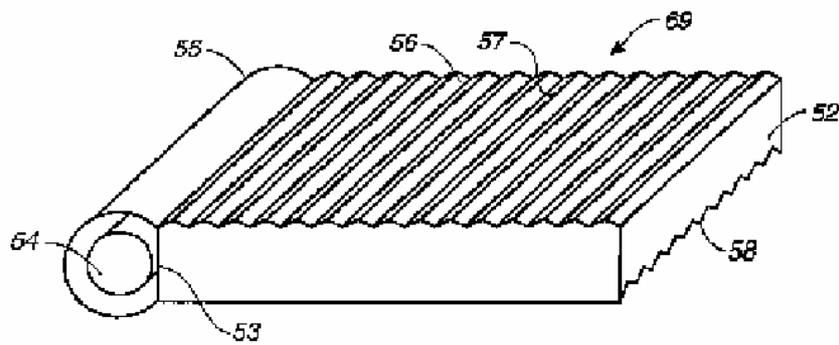


圖 1-14 導光板擴散點之光學設計(US-5093765)



雙面皆設計 V 形溝  
槽微結構的導光板



稜形微結構

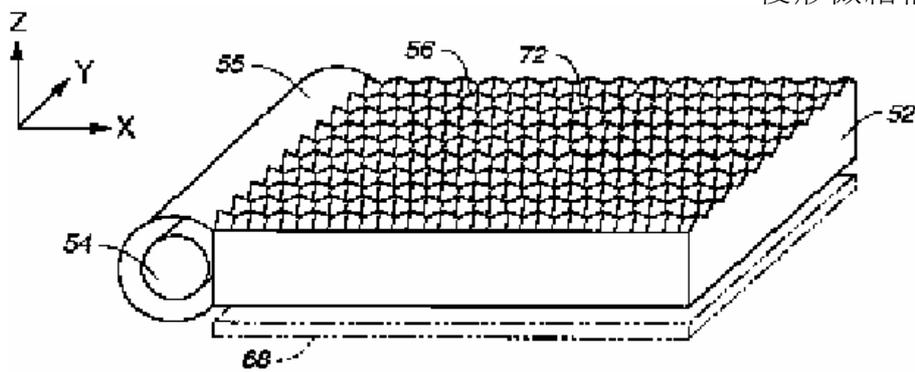


圖 1-15 V 形溝槽及稜形微結構設計(US-6231200)

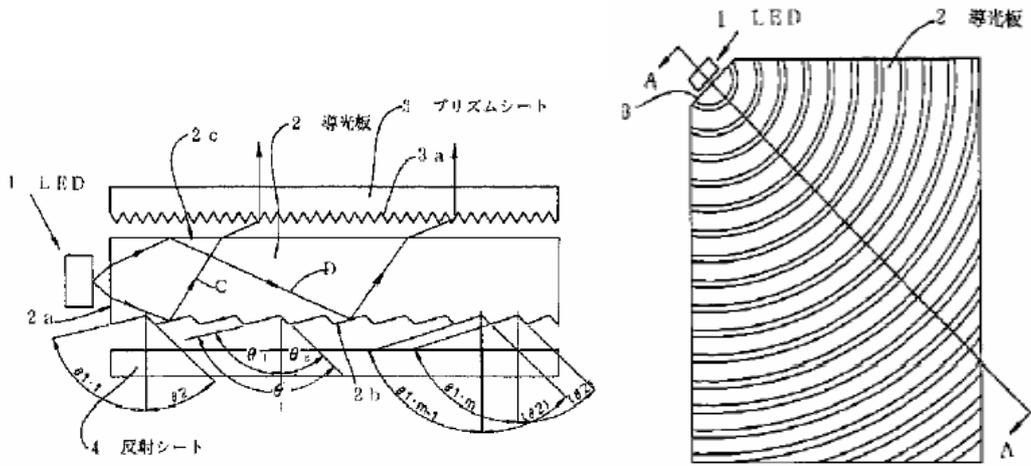


圖 1-16 圓弧形 V 形溝槽微結構設計(US-6791638)

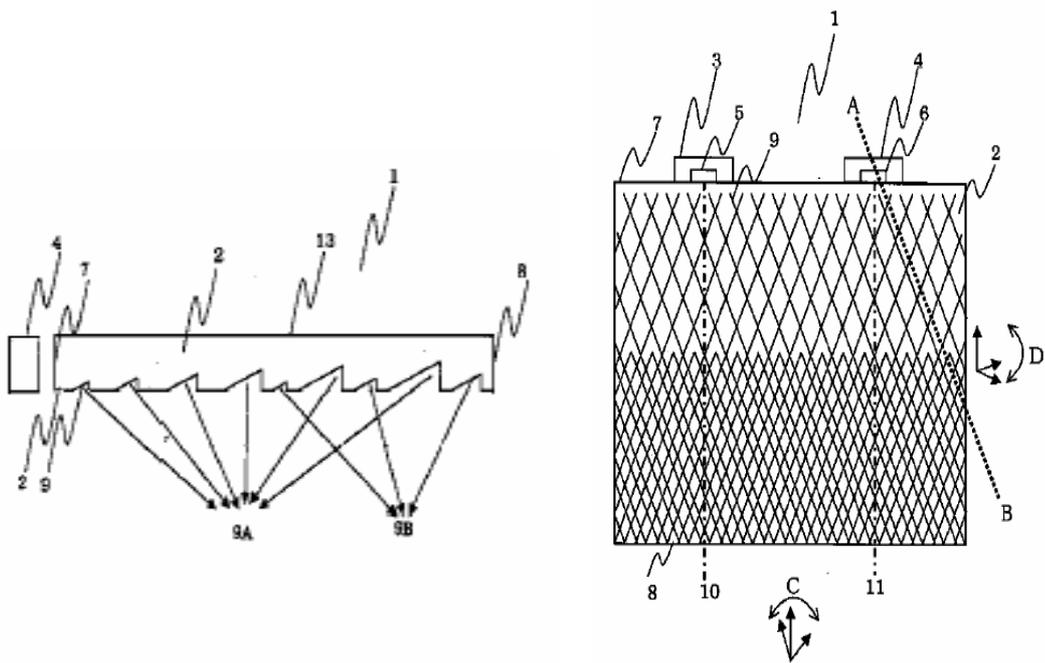


圖 1-17 交錯式 V 形溝槽微結構設計(JP2003234004)

## 第二章 導光板光學設計與分析

### 2.1 基礎理論

光學的基礎理論可分為幾何光學、物理光學、量子光學等，幾何光學(Geometrical Optics)是將光視為光線和光線的集合，以光束(Light Beam)、物點、像點等概念表示的光學理論。物理光學(Physical Optic)即將光視為電磁波處理的光學，又稱為波動光學(Wave Optic)。量子光學(Quantum Optics)即利用量子觀念來說明光粒子的本質及其應用的光學。而導光板的光學設計上主要是應用幾何光學的理論如反射、折射、全反射及漫射等，再以波動光學及光度學理論應用在光學量測上，檢測導光板的光學性質。

#### 1. 折射率

在光學中，折射率是非常重要的量，通常我們習慣上用符號  $n$  來表示。光的速率為  $3 \times 10^8$  m/s，而折射率則是定義光在真空中的速率與光在介質中的速率比值。折射率即為光學密度(Optical Density)， $n$  大即稱為光密介質(Optical Dense Medium)， $n$  小即稱為光疏介質(Less Dense Medium)。折射率公式如下：

$$\text{折射率 } n = \frac{\text{真空中之光速 } c}{\text{介質中之光速 } v}$$

光在空氣中的折射率  $n = 1.0003$ ，一般可視為  $n = 1$ ，而各種物質之折射率如表 2-1 所示。

#### 2. 反射定律

如圖 2-1 所示，當光由  $n$ (折射率)介質射入  $n'$ 介質時，於  $MM'$ 處會有部份光線返回  $n$  介質，這種現象稱為反射(Reflection)，且此現象必遵守反射定律。反射定律可歸納為下面三點原則：

(1) 入射光、反射光和法線在入射面上。

(2) 入射光、反射光在法線的兩測。

(3) 入射角等於反射角， $\theta_i = \theta_r$

### 3. 折射定律

如圖 2-1 所示，當光由  $n$  介質射入  $n'$  介質時，於  $MM'$  處會有部份光線會經由界面穿透到  $n'$  介質中，這現象稱為折射(Refraction)現象，此現象必遵守 Snell 定理，Snell 定理對折射光線非常的重要，它決定出折射光行進的方向，折射定律可歸納為下面三點原則：

(1) 入射光、折射光和法線在入射面上。

(2) 入射光、折射光在法線的兩測。

(3) 入射角與折射角的關係必遵循 Snell 定律

$$n \sin \theta_i = n' \sin \theta_t \quad (\text{Snell's law})$$

### 4. 臨界角與全反射

當一光線由光疏介質入射至光密介質，根據 Snell 定理，折射角隨著入射角的增加而增加，且入射角會大於折射角；而當光線由光密介質入射至光疏介質，折射角將會大於入射角，且入射角  $\theta_i \geq \theta_c$  時，就不再有折射光，全部的光都會被反射回原來的介質中，這時稱之為全反射現象(Total Internal Reflection)。而當折射角等於  $90^\circ$  時之角度時所對應之入射角度則稱為全反射之臨界角( $\theta_c$ )。其數學之表示式如下：

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_t, \theta_t = 90^\circ, \theta_i = \theta_c$$

$$\therefore \theta_c = \sin^{-1} \left( \frac{n_2}{n_1} \right), n_1 > n_2$$

由上式可知全反射臨界角的大小取決於界面兩邊的折射率，只要當入射角大於全反射臨界角時，全反射現象即會發生。而當入射角大於全反射臨界角時，全反射光線之行爲會遵循反射定理，即發生於同介質之全反射之反射角會等於入射角，如圖 2-2 所示。

## 5. 漫反射

光行徑界面時，若界面不是十分平滑的話，會導致光有擴散或光漫射之現象。而任何曲面都可視為以無限多個平面所組合而成，根據反射定律，當平行光束射在平面上時，光會向四方八面反射，這種反射稱為漫反射。(Diffuse reflection)，如圖 2-3 所示。當表面粗糙度小時，光線漫射方向較集中，而當表面粗糙度逐漸增大時，其光的漫射角度也隨之加大，光線會往四周漫射，如圖 2-4 所示。

## 2.2 導光板光學原理

### 2.2.1 導光板光路徑與內部全反射

從燈管、LED 等光源發光後，光由空氣界面，要進入導光板中此時會發生折射現象，光由光疏介質進入光密介質，其入射的光線角度以入光側的表面法線為基準，角度範圍為  $0^\circ$  到  $\pm 90^\circ$ ，當入射光趨近於  $90^\circ$  根據 Snell 定理其折射角會恰等於全反射之臨界角，折射光會呈現錐狀分佈且角度範圍為  $2\sin^{-1}(n_A/n_L)$ ，如圖 2-5 所示。當導光板材料為 PMMA( $n=1.49$ )，其折射進入導光板的光其最大角度範圍為  $84.30^\circ$ ，而材料為 PC( $n=1.58$ )時，其最大角度範圍為  $78.53^\circ$ ，所以折射率越高進入導光板的光會越集中。

折射光進入導光板，其全反射臨界角  $\theta_c = \sin^{-1}(n_A/n_L)$ ，當材料為 PMMA 其臨界角  $\theta_c = 42.15^\circ$ ，依上述的導光板入光情形，光與導光板表面法線的最小夾角為  $\theta_r = 47.85^\circ$ ，如圖 2-6 所示。導光板內部的反射角皆大於全反射臨界角  $\theta_r > \theta_c$ ，並且由光密介質往光疏介質傳遞，所以進入導光板的光皆會產生全反射，不斷的在內部傳遞直到能量衰減。

### 2.2.2 導光板設計方法

導光板的功用是將由邊緣進入的點光源或線光源引導至視線方向，成為高亮度及亮度均勻的面光源。導光板所應用之原理為全反射原理，使光線在導光板中傳遞，但為達到照明之目的，在導光板中傳遞之光線必須適時的導出，而不希望光線在導光板中做無止境之傳遞。而如何將光線由導

光板導出，以光學之術語來說即是破壞全反射之條件。其設計方法可藉由改變導光板的外形及應用不同的光學特徵(如圖 2-7 所示)以達到照明的效果，而導光板設計中常用的方法有下列三種 1.狹窄化方法、2.擴散點法、3.微結構方法，以下為這三種設計方法的介紹。

### 1. 狹窄化方法

此方法為採用楔形導光板，其厚度由入光側開始逐漸變薄，以楔形形狀的導光板來破壞全反射之條件。如圖 2-8 所示，由光源導入導光板中之光線，在此稱為入射光，假設入射光與上下壓克力板之法線夾角大於  $42^\circ$ ，由前述之全反射原理可知，此光線會在壓克力介質中來回的依照入射角等於反射角的定理作全反射，使光線在導光板中傳遞。當光線遇到逐漸變化的表面時，其入射角會因逐漸狹窄之表面而變小。而當其入射角小於全反射臨界角時，光線即會在表面產生折射透出，因楔形形狀使光線的入射角逐漸改變而破壞全反射之條件，達到照明的效果。由於遠離光源端之光線強度較弱，所以一般的導光板在遠端面之厚度較薄，導出之光線較多，而近光源端之厚度較厚，導出之光線較少使出光能量均勻。

### 2. 加入擴散點方法

在導光板底部會加入大小不一之擴散點，並以不同密度分佈在底面。擴散點的材料一般為具有高反射率之油墨材料，並以網點印刷之方式印製在底面。擴散點之所以能將光線導出乃是利用散射原理，將其入射光線散射後，而穿透出導光板表面，如圖 2-9 所示。當入射光線射至擴散點時，會將一條光線散射為多條光線，這些被散射之光線，當其入射角皆小於全反射臨界角度時，光線即透出導光板；而散射光線之入射角度仍大於全反射臨界角之光線則繼續反射，直至遇到下一個擴散點，重複其散射過程。由於在靠近光源處光強度最強且依距離逐漸變弱，而擴散點的單位面積與光能量的有效使用率成正比，所以在靠近光源之網點分佈密度較低，且網點較小，而遠離光源之網點分佈密度之較高，且網點較大。擴散點由疏到密、小到大的分佈來達到亮度均勻之要求。

### 3. 加入微結構方法

在導光板之表面加入微結構的設計，且以射出成型的方式直接於導光板表面成形，微結構所應用之原理是利用導光板表面幾何形狀之改變而破壞全反射之條件，而目前較常用的微結構設計有兩種，一為 V 型溝槽，另一為圓點狀。V 型溝槽微結構又可稱為 V-CUT，其結構分為內 V 型溝狀和外 V 型溝狀兩種，如圖 2-10 所示。光線路徑隨加入 V-CUT 微結構而改變其入射角，當入射角小於全反射之臨界角而產生折射，並使入射角變小，破壞全反射條件而使光線導出導光板，而當光線入射角大於全反射之臨界角時，光線即將被 V-CUT 的斜面反射至視線方向，藉由全反射原理改變光線的角度，使光線導出導光板。

V-CUT 微結構設計主要是改變其 V-CUT 角度及 Pitch 等參數，不同的 V-CUT 角度光線入射角也隨之改變，以適當的角度設計使光線導往視線方向且能量損失最少，以不同的 Pitch 設計也就是改變 V-CUT 之間的距離以達到亮度均勻的效果，如圖 2-11 所示，入射光隨 V-CUT 結構經折射後，當 Pitch 較小時，其入射角改變較大，所以較易破除全反射之條件，使光線導出導光板；反之當 Pitch 較大時，其入射角改變較小，所以較不易需破除全反射之條件，光線需再經過其他 V-CUT 結構，使入射角小於全反射之臨界角時才能使光線導出。而 V-CUT 之出光效益，數學式如下[25]：

$$\eta' \propto \left( \frac{w}{w + p} \right) \cdot f(\theta) \cdot g(\phi) \cdot \varepsilon$$

如圖 2-12 所示  $w$ ：V-CUT 底面寬度， $p$ ：兩 V-CUT 之間距離， $\theta$ ：導光板內入射光和正向法線之夾角， $\phi$ ：導光板內出射光和正向法線之夾角  
 $\varepsilon$ ：出光率

圓點狀微結構又可簡稱為 DOT 或 SPOT，其依製程分為利用薄板法或利用蝕刻法裝置於模仁上，然後以射出成型的方式成形。薄板法是以微影、電鑄等製程製作成表面具有微結構之薄板模仁，所製成的 DOT 微結構表面非常光滑，其光學原理與 V-CUT 微結構相同，都是以表面幾何形狀來改變光線的角度而破壞全反射之條件。然而以蝕刻法製造的 DOT 微結構，其表面較為粗糙所以會造成光線漫射的現象，當漫射之光線角度小於全反射之臨界角則會透出導光板表面，其餘繼續在導光板內部全反射，如圖 2-13

所示。DOT 微結構其設計參數有 DOT 的半徑、高度及分佈密度等，以適當的半徑及高度設計使光線導往視線方向且能量損失最少，再以 DOT 大小、疏密的變化分佈使出光亮度均勻。

## 2.3 光學模擬流程

本研究所使用之光學機構模擬軟體，為美國 Lambda Research 公司所開發之 Trace Pro，可應用於照明系統、光學分析、輻射分析及光度分析等，它是以 CAD 圖檔之 ACIS 格式實體模型為基本核心結合實體模型、光學分析功能及資料轉換能力，TracePro 的光學模擬原理是採用蒙地卡羅 (Monte Carlo) 方法描光，能正確的分析任何的幾何物體。在 Monte Carlo 描光中，散射 (Scattering) 及衍射 (Diffraction) 採用隨機方式計算，以光線追跡方法作為軟體模擬的基礎，利用為數眾多的光線數來模擬光在不同材料中折射、吸收、反射以及全反射等幾何光學的現象，使用接收面所收到的光線數與其所帶的能量來計算接收面的照度值、光強度等。

導光板光學模擬的流程如圖 2-14 所示，首先是建立實體模型，TracePro 本身具有 CAD 的功能可便於建立元件外形，也可相容 SolidWorks、ProE 等 CAD 軟體及 ZEMAX、OSLO、CODE V 等光學設計軟體所建立之圖檔，或用 Macro 的功能以巨集程式建立所需的外形。實體模型建立完畢後，對每一個物件及表面賦予其光學特質，包括材質、表面特性及發光性質等。在設計導光板時，需設計數量眾多的微結構，以一般的 CAD 軟體難以建立，且所建立的模型檔案大在模擬驗算的過程中容易出現問題或當機，有鑑於此於是 Trace Pro 內建一個 Rep Tiles 的功能，能以數值模擬的方式將所需的導光板微結構快速方便的建立出來，如 V-CUT、DOT 及梯形-CUT 等微結構形狀，節省繪圖及運算時間且其分析趨勢與實體模型相互符合。再者就是建立所需的光源，目前常用的光源為 CCFL 及 LED 其設定需輸入光源的波長及發光強度，可用光譜儀進行量測或以原廠規格輸入即可。模型特性及光源設計完畢即可進行光學分析模擬，其分析的結果有照度分析，光強度分析及偏振分析結果等。而在光學常用之術語及單位為：

### (1) 光通亮 (Luminous flux)

符號為  $\Phi$ 、單位為 lm，光通量為能量的時變率  $\Phi = dQ/dt$  (Q 為光能(lm-s))

## (2) 光強度 (Luminous intensity)

符號為  $I$ 、單位為  $\text{cd}$  或  $\text{lm/sr}$ ，為一光線射入每單位立體角之總光通量  
 $I = d\Phi/d\Omega$ 。

## (3) 光照度 (Illumination)

符號為  $E$ 、單位為  $\text{lux}$  或  $\text{lm/m}^2$ ，為每單位面積所接收的光通量  $I = d\Phi/d\Omega$ 。

## (4) 輝度 (Brightness or Luminance)

符號為  $L$ 、單位為  $\text{nt}$  或  $\text{cd/m}^2$ ，為每單位面積所接收的光強度  
 $L = dI/dA \cos \theta$ 。

## 2.4 微結構對光學性質的影響

以 2.5 吋、厚度由 2.3mm 漸縮至 0.9mm 之導光板為例，成形塑膠為光學級壓克力(PMMA)，以 Trace Pro 軟體進行光路分析及導光板表面微結構的設計，探討 V 型-CUT、梯型-CUT、DOT 等微結構之幾何形狀(如圖 2-15 所示)其角度、Pitch、半徑、高度、微結構大小、排列方式等尺寸參數對導光板之總光通量(Total Flux)、輝度值(Radiance)及均齊性等光學函數的影響，瞭解導光板光學設計和微結構之間的關係，其光源採用冷陰極螢光燈管(CCFL)而光學分析的標準光線數為十萬條光線。如圖 2-16 所示，為楔形導光板未加表面微結構及加入表面微結構的光路模擬，以下針對各微結構的尺寸參數進行光學設計分析。

### 2.4.1 V-CUT 微結構尺寸對光學性質的影響

#### 1. V-CUT 角度

將 V-CUT 微結構設計於導光板的底面，其 V-CUT 的溝槽方向與入光面平行且為相等 Pitch 的設計，分別以  $90^\circ$ 、 $100^\circ$ 、 $110^\circ$ 、 $120^\circ$ 、 $135^\circ$  V-cut 角度進行光學分析，如圖 2-17 所示為光學分析之結果，顯示各角度之總光通量(lm)及最大輝度值(nt)，從結果發現總光通量與最大輝度值具有相同之趨勢且隨角度變化，在角度為  $100^\circ$  時總光通量及輝度值為最高，觀察分析

之光路可發現與入光面垂直方向的光，會向導光板表面之法線方向收斂，而與入光面平行方向的光，則會向四方散射，較偏離正向面。當 V-CUT 角度變化，其光線收斂之範圍及出光方位也會跟著改變，當調整到適當之角度，光會較正向的射出得到最佳之光通量及輝度值。

## 2. V-CUT 形狀尺寸

當 V-CUT 角度固定，因高度變化，故其底邊長度也隨之變化。如底邊長度分別為 0.01、0.03、0.05、0.07、0.1mm 時，光學分析的結果如圖 2-18。從分析結果發現 V-CUT 形狀大小對總光通量與最大輝度值影響較小，呈現小幅度之變化。而在底邊長度為 0.1mm 時總光通量及輝度值為最高。

## 3. V-CUT 之 Pitch

設定 Pitch 為 A、B、C、D 四種形式，pitch 由大變化至小，每種形式相差一個 Pitch，D 為特徵完全相連，即 Pitch 小之情況，其分析結果如圖 2-19 所示。分析結果顯示當 Pitch 較大時光通量與輝度較低，Pitch 減小時，其出光之光路比較正向，出光效益比較集中，且能量也比較高，所以輝度值相對增高。由此應用到導光板光學設計，當輝度分佈不均勻時，調整 Pitch 之大小使輝度值產生變化，提高導光板的均齊性。

## 4. V-CUT 之排列方式

在 V-CUT 排列平行及垂直光源等，兩種的不同排列方式進行光學分析。分析後發現當 V-CUT 平行於燈管時，由於燈管是以線光源發光，使得 V-CUT 能有效的引導入射光源之光線，並破除光之全反射增加出光效益。而當 V-CUT 垂直於燈管時，入射光打至 V-CUT 表面後其反射角度變化不大，大多數的光還是以全反射現象反覆進行反射，直到入射光角度小於臨界角才由導光板表面斜向射出，所以光之利用率低，輝度值及光通量低。

### 2.4.2 梯形-CUT 微結構尺寸對光學性質的影響

#### 1. 梯形-CUT 之側邊角度

梯形-CUT 是由 V-CUT 所變化而來，將 V-CUT 分割為多個梯形(屋頂形)的幾何形狀，其正向角度變化相同於 V-CUT，當加上側邊的傾角時，

探討 80°、90°、100°、110°、120°等不同之角度變化，對整體光學性質的影響，其分析結果如圖 2-20 所示。其結果發現其光學性質由不同之側邊角度產生變化，在角度為 100°時總光通量及輝度值為最高，觀察其光路發現，入射光受梯形-CUT 多斜面特徵的影響，光會以較廣泛的角度在導光板內進行反射，所以其均齊性較佳，但因較多次的反射使能量損失造成輝度值降低。

## 2. 梯形-CUT 之頂端長度

分別以 0.06、0.08、0.1、0.12、0.14mm 之梯形-CUT 頂端長度進行光學分析，圖 2-21 為分析之結果。當梯形頂端長度愈長，會使正向平底面之面積增加，側向斜面之面積減少，由於正向之斜面，較能有效的破除全反射現象，增加其出光效益。所以當梯形頂端長度愈長，正向斜面之面積愈大，總光通量也隨之增加。

## 3. 梯形-CUT 之 Pitch

Pitch 設定 A、B、C、D 四種形式由大至小變化，其分析結果如圖 2-22 所示。從分析結果發現輝度值會隨 Pitch 變小而增加，其輝度值變化幅度比 V-CUT 來的小，因為梯形-CUT 具有側邊斜面，能增加光的反射機會，對 Pitch 變化的影響變小。

### 2.4.3 DOT 微結構尺寸對光學性質的影響

#### 1. DOT 半徑

分別以 0.1、0.15、0.2、0.25、0.3mm 之 DOT 半徑進行光學分析，分析結果如圖 2-23 所示。從分析結果發現 DOT 半徑與總光通量、輝度值成正比，DOT 半徑愈大，入射光由 DOT 曲率表面折射出導光板的比例會增加，所以導光板之總光通量、輝度值也隨之增加。

#### 2. DOT 高度

分別以 0.05、0.1、0.15、0.2、0.25mm 之 DOT 高度進行光學分析，分析結果如圖 2-24 所示。當 Dot 凸出高度較小，入射光打至 DOT 曲率表面之反射角度變化不大，較難破除光之全反射現象，所以總光通量、輝度值

較低。當 DOT 凸出高度最大(高度等於半徑)時，破壞全反射的能力強，反射光主要往四方散射而正向出光少，所以總光通量、輝度值也偏低。分析結果在高度為 0.15mm 時，其正向出光較多，得到較高之總光通量、輝度值。

### 3. DOT 之 pitch

分別以 0.5、0.6、0.7、0.8mm 之 pitch 長度變化進行光學分析，圖 2-25 為分析之結果。由分析結果發現當 pitch 愈小，DOT 排列愈密集其總光通量及輝度值愈高，運用此現象在導光板遠離燈源及角落輝度值較低的地方，設計較小的 pitch 使 DOT 排列更密集以提升此處之輝度值。

## 2.5 薄形化背光模組設計結構

隨液晶顯示器製造技術的提昇，背光模組朝著輕量化、薄型化、低耗電、高亮度及降低成本的趨勢發展，而背光模組的光亮度分佈、模組厚度及材料成本，主要為導光板所掌控，導光板為其重要光學元件。所以在輕薄化的需求下，導光板勢必減少厚度研發超薄形的導光板，超薄形導光板不僅可使背光模組輕薄化，也降低其材料成本及縮短成形週期，而開發超薄形導光板的困難點在於其光學設計不易及微結構成形困難。本文以 2.2 吋、厚度為 0.6mm 之超薄形導光板為例，使用材質為光學級聚碳酸脂(PC)，以 Trace Pro 軟體進行光路分析及導光板表面微結構的設計，以設計開發高輝度及高均齊性的薄形化背光模組。

薄形化背光模組的設計結構如圖 2-26 所示，其結構由導光板、LED、燈罩、反射片及光學膜片等組成。以白光 LED 燈源配合超薄形導光板及高效能之光學膜片、鏡面反射片建構新式的背光模組，而背光模組光學設計流程如下：

1. 首先建立導光板及各元件之實體模型，超薄形導光板的基本幾何形狀及尺寸如圖 2-27 所示，並且設定各元件材質及表面特性等參數。
2. 接著再定義光源。燈源是採用 4 顆白光 LED，為 NICHIA 公司所製造，型號為 NSCW335，其光譜及發光強度如圖 2-28 所示。
3. 光學膜片包含 2 片稜鏡片及 1 片擴散片，設計採用 3M 公司的 Thin BEF 及 50TL2 之擴散片。

4. 設置觀察面，觀察面設置於可視面上方 500 mm 處，與輝度計量測之標準高度相同以確保分析模擬之準確性。
5. 進行超薄形導光板外形及微結構之光學設計與分析，針對導光板設計最佳之微結構形狀及尺寸，以達到高輝度、高均齊性之要求。

## 2.6 超薄形導光板光學設計與分析

超薄形導光板以增加其光利用率、提高輝度及良好之均齊性為目標函數以設計導光板的外形及表面微結構，光學設計流程如圖 2-29 所示，以針對導光板的入光側、反射面及出光面作光學設計與分析，再以背光模組進行光學模擬。在光學設計時需考量其微結構加工及精密成型等因素，當所設計之微結構為 V-CUT 時，V 形溝槽微結構需以超精密加工成形其模仁，而超精密加工機是以切削位置及切削深度(V-CUT 高度)為加工參數進行加工，其加工精度為 $\pm 1\mu\text{m}$ ，且於不同的 V-CUT 角度有其限制的切削深度，而不同之 V-CUT 微結構之角度、高度及大小對於微結構之精密成型也有重大的影響，所以在此結合光學設計、超精密加工及精密成型等觀念以設計開發超薄形之導光板。

### 2.6.1 入光側光學設計

#### 1. 入光側外型設計

導光板入光側為光線進入導光板的重要介面，其決定了從光源發射之光有多少能量可進入導光板，所以在此探討不同的入光側厚度，外形及微結構設計對於光之利用率及光路分佈的影響，首先在導光板入光面距離 2.87mm 處設置一觀察面，如圖 2-30 所示，觀察光導入導光板內部的能量分佈情形。以厚度為 0.75 mm 及厚度為 0.6 mm 的均一厚度之導光板進行光學模擬，其分析結果以平均光照度(Ave Ev)表示，如圖 2-31 所示導光板厚度為 0.75 mm 其平均光照度為  $7.2978\text{e}+006(\text{lux})$ ，厚度為 0.6 mm 其平均光照度為  $6.0631\text{e}+006(\text{lux})$ ，依結果發現當導光板厚度減少其導入導光板內的能量隨之降低，也就是光利用率因厚度減少而下降，且當厚度為 0.6 mm 時導入的光會集中於燈源附近，光線較無向四周導引，這對於超薄形導光板的

輝度及均齊性的設計是不利的，所以必須以改變入光側外形及增加微結構的設計，提高光線之利用率。

將導光板入光側的厚度由 0.75mm 變化至 0.6mm，距離為 2.87mm，以改變外形的方式試著提高光之利用率，其變化的傾斜角度為 3.6°、7.2°、14.2°進行光學分析，分析結果如圖 2-32 所示。當傾斜角度為 3.6°時其平均光照度為 8.1861e+006(lux)，相較於 0.6mm 均一厚度的導光板其平均光照度為 6.0631e+006(lux)，入射光線依入光側的厚度變化使較多的光全反射進入導光板內，使光利用率提高了 35%。

## 2. 入光面微結構設計

在入光面加入微結構設計，採用 V-CUT 微結構試著以 V-CUT 外形設計提高光之使用率並利用 V-CUT 分散其入射光，使入射光分佈較均勻，V-CUT 的設計參數為角度及高度，首先設計 V-CUT 角度以 90°、100°、110°、120°、135°的 V-CUT 角度進行光學分析，其分析結果如圖 2-33、2-34 所示，在 V-CUT 角度為 100°時其平均光照度為最高 12.473e+006(lux)，且當 V-CUT 角度逐漸變小時其光線的折射角度越大，可將集中於光源附近的光往兩旁導引，使導入的能量分佈愈均勻。

再者設計 V-CUT 之形狀大小以 10、20、30、40、50 $\mu$ m 的高度進行光學分析，其分析結果如表 2-35 所示，其平均光照度相差不大，介於 12.8e+006(lux)至 12.6e+006(lux)之間，因為 V-CUT 的大小改變對於光照度影響不大，所以考慮其微結構加工及微結構成形之影響，當 V-CUT 角度越小時，其加工深度有所限制且在射出成形時 V-CUT 愈不易成形，所以在考量加工及成形因素下 V-CUT 高度設計為 30 $\mu$ m，而 V-CUT 角度為 100°且為等間距連續 V-CUT 的設計，光學分析結果為 12.690e+006(lux)，相較於 0.6mm 均一厚度的導光板其平均光照度為 6.0631e+006(lux)，以改變入光側外形及增加微結構的設計，使光利用率提高了 109%。

### 2.6.2 出光面光學設計

在超薄形導光板的出光面也就是在導光板的上表面加入微結構設計，以 V-CUT 微結構的設計增加其正向輝度，其原理如圖 2-36 所示，出光面

V-CUT 會限制其出光角度，只有較正向且在入射角在臨界角內的光線，可折射出導光板，而較傾斜之光線會因 V-CUT 表面產生全反射或折射至另一個 V-CUT 表面而使光線回到導光板內部，其原理與光學膜片的稜鏡片相同，都是藉由表面的 V-CUT 設計提高正向之輝度。出光面 V-CUT 的尺寸參數採用與稜鏡片相似之尺寸，一般稜鏡片其 V-CUT 角度為  $90^\circ$  但考慮到加工與微結構成形，將出光面 V-CUT 角度設計為  $120^\circ$ 、高度為  $15\mu\text{m}$  其 V-CUT 溝槽方向為垂直入光面且為等間距連續 V-CUT 的設計，圖 2-37 為無出光面微結構及加入出光面 V-CUT 的光路模擬，加入出光面 V-CUT 後光線明顯往中間集中使正面輝度提升。

### 2.6.3 反射面光學設計

於超薄形導光板反射面也就是在導光板的底面加入微結構設計，反射面的光學設計是使導光板的具有高輝度及高均齊性為目標，而依微結構對光學性質的影響其中以 V-CUT 微結構將光導出的光通量及輝度值為最高，所以採用 V-CUT 微結構，首先設計 V-CUT 的角度，V-CUT 的設計是分佈於整個導光板的底面，當 V-CUT 角度太小在射出成形時易造成鈹銅模仁的磨損，使成形的導光板光學性質無法穩定，所以考慮其光學及精密成形等因素下將 V-CUT 角度設計為  $120^\circ$ ，以使加工尺寸及成形尺寸能符合設計值。再著定義 V-CUT 之高度，因反射面光學設計需有足夠 V-CUT 數目，做不等間距的設計調整導光板之均齊性，所以需要較小的 V-CUT 尺寸，如圖 2-38 所示為 V-CUT 高度參數其分析結果，分析結果顯示 V-CUT 形狀大小對輝度影響較小且較小的 V-CUT 其輝度較高，但如果使用  $3\mu\text{m}$  的 V-CUT 高度，而超精密加工的精度為  $\pm 1\mu\text{m}$ ，勢必會產生較大的誤差，所以考量其光學及加工後，V-CUT 高度設計為  $6\mu\text{m}$ 。

V-CUT 基本尺寸設定完成後接著進行不等間距的設計，V-CUT 溝槽方向為平行入光面且以不同之 V-CUT 間隔使輝度均勻。首先將反射面之微結構分成 20 等份以不同間距的分佈於導光板的表面，如表 2-2、表 2-3 所示，其 V-CUT 密度分佈以入光側開始由疏逐漸變密的設計，使光線能均勻的導出導光板，其 V-CUT 密度分佈曲線如圖 2-39 所示，V-CUT 不等間距的設計為密度  $d$  與位置  $x$  的關係，密度  $d$  定義為每  $1\text{mm}$  有多少條 V-CUT， $d = \text{V-CUT 數目}/\text{mm}$ 。再著進行 Curve Fitting 數值運算找出趨近於 V-CUT 密

度分佈曲線之方程式，首先將原本曲線上的 20 點找出 9 點來表示曲線如圖 2-40，利用 FORTRAN 語言呼叫 IMSL 函數庫中的 UMPO 函數，令目標函數為  $F(x)=ax^2+bx+c$ ，設定其起始猜測值(Initial Guess)a,b,c 係數均為 0.5，經過計算收斂後得到預求之係數  $a=1.0421123 \times 10^{-2}$ ， $b=0.2490394$ ， $c=1.637674$ ，反射面 V-CUT 密度分佈曲線其趨近之曲線方程式 F 如下，圖 2-41 所示。

$$F(x) = (1.0421123 \times 10^{-2})x^2 + (0.2490394)x + 1.637674$$

#### 2.6.4 背光模組光學模擬

超薄形導光板的表面微結構設計，其入光面 V-CUT 設計角度為  $100^\circ$ 、高度  $30\mu\text{m}$ ；出光面 V-CUT 設計角度為  $120^\circ$ 、高度為  $15\mu\text{m}$ 、V-CUT 溝槽方向與光線前進方向平行，入光側與出光面 V-CUT 皆為等間距連續 V-CUT 的設計；而反射面 V-CUT 其設計角度為  $120^\circ$ 、高度為  $6\mu\text{m}$  且 V-CUT 溝槽方向與光線前進方向垂直，而 V-CUT 分佈為不等間距的設計。超薄形導光板光學設計完畢，接著就以整體背光模組進行光學分析模擬，於導光板上方加入 1 片擴散片及 2 片稜鏡片的光學膜片，於導光板上方 500mm 的觀察面，觀察其光學性質。其分析結果如圖 2-42 所示，薄形化背光模組其最高輝度為 2418.3nt、輝度均齊性為 82.71%。

表 2-1 各種物質之折射率

物 質	折射率 n	物 質	折射率 n
空氣(1atm、0°C)	1.0003	PMMA(壓克力)	1.49
水(20°C)	1.33	PC(聚碳酸酯)	1.58
玻 璃	1.5~1.9	PS(聚苯乙烯)	1.59
鑽 石	2.42	COC(環烯烴共聚)	1.53
石英結晶	1.54		

表 2-2 反射面 V-CUT 不等間距設計

段數	每段啓始 V-CUT	每段結束 V-CUT	V-CUT 設計
<b>1</b>	1	128	相隔 15 個 Pitch
<b>2</b>	129	254	相隔 13 個 Pitch
<b>3</b>	255	374	相隔 11 個 Pitch
<b>4</b>	375	504	相隔 9 個 Pitch
<b>5</b>	505	632	相隔 7 個 Pitch
<b>6</b>	633	758	相隔 5 個 Pitch
<b>7</b>	759	883	相隔 4 個 Pitch
<b>8</b>	884	1007	相隔 3 個 Pitch
<b>9</b>	1008	1135	相隔 3 個 Pitch
<b>10</b>	1136	1261	相隔 2 個 Pitch
<b>11</b>	1262	1386	相隔 2 個 Pitch
<b>12</b>	1387	1512	相隔 2 個 Pitch
<b>13</b>	1513	1638	相隔 1 個 Pitch
<b>14</b>	1639	1764	相隔 1 個 Pitch
<b>15</b>	1765	1890	相隔 1 個 Pitch
<b>16</b>	1891	2016	2V-cut 相連
<b>17</b>	2017	2142	2V-cut 相連
<b>18</b>	2143	2268	4V-cut 相連
<b>19</b>	2269	2394	4V-cut 相連
<b>20</b>	2395	2517	7V-cut 相連

表 2-3 反射面 V-CUT 設計結構

V-CUT 設計	V-CUT 分佈結構
隔 13 個 Pitch	
隔 3 個 Pitch	
隔 1 個 Pitch	
2V-cut 相連	
4V-cut 相連	
7V-cut 相連	

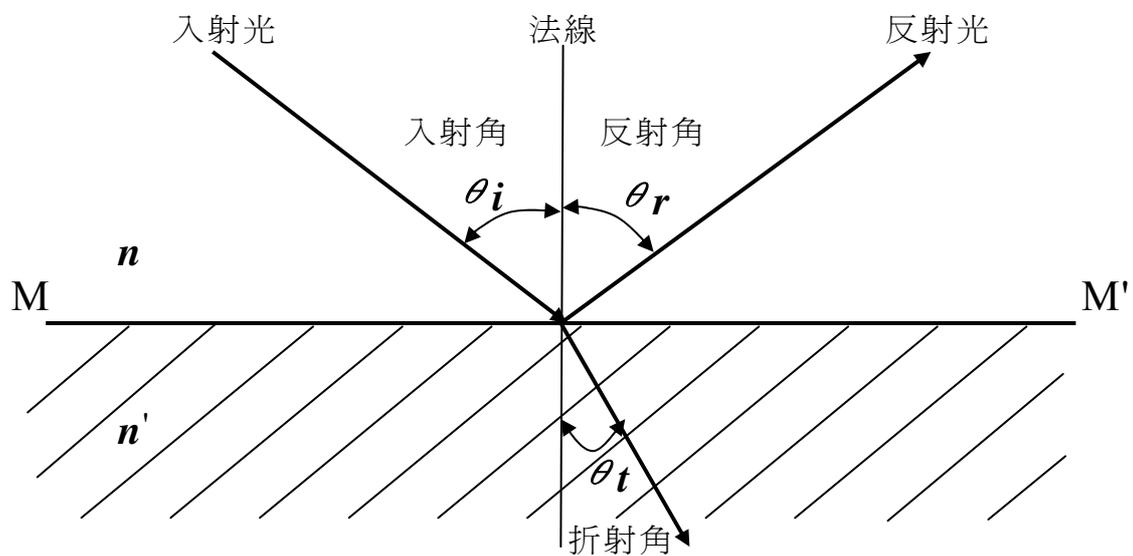


圖 2-1 反射定律與折射定律

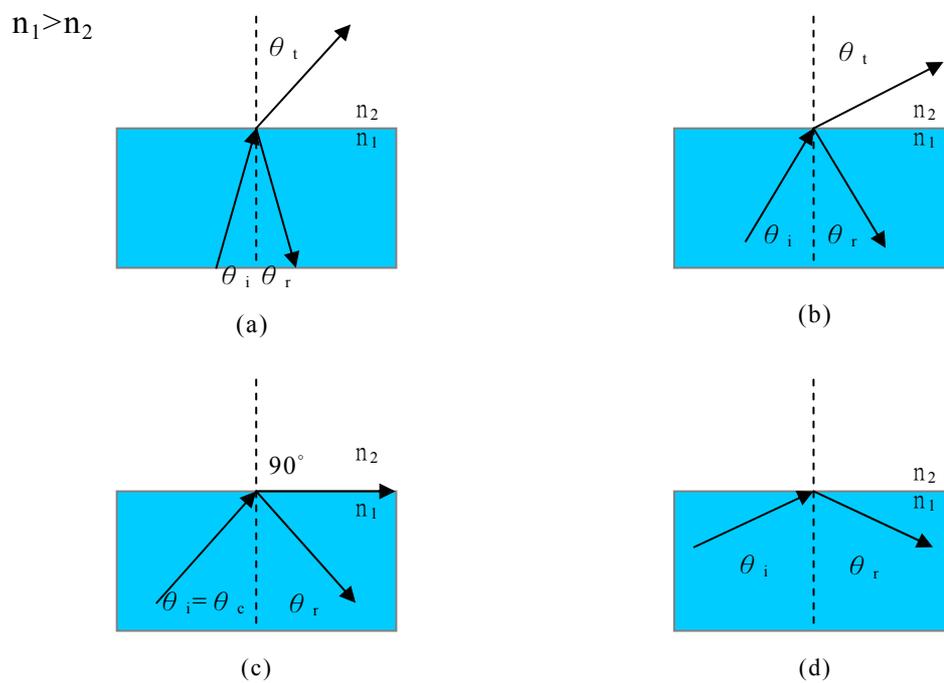


圖 2-2 光由光密介質進入光疏介質，不同角度的光線行進情形

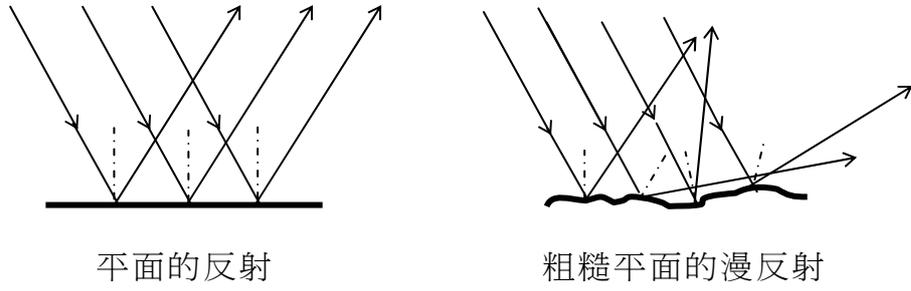


圖 2-3 反射與漫反射

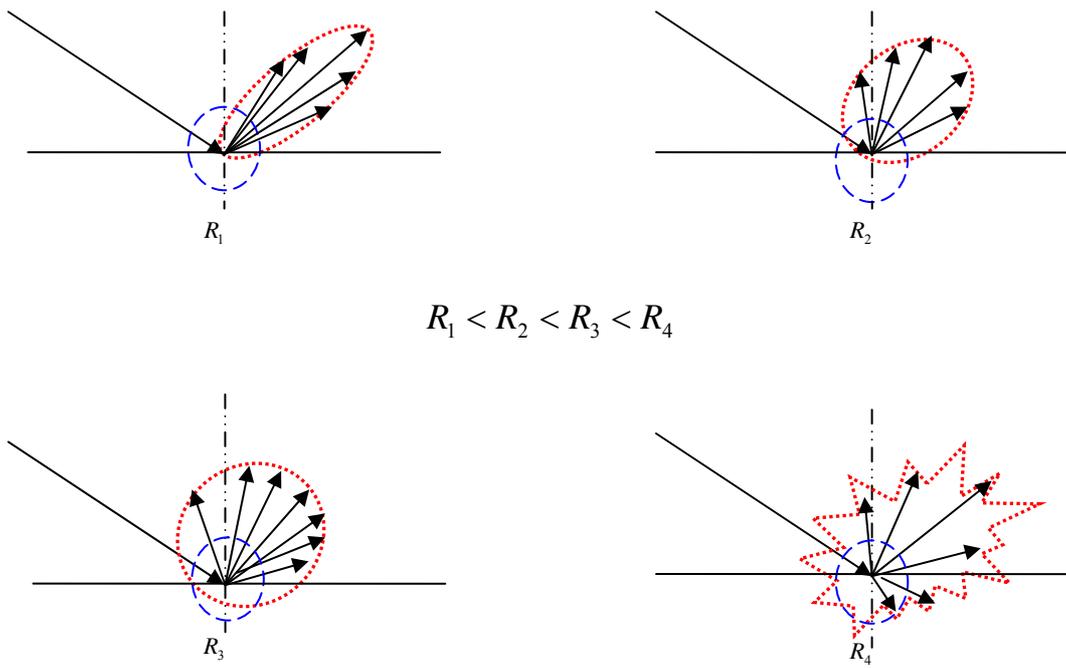
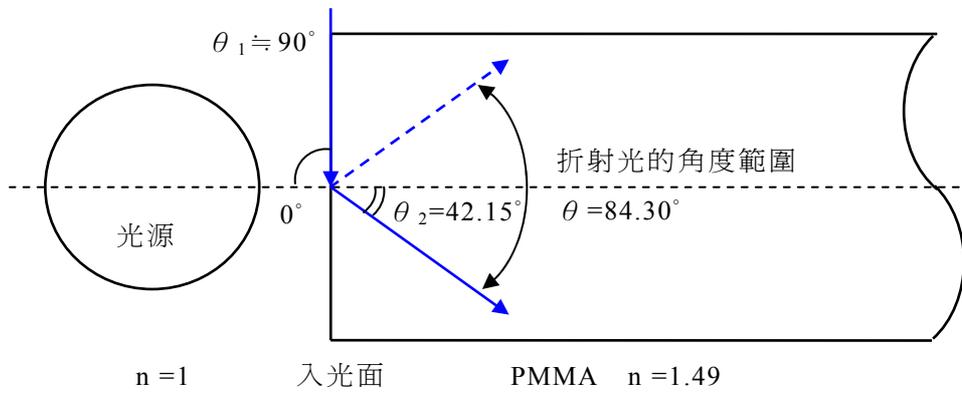
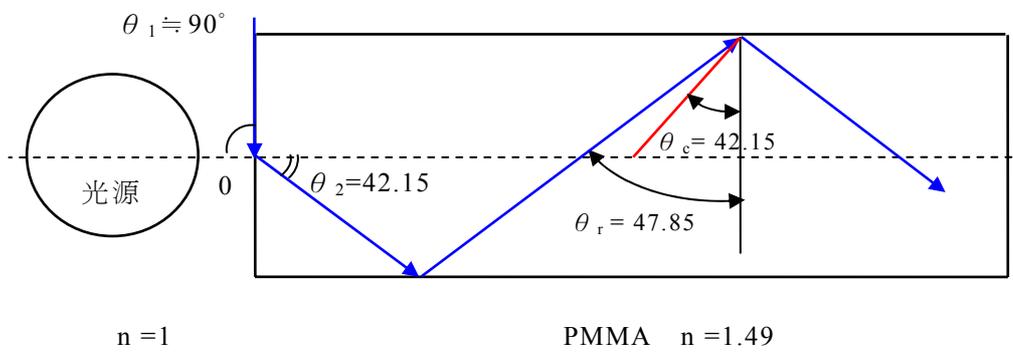


圖 2-4 表面粗糙度對光漫射之影響



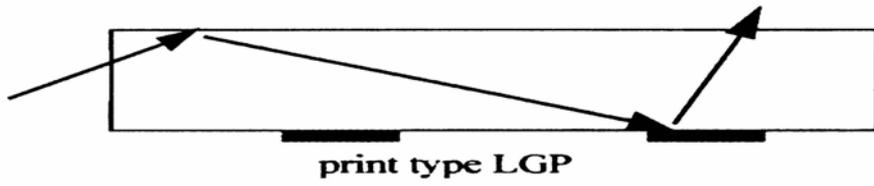
折射光的角度範圍 PMMA  $\theta = 2\sin^{-1}(1/1.49) = 84.30^\circ$   
 PC  $\theta = 2\sin^{-1}(1/1.58) = 78.53^\circ$

圖 2-5 導光板入光面之光學原理

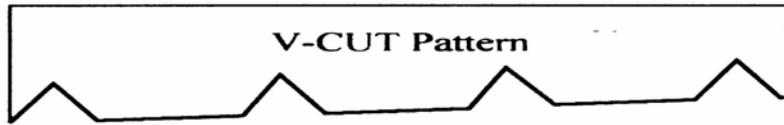


全反射臨介角  $\theta_c = \sin^{-1}(1/1.49) = 42.15^\circ$   
 $\theta_r > \theta_c \rightarrow$  內部全反射

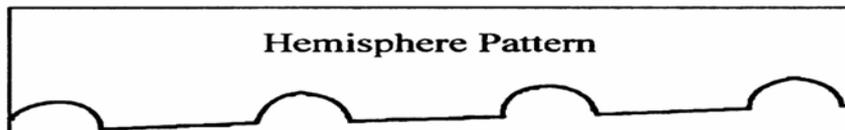
圖 2-6 導光板內部全反射



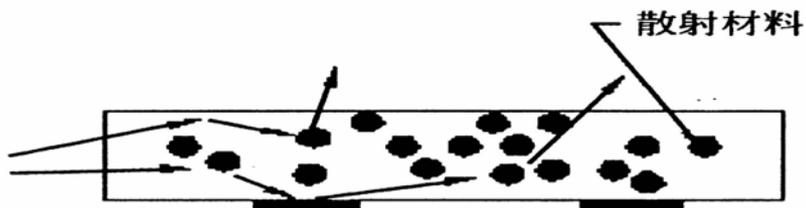
傳統印刷式導光



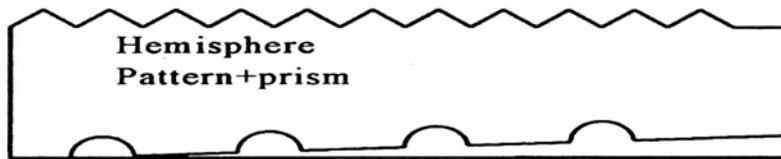
無印刷式導光板 (V-Cut)



無印刷式導光板(hemisphere pattern)



無印刷式導光板(scattering type)



複合型無印刷式導光板

圖 2-7 常見之導光板特徵應用[19]

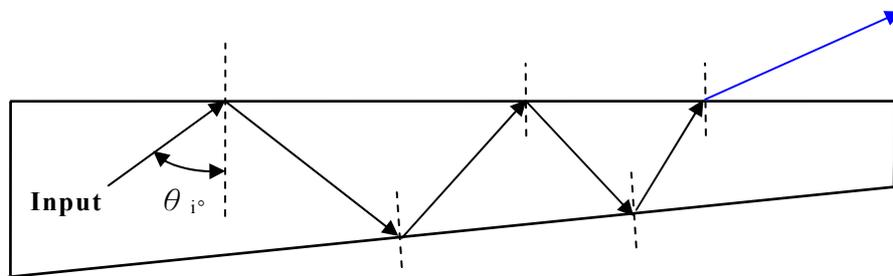


圖 2-8 楔形導光板光學原理

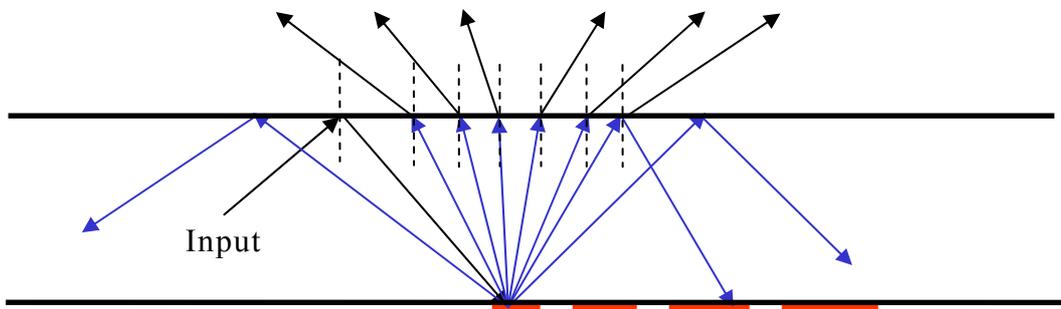
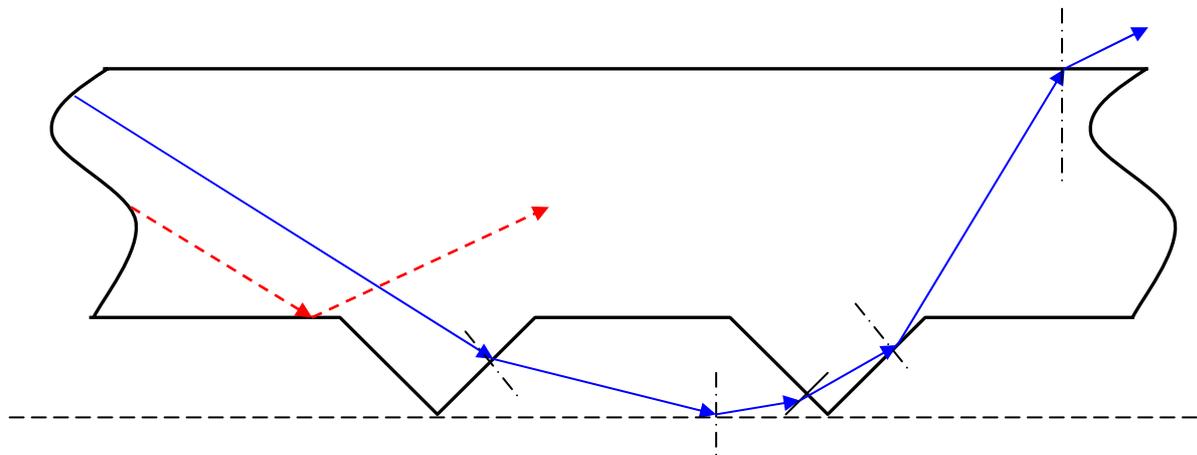
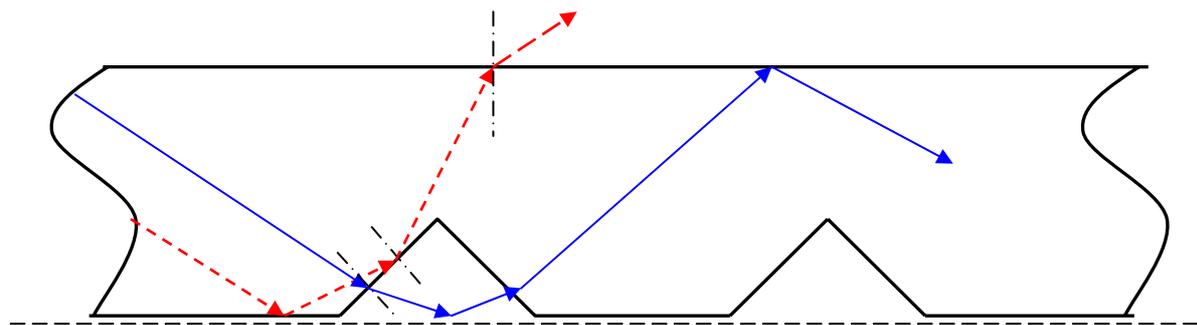


圖 2-9 光路隨擴散點改變之情形



外 V-CUT 微結構



內 V-CUT 微結構

圖 2-10 光路隨 V-CUT 微結構改變之情形

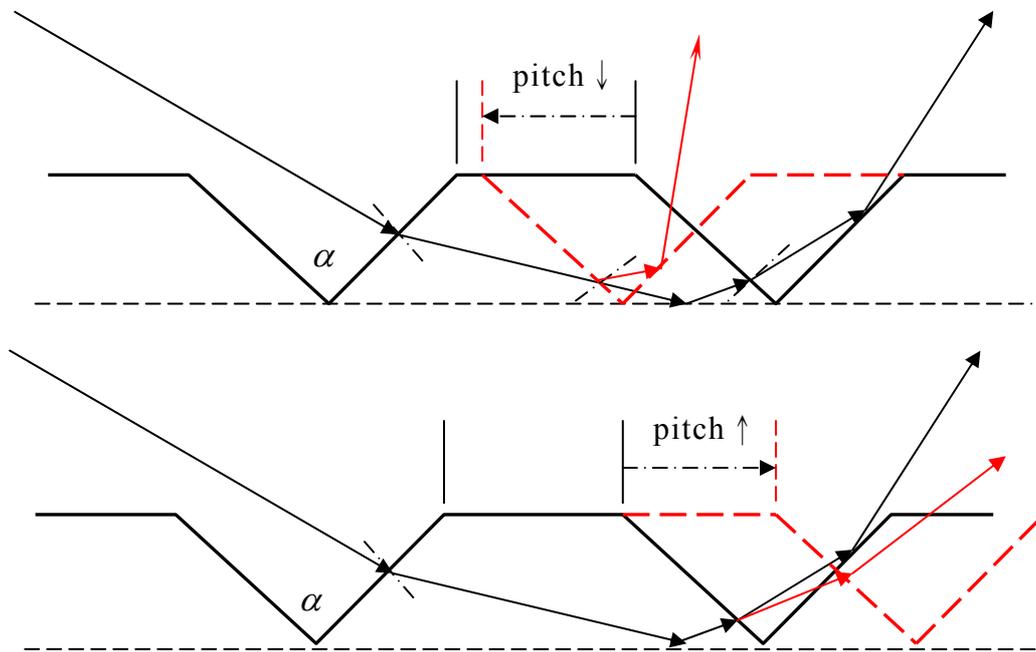


圖 2-11 光路隨 V-CUT 之 pitch 改變之情形

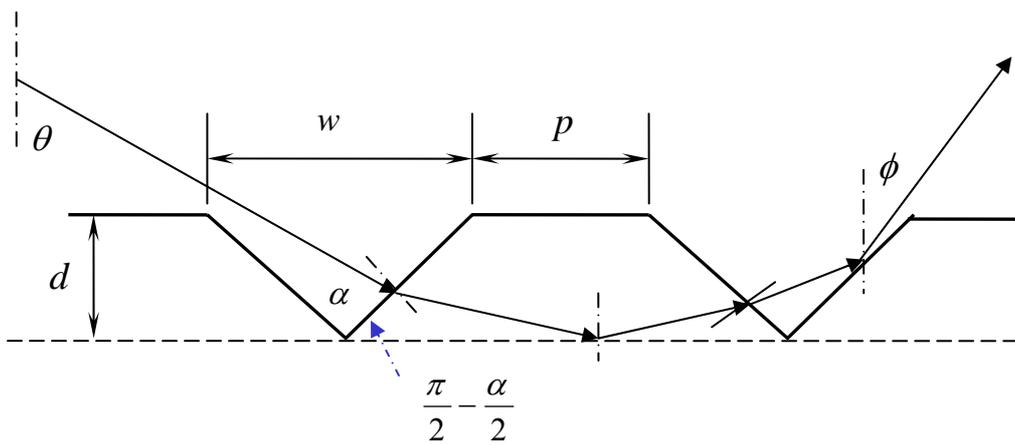
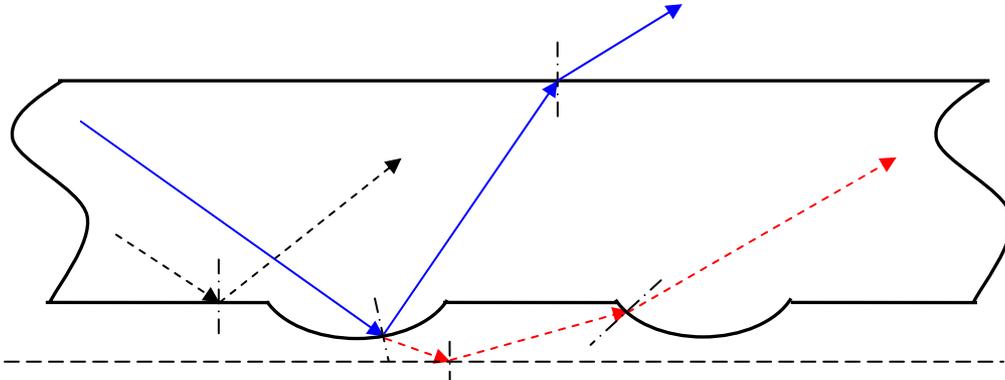
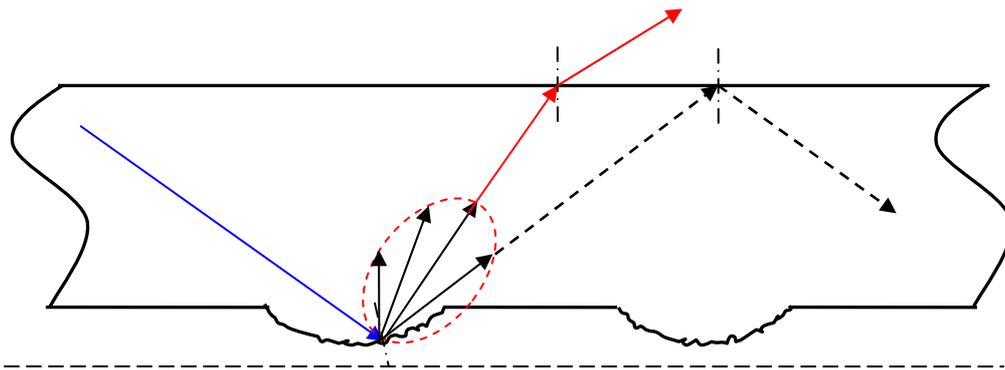


圖 2-12 V-CUT 之出光效益參數



光滑的 DOT 表面(LIGA、電鑄製程)



粗糙的 DOT 表面(蝕刻製程)

圖 2-13 光路隨 DOT 微結構改變之情形

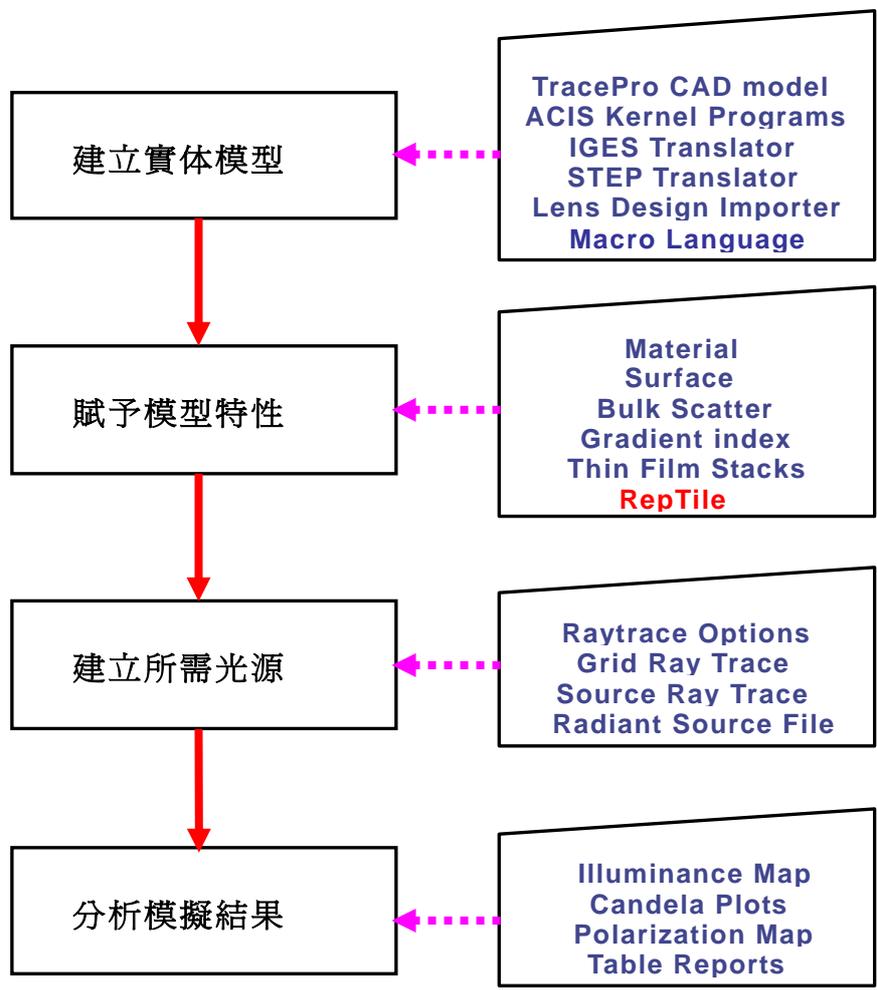


圖 2-14 光學設計流程圖

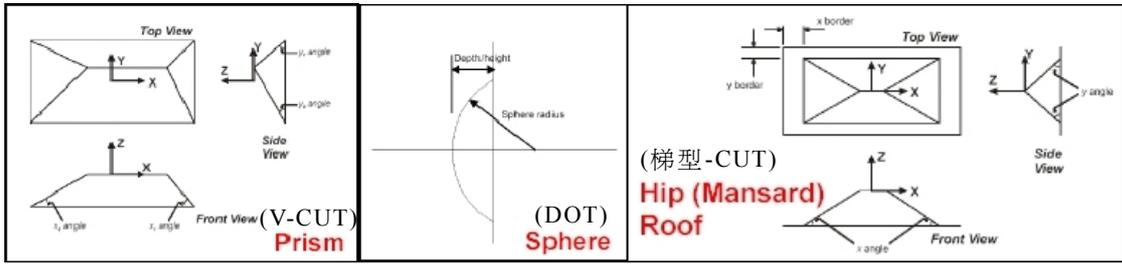
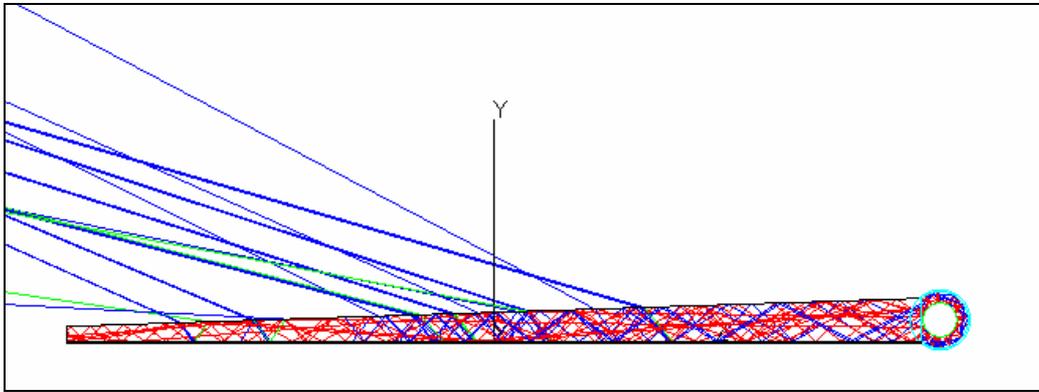
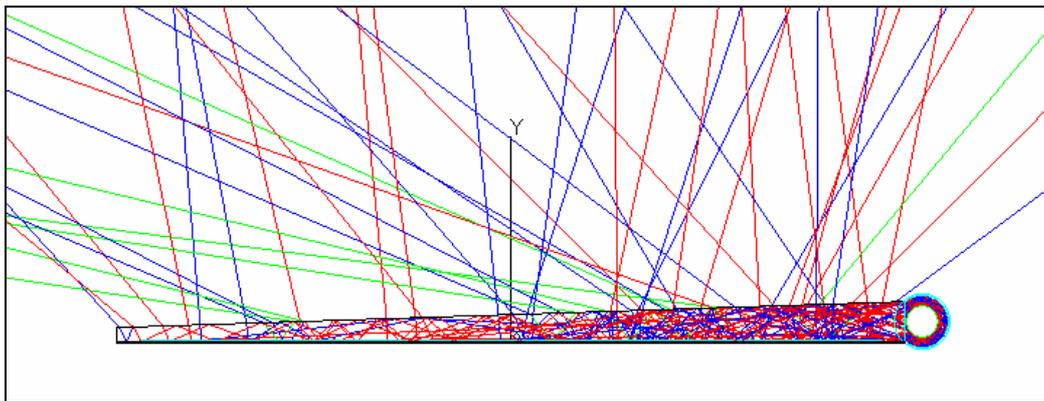


圖 2-15 V-CUT、DOT、梯型-CUT 微結構之尺寸參數



導光板光路模擬(空板)



導光板光路模擬(V-CUT)

圖 2-16 楔形導光板光路模擬

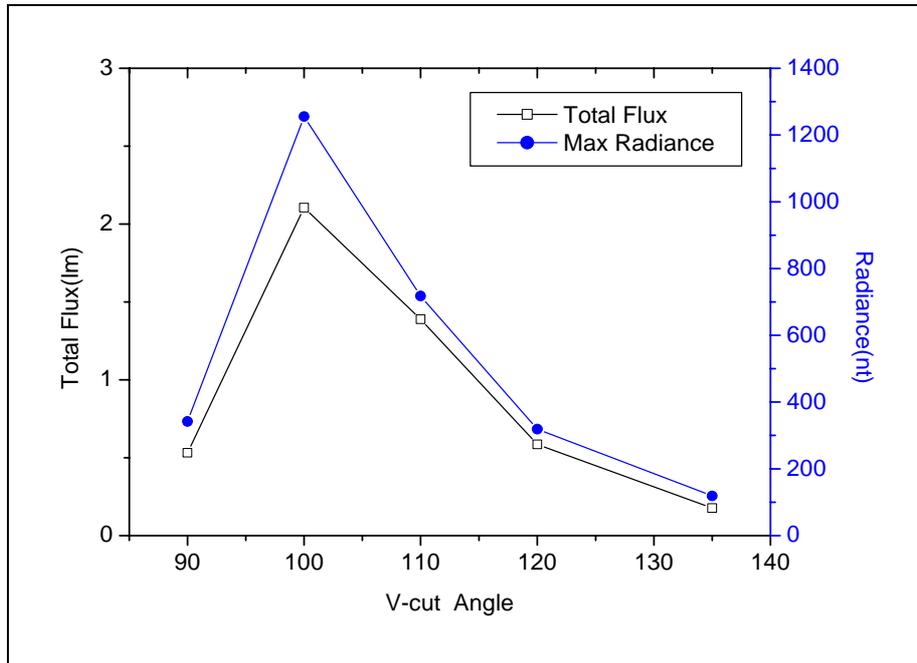


圖 2-17 V-CUT 角度參數之光學分析

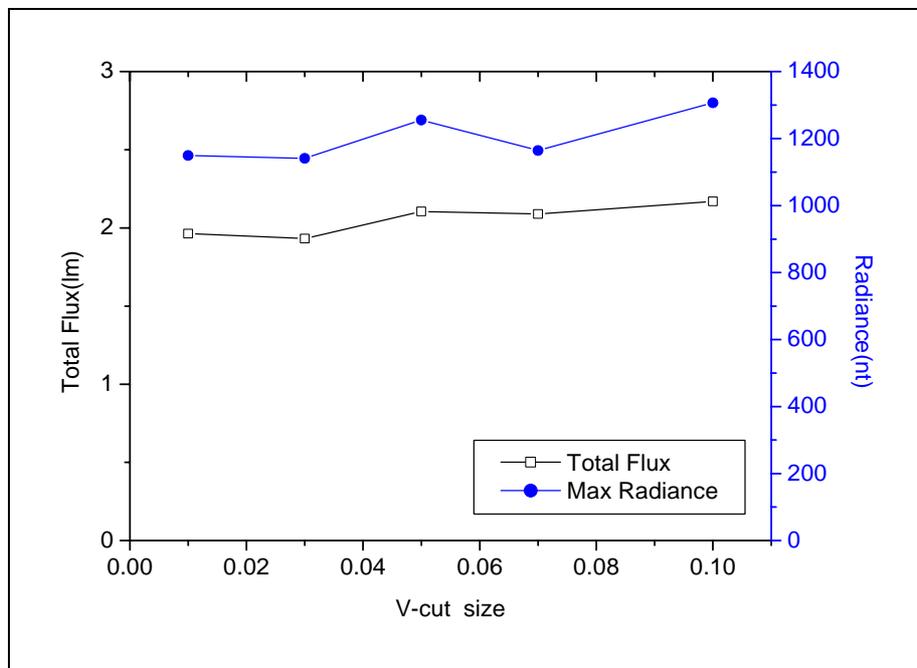


圖 2-18 V-CUT 形狀尺寸之光學分析

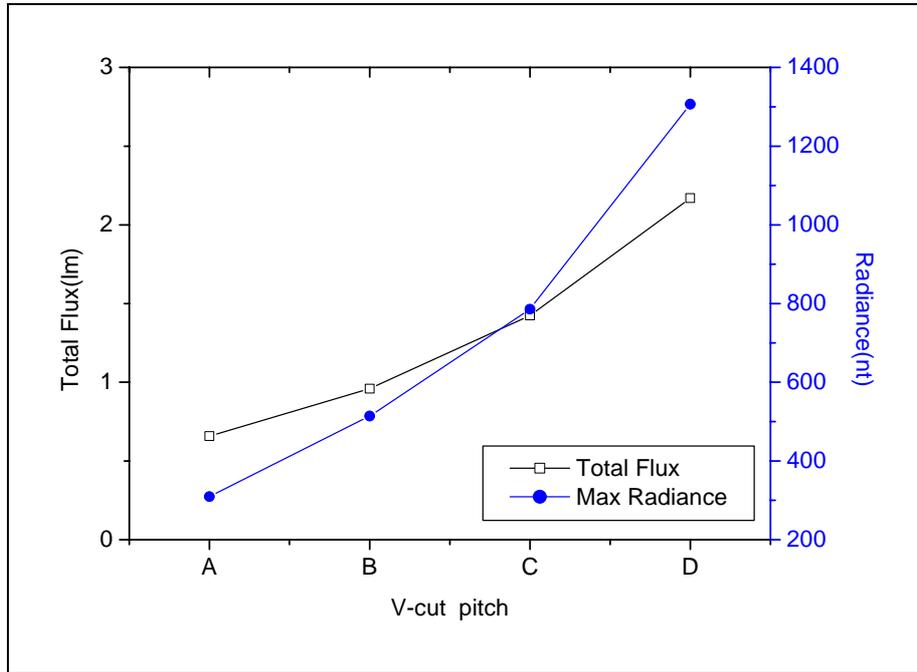


圖 2-19 V-CUT – pitch 參數之光學分析

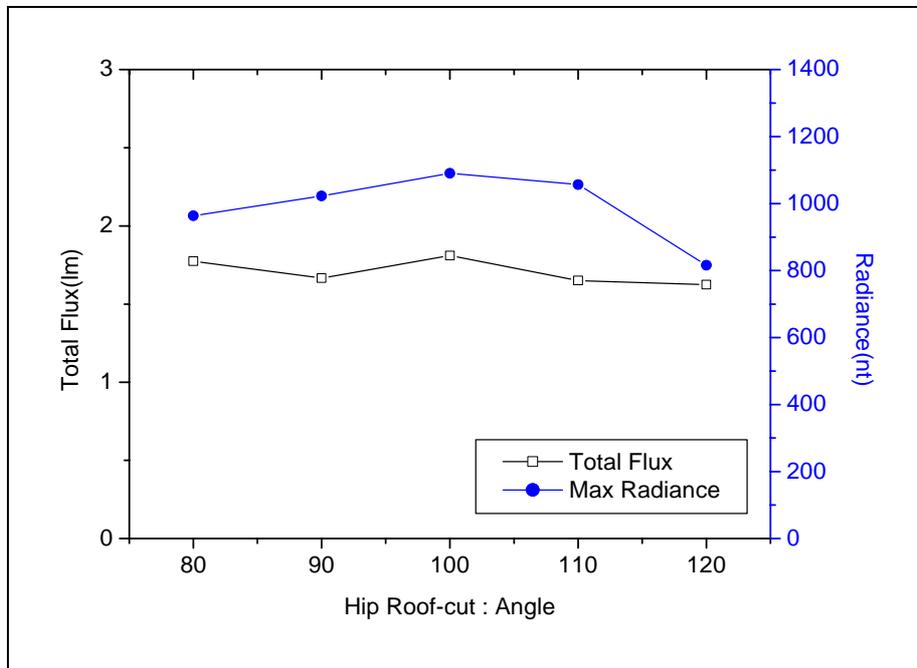


圖 2-20 梯形-CUT 側邊角度之光學分析

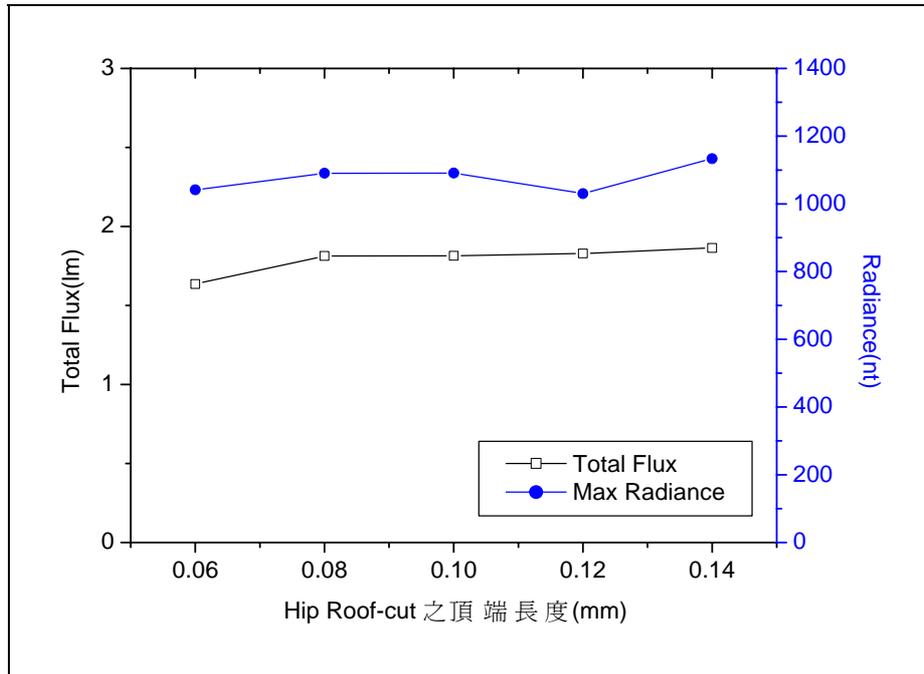


圖 2-21 梯形-CUT 頂端長度之光學分析

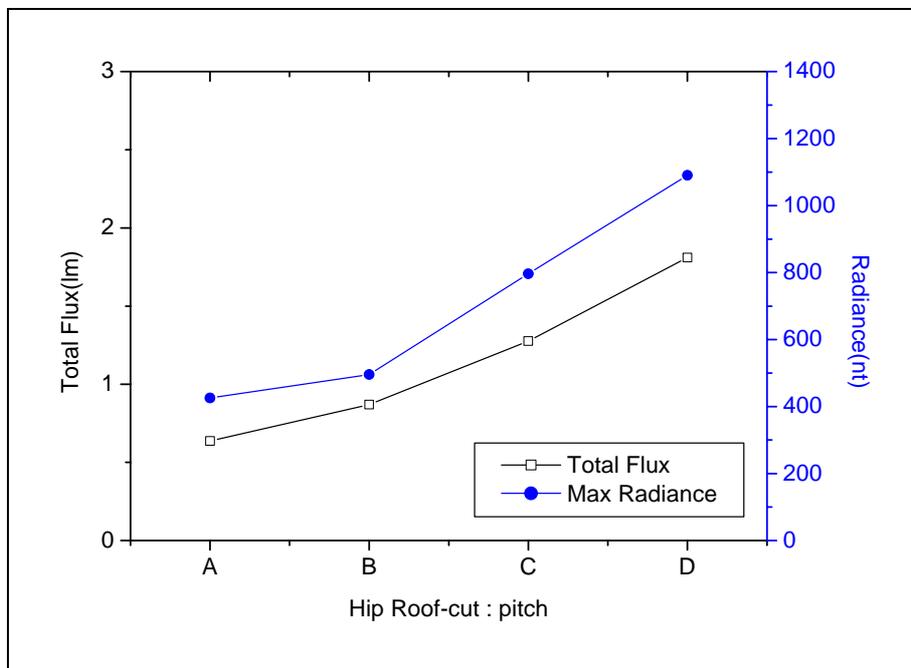


圖 2-22 梯形-CUT – pitch 參數之光學分析

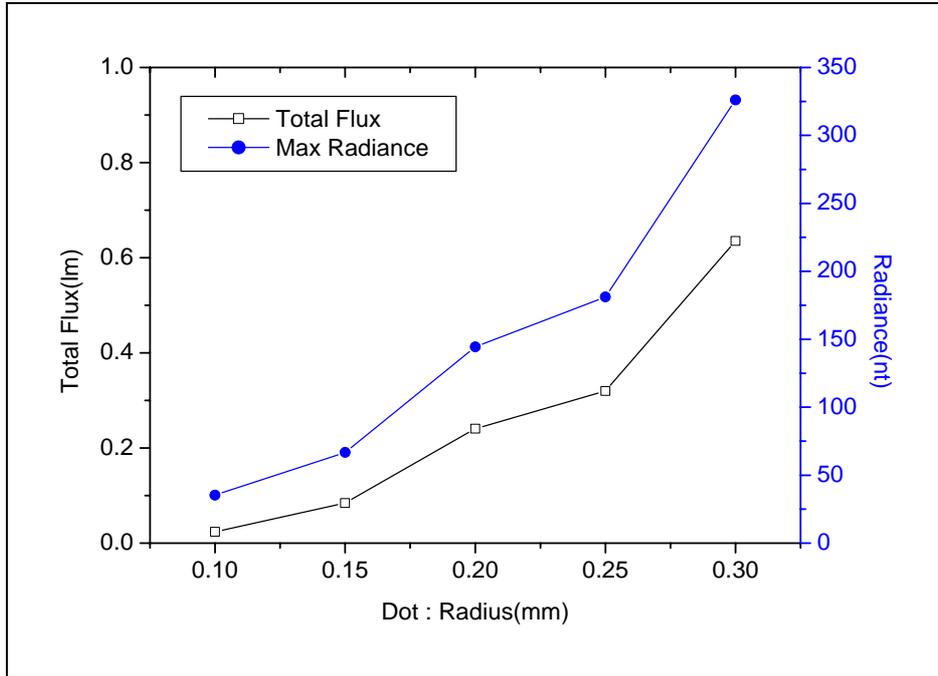


圖 2-23 DOT 半徑參數之光學分析

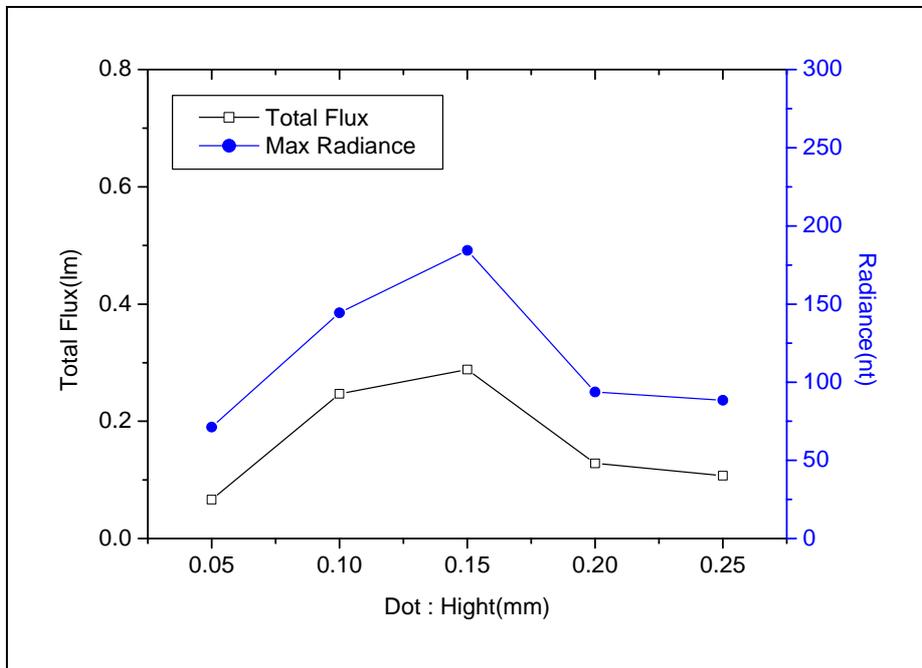


圖 2-24 DOT 高度參數之光學分析

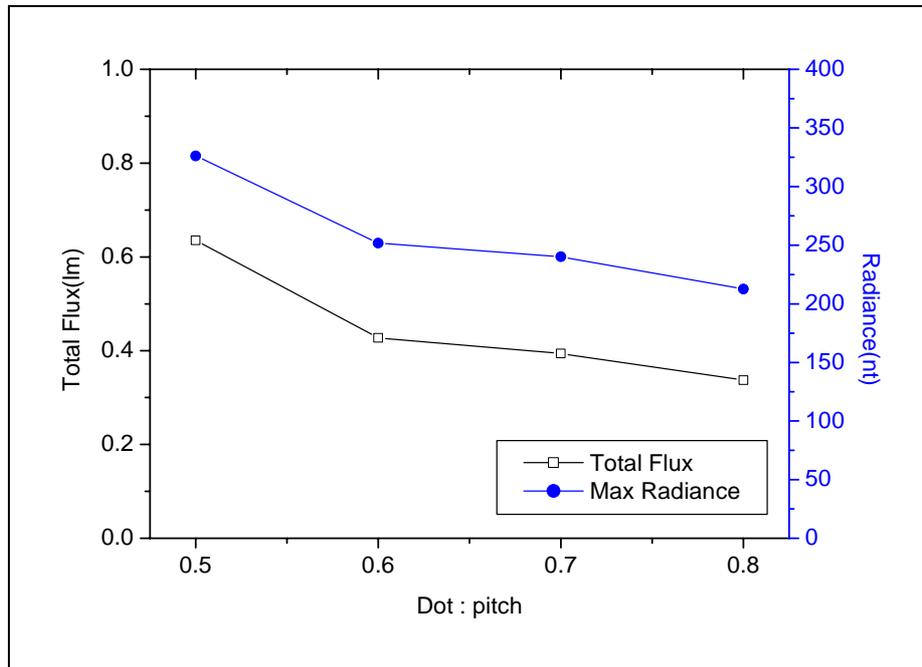


圖 2-25 DOT- pitch 參數之光學分析

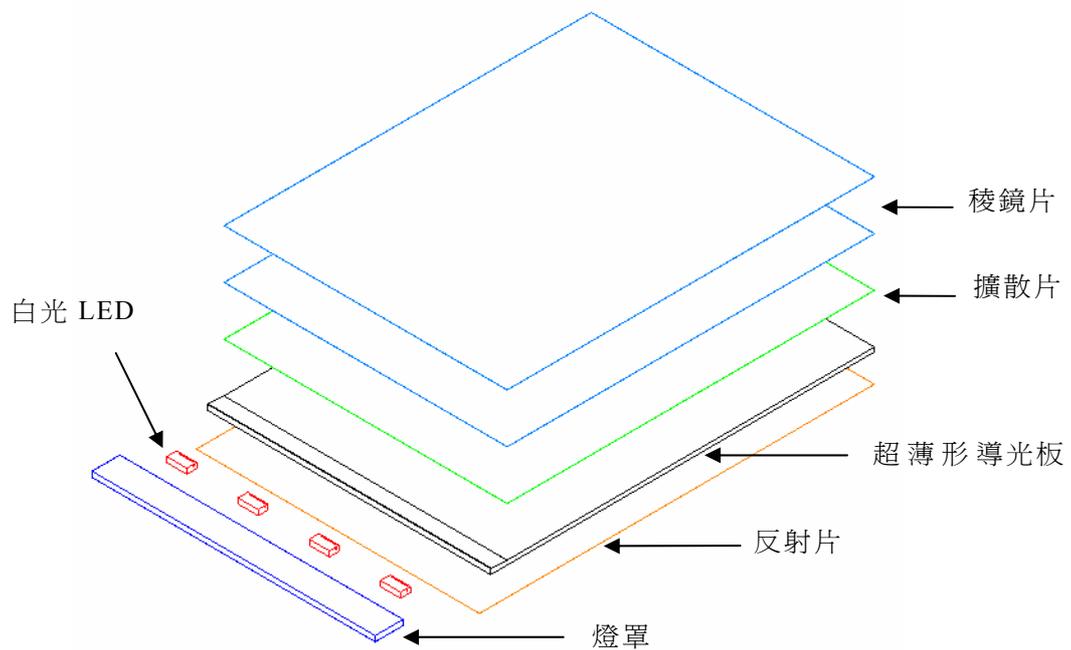


圖 2-26 背光模組設計結構

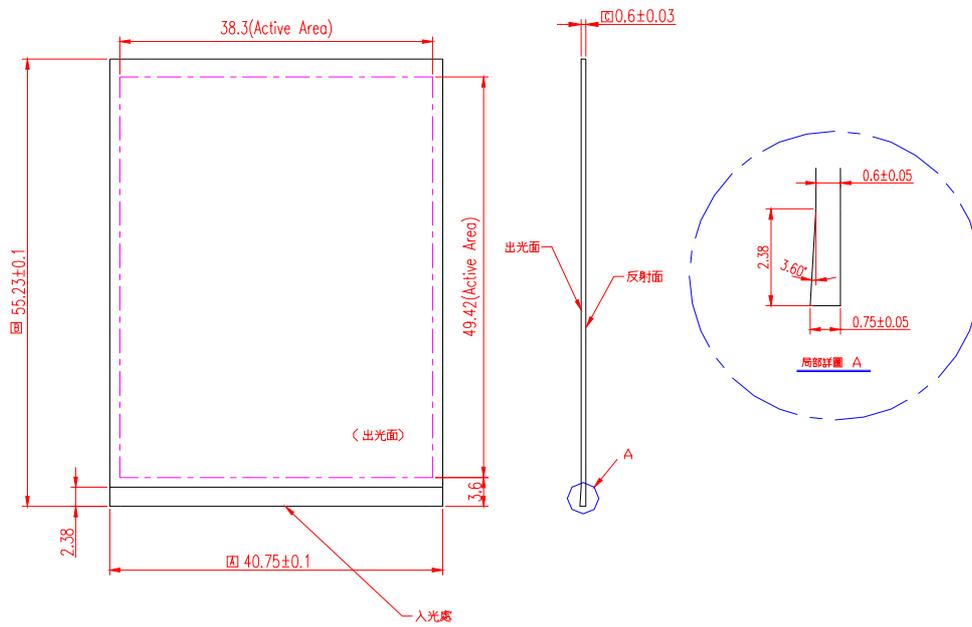


圖 2-27 超薄形導光板尺寸如圖

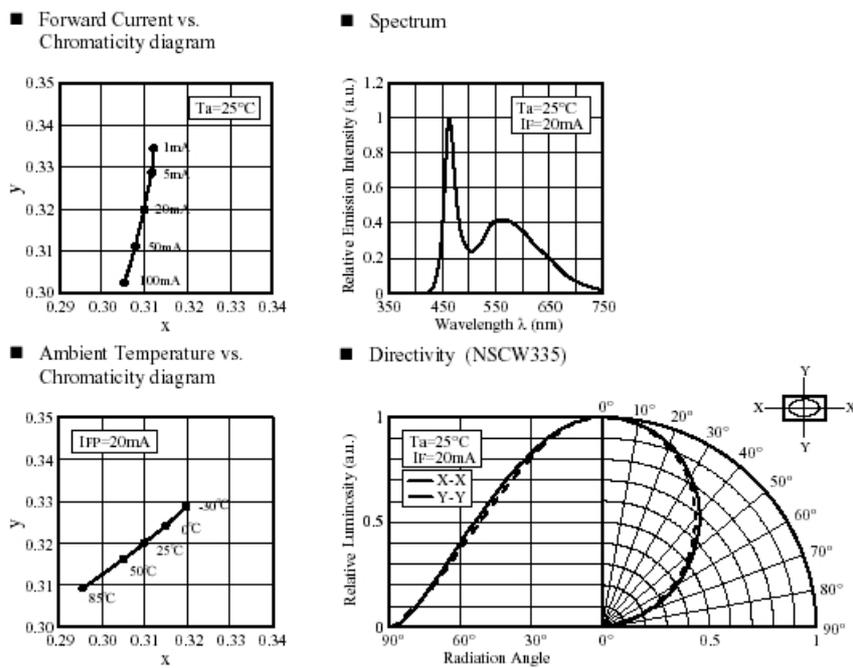


圖 2-28 WHITE LED-NSCW335 光譜及發光強度

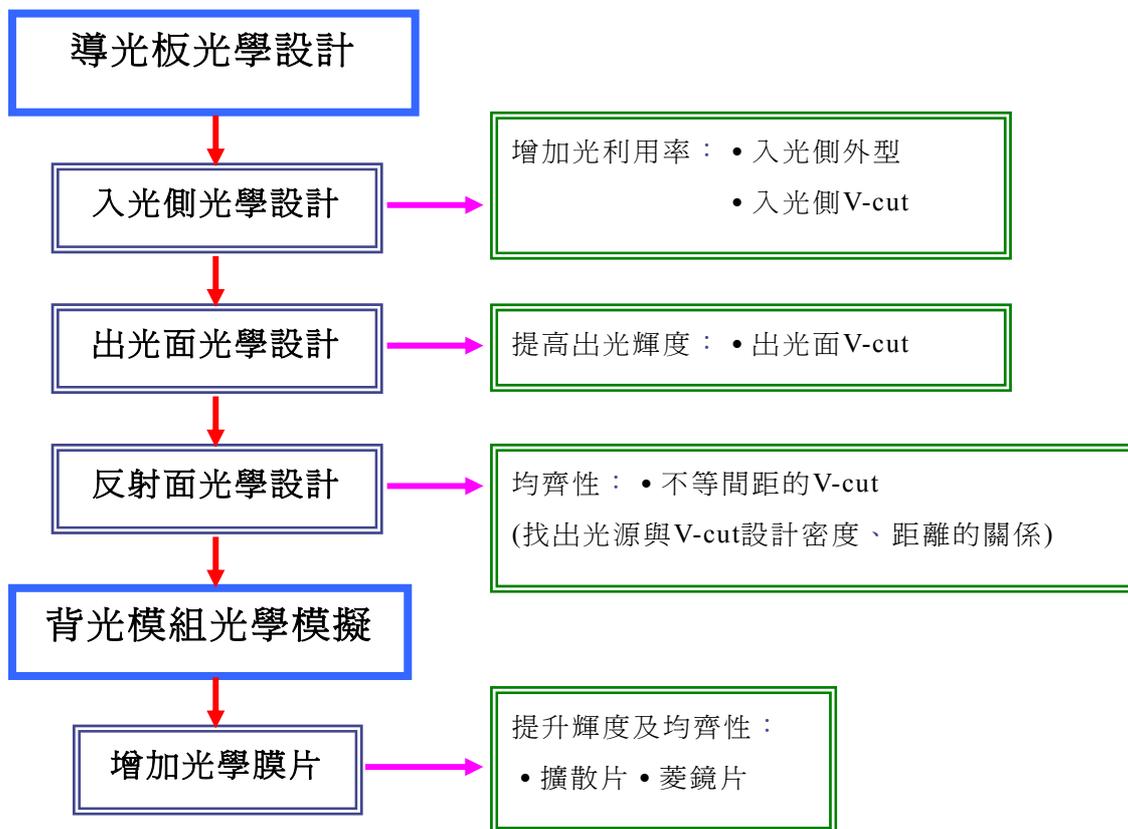


圖 2-29 超薄形導光板光學設計流程圖

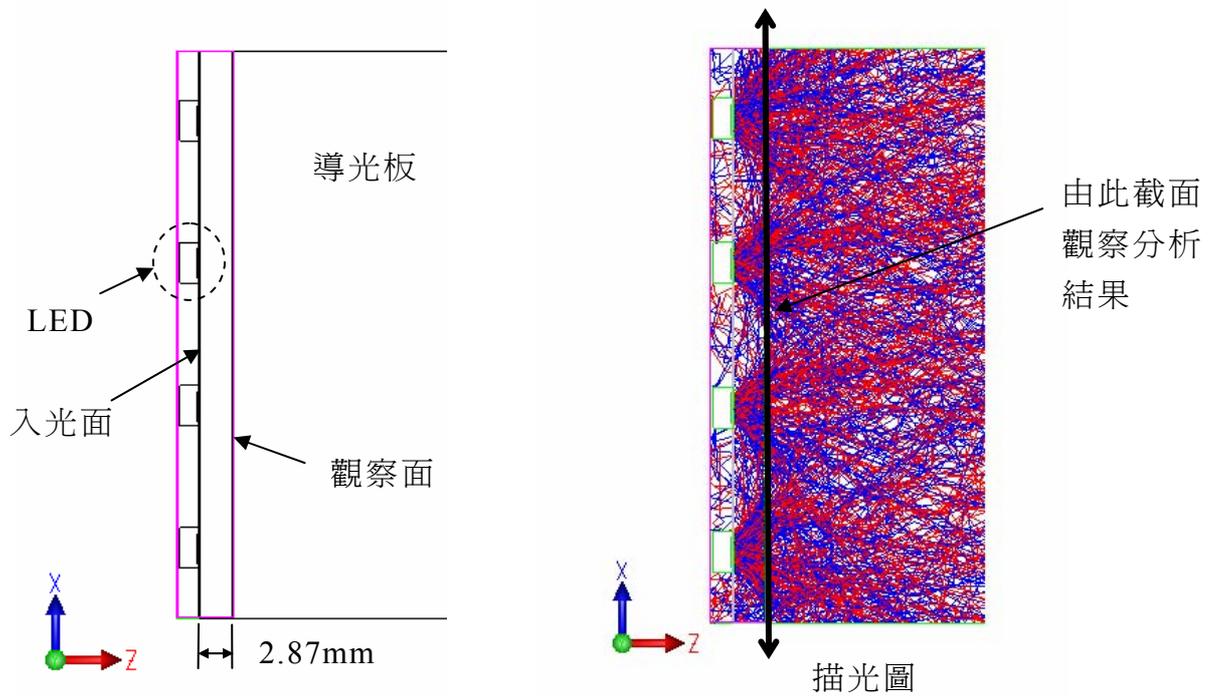


圖 2-30 導光板入光側觀察面

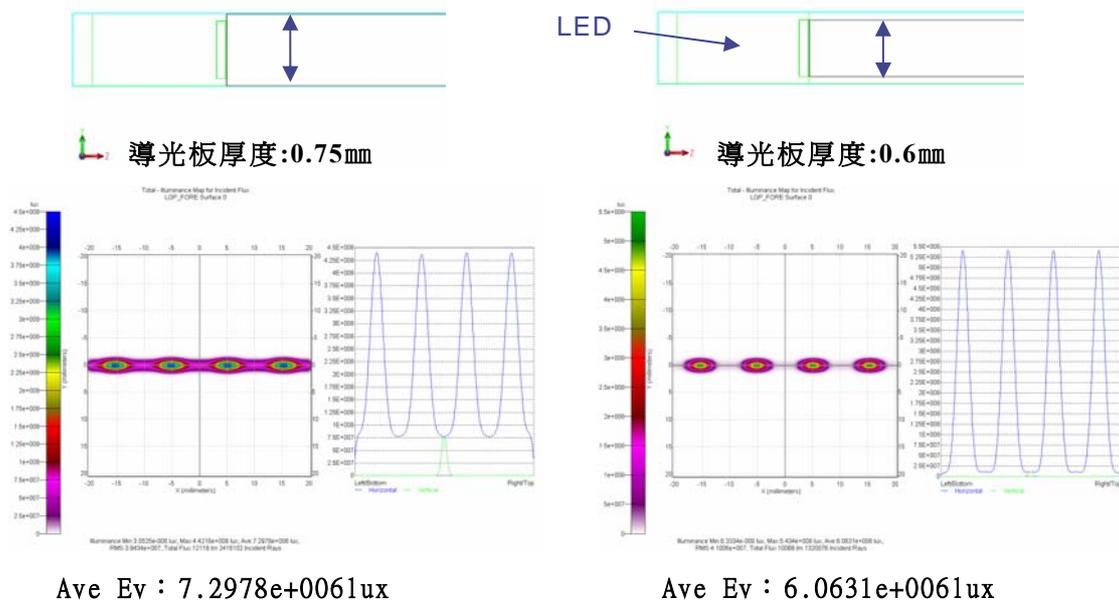
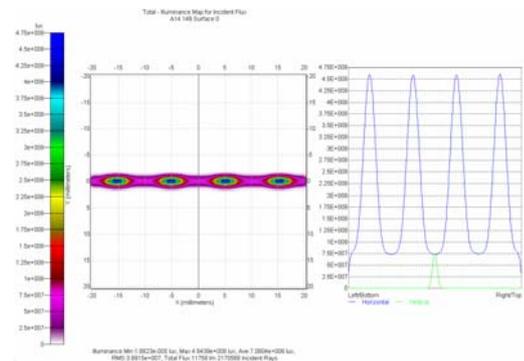
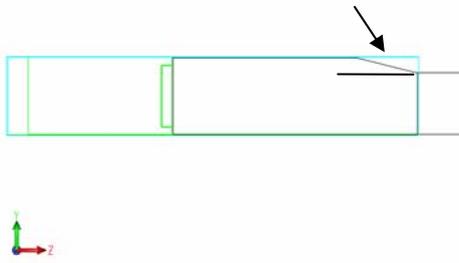


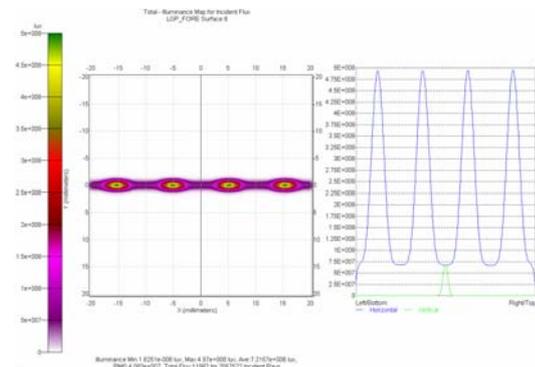
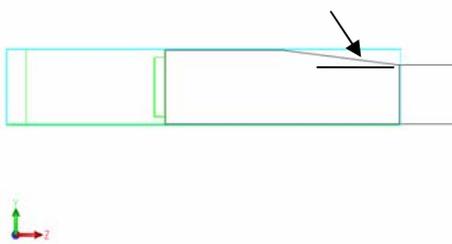
圖 2-31 不同導光板厚度之光學分析結果

Angle: 14.194°



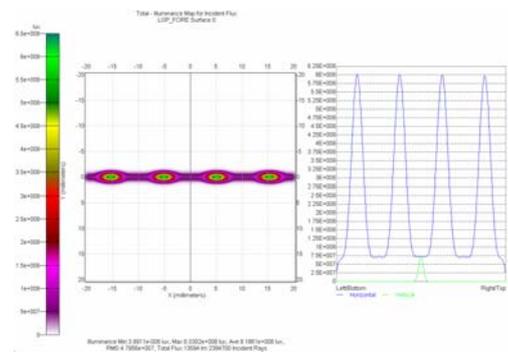
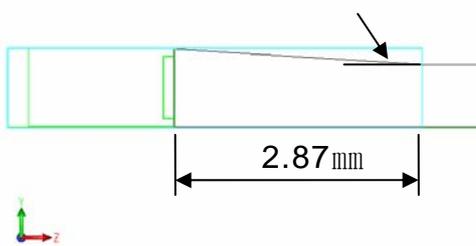
Ave Ev : 7.0804e+006lux

Angle: 7.184°



Ave Ev : 7.2157e+006lux

Angle: 3.606°



Ave Ev : 8.1861e+006lux

圖 2-32 不同入光側外型之光學分析結果

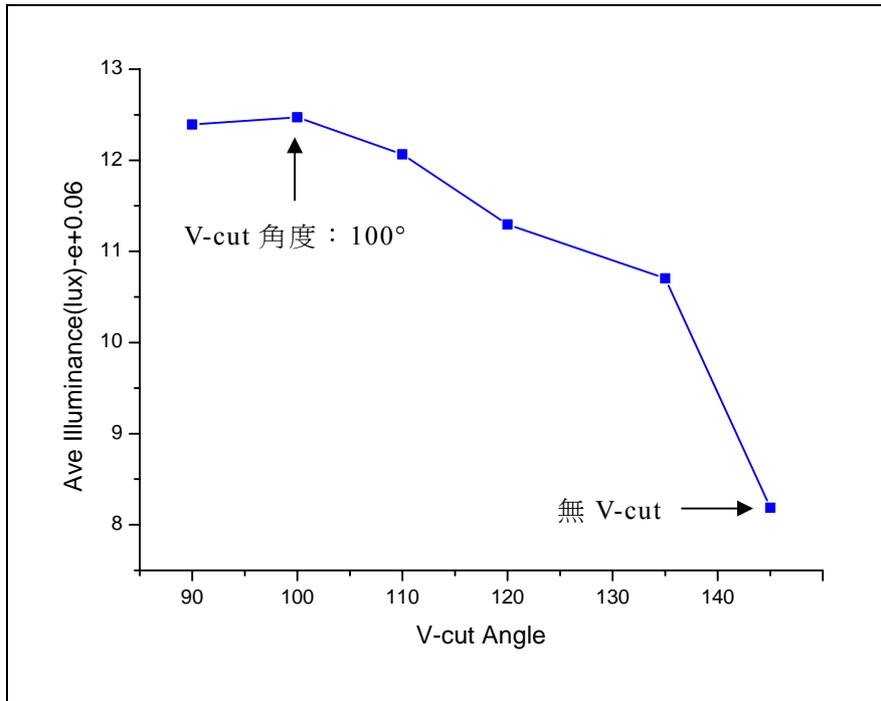
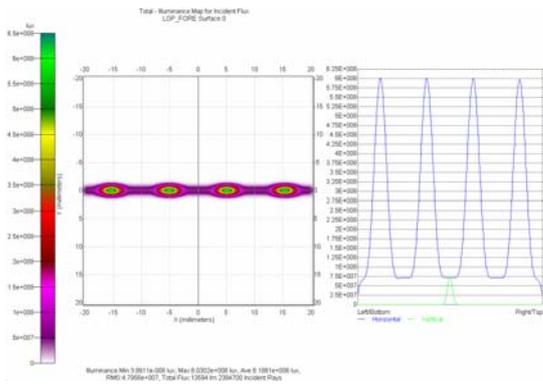
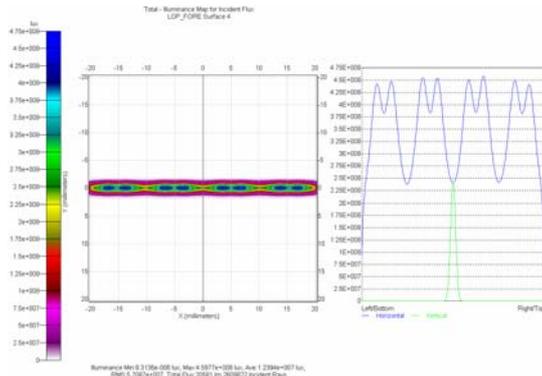


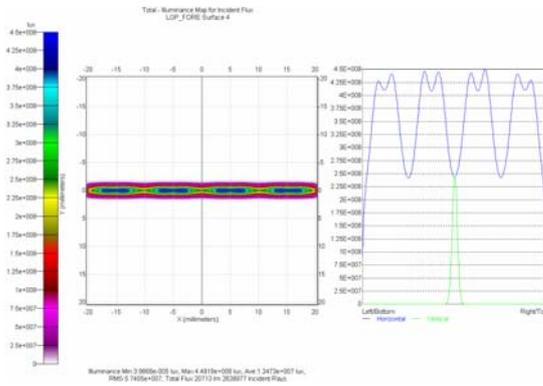
圖 2-33 入光側 V-CUT 角度參數之光學分析



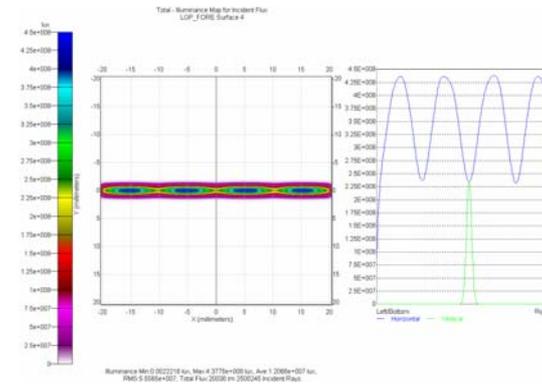
無 V-CUT



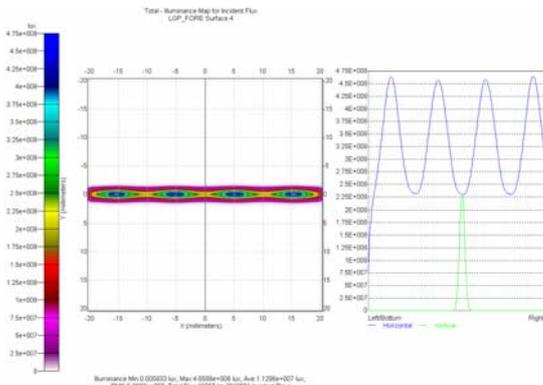
V-CUT Angle : 90°



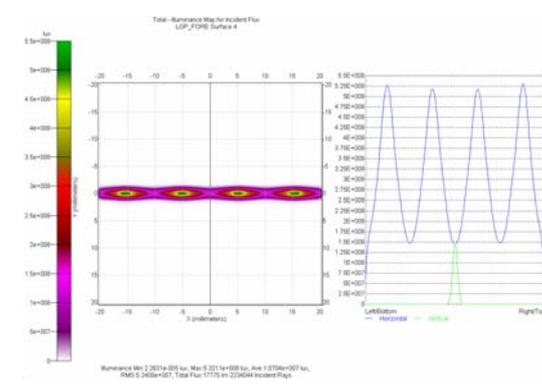
V-CUT Angle : 100°



V-CUT Angle : 110°



V-CUT Angle : 120°



V-CUT Angle : 135°

圖 2-34 入光側 V-CUT 角度參數之光學分析結果

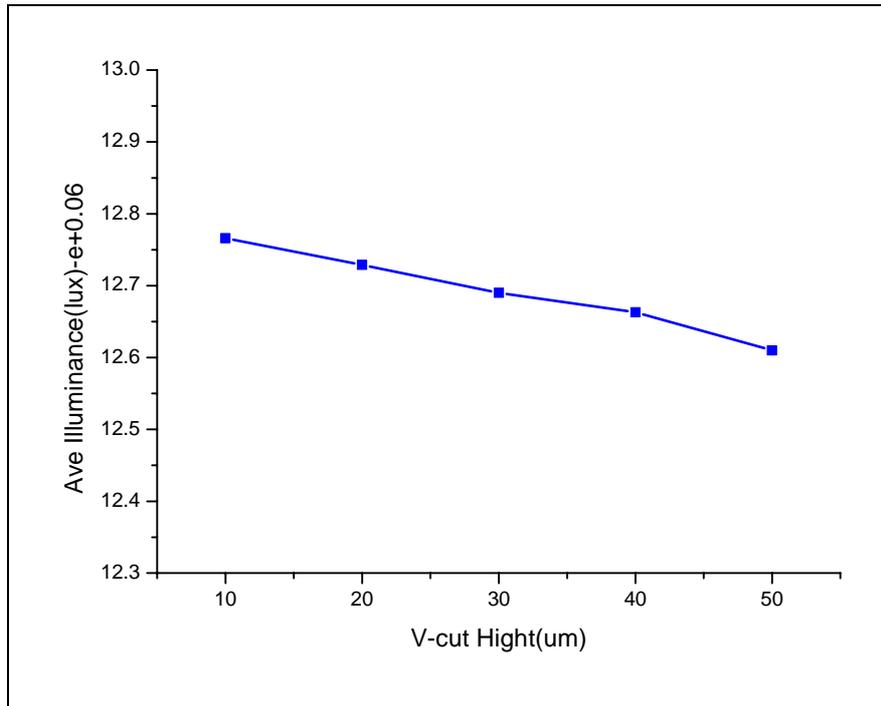


圖 2-35 入光側 V-CUT 高度參數之光學分析

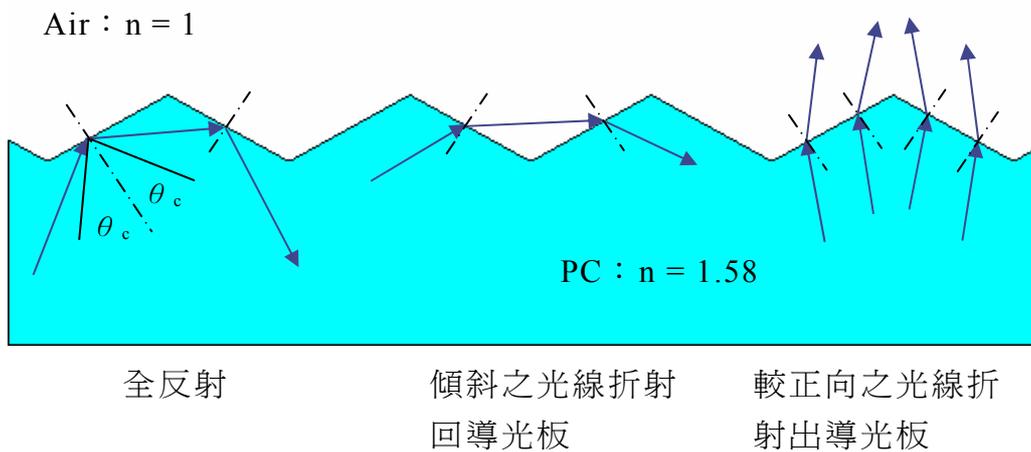
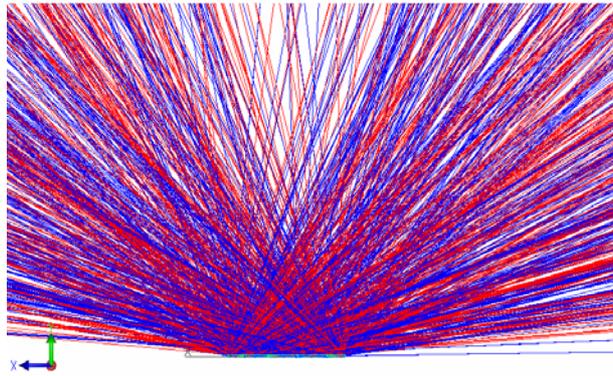
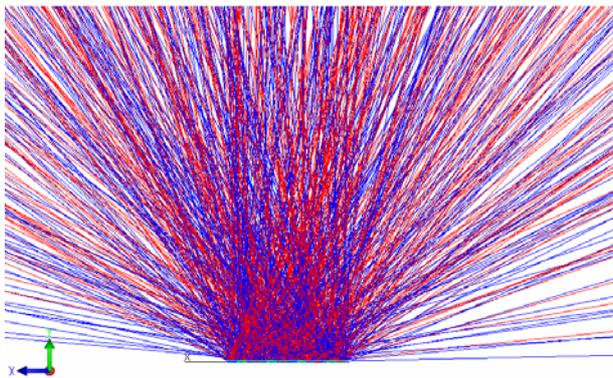


圖 2-36 出光面 V-CUT 光學原理



無出光面 V-CUT



出光面 V-CUT:  
角度為 120°

圖 2-37 出光面 V-CUT 光路模擬

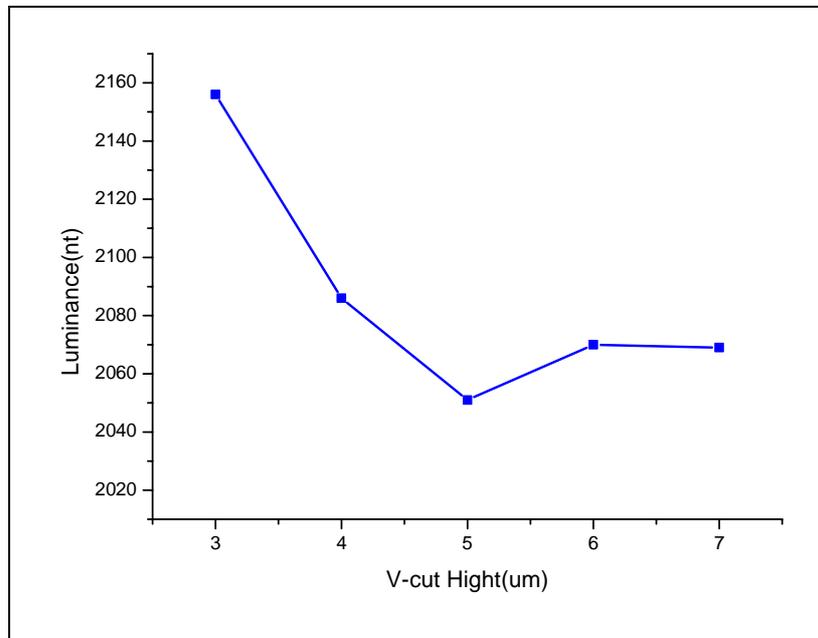


圖 2-38 反射面 V-CUT 高度參數之光學分析

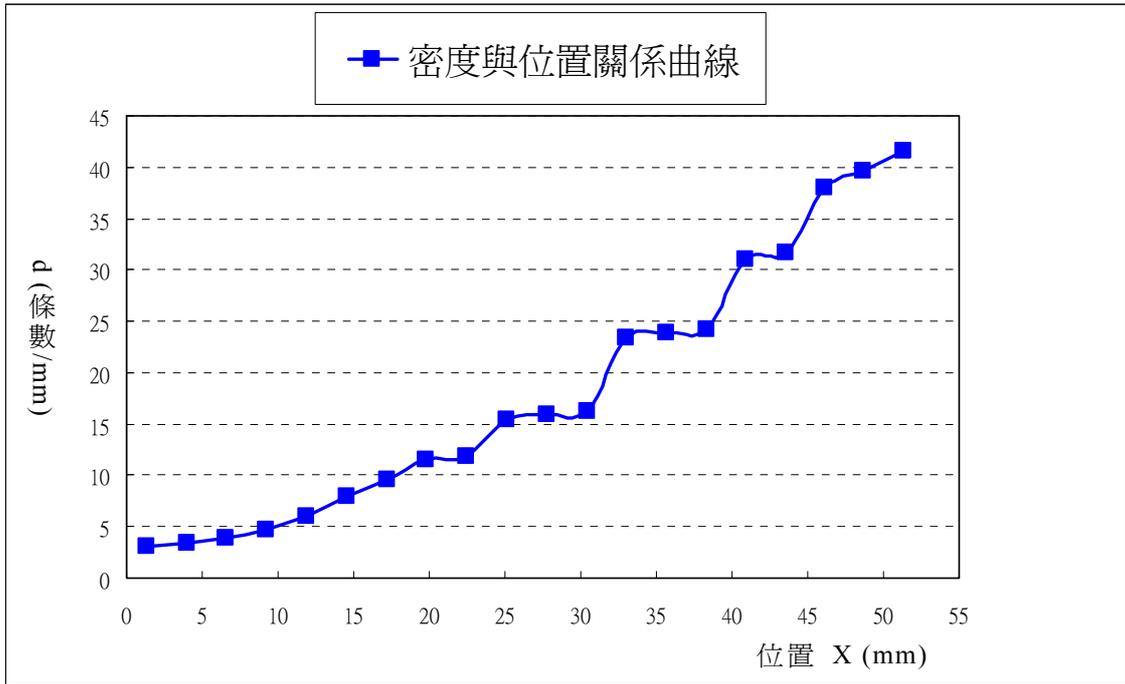


圖 2-39 反射面 V-CUT 密度分佈曲線

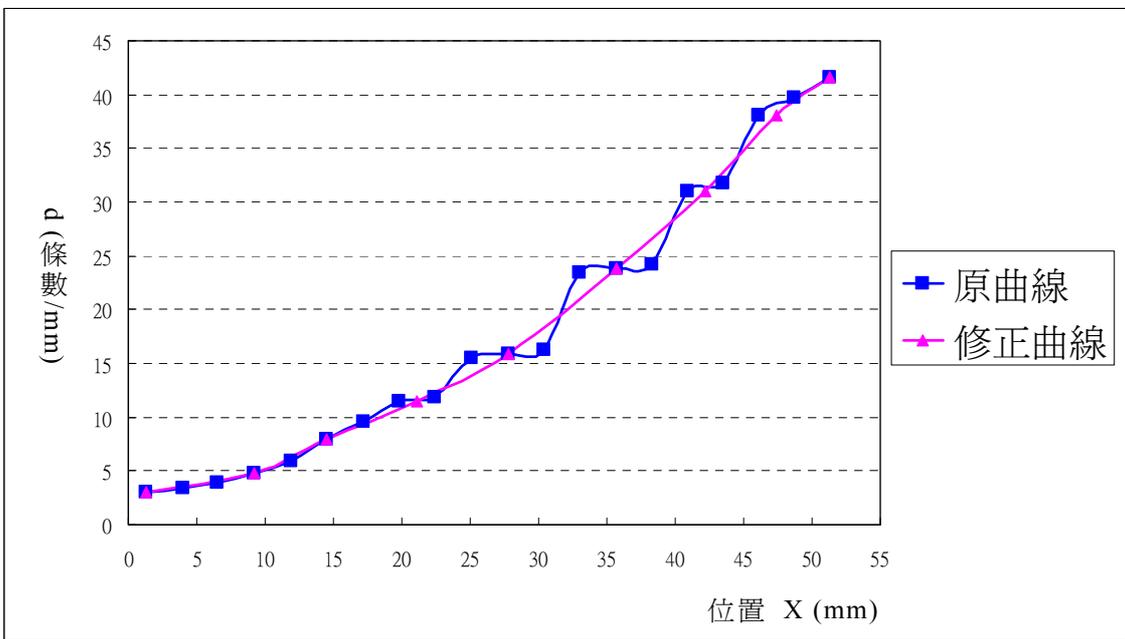
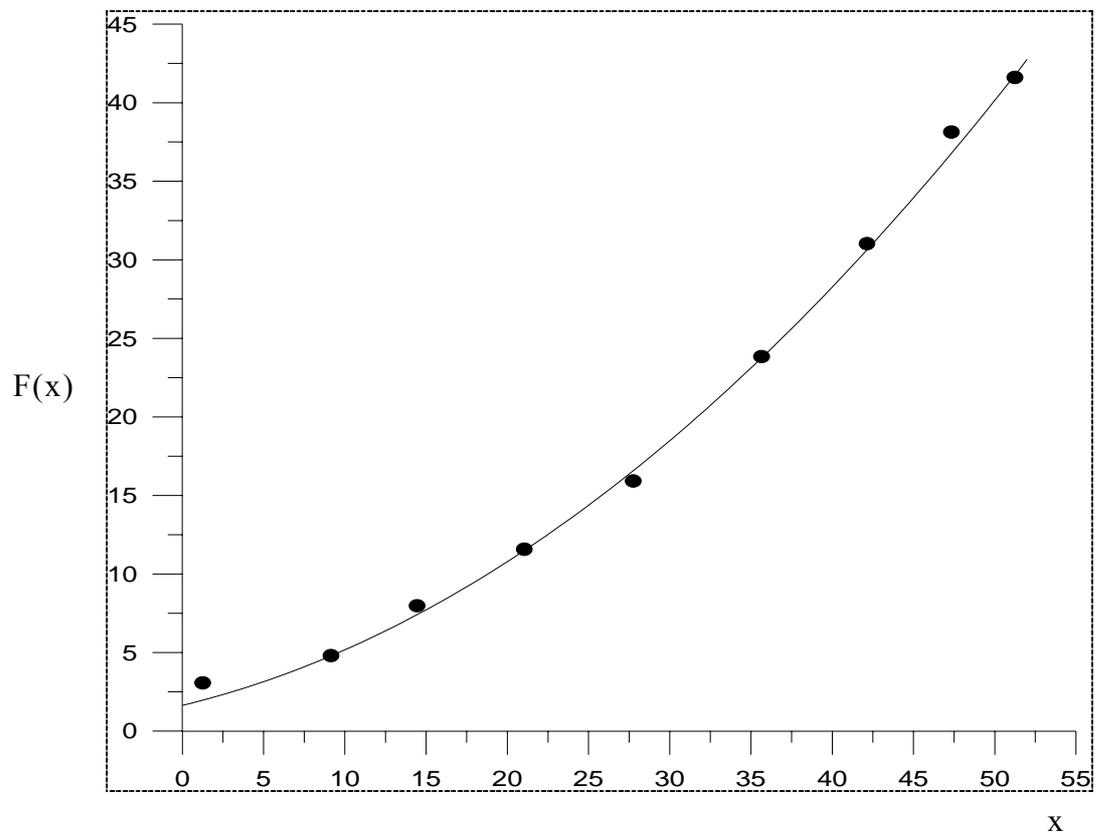


圖 2-40 修正曲線



$$F(x) = (1.0421123 \times 10^{-2})x^2 + (0.2490394)x + 1.637674$$

圖 2-41 反射面 V-cut 密度分佈之曲線方程式

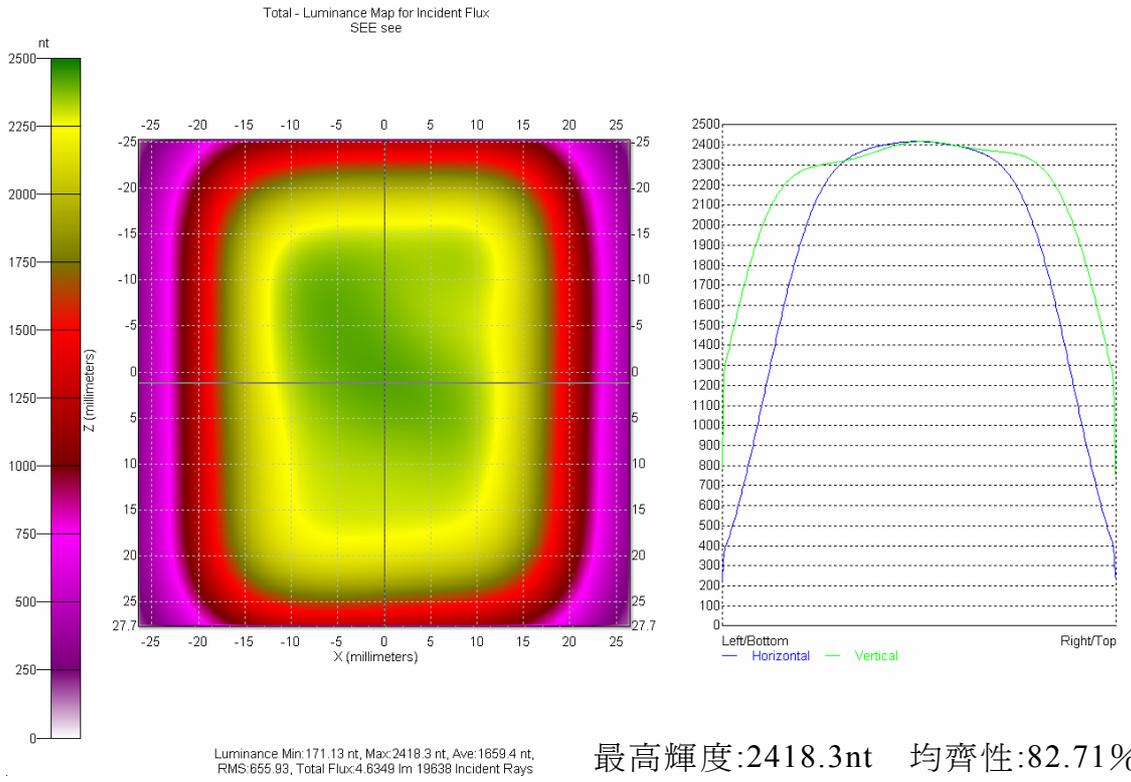


圖 2-42 背光模組之光學模擬結果

## 第三章 超薄型導光板模具設計與成形分析

### 3.1 模具設計

於超薄型導光板的光學設計與分析完成後，接著進行實驗模具的設計與製造，以搭配射出成型機進行超薄型導光板精密成型的實驗。超薄型導光板尺寸設計圖，如圖 2-18 所示，模具設計的重點為需具備射出成型與射出壓縮成型的雙重功能，並容易且穩定成型超薄型導光板及表面微結構。模穴配置採用一模一穴以及二板式模具的設計，標準模座選用富比特 (SC1820-60-70-70S5) 之標準模座，模仁採用鑲入組裝的方式，於母模模板與公模模板皆設置具有微結構之鈹銅模仁，在母模分模面上的模仁與流道結構，以凸出且深入公模的設計並預留其成型空間，使在射出壓縮時避免溢料的情形，如圖 3-1 所示，配合射出成型機的壓縮機構以進行導光板的射出壓縮成型，當射出成型機以一般方式作動即可進行射出成型。而在流道系統的設計方面，澆口採用扇型澆口，使塑料能均勻穩定的流入模穴中，澆口位置設計於導光板的尾端(入光側之對邊)以免影響入光側的光學性質與微結構成型。而其冷卻回路的設計，水管直徑為 6mm，其配置如圖 3-2 所示，在排氣方面，鑲入模仁由線切割加工而成，並於充填末端的模仁表面設置 V-溝微結構，因而利於排氣，有助於超薄型導光板的成型。接著進行模流分析探討超薄型導光板的射出成型狀況。

### 3.2 模流分析

本研究中採用 Moldex3D 模流分析軟體，首先建立導光板及流道的實體網格，且依模具設計於導光板的表面設置鈹銅模仁的網格並與導光板網格相連，加上冷卻回路的配置，以模擬超薄型導光板的成型狀況，實體網格如圖 3-3 所示。接著進行導光板的模流分析，其成型條件如表 3-1 所示，進行充填、保壓、冷卻、翹曲等流程分析。圖 3-4 所示顯示其充填過程中的波前分佈，波前依流動方向穩定向前流動，而在充填過程的壓力分佈如圖 3-5 所示，最大射出壓力為 183Mpa，顯示超薄型導光板射出時需要較高的射出壓力，以達到所設定的射出速度。而成型過程所需的鎖模力為 11.5

ton 如圖 3-6 所示，射出成型機的最大鎖模力為 30ton，所以鎖模力足夠。而保壓後的溫度分佈如圖 3-7，顯示導光板冷卻溫度平均且快速冷卻。而其翹區分析結果，於 Z 軸方向的翹曲分佈如圖 3-8 所示，總翹曲量為 0.036mm。而超薄型導光板模具加工尺寸與模具實體如圖 3-9~3-12 所示。

表 3-1 模流分析之成型參數

成型條件	參數
塑料溫度(°C)	300
模具溫度(°C)	90
射出速度(mm/s)	350
保壓壓力(Mpa)	150
保壓切換位置(mm)	5
保壓時間(sec)	1
冷卻時間(sec)	15

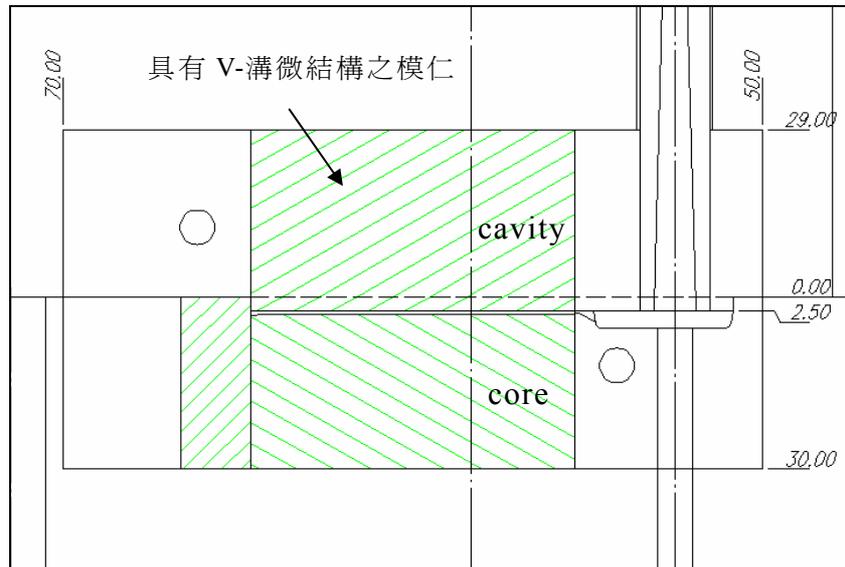
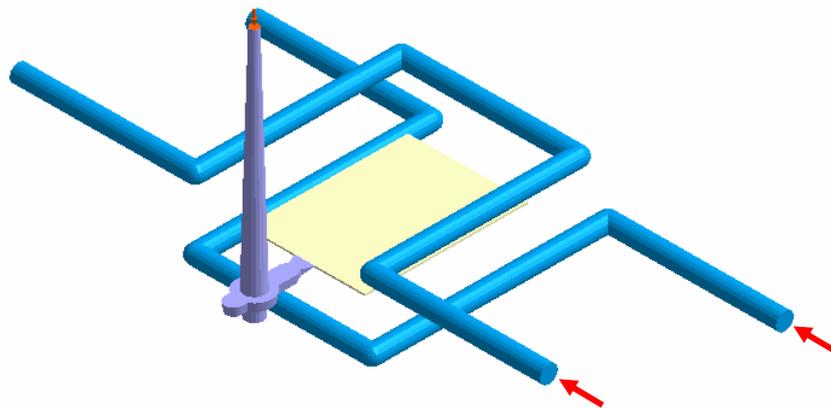


圖 3-1 模仁組裝方式

**Moldex3D**  
網格模型\_實體模型

*Educational*




 55 Run 10:TLGP-model01\_Leo.mfe/PC\_LEXAN\_1.mat/V\_1\_490.pro  
 0 Dimension (40.75 x 82.4598 x 85.5 mm), eP=42349, eC=30061, eM=484625, <Mixed Mesh-0>, V=2001  
 45 新電腦試模組別  
 1.00  
 R 7.0(7012)00:15:27-06-20-2005 [25473]

圖 3-2 水路分佈圖

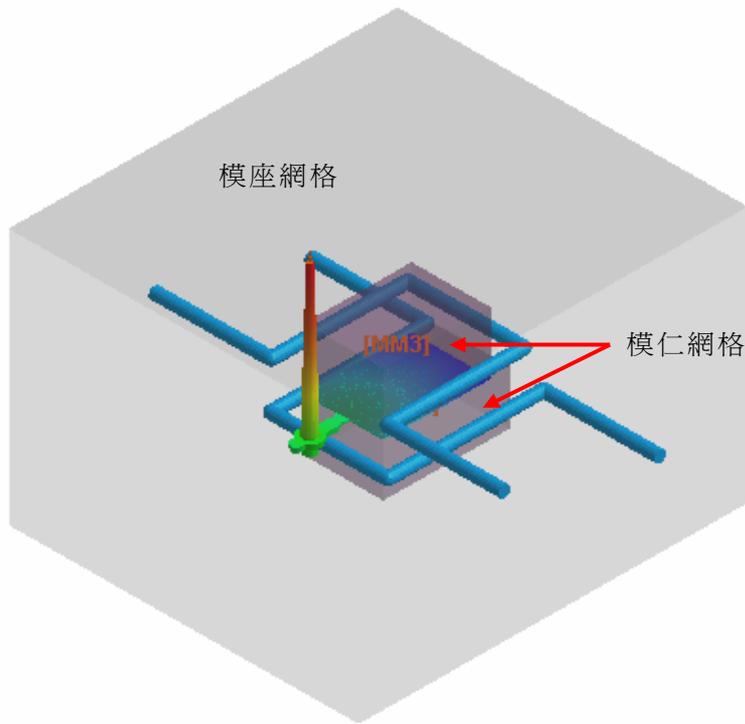


圖 3-3 模流分析實體網格

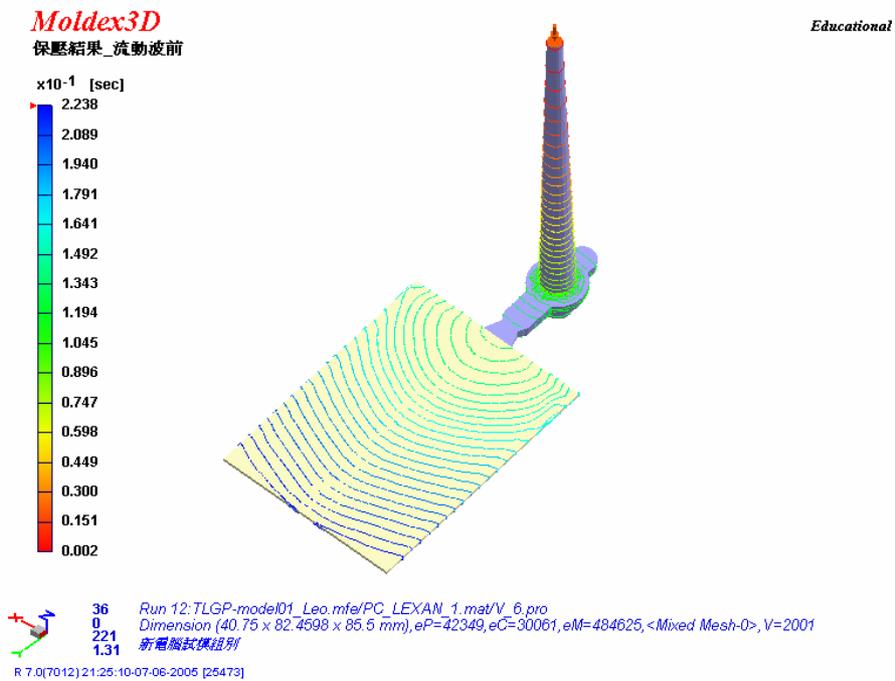
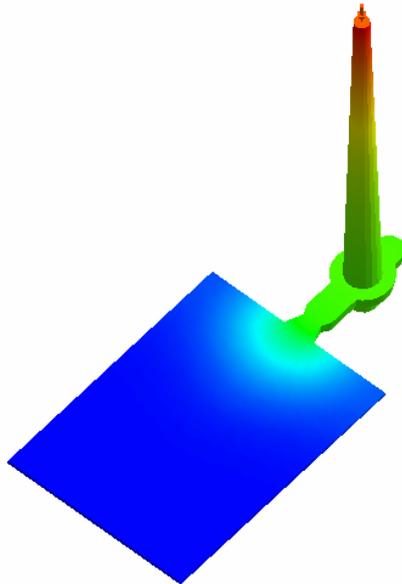
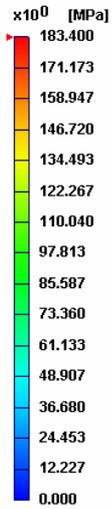


圖 3-4 導光板流動波前分佈圖

Moldex3D

充填結果\_壓力



Educational

35 Run 12: TLGP-model01\_Leo.mfe/PC\_LEXAN\_1.mat/V\_6.pro  
0 Rng: 0 ~ 183 Avg: 63.9 MPa (@100% (0.224sec)) (Standard Analysis Without Fiber)  
221 新電腦模擬組別  
1.34  
R 7.0(7012) 15:17:23-07-21-2005 [25473]

圖 3-5 導光板射出壓力分佈圖

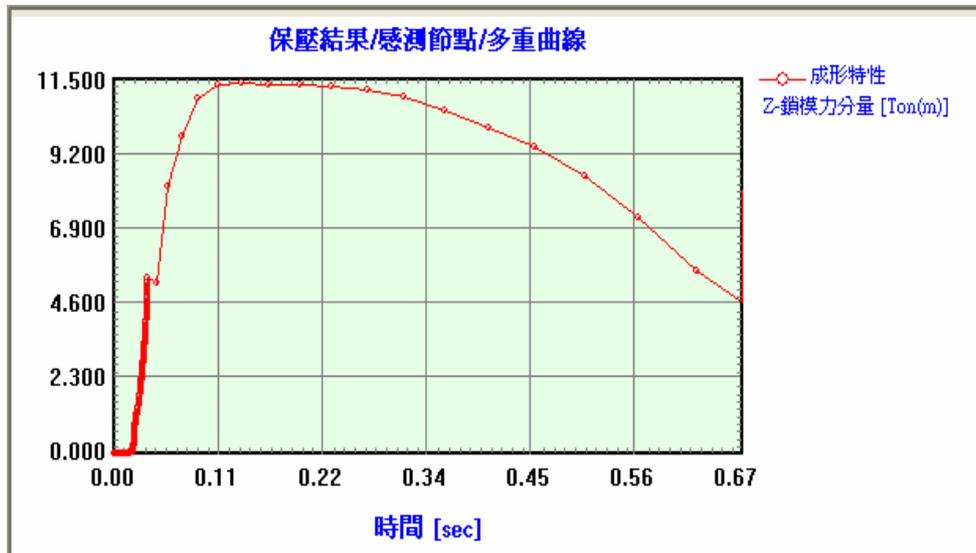
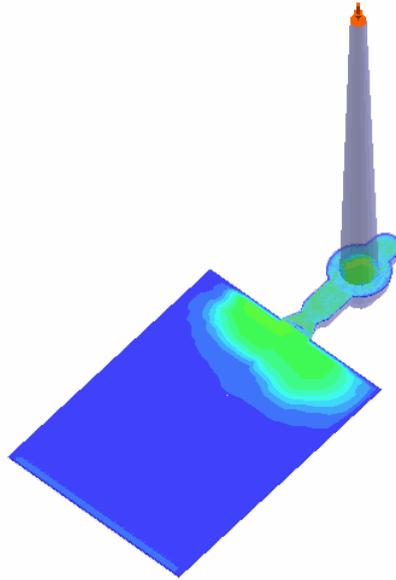
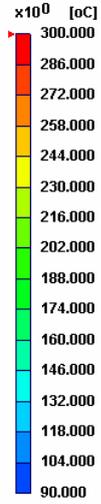


圖 3-6 成型過程之鎖模力

Moldex3D

保壓結果\_溫度



35 Run 12:TLGP-model01\_Leo.mfe/PC\_LEXAN\_1.mat/V\_6.pro  
 0 Rng: 90 ~ 300 Avg: 146 °C  
 221 新電腦試模組別  
 1.34

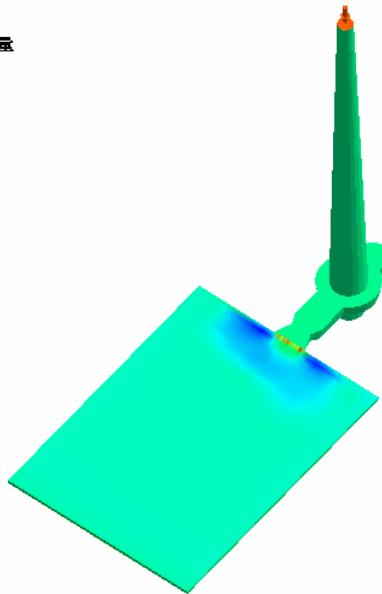
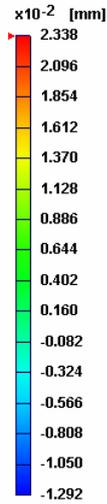
R 7.0(7012) 16:07:31-07-21-2006 [25473]

Educational

圖 3-7 溫度分佈圖

Moldex3D

翹曲變形\_Z-總位移分量



37 Run 12:TLGP-model01\_Leo.mfe/PC\_LEXAN\_1.mat/V\_6.pro  
 0 Rng: -0.0129 ~ 0.0234 Avg: 1.59e-005 mm (Scale:0.00, Total)  
 218 新電腦試模組別  
 1.35

R 7.0(7012) 02:31:43-07-07-2006 [25473]

Educational

圖 3-8 導光板 Z 軸翹曲分佈圖

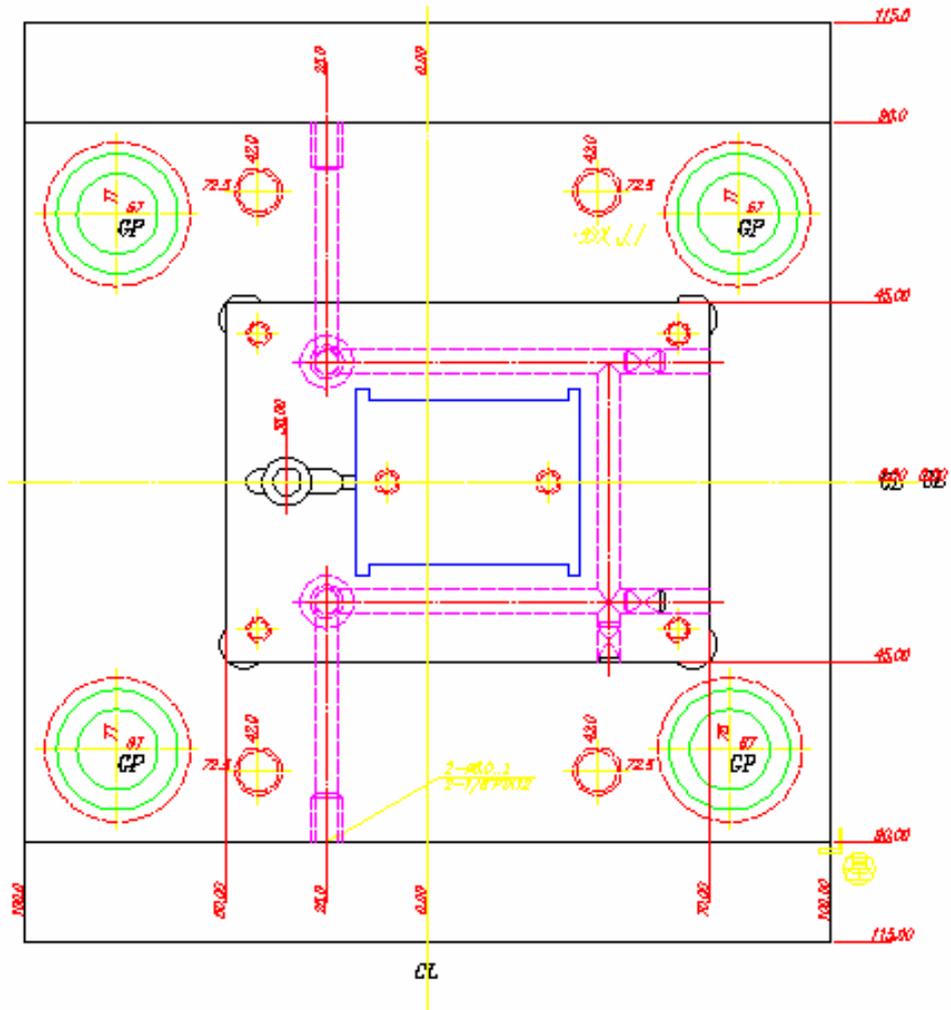


圖 3-9 母模平面圖

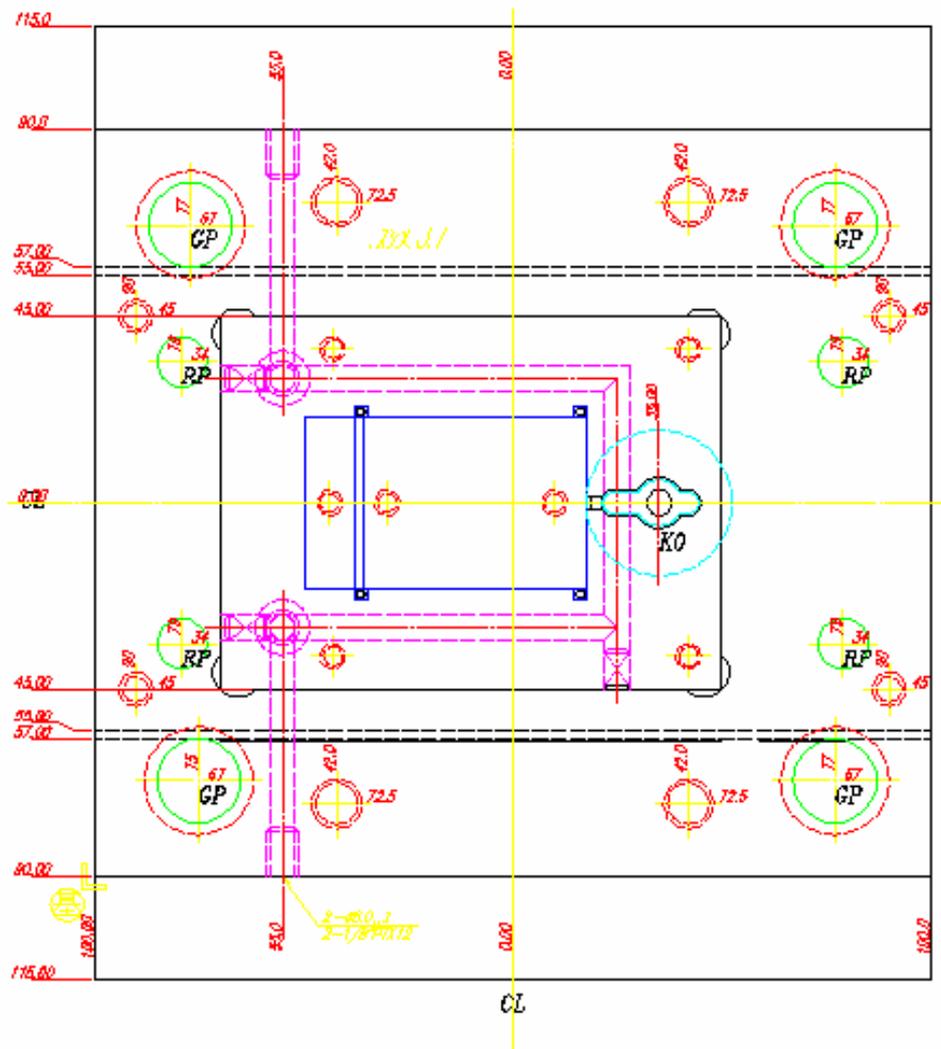


圖 3-10 公模平面圖

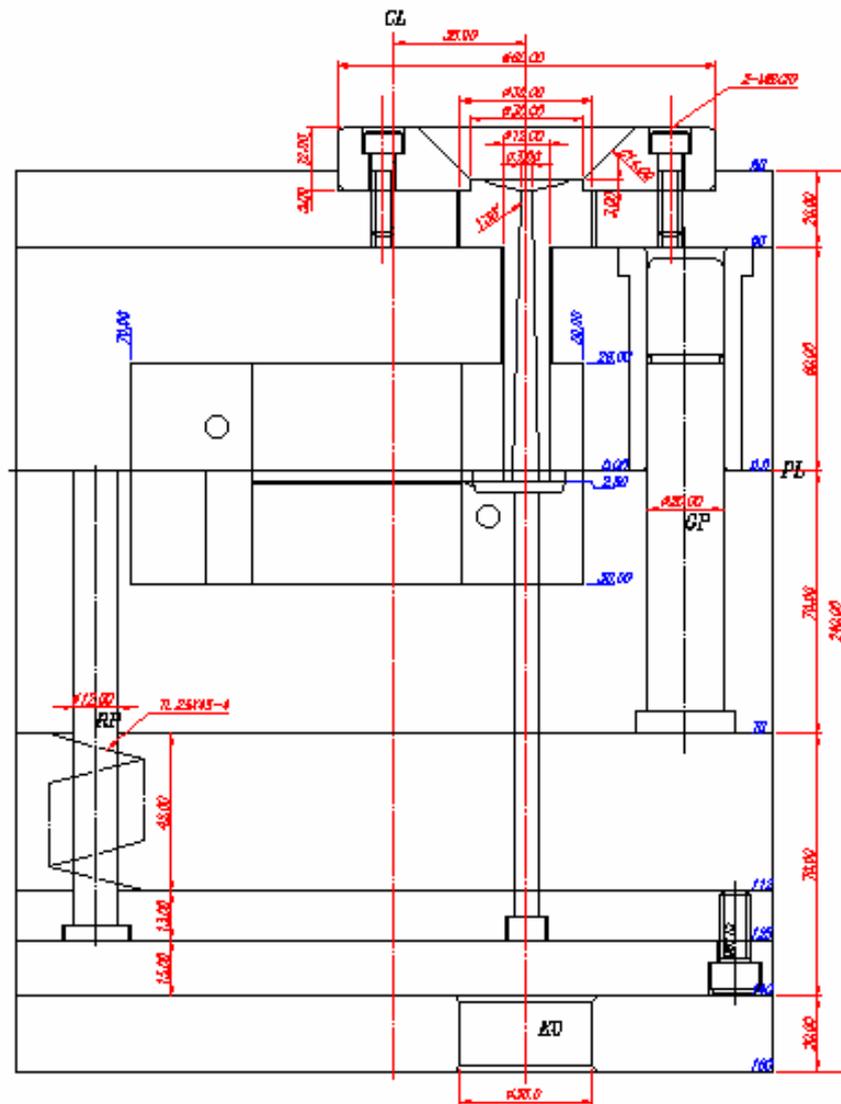


圖 3-11 組立圖

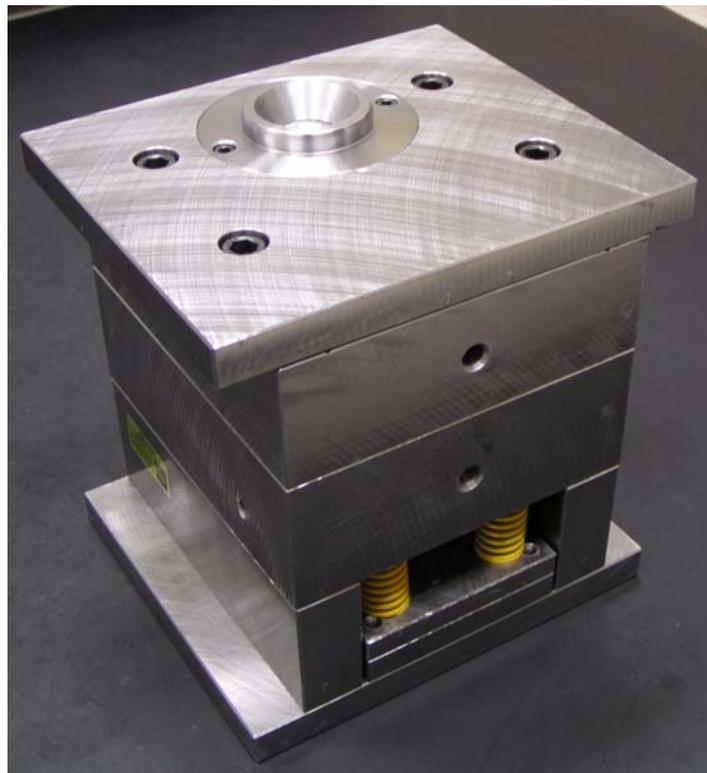
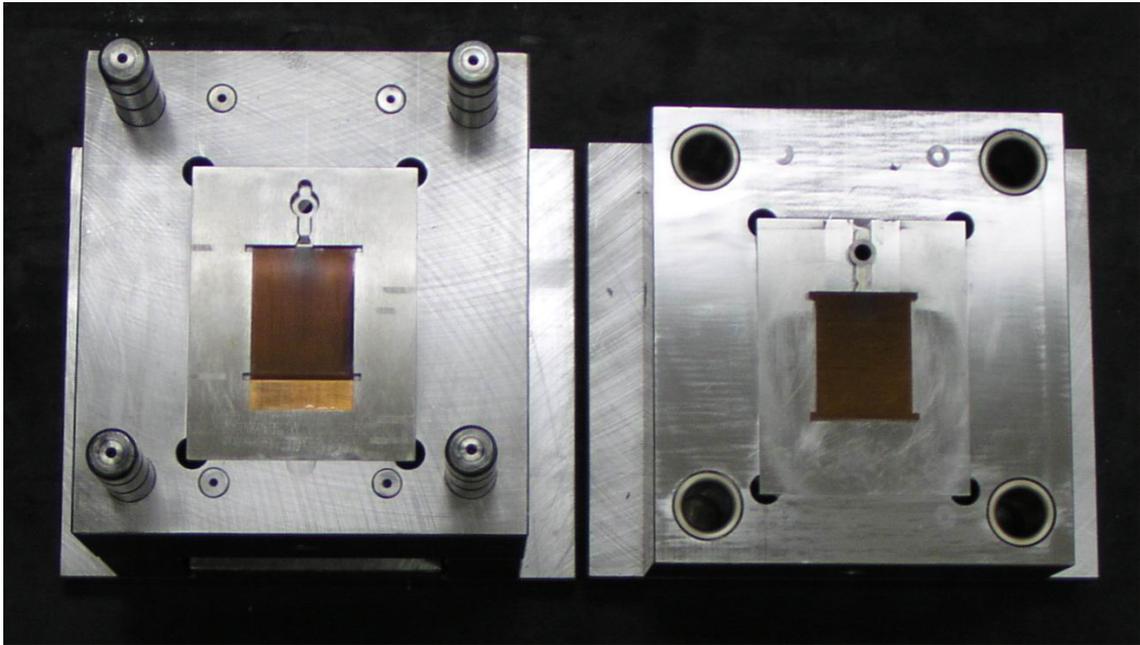


圖 3-12 公母模實體

## 第四章 超薄形導光板精密成型實驗

### 4.1 實驗流程

本論文以 2.2 吋超薄形導光板為其研究標的，其尺寸為長(55.23mm)、寬(47.5mm)、厚度為 0.6mm，其實驗流程如圖 4-1 所示。首先設計超薄形導光板的外型及表面微結構，進行光路模擬及光學性質的評估；之後以模流分析檢視導光板的成型狀況，進行超薄形導光板的模具設計，且實驗模具備射出成型及射出壓縮成形的雙重功能，於實驗模具加工製造後，進行超薄形導光板射出成型實驗；首先探討不同製程條件對超薄形導光板成型性之影響，並找出可成型的製程參數範圍，完成超薄形導光板的成型視窗；其次使用單一參數法探討各製程條件與超薄形導光板微結構成型的關係及影響；接著以田口氏實驗計畫法進行微結構成型的最佳化實驗，尋求製程條件對微結構成型的最佳組合；再著以射出壓縮成型方法成型超薄型導光板並檢測表面微結構的成型狀況，比較射出成型與射出壓縮成型對於微結構成型的影響及差異性並以光彈儀量測其應力分佈；最後再探討微結構成型對超薄型導光板光學性質的影響。本章將逐一說明所使用的實驗材料、儀器設備、實驗方法及步驟。

### 4.2 實驗材料與設備

#### 1. 實驗材料

在本實驗中，使用的塑膠原料為出光-LC1500 光學級聚碳酸脂(PC)，其特性為光穿透率高(92%)，具有良好光學性質、高轉寫性、高韌性及材料穩定性佳等特質，所以適用於具有 V 溝(V-CUT)微結構的超薄形導光板射出成型，其基本性質如表 4-1 所示。

塑料加工成型前需作預備乾燥，避免因水氣殘留於塑膠原料內，而導致加工後有氣泡產生。此光學級聚碳酸脂的乾燥溫度為 120℃，乾燥時間為 4~8 小時，因 PC 的吸濕性較高，乾燥需注意到環境溼度，才能達到好的乾燥效果。而其成型的塑料溫度為 280~300℃，塑料溫度不可過高或在

料管內停留太久，否則會引起熱分解使塑料變黃，影響成品的物理性質。

## 2. 實驗設備

### (1) 油電複合式 V 型機構射出成形機

本實驗所使用之射出成型機為日本 Sodick 公司所製造的油電複合式 V 型機構射出成形機(Sodick-TR30EH)，其外觀如圖 4-2 所示。其射出單元是採用 V 型機構(預備可塑化機構)，結合螺桿式與柱塞式射出單元的優點，分別進行塑化及射出的功能，能達到良好穩定的塑化效果與精準的計量，鎖模裝置採用直壓式油電混合鎖模裝置，直壓式鎖模機構能精確作動且使鎖模力均勻分佈，且射出成型機具備射出壓縮功能，所以特別適用於高精度及薄肉製品成形，如導光板與光學鏡片等。此射出成型機主要規格為鎖模力：30 噸、射出量：14 g (0.5 盎司)、繫柱間隔(橫×縱)：260 × 260 mm、最小/最大模具厚度：150 / 300 mm、最大射出速度：500 mm/sec、最大射出壓力：262 MPa，其它詳細規格如表 4-2 所示。

### (2) 表面輪廓儀

本實驗所使用表面粗糙度及輪廓量測儀器為 Taylor Hobson 公司之表面輪廓儀(Form Talysurf PGI 635)，其外觀如圖 4-3 所示。表面輪廓儀的量測原理是利用探針(Stylus)接觸表面，由收錄器(PGI Pick-Up)如圖 4-4 所示，將探針在表面起伏轉成電訊號，而由軟體收成點資料分析。此收錄器的原理是利用雷射同調光干涉特性，在探針末端連接一個光柵，由探針起伏而使得物光的光程改變，而在後端與參考光產生干涉而由 Photo Diode 接收其干涉資訊而算出其 Z 軸探針的起伏量，所以量測精度極高，Z 軸的解析度為 3.2 nm，為奈米級的量測。

#### ◎ 儀器功能：

- 表面粗度量測、輪廓量測、非球面量測
- 導光板及 V-Grooved 輪廓量測及分析
- 數位相機及手機數位相機非球面鏡
- Micro Lens Array

#### ◎ 儀器規格：

- 量測長度[X 軸] Max/Min：120mm/0.1mm

- 量測速度：0.1、0.25、0.5、1、10 mm/s
- 解析度[Z 軸]：3.2 nm
- 量測範圍[Z 軸]：6 mm
- 橫向[X 軸]解析度：0.125 $\mu$ m

### (3) 輝度計

本實驗所使用輝度計為尼奧光公司之六軸輝度計(BA664+BM-7)，其外觀如圖 4-5 所示。其機構為六軸平躺式量測平台，主要是量測面板及背光模組的光學輝度及視角，量測尺寸為 1" ~ 29"，量測角度範圍為 $\pm 85^\circ$ 。

◎ 儀器功能：

- |                               |                  |
|-------------------------------|------------------|
| • 輝度量測(cd/m <sup>2</sup> )nit | • 輝度位置均勻度量測      |
| • 色度量測 RGB(x,y)               | • 輝度視角量測         |
| • 色三角形圖量測                     | • 對比視角量測         |
| • 色溫量測                        | • Color Shift 量測 |

## 4.3 成型視窗實驗

此實驗是以成型視窗來判定可成型區域的範圍，首先找出兩個重要的成型條件，變動成型條件的參數做射出成型實驗，繪出可成型的區域範圍，若範圍很小，表示不易成型，若範圍很大，表示容易成型，以成型視窗實驗來瞭解超薄形導光板成型時所需的成型參數。實驗以超薄形導光板實驗模具配合油電複合式 V 型機構射出成形機，其製程參數包含塑料溫度、模具溫度與射出速度等，其中選取模具溫度及射出速度這兩項參數，探討這兩項參數對成品成型性的影響，製作成型視窗，並以不同的塑料溫度，觀察模具溫度與射出速度成型範圍的變化，藉此探討塑料溫度對於超薄形導光板成型性之影響，而可成型區域的條件定義為成品能完全充填，實驗時，當有短射(Short Shot)及毛邊(Flash)的成品屬於不可成型範圍。

## 4.4 微結構成型實驗

超薄形導光板的表面微結構成型實驗，主要是使用單一參數法探討每一個成型條件對微結構成型的影響。實驗選定塑料溫度、模具溫度、射出

速度、保壓壓力、保壓切換位置、保壓時間及冷卻時間等七個製程條件進行射出成型實驗，其製程參數由成型操作窗中決定單一參數實驗的水準值，如表 4-3 所示。實驗時以一組參數為標準製程參數，以變換某一製程條件，固定其他條件，就可觀察此單一參數因子對微結構成型的影響性。各製程參數的射出成型之後，使用表面輪廓儀量測導光板入光側、出光面、反射面之 V-溝微結構的成型狀況。入光側於 A 位置，出光面與反射面於導光板表面各九點位置進行微結構量測，如圖 4-6 所示。每段量測距離為 2mm，取量測距離內的 V-cut 的平均高度(Pc 值)，平均峰谷值參數(Pc)定義為在產品長度內，元素輪廓的平均高度值。入光側取 A 點之平均高度，出光面、反射面取 9 點之平均高度，探討製程參數對各表面 V-溝微結構成型性之影響。

#### 4.5 微結構成型最佳化實驗

在微結構成型最佳化實驗，利用田口氏實驗計畫法尋求對V-溝微結構成型的最佳製程參數組合，田口氏實驗設計方法的特色在於利用直交表規劃實驗與信號雜音比(Signal-Noise Ratio, S/N)分析實驗數據。利用直交表實驗計畫以快速、經濟的方式進行實驗，並得到最小實驗誤差之數據，而以信號雜音比分析實驗數據，找出最佳參數水準組合，以達到適當的品質目標值。田口氏實驗計畫法之實驗流程如圖4-7所示，以下為實驗流程說明：

##### (1) 確定品質特性

使品質特性與目標值一致，只要一有偏離，即會造成損失，以損失函數的概念將品質量化，使人能掌握品質的狀況。而品質特性分為望目特性、望小特性及望大特性；望目特性為品質特性具有一目標值，其最佳值為與目標值一致；望小特性的品質特性為連續且非負值，品質特性的最佳值為 0；望大特性的品質特性為連續且非負值，品質特性愈大愈好，其最佳值為  $\infty$ 。本實驗所需之目標值為提高微結構之成型性，選定望大特性以V-溝轉寫高度最大為目的。

##### (2) 決定因子與水準

因子的定義為以達成實驗目標而控制的操作條件或實驗變數，在微結

構成型實驗中如塑料溫度、模具溫度、射出速度、保壓壓力等就為控制因子。而表示因子的狀態條件稱之為水準，如塑料溫度取 295°C、300°C、305°C 等狀態條件，其水準數為三。而實驗計畫中的因子與水準配置，以微結構成型實驗之結果，對於微結構有較大的影響的製程參數，選擇其控制因子及水準。

### (3) 選擇適當之直交表

應用直交表來配置實驗時之控制因子及水準，以簡化實驗計畫的進行。首先要計算總共所需之自由度，為控制因子和交互作用所需進行實驗的最小次數，單一因子的自由度為水準數減一，計算總自由度後選擇列數比自由度大或等於的直交表，且符合所需的水準數，決定適當的直交表矩陣實驗，並將各控制因子安排在適當的行位置。

### (4) 實驗計劃執行

由直交表配置的製程參數進行射出成型實驗，成型後每組條件選擇兩塊導光板進行表面微結構量測，量測方式與微結構成型實驗相同，量測之微結構平均轉寫高度進行數據的分析計算，實驗中需注意環境清潔且室溫需保持一致，確保實驗之準確性。

### (5) 數據計算與解析

對每個實驗求出信號雜音比(S/N)，信號雜音比為評估實驗效能的一個統計量，分別求出每個因子所有實驗得到的S/N比平均值，將每因子在各水準下的平均效果作成回應表及回應圖。

$$\text{望大特性之 S/N 比 } \eta = -10\log(\text{MSD}) = -10\log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}\right) \text{dB}$$

$$\text{MSD} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \quad \text{即為均方偏差}$$

進行變異數分析(ANOVA)，變異數分析的主要目的為應用統計檢定的方法來辨識個別因素之影響效果，找出各因子的貢獻度(亦影響程度的大小)，以應用貢獻度比來彌補田口氏實驗無法研判各實驗參數對品質特性之影響能力及誤差程度等方面之不足。其基本公式如下：

$$\text{修正項 } CF = \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n \eta_i \right)^2$$

$$\text{變動 } S_A = \frac{A_1^2}{A_1} + \frac{A_2^2}{A_2} + \dots + \frac{A_K^2}{A_K} - CF$$

$$\text{總變動 } S_T = \sum_{i=1}^n \eta_i^2 - CF$$

$$\text{變異 } V_A = \frac{S_A}{f_A}, \quad f_A \text{ 為因素 A 的自由度。}$$

$$\text{純變動 } S_A' = S_A - f_A * V_e, \quad S_e' = S_T - S_A'$$

$$\text{貢獻率 } \rho_A = \frac{S_A'}{S_T} \times 100\%$$

#### (6) 最佳組合選取與推估

以回應表與變異數分析，選取顯著性較強的因子水準，推定其最佳製程參數組合，假設最佳水準組合為A1,B2,C3,D4，而A1,B2之因子影響較大，作為計算最佳推定值( $\eta_{opt}$ )：

$$\eta_{opt} = \bar{\eta} + (A1 - \bar{\eta}) + (B2 - \bar{\eta}), \quad \bar{\eta} \text{ 為 S/N 比平均值}$$

#### (7) 確認實驗

最後以最佳製程參數組合，再進行射出成型實驗及表面微結構量測，計算其 S/N 比及信賴區間確認之。

### 4.6 射出壓縮成型實驗

本實驗射出壓縮成型(Injection-Compression Molding, ICM)成型超薄型導光板並檢測表面微結構的成型狀況，以具有射出壓縮功能的實驗模具配合油電複合式 V 型機構射出成形機進行實驗，以單一參數法調整其壓縮力、壓縮速度、壓縮開始位置、預備動作壓力、預備動作速度、動作時間等參數，並進行微結構的輪廓檢測，而得到較佳的微結構成型性及射出壓

縮的製程參數，接著比較射出成型與射出壓縮成型對於微結構成型的影響及差異性，並使用光彈儀進行應力光彈量測，量測不同製程的導光板應力分佈情形。

#### 4.7 光學輝度檢測實驗

將射出成型及射出壓縮成型的超薄型導光板，組立成背光模組，利用輝度計採用九點量測法量測其光學輝度，其九點量測位置如圖 4-6 所示，與微結構量測位置相同，以比較微結構成型與光學性質之關係。光學輝度檢驗中重點為最大輝度及輝度均齊性，最大輝度需於背光模組中心而輝度均齊性為(最小輝度/最大輝度) $\times 100\%$ ，小尺寸面板均齊性為 70%以上為合格，而量測標準為 BM7 檢測視角為  $1^\circ$ ，輝度計與被測物距離為 500mm 如圖 4-8 所示，使用定電流迴路，LED 電流為 20mA。

表 4-1 出光-LC1500 光學級聚碳酸脂(PC)物性表

出光PC TARFLON

測 試 項 目		Unit	High reflect High Flow	High reflect	High transparent	
			URZ2500	URZ2502	LC1500	IR1900WW
比重		-	1.28	1.33	1.2	1.2
吸水率(23°C)		%			0.23	0.23
成型收縮率(MD)		%	0.5-0.7	0.5-0.6	0.5-0.7	0.5-0.7
拉伸特性	破壞強度	MPa	60	60	65	65
	破壞伸長率	%	40	80	95	95
彎曲特性	彎曲強度	MPa	90	90	90	90
	彈性率	MPa	2600	2600	2300	2300
卡畢耐沖擊強度	有缺口	KJ/m <sup>2</sup>	14	50	15	70
熱變形溫度HDT	1.82MPa	°C	120	120	124	125
	0.46MPa	°C	130	130		
燃燒性UL94		-	V-0(1.5)	V-0(1.5)	V-2(0.4)	V-2(1.5)
MVR		cm <sup>3</sup> /10min	34	21	65	19
光反射率		%	97	97.5		
光穿透率	1 mmt	%	0.6	0.3	92	90
成型加工	乾燥條件	°C & hr.	120 & 5	120 & 5	120 & 4-8	120 & 2
	成型溫度	°C	260-280	260-280	280-300	260-280
	模具溫度	°C	80-90	80-90	80-120	80-90
備 註					高輝度,高轉寫性(MVR: 65),適用於V-Cut及薄型(0.4~0.8mm)導光板設計	良輝度,無底色PC,適用於一般級抗衝型導光板設計

表 4-2 Sodick-TR30EH 油電複合式 V 型機構射出成形機規格表

**合模裝置**

合模方式	直壓式油電混合鎖模裝置
最大合模力 kN(tf)	294 ( 30 )
繫柱間隔 ( 橫×縱 ) mm	260 × 260
壓板尺寸 ( 橫×縱 ) mm	390 × 390
間隙 mm	400
最小/最大模具厚度 mm	150 / 300
頂出方式	電動伺服導螺桿驅動
頂出力 kN(tf)	7.3 ( 0.74 )
頂出行程 mm	50

**塑化射出裝置**

塑化射出方式	螺桿預塑、柱塞射出
螺桿直徑 mm	18
柱塞直徑 mm	16
最大射出壓力 MPa(kg/cm <sup>2</sup> )	262(2679)
理論射出容積 cm <sup>3</sup>	14(0.5oz)
射出率 cm <sup>3</sup> /sec	100
柱塞行程 mm	70
最大射出速度 *1 mm/sec	500
最大螺桿旋轉速度 rpm	400
溫度控制區數	4
加熱圈容量 kw	5.11
射出裝置移動行程 mm	230

表 4-3 微結構成型實驗參數配置

標準條件	
塑料溫度(°C)	300
模具溫度(°C)	90
射出速度(mm/s)	350
保壓壓力(Mpa)	150
保壓切換位置(mm)	5
保壓時間(sec)	1
冷卻時間(sec)	15

單一參數實驗的水準值	
塑料溫度(°C)	295、300、305、310、315
模具溫度(°C)	80、90、100、110、120
射出速度(mm/s)	320、340、360、380、400
保壓壓力(Mpa)	100、120、140、160、180
保壓切換位置(mm)	3、4、5、6、7
保壓時間(sec)	1、2、3、4、5
冷卻時間(sec)	10、15、20、25、30

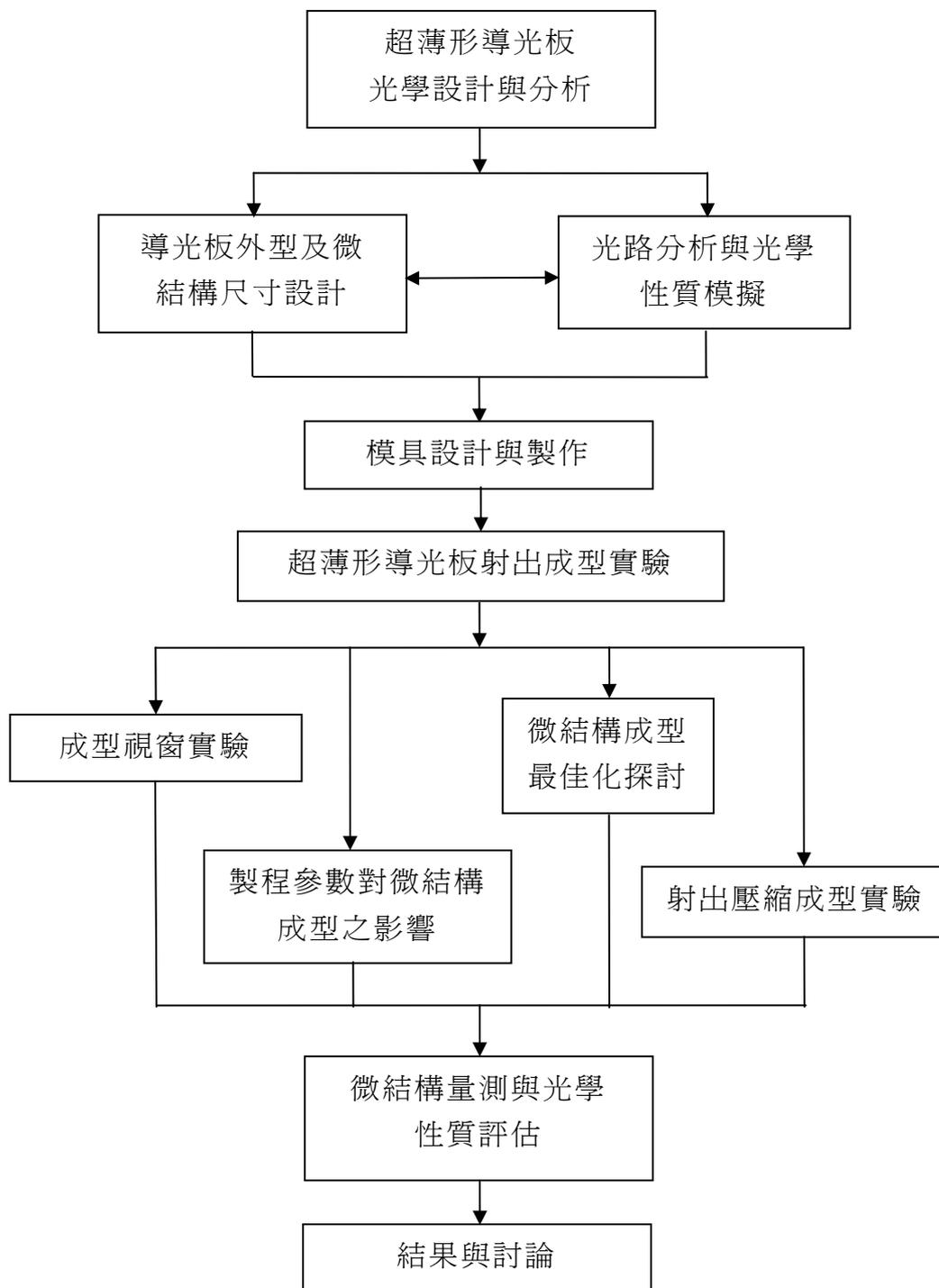


圖 4-1 超薄形導光板實驗流程圖



圖 4-2 Sodick-TR30EH 油電複合式 V 型機構射出成形機

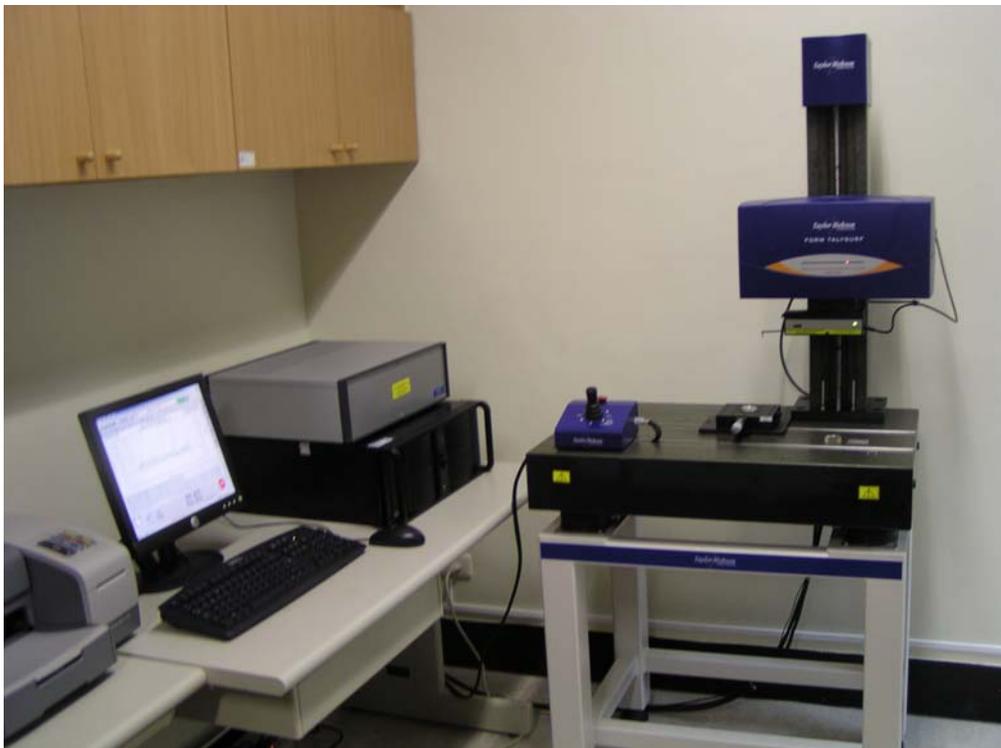


圖 4-3 Taylor Hobson Form Talysurf Laser 635 表面輪廓儀

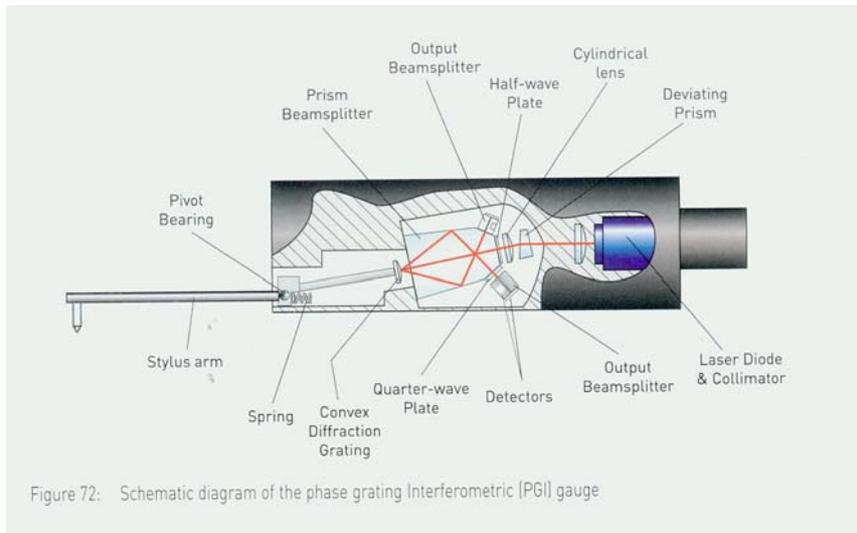


圖 4-4 表面輪廓儀收錄器構造圖



圖 4-5 BM7 + BA664 六軸輝度計

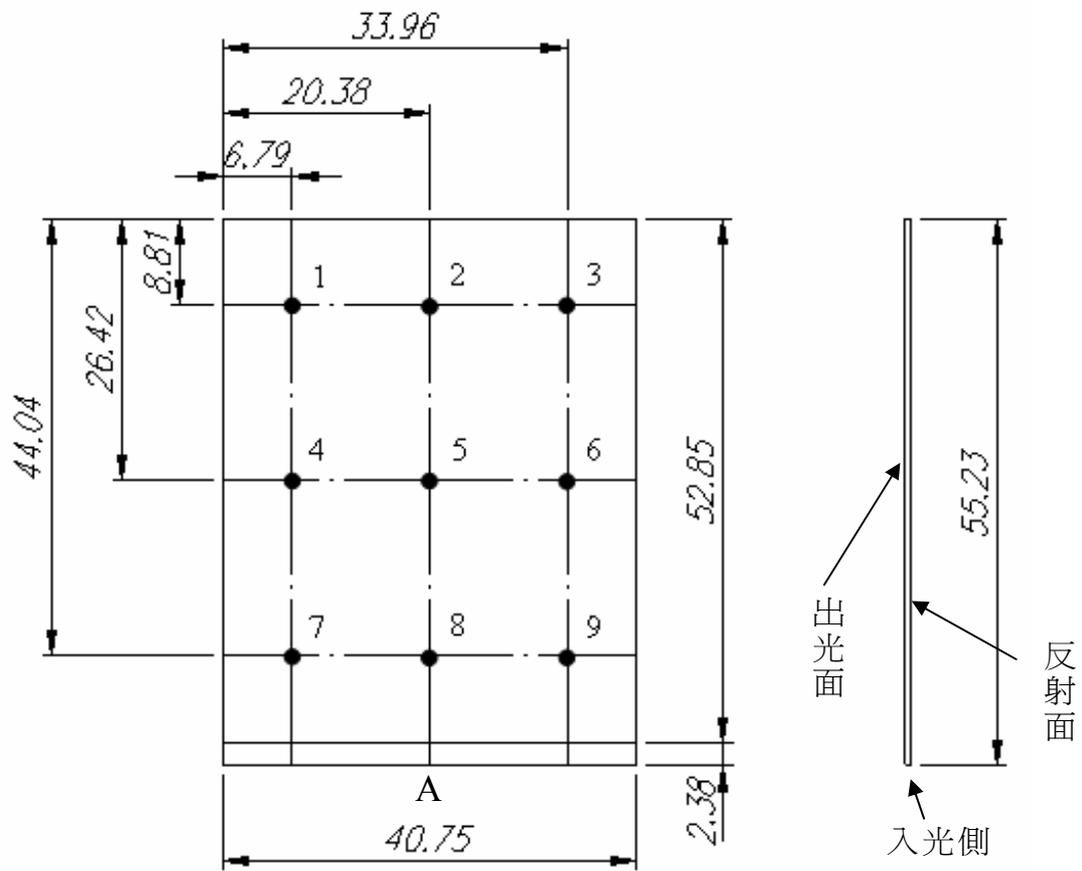


圖 4-6 V-溝微結構量測位置圖

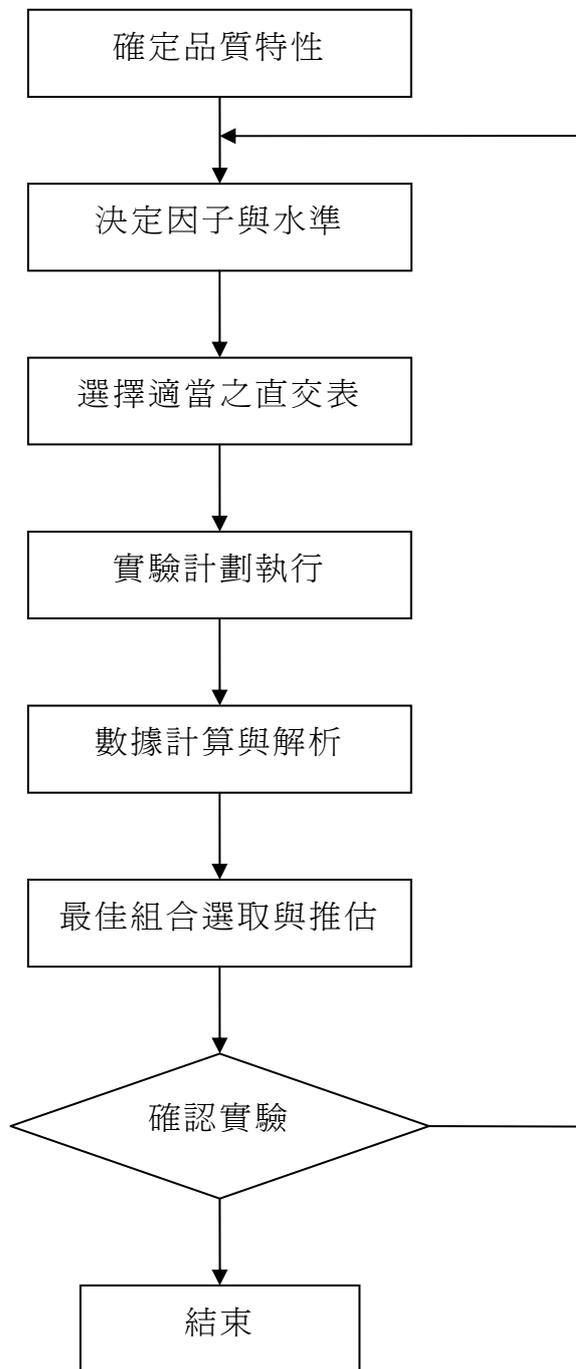


圖 4-7 田口氏實驗計畫法之實驗流程圖

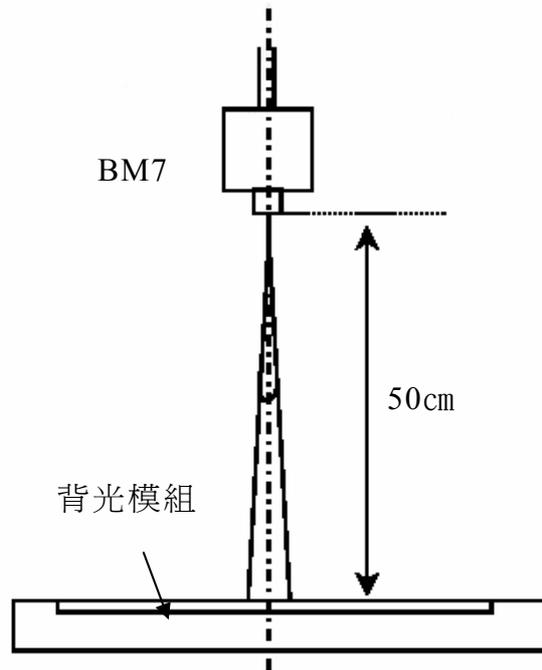


圖 4-8 背光模組光學輝度量測

## 第五章 超薄形導光板實驗結果與討論

### 5.1 成型視窗實驗探討

超薄形導光板因厚度為 0.6mm 且於上下表面與入光面皆有 V-溝微結構對於射出成型會有很大的影響，首先必須找出超薄形導光板可成型的製程參數範圍，而在薄殼件的射出成型，塑料溫度、模具溫度與射出速度為主要影響的製程參數，因此選定模具溫度與射出速度，繪出超薄形導光板之成型操作窗，且以不同的塑料溫度探討成型視窗的變化趨勢，而成型範圍條件定義成品能完全充填，當有短射及毛邊的成品屬於不可成型範圍，實驗結果如圖 5-1 所示。

由實驗結果發現超薄形導光板需要在非常高的射出速度才可成型，因導光板厚度薄且使用鈹銅材料的模仁，在充填過程中，熔膠會快速冷卻容易形成短射的現象，所以必須以高射出速度、高射出壓力的快速充填來避免固化層阻塞流道，而在高速充填下，熔膠黏度隨剪切率增加而減少且剪切熱會造成熔膠溫度瞬間上升，降低熔膠黏度提高流動性，以成形超薄形導光板。且可成型的射出速度範圍會因塑料溫度與模具溫度變化而改變，當塑料溫度為 290°C 時，其成形操作窗很小，射出速度必須達到 450 mm/s 以上且模具溫度需大於 100°C 時才可成形，而當塑料溫度逐漸上升時，成型視窗會有往左移的趨勢，當塑料溫度為 310°C 時，射出速度於 120~330 mm/s 間即可成形，塑料溫度提高所需的射出速度隨之降低且可成形的射出速度參數範圍增大。而射出速度參數範圍也隨著模具溫度變化，當模具溫度上升時所需的射出速度也會隨之降低。當塑料溫度與模具溫度較高時可使提高熔膠的流動性且使模面的熔膠較慢冷卻，使導光板易於成形且所需的射出速度及射出壓力較低，成型操作窗範圍也較大。

### 5.2 製程條件對微結構成型之影響

本實驗為探討不同製程條件對導光板入光側、出光面與反射面的 V-溝轉寫性之影響，而各表面之 V-溝設計尺寸與模仁量測值如圖 5-2 所示。實驗以單一參數法與配置的射出參數進行導光板的成形，使用表面輪廓儀

檢測 V-溝微結構的成型狀況，量測值以 V-溝高度的轉寫比例表示，當轉寫比例愈高，V-溝成型尺寸愈接近模仁尺寸；轉寫比例愈低，代表 V-溝充填不足，V-溝外型高度與模仁尺寸差異愈大。以下為各製程條件對微結構成形之探討。

### 1. 塑料溫度對微結構成形之影響

塑料溫度與各表面的 V-溝微結構成形的關係如圖 5-3 所示，各表面的 V-溝轉寫比例隨著塑料溫度提高而增加。塑料溫度上升，熔膠的流動性愈好，微結構就愈容易充填，而各表面 V-溝轉寫比例為出光面 > 入光側 > 反射面，轉寫比例最好的為出光面 V-溝且距離澆口愈近轉寫高度愈佳，其次為入光側，雖然 V-溝尺寸最大，但 V-溝角度為  $100^\circ$  且距離澆口最遠，壓力不易傳遞而容易產生收縮的情形，造成 V-溝轉寫比例較低，而轉寫比例最差的為反射面 V-溝，因 V-溝尺寸最小，熔膠不易充填且轉寫高度隨離澆口的距離逐漸變低。

### 2. 模具溫度對微結構成形之影響

模具溫度與各表面的 V-溝微結構成形的關係如圖 5-4 所示，模具溫度於  $80\sim 100^\circ\text{C}$  時 V-溝轉寫比例變化不大，當模具溫度於  $100^\circ\text{C}$  以上時，V-溝轉寫比例愈佳，隨著模具溫度的提高，於模面的熔膠會較慢冷卻，固化層產生較晚，當有適時的射出壓力時，V-溝易於充填成形。其各表面 V-溝轉寫比例為出光面 > 入光側 > 反射面。

### 3. 射出速度對微結構成形之影響

射出速度與各表面的 V-溝微結構成形的關係如圖 5-5 所示，V-溝轉寫比例隨射出速度增加，而轉寫比例愈高。當射出速度逐漸提高，熔膠黏度隨剪切率增加而減少且剪切熱會造成熔膠溫度瞬間上升，產生剪切稀薄及黏滯加熱等現象，降低熔膠黏度，使熔膠的流動性愈好，V-溝轉寫比例增加。而各表面 V-溝轉寫比例為出光面 > 入光側 > 反射面。

#### 4. 保壓壓力對微結構成形之影響

保壓壓力與各表面的 V-溝微結構成形的關係如圖 5-6 所示，保壓壓力的變化對於出光面 V-溝轉寫比例較無影響，而對於入光側及反射面轉寫比例較低的 V-溝，會隨著保壓壓力的增加，轉寫比例而隨之上升。其 V-溝轉寫比例為出光面 > 入光側 > 反射面。

#### 5. 保壓切換位置、保壓時間與冷卻時間對微結構成形之影響

保壓切換位置、保壓時間、冷卻時間與各表面的 V-溝微結構成形的關係如圖 5-7、圖 5-8、圖 5-9 所示。由表中可看出保壓切換位置、保壓時間、冷卻時間的製程參數變化對於 V-溝轉寫比例較無顯著的影響，超薄形導光板的充填時間短且冷卻快速，所以對於切換點及時間參數影響較小，而各表面的 V-溝轉寫比例依然為出光面 > 入光側 > 反射面。

### 5.3 微結構成型最佳化探討

在探討完各製程條件與微結構成型的關係之後，接著進行 V-溝微結構成型最佳化的研究，以田口氏實驗計畫法尋求成形條件對 V-溝成型的最佳組合，以提高 V-溝轉寫性。首先選定品質特性為望大特性，以出光面之 V-溝轉寫高度最大為目的，而控制因子方面在微結構成型實驗中，以塑料溫度、模具溫度、射出速度、保壓壓力對於 V-溝轉寫性有較大的影響所以選用這四個製程條件當作控制因子，每個因子取三個水準如表 5-1 所示，自由度為  $4 \times (3-1) = 8$ ，所以選定 L9( $3^4$ )直交表配置並進行成型實驗，L9 直交表如表 5-2 所示。

以導光板模具利用射出成型機，搭配 L9 直交表進行導光板成型實驗，之後再進行導光板表面的微結構量測，量測位置與方式與微結構成型實驗相同，並計算表面轉寫高度之標準差，當標準差愈低代表此面的 V-溝轉寫高度愈平均，量測結果如表 5-3 所示，而信號雜因比 S/N 計算如表 5-4 所示。計算出信號雜因比之後，建立回應表、回應圖如表 5-5、圖 5-10 所示，推斷出最佳 V-溝轉寫高度之條件為 A3、B3、C2、D1。在此條件下進行實驗確認，最佳條件為 A3(塑料溫度：305° C)、B3(模具溫度：100° C)、C2(射

出速度：390 mm/sec)、D1(保壓壓力：120 Mpa)，實驗結果如表 5-6 所示，最佳入光側 V-溝的平均轉寫高度為 25.03 $\mu\text{m}$ 、充填比例為 86.32%，標準差為 0.208；出光面 V-溝的平均轉寫高度為 12.61 $\mu\text{m}$ 、充填比例為 90.73%，標準差為 0.359；反射面 V-溝的平均轉寫高度為 4.12 $\mu\text{m}$ 、充填比例為 76.34%，標準差為 0.514。顯示在最佳條件下確實能有效提高 V-溝微結構的成型性。

由實驗計畫法所得各組的 S/N 值進行變異數分析，其結果如表 5-7 所示。對於 V-溝成型的影響貢獻度依序如下：塑料溫度為 75.8%、模具溫度為 18.3%、保壓壓力為 5.02%、射出速度為 0.88%，其中以塑料溫度的貢獻度為最高，是主要的關鍵因子，而保壓壓力與射出速度的貢獻度相對小，對於 V-溝微結構成型影響較小。

超薄型導光板的充填過程只需 0.2sec 的時間，而其表面微結構的成型決定於熔膠接觸於模面的瞬間，當塑料溫度愈高時，熔膠的黏度愈低流動性愈好，當有適當的射出壓力，就易於成型微小的 V-溝結構使熔膠能盡量的流入 V-溝的尖端；且當模具溫度較高時，流進 V-溝結構的熔膠會較慢冷卻，有助 V-溝結構的成型，在較高的塑料溫度及模具溫度下會使得整體的 V-溝轉寫尺寸較一致，使成型的高度差異降到最小。因此對於 V-溝微結構的成型，塑料溫度及模具溫度為影響轉寫性的重要製程條件。

#### 5.4 射出壓縮成型對微結構成型之探討

本文所使用之射出壓縮成型是在傳統射出成型的充填過程中加入一段壓縮步驟。首先在射出階段前以低鎖模壓力鎖模，射出時因射出壓力逐漸增大迫使模具打開，使模穴空間加大，因而降低流動阻力，當完成射出動作後再利用射出機的鎖模機構，使模板移動進行壓縮動作，以均勻施壓方式成型導光板。而所使用的操作條件如表 5-8 所示，實驗參數包括壓縮力、壓縮速度、壓縮開始位置、動作時間等。

表 5-9 為射出壓縮成型的 V-溝量測結果，最佳入光側 V-溝的平均轉寫高度為 27.7 $\mu\text{m}$ 、充填比例為 95.52%、標準差為 0.208；出光面 V-溝的平均轉寫高度為 12.41 $\mu\text{m}$ 、充填比例為 89.29%、標準差為 0.176；反射面 V-溝的平均轉寫高度為 4.04 $\mu\text{m}$ 、充填比例為 74.90%、標準差為 0.368。顯示以射出壓縮成型可得到較佳的入光側 V-溝的轉寫性且各表面之標準差

低，V-溝轉寫均勻。

使用表面輪廓儀量測導光板的翹曲分佈，量測結果如圖 5-11 所示。以射出成型(田口)之導光板總翹曲量為  $17.15\mu\text{m}$ ，射出壓縮成型之導光板總翹曲量為  $9.83\mu\text{m}$ ，以射出壓縮成型其翹曲量較小。再者使用光彈儀量測導光板之應力分佈，量測結果如圖 5-12 所示。射出成型的導光板，在澆口附近有明顯的光彈條紋，且條紋分佈密集，表示應力集中的現象愈明顯，這主要是射出成型時的高射速及高射壓，造成澆口附近有較大的殘留應力。而以射出壓縮成型的導光板，澆口附近無明顯的光彈條紋，顯示澆口應力集中的現象已獲得改善。其主要原因是射出壓縮成型時，因模具空間變大可降低射出壓力，並使用全面壓縮方式可減少因高速高壓所造成的分子定向及應力集中。

## 5.5 微結構成型與導光板光學性質之關係

在此比較原始條件、田口氏最佳條件與射出壓縮成型的導光板，其 V-溝微結構的轉寫性與光學性質。原始條件的製程參數(標準條件)如表 4-3 所示，而其 V-溝量測結果如表 5-10，與田口氏及射出壓縮的 V-溝量測結果相互比較，並觀察 V-溝的轉寫外型。導光板的成品與光學顯微鏡量測如圖 5-13 所示。

首先觀察入光側的 V-溝微結構，圖 5-14 顯示為各製程條件所成型的 V-溝外型，原始條件的 V-溝轉寫高度低，轉寫比例為 68%，且 V-溝的前端以變成圓弧型；而依田口氏最佳條件，V-溝轉寫高度提高，轉寫比例為 86%，且前端圓弧變小；射出壓縮成型的 V-溝轉寫比例最高為 96%，且外型最接近於模仁尺寸。射出成型製程因入光側遠離澆口，壓力不易傳遞而容易產生收縮的情形，造成 V-溝轉寫比例較低；射出壓縮成型於充填過程加入壓縮步驟，使導光板成型壓力均勻，而得到良好入光側 V-溝微結構的轉寫性。

於出光面的 V-溝微結構，圖 5-15 顯示為各製程條件之 V-溝外型，原始條件的 V-溝頂端成型較差，平均轉寫比例為 83%；田口氏最佳條件的 V-溝轉寫比例為 91%；而射出壓縮成型的 V-溝轉寫比例為 89%，各製程條件的轉寫比例高且較接近。各製程的主要的差別在於標準差，標準差為原始條件(1.039) > 田口(0.359) > 射壓(0.176)，以射出壓縮製程可讓標準差

由 1.039 降至 0.176，以射出壓縮製程的出光面 V-溝，轉寫高度均勻。

反射面的 V-溝微結構，圖 5-16 顯示為各製程條件之 V-溝外型，V-溝轉寫比例為田口(76%)>射壓(75%)>原始條件(55%)，原始條件轉寫比例最低，而射壓與田口的轉寫比例接近，因 V-溝尺寸小，最高的轉寫比例為 76%，低於入光側及出光面的轉寫比例。各製程的標準差為原始條件(1.172)>田口(0.514)>射壓(0.368)，射出壓縮的轉寫高度最均勻。

將導光板組立成背光模組如圖 5-17 所示，利用輝度計量測其光學輝度，以原始條件成型的導光板，其光學量測結果如表 5-11 及圖 5-18 所示。最高輝度為 2777 nt，平均輝度 1903 nt，輝度均齊性為 41.63%。其平均輝度低主要是因為入光側 V 溝轉寫差，而使光利用率降低。且反射面與出光面其標準差大，整面的 V 溝轉寫尺寸差異大，造成光線集中於背光模組的中後半部出光，而使輝度均齊性降低。

以田口式最佳條件成型的導光板，其光學量測結果如表 5-12 及圖 5-19 所示。最高輝度為 2580nt，出現在導光板中心，平均輝度 2115 nt，輝度均齊性為 53.3%，因入光側轉寫比例提高，使光利用率上升，且出光面轉寫比例也增加，相對的提高其正向輝度，使整體的平均輝度增加。而反射面的轉寫性變好且標準差降低，使均齊性提升。

而以射出壓縮成型的超薄型導光板，其光學量測後數據如表 5-13 及圖 5-20 所示，其最高輝度為 2562nt、平均輝度 2226 nt，輝度均齊性為 64.7%，平均輝度與輝度均齊性較射出成型優異。這主要是因為射出壓縮成型的入光側轉寫比例能提高至 96%，且反射面與出光面的 V-溝轉寫均勻，輝度均齊性相對提高。

表 5-1 田口氏實驗計畫法因子與水準表

因子\水準	I	II	III
A. 塑料溫度(° C)	295	300	305
B. 模具溫度(° C)	80	90	100
C. 射出速度(mm/sec)	380	390	400
D. 保壓壓力(Mpa)	120	150	180

表 5-2 田口氏實驗計畫法 L9 直交表

NO.\行	1 A 塑料溫度	2 B 模具溫度	3 C 射出速度	4 D 保壓壓力
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

表 5-3 田口氏實驗計畫 V-溝量測結果

<b>N01</b>		左	中(澆口)	右	V-cut 平均轉寫高度	標準差
1	尾端	12.7	12.9	12.5	11.91	0.9307
	中間	12.3	12.2	12.5		
	入光測	10.7	10.7	10.7		
2	尾端	12.5	13	12.5	11.92	0.9404
	中間	12.4	12.3	12.5		
	入光測	10.6	10.6	10.9		
<b>N02</b>		左	中(澆口)	右	V-cut 平均轉寫高度	標準差
1	尾端	12.4	12.9	12.4	11.93	0.9138
	中間	12.5	12.4	12.6		
	入光測	10.7	10.7	10.8		
2	尾端	12.6	13.1	12.6	11.92	1.0208
	中間	12.4	12.3	12.5		
	入光測	10.6	10.4	10.8		
<b>N03</b>		左	中(澆口)	右	V-cut 平均轉寫高度	標準差
1	尾端	12.7	13	12.6	12.11	0.8695
	中間	12.7	12.6	12.5		
	入光測	11	10.9	11		
2	尾端	12.6	12.9	12.6	11.97	0.9381
	中間	12.5	12.4	12.5		
	入光測	10.7	10.6	10.9		

表 5-3 田口氏實驗計畫 V-溝量測結果(續)

<b>N04</b>		左	中(澆口)	右	<b>V-cut 平均轉 寫高度</b>	<b>標準差</b>
1	尾端	12.3	12.8	12.5	12.08	0.6572
	中間	12.6	12.2	12.6		
	入光測	11.2	11.2	11.3		
2	尾端	12.7	13.1	12.7	12.02	0.9922
	中間	12.5	12.3	12.7		
	入光測	10.7	10.6	10.9		
<b>N05</b>		左	中(澆口)	右	<b>V-cut 平均轉 寫高度</b>	<b>標準差</b>
1	尾端	12.6	12.9	12.7	12.16	0.6444
	中間	12.5	12.2	12.5		
	入光測	11.3	11.3	11.4		
2	尾端	12.7	13	12.5	12.17	0.7018
	中間	12.4	12.4	12.7		
	入光測	11.4	11.2	11.2		
<b>N06</b>		左	中(澆口)	右	<b>V-cut 平均轉 寫高度</b>	<b>標準差</b>
1	尾端	12.6	12.9	12.7	12.20	0.6928
	中間	12.7	12.4	12.6		
	入光測	11.5	11.2	11.2		
2	尾端	12.6	12.9	12.6	12.17	0.6892
	中間	12.5	12.4	12.7		
	入光測	11.3	11.2	11.3		

表 5-3 田口氏實驗計畫 V-溝量測結果(續)

<b>N07</b>		左	中(澆口)	右	<b>V-cut 平均轉 寫高度</b>	<b>標準差</b>
1	尾端	12.5	12.9	12.3	12.10	0.6671
	中間	12.6	12.2	12.6		
	入光測	11.5	11	11.3		
2	尾端	12.6	12.9	12.5	12.34	0.4613
	中間	12.7	12.4	12.7		
	入光測	11.8	11.6	11.9		
<b>N08</b>		左	中(澆口)	右	<b>V-cut 平均轉 寫高度</b>	<b>標準差</b>
1	尾端	12.5	12.9	12.5	12.32	0.3866
	中間	12.6	12.2	12.6		
	入光測	11.8	11.9	11.9		
2	尾端	12.5	12.9	12.2	12.31	0.4961
	中間	12.8	12.4	12.8		
	入光測	11.9	11.5	11.8		
<b>N09</b>		左	中(澆口)	右	<b>V-cut 平均轉 寫高度</b>	<b>標準差</b>
1	尾端	12.7	13	12.5	12.51	0.2759
	中間	12.6	12.6	12.6		
	入光測	12.3	12.1	12.2		
2	尾端	12.6	13.3	12.7	12.61	0.3586
	中間	12.8	12.4	12.9		
	入光測	12.2	12.4	12.2		

表 5-4 信號雜因比 S/N

y1	y2	Y <sub>ave</sub>	MSD	S/N(η)
11.91	11.92	11.92	0.007042	21.523093
11.93	11.92	11.93	0.007029	21.531188
12.11	11.97	12.04	0.006900	21.611259
12.08	12.02	12.05	0.006887	21.619672
12.16	12.17	12.16	0.006762	21.699462
12.20	12.17	12.18	0.006737	21.715298
12.10	12.34	12.22	0.006696	21.741701
12.32	12.31	12.32	0.006592	21.809861
12.51	12.61	12.56	0.006338	21.980355
S/N(ave)				21.692432

表 5-5 回應表

	A	B	C	D
1	21.555180	21.628155	21.682751	21.734303
2	21.678144	21.680170	21.710405	21.662729
3	21.843972	21.768971	21.684141	21.680264
Max-Min	0.288792	0.140816	0.027654	0.071574
最佳組合	A3	B3	C2	D1

表 5-6 田口式最佳條件的 V-溝量測結果

田口最佳條件		左	中(澆口)	右	平均轉寫高度(um)	充填比例	標準差
入光側		25.2	24.8	25.1	25.03	86.32%	0.208
出光面	尾端	12.6	13.3	12.7	12.61	90.73%	0.359
	中間	12.8	12.4	12.9			
	入光測	12.2	12.4	12.2			
反射面	尾端	4.6	4.8	4.7	4.12	76.34%	0.514
	中間	4.2	3.8	4.3			
	入光測	3.5	3.5	3.7			

表 5-7 變異數分析

因子	變動 (S)	f	變異 (V)	純變動 (S')	貢獻度
A	0.126	2	0.063	0.126	75.80%
B	0.030	2	0.015	0.030	18.30%
C	0.001	2	0.001	0.001	0.88%
D	0.008	2	0.004	0.008	5.02%
e	3.63798E-12	0			
e <sub>T</sub>	3.63798E-12	0			
T	0.166	8		0.166	100.00%

表 5-8 射出壓縮成型實驗參數

壓縮力(%)	90.0
壓縮速度(%)	90.0
壓縮開始位置(mm)	5.0
延遲時間(sec)	0.0
動作時間(sec)	3.0
預備動作壓力(%)	1.0
預備動作速度(%)	1.0
預備動作時間(sec)	1.0
壓力消除時間(sec)	0.0
模厚調整(mm)	0.0

表 5-9 射出壓縮成型 V-溝量測結果

射出壓縮		左	中(澆口)	右	平均轉寫高度(um)	充填比例	標準差
入光側		27.7	27.8	27.5	27.67	95.40%	0.153
出光面	尾端	12.3	12.7	12.4	12.41	89.29%	0.176
	中間	12.5	12.2	12.5			
	入光測	12.3	12.2	12.6			
反射面	尾端	4.5	4.5	4.5	4.04	74.90%	0.368
	中間	3.8	3.6	4.1			
	入光測	3.8	3.7	3.9			

表 5-10 原始條件 V-溝量測結果

原始條件		左	中(澆口)	右	平均轉寫高度(um)	充填比例	標準差
入光側		19.4	20.2	19.6	19.73	68.05%	0.416
出光面	尾端	12.3	12.6	12.2	11.57	83.21%	1.039
	中間	12.1	12	12.3			
	入光測	10.3	10.1	10.2			
反射面	尾端	3.9	4.1	4.0	4.04	54.53%	1.172
	中間	3.5	3.1	3.6			
	入光測	1.5	1.4	1.4			

表 5-11 原始條件-光學輝度量測

量測點	色度 x	色度 y	輝度 L	色溫 Tc
1	0.3305	0.3263	1662	5588
2	0.3271	0.3218	2692	5766
3	0.3272	0.3261	1156	5753
4	0.3288	0.3245	1823	5675
5	0.3253	0.3193	2777	5868
6	0.3253	0.3237	1245	5856
7	0.3243	0.3223	1671	5913
8	0.3212	0.3133	2745	6122
9	0.3197	0.3179	1357	6185
x_avg	y_avg	L_avg	Tc_avg	
0.3255	0.3217	1903.11	5858.35	
L_max	max 位置	L_min	min 位置	L 均勻度
2777	5	1156	3	41.628

表 5-12 田口式最佳條件-光學輝度量測

量測點	色度 x	色度 y	輝度 L	色溫 Tc
1	0.3295	0.3266	1433	5637
2	0.3242	0.3213	2508	5921
3	0.3199	0.3189	2351	6168
4	0.328	0.3238	1518	5716
5	0.3218	0.3193	2580	6060
6	0.3196	0.3167	2383	6197
7	0.3262	0.3199	1375	5818
8	0.3174	0.3135	2450	6346
9	0.3132	0.3077	2441	6660
x_avg	y_avg	L_avg	Tc_avg	
0.3222	0.3186	2115.44	6058.17	
L_max	max 位置	L_min	min 位置	L 均勻度
2580	5	1375	7	53.295

表 5-13 射出壓縮成型-光學輝度量測

量測點	色度 x	色度 y	輝度 L	色溫 Tc
1	0.3265	0.3289	1706	5783
2	0.3222	0.3179	2463	6043
3	0.3196	0.3177	2477	6192
4	0.324	0.3268	1841	5915
5	0.3203	0.3161	2562	6160
6	0.3182	0.3163	2463	6281
7	0.3226	0.3234	1657	6000
8	0.3158	0.3096	2423	6475
9	0.3125	0.3064	2445	6720
x_avg	y_avg	L_avg	Tc_avg	
0.3202	0.3181	2226.33	6174.24	
L_max	max 位置	L_min	min 位置	L 均勻度
2562	5	1657	7	64.676

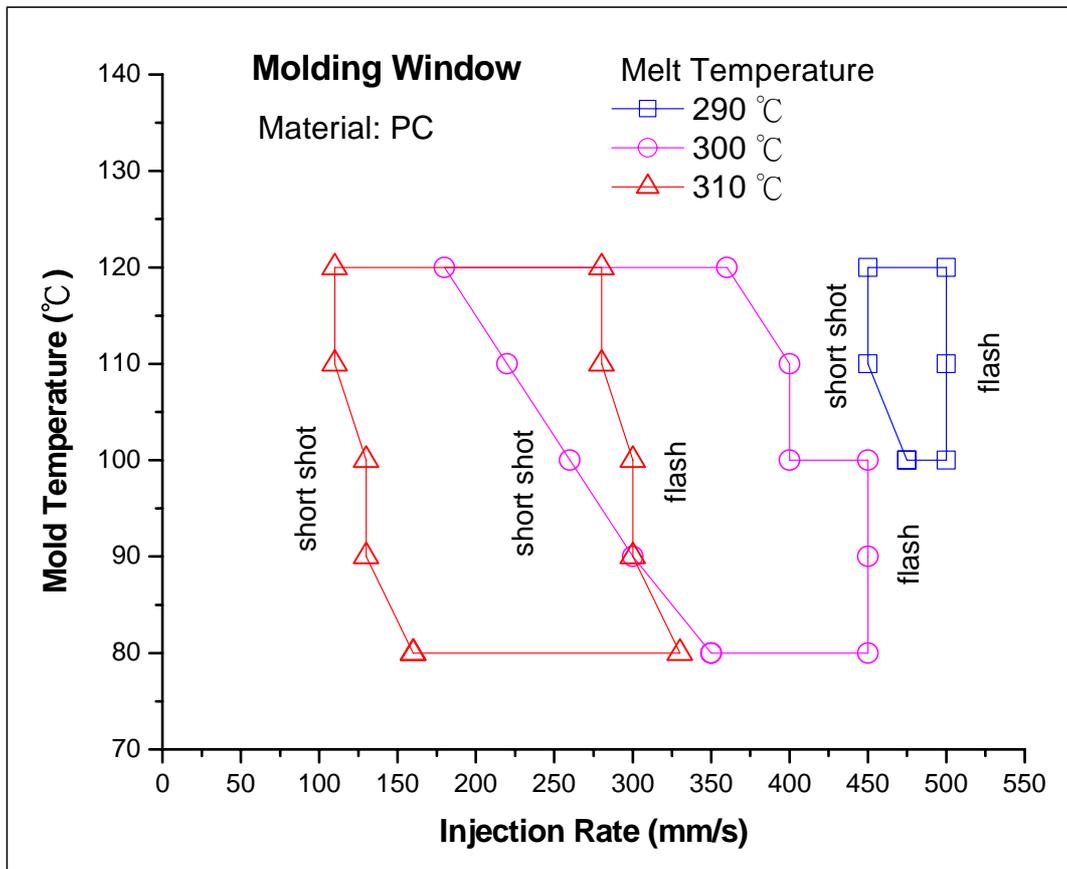
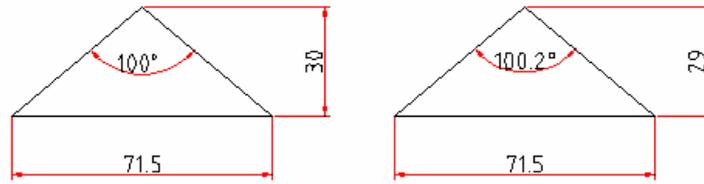
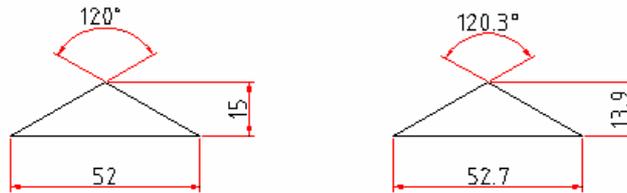


圖 5-1 成形視窗

入光側 V-溝



出光面 V-溝



反射面 V-溝



單位：μm

光學設計尺寸

模仁量測尺寸

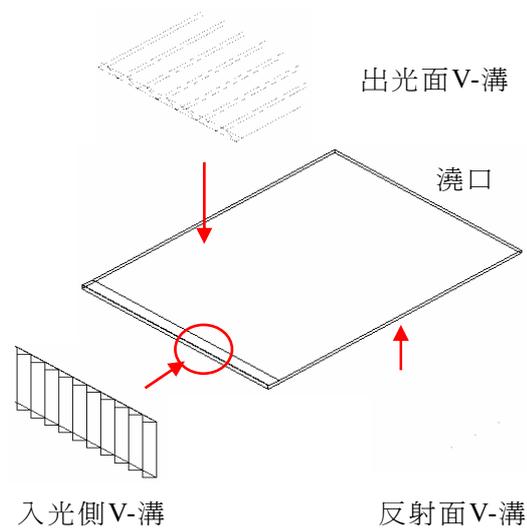


圖 5-2 V-溝設計尺寸與模仁量測尺寸

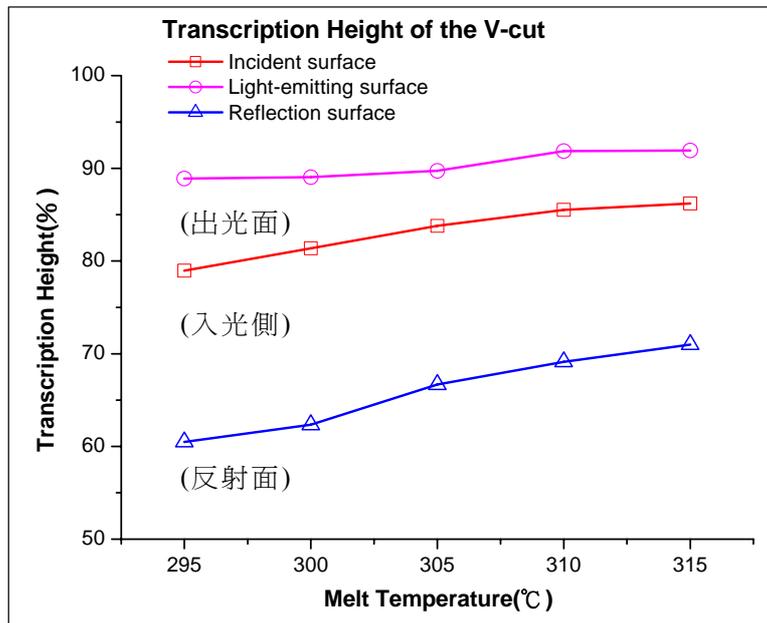


圖 5-3 塑料溫度對微結構成形之影響

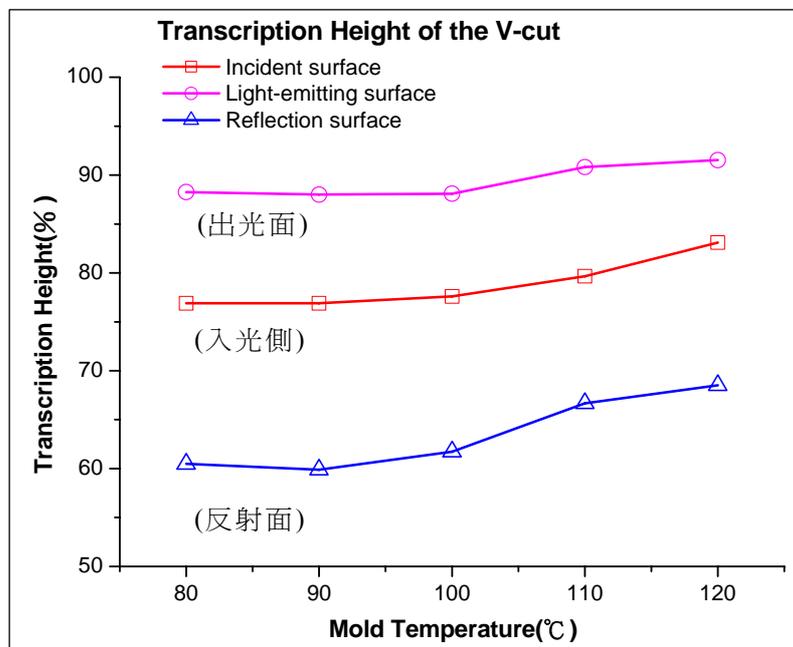


圖 5-4 模具溫度對微結構成形之影響

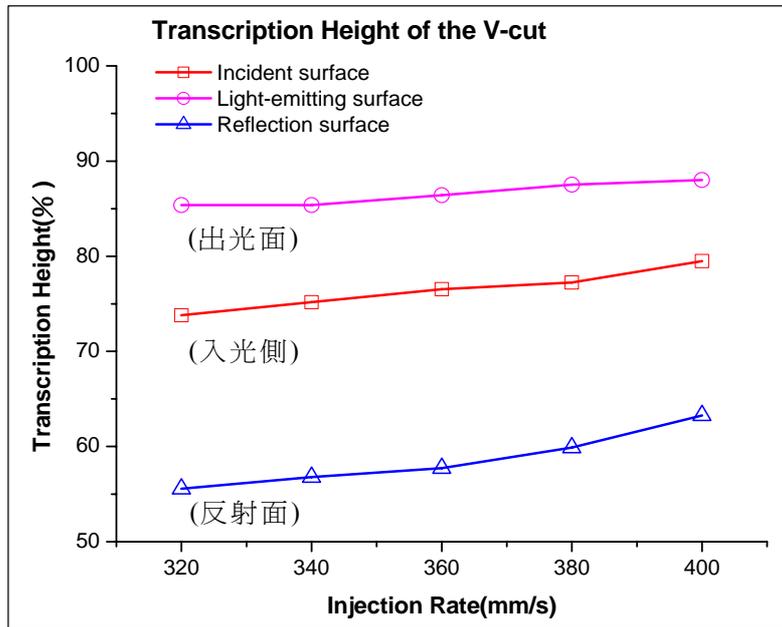


圖 5-5 射出速度對微結構成形之影響

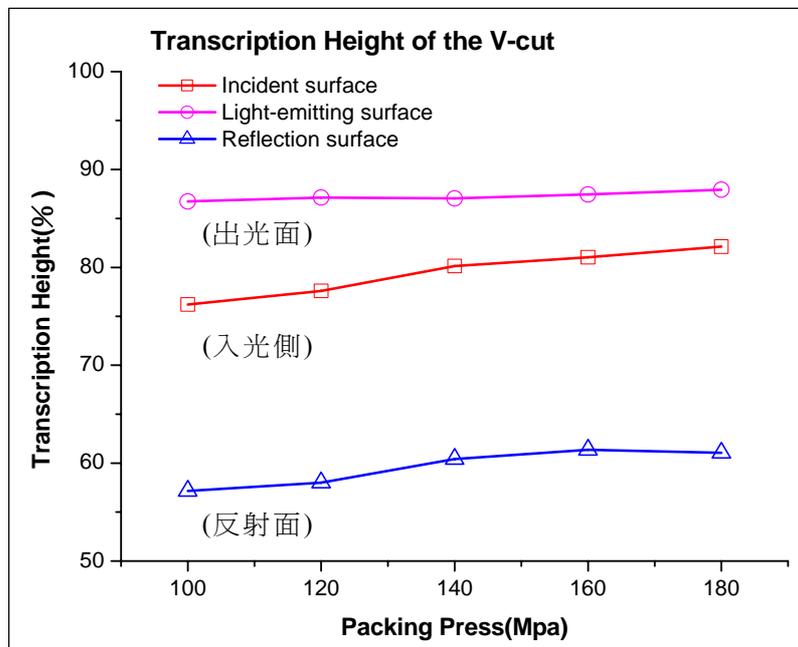


圖 5-6 保壓壓力對微結構成形之影響

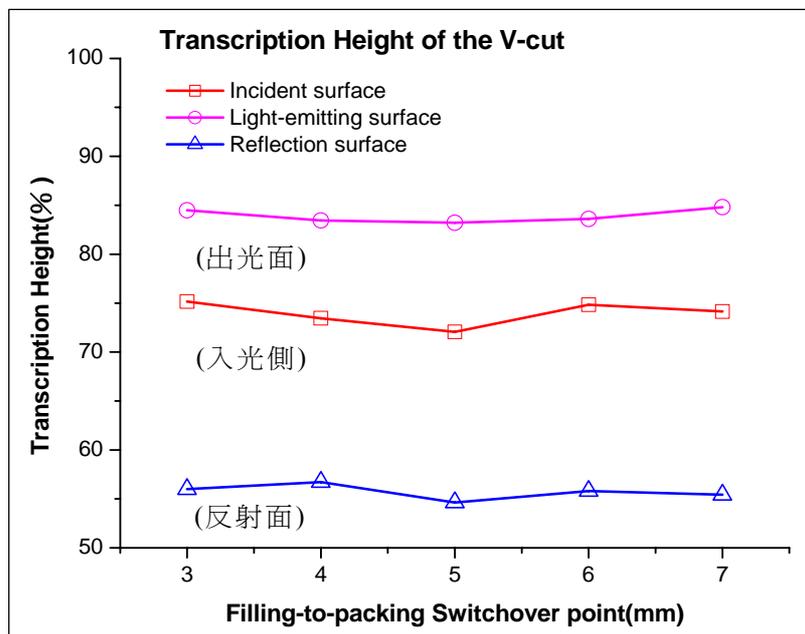


圖 5-7 保壓切換位置對微結構成形之影響

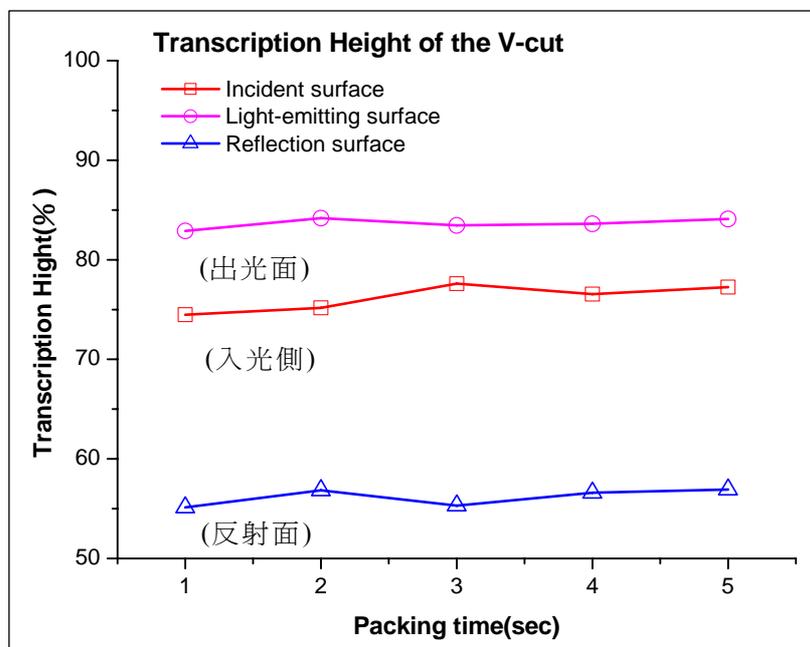


圖 5-8 保壓時間對微結構成形之影響

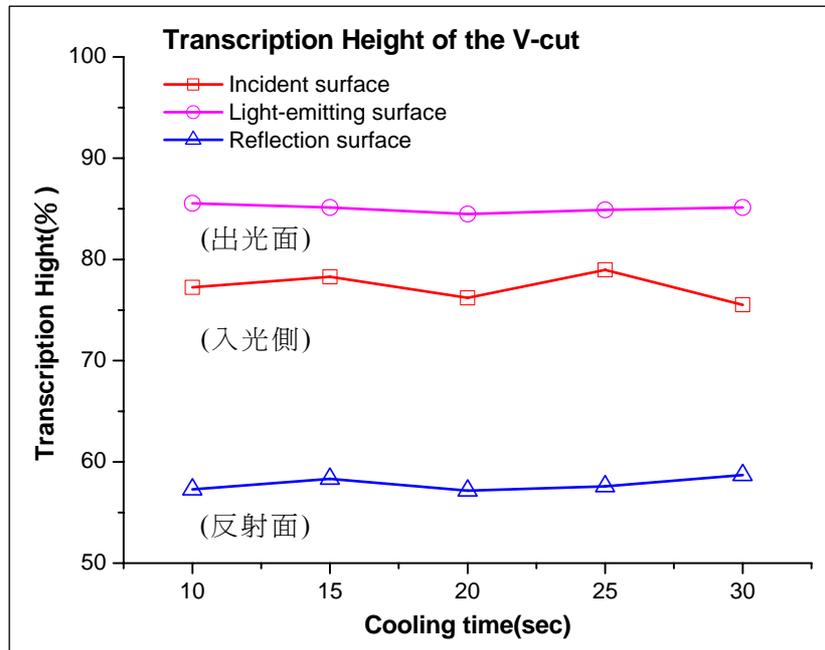


圖 5-9 冷卻時間對微結構成形之影響

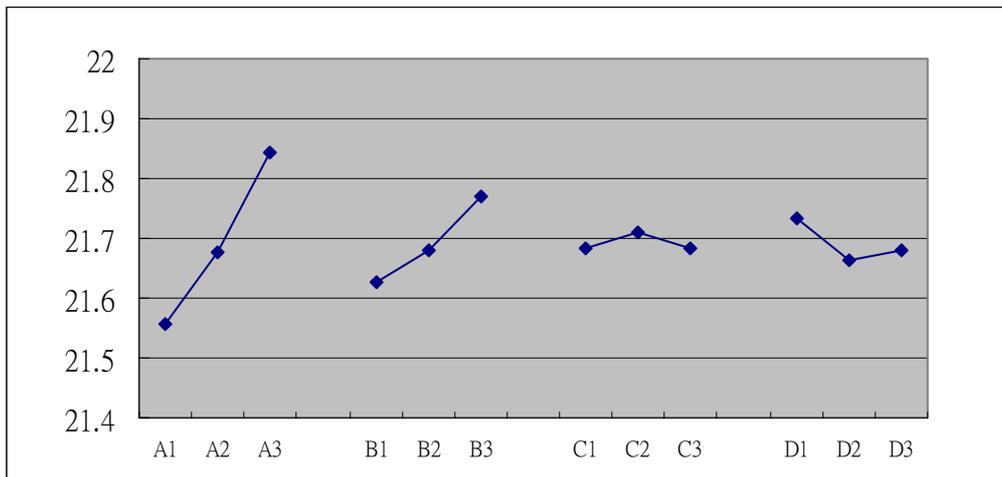
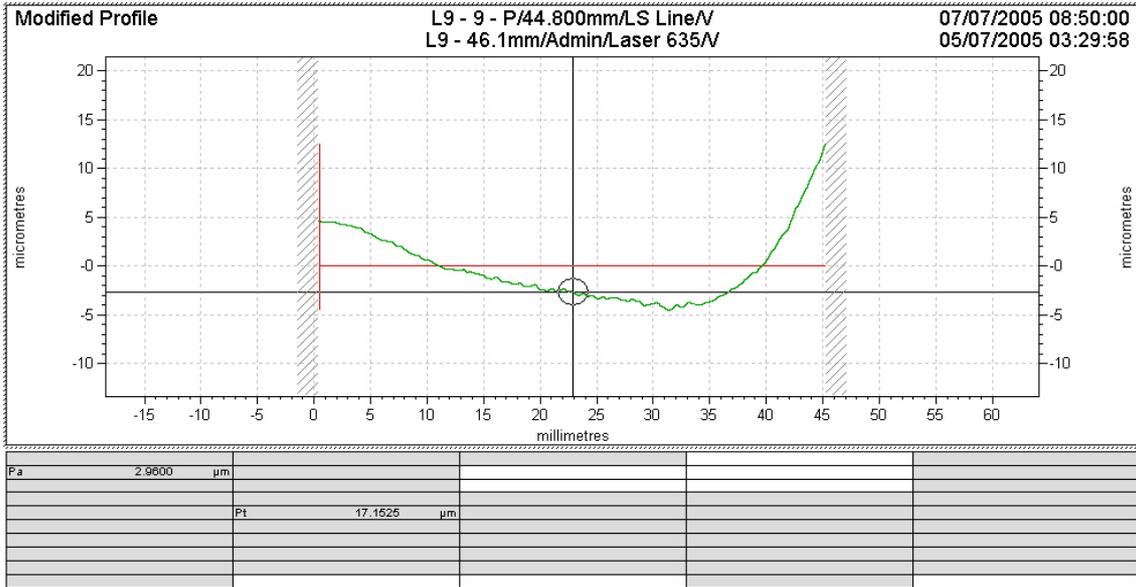
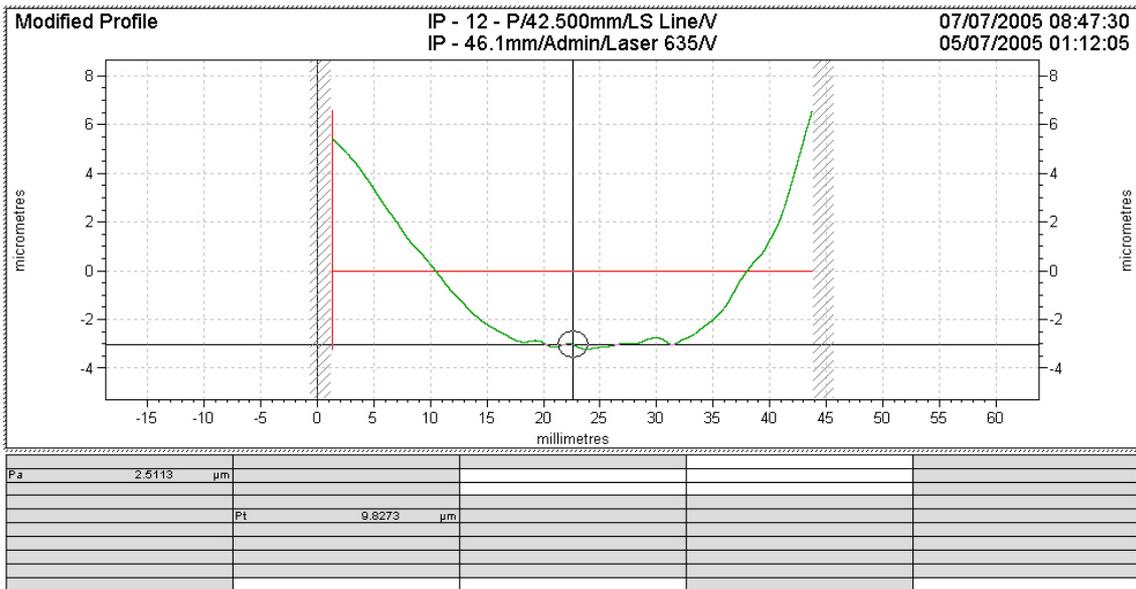


圖 5-10 回應圖

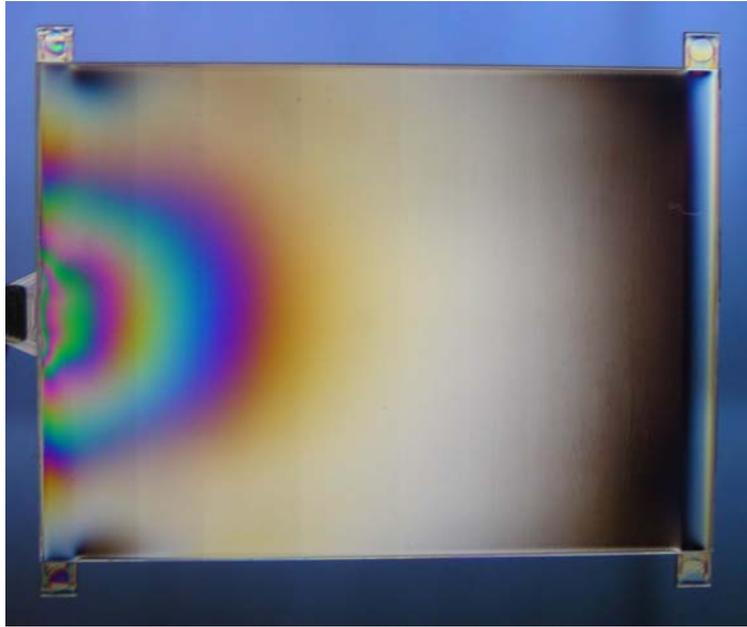


射出成型-田口氏最佳條件(總翹曲為 17.15µm)

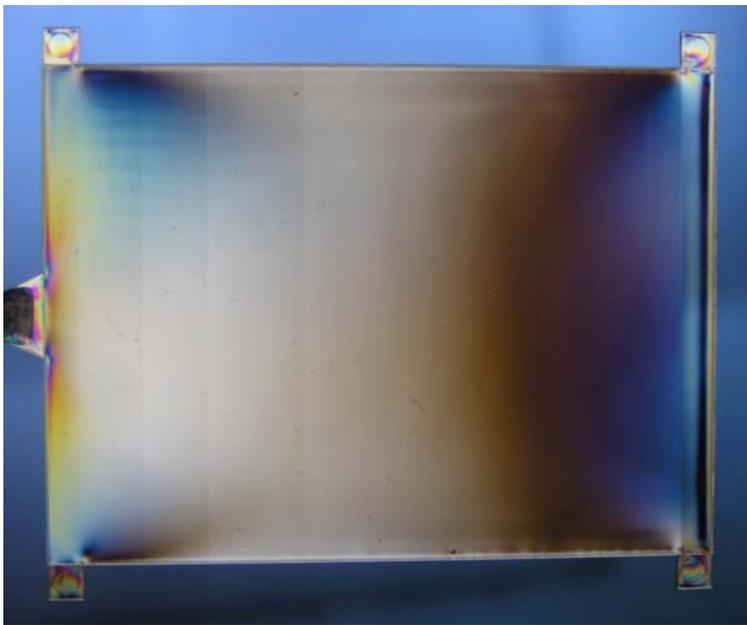


射出壓縮成型(總翹曲為 9.83µm)

圖 5-11 導光板翹曲量測



射出成型應力光彈圖

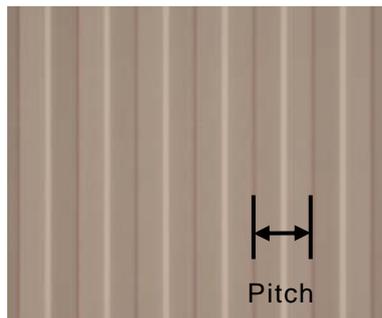


射出壓縮成型應力光彈圖

圖 5-12 應力光彈量測



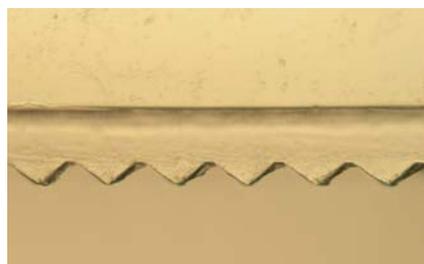
(a)導光板成品圖



出光面V-溝



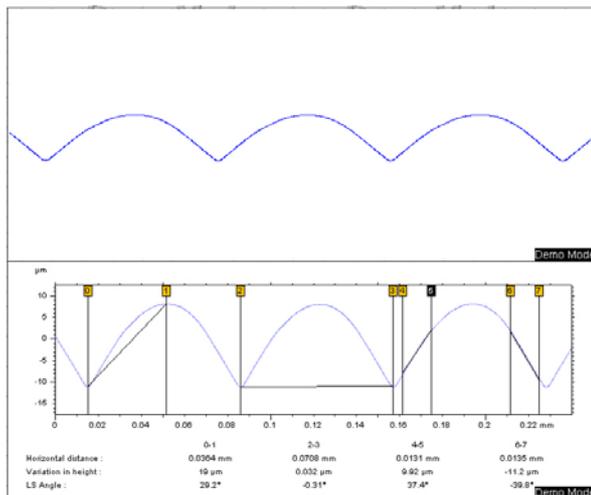
反射面V-溝



入光側V-溝

(b)光學顯微鏡量測

圖 5-13 超薄型導光板成品及光學顯微鏡量測



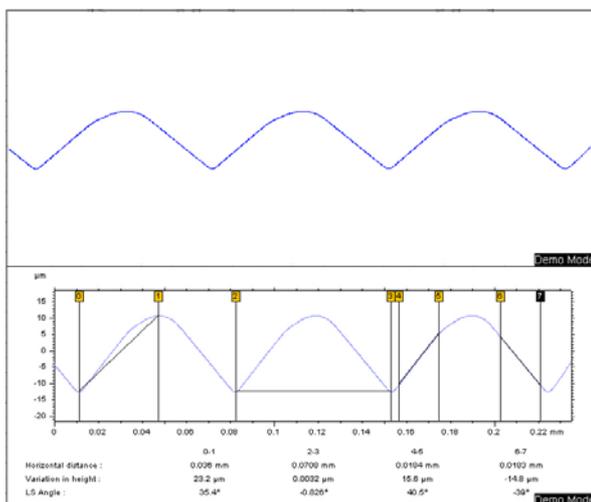
### 原始條件

入光側 V-溝尺寸

高度：19 $\mu\text{m}$

Pitch：70.8 $\mu\text{m}$

角度：102.8°



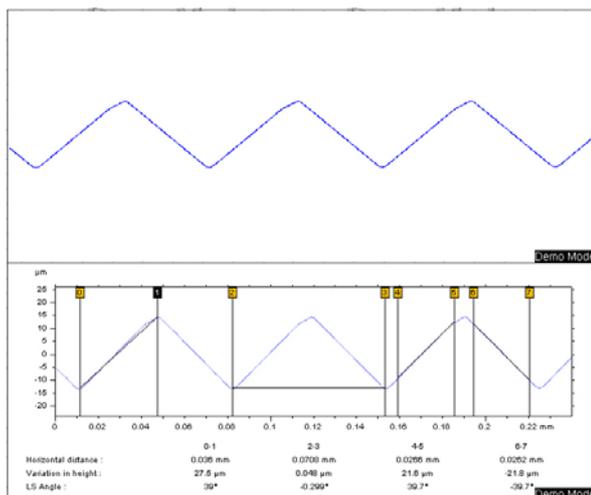
### 田口氏最佳條件

入光側 V-溝尺寸

高度：23.2 $\mu\text{m}$

Pitch：70.8 $\mu\text{m}$

角度：100.5°



### 射出壓縮成型

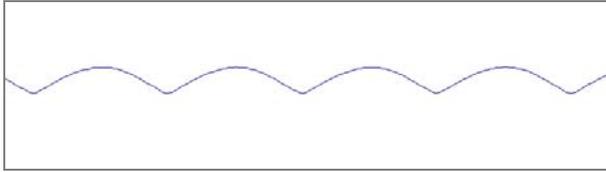
入光側 V-溝尺寸

高度：27.5 $\mu\text{m}$

Pitch：70.8 $\mu\text{m}$

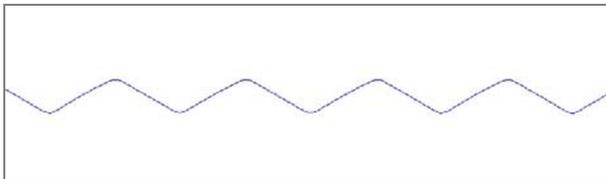
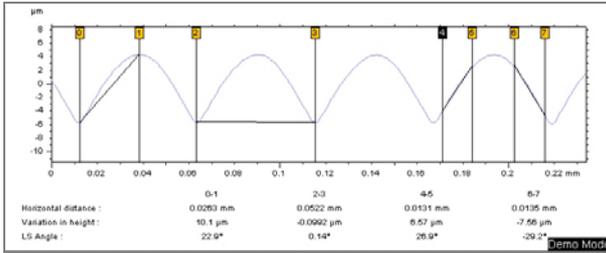
角度：100.6°

圖 5-14 不同製程條件之入光側 V-溝外型尺寸



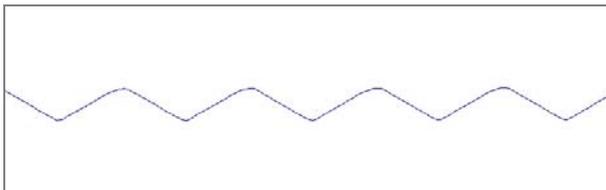
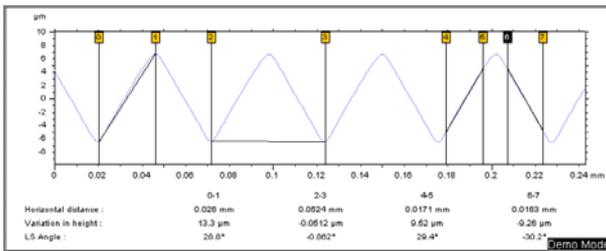
### 原始條件

入光側 V-溝尺寸  
 高度：10.1 $\mu\text{m}$   
 Pitch：52.2 $\mu\text{m}$   
 角度：123.9 $^{\circ}$



### 田口氏最佳條件

入光側 V-溝尺寸  
 高度：13.3 $\mu\text{m}$   
 Pitch：52.4 $\mu\text{m}$   
 角度：120.4 $^{\circ}$



### 射出壓縮成型

入光側 V-溝尺寸  
 高度：12.7 $\mu\text{m}$   
 Pitch：52 $\mu\text{m}$   
 角度：120.4 $^{\circ}$

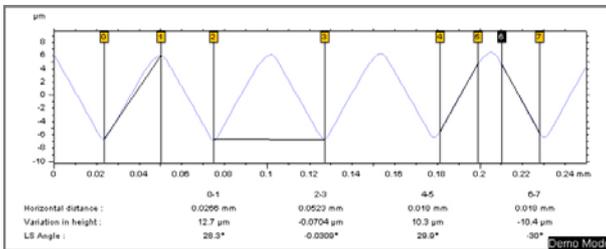
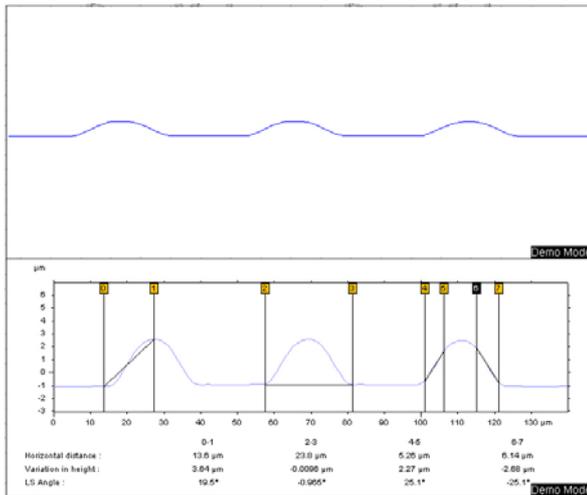
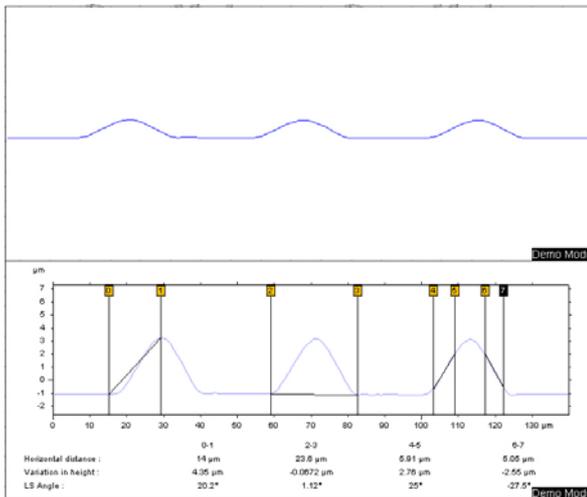


圖 5-15 不同製程條件之出光面 V-溝外型尺寸



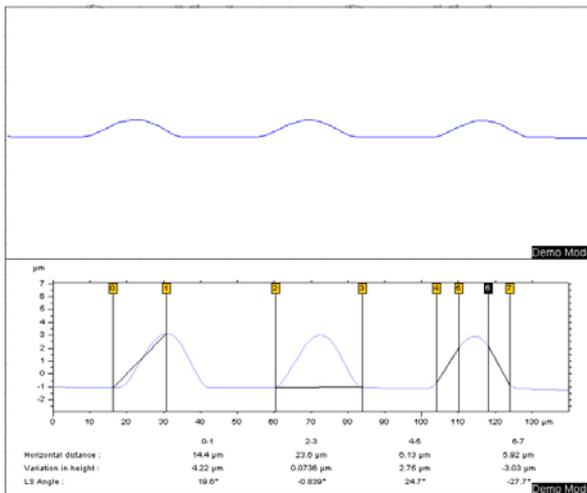
### 原始條件

入光側 V-溝尺寸  
 高度：3.64μm  
 Pitch：23.8μm  
 角度：129.8°



### 田口氏最佳條件

入光側 V-溝尺寸  
 高度：4.35μm  
 Pitch：23.6μm  
 角度：127.5°



### 射出壓縮成型

入光側 V-溝尺寸  
 高度：4.22μm  
 Pitch：23.6μm  
 角度：127.6°

圖 5-16 不同製程條件之反射面 V-溝外型尺寸



圖 5-17 背光模組

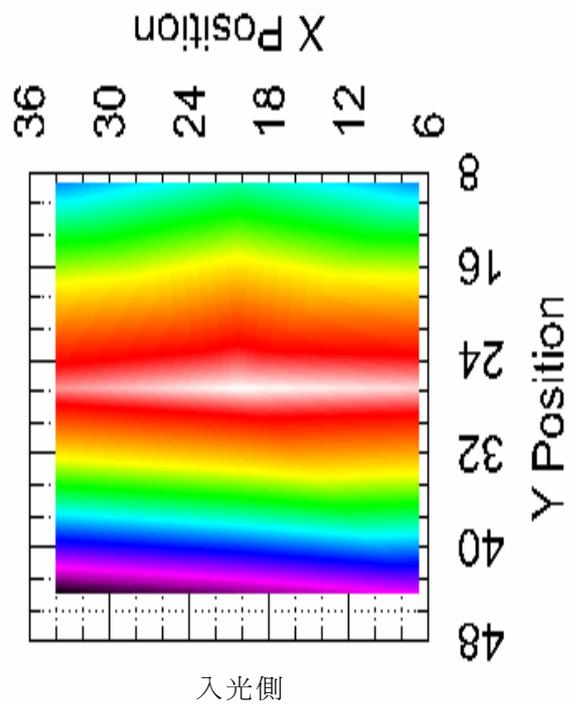


圖 5-18 原始條件-光學輝度量測

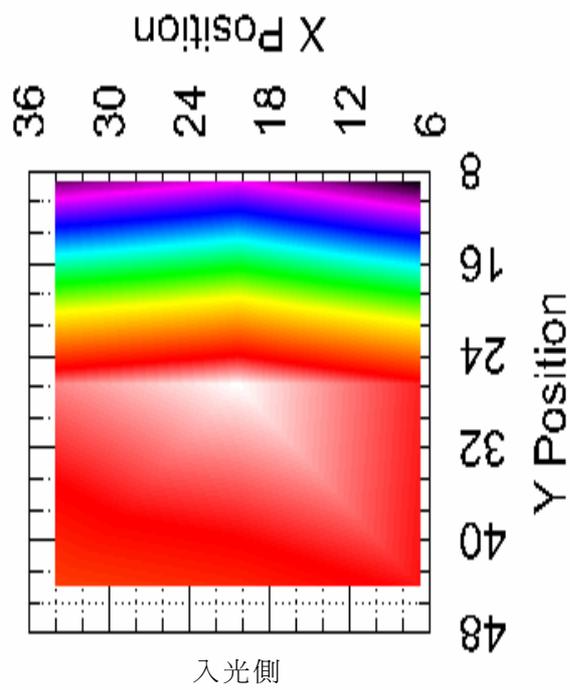


圖 5-19 田口式最佳條件-光學輝度量測

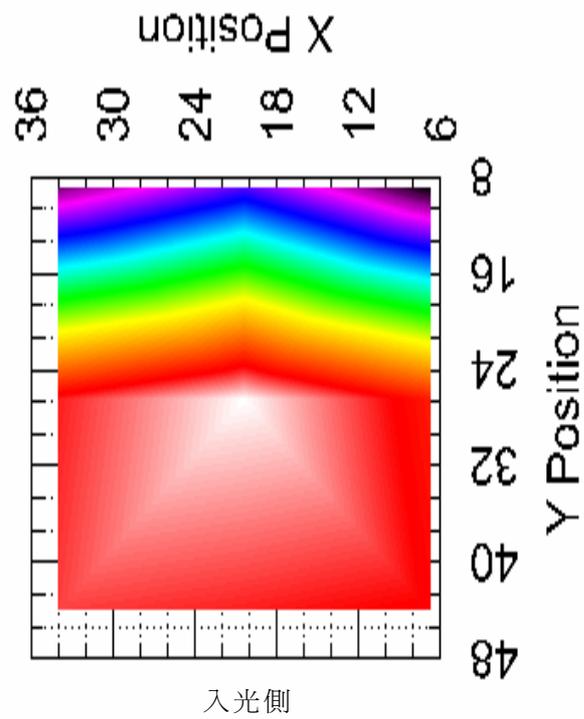


圖 5-20 射出壓縮成型-光學輝度量測

## 第六章 結論與未來研究發展

### 6.1 結論

本研究致力於超薄形導光板光學設計與精密成型之探討。以非序列性光學描光技術進行光路分析，探討微結構對導光板光學性質的影響，並進行超薄形導光板外型及微結構的光學設計。接著探討超薄形導光板之精密成型實驗，首先製作成型視窗，探討製程參數對超薄形導光板充填及成型性的影響。依據可成型範圍，探討製程條件與微結構轉寫性之關係，並以田口氏實驗計畫法進行微結構成型的最佳化實驗。之後以射出壓縮成型方法探討超薄型導光板及微結構的成型，並比較射出成型與射出壓縮成型的微結構成型性及使用光彈儀量測其殘留應力的分佈。最後再探討微結構成型對超薄型導光板光學性質的影響。經由分析整理，可歸納出以下結論：

#### 光學設計與分析

- 以入光側外型變化及 V-溝設計，可明顯提升光利用率且使入射光向四週擴散使導光均勻。
- 於導光板的上下兩面皆設計 V-溝結構，可增加正向輝度的效果且以 V-溝密度分佈設計使出光均勻。

#### 實驗探討

- 成形視窗範圍隨著料溫改變，料溫高時，成形視窗明顯較大；而當料溫較低，則需要高射速及高模溫才能成形，且成形視窗明顯縮小。
- 以射出成型製程，導光板各表面之 V-溝轉寫比例為出光面 > 入光側 > 反射面。當 V-溝尺寸越小愈難充填，出光面 V-溝高度為 13.9 $\mu\text{m}$ ，V-溝轉寫比例平均為 85%，反射面 V-溝高度為 6 $\mu\text{m}$ ，V-溝轉寫比例平均為 60%，且距離澆口愈遠轉寫高度愈低。

- 於射出成型製程，入光側之 V-溝轉寫比例較低，雖然其尺寸最大，但因 V-溝角度較小且距離澆口最遠，壓力不易傳遞而容易產生收縮的情形，造成 V-溝轉寫高度下降。
- 射出成型製程配合田口氏實驗計畫法，可得到最佳的 V-溝轉寫深度。塑料溫度與模具溫度是影響 V-溝成型的主要因子。當塑料溫度愈高時，熔膠流動性愈好，能盡量充填 V-溝的尖端，且當模具溫度較高時，充填進 V-溝結構的熔膠會較慢冷卻，有助 V-溝的成型。
- 以射出壓縮製程，可得到均勻的 V-溝轉寫深度，其標準差低於射出最佳條件，且因以壓縮方式成型對於入光側 V-溝有更好的轉寫效果。觀察其應力光彈圖，以射出壓縮成型可明顯降低其殘留應力，且翹曲量較小。
- 射出壓縮成型之導光板其光學性質優於射出成型，因入光側 V-溝轉寫比例高，且反射面的 V-溝轉寫均勻，使導光板平均輝度增加及均齊性提升。

## 6.2 未來研究發展

於超薄型導光板光學設計方面，未來可朝著減少 LED 數量或使用單顆高亮度 LED 的光學設計，更可減少背光模組的體積與成本。再進一步減少其厚度或朝著兩面發光式的導光板之設計開發。

而在製程方面因射出壓縮成型對於超薄型導光板成型與微結構轉寫性均有良好的成型效果，可再詳細探討射出壓縮成型的製程條件與超薄型導光板成型的關係，並以田口式實驗計畫法找出最佳的製程條件與其影響性。

因反射面 V-溝尺寸小轉寫比例較低，而導致導光板之輝度均齊性下降，由實驗結果反射面 V-溝的最佳轉寫為 76%，V-溝尖端變為圓弧狀，可再詳細探討微小的 V-溝成型狀態，預估設計與成型之間的差異，且依成型的趨勢，修正光學模擬的 V-溝外型，以達到準確的設計結果。

## 參考文獻

- [1] Kalantar, Kalil; Matsumoto, Shingo; Onishi, Tomohisa, “Functional light guide plate characterized by optical micro-deflector and micro-reflector for LCD backlight”, IEICE Transactions on Electronics, v E84-C, n 11, p 1637-1646, 2001.
- [2] Kalantar, Kalil; Matsumoto, Shingo; Katoh, Tatsuya; Mizuno, “Backlight unit with double-surface light emission using a single micro-structured light guide plate”, Journal of the Society for Information Display, v 12, n 4, p 379-387, 2004.
- [3] Masaki Tadahiro, “Nondiffusive light guide plate, lens film and surface light source assembly”, US5940571, 1999.
- [4] Ohta Youko, “Back light device of liquid crystal device”, US5673128 , 1997.
- [5] Tsai Kung-Jung, “Back light module with grooved light guide plate and method for manufacturing the same”, US2005013127, 2005.
- [6] Ono Toshiaki, “Light guide plate, side light type surface light source device, and liquid crystal display device”, TW592310Y, 2004.
- [7] Miyashita Junji, “Light guide plate”, JP2002196151, 2002.
- [8] Kashima Keiji, “Back light device for panel”, US5093765, 1992.
- [9] Shinohara Masayuki ; Aoyama Shigeru, “Surface light source device, elements therefor and apparatus using the same”, US6231200, 2001.
- [10] Miyashita Junji ; Matsumoto Kenji, “Lighting panel for a display”, US6791638, 2003.
- [11] Yamakawa Hiroyuki ; Tamura Yuki, “Light guide plate for surface light emitting device”, JP2003234004, 2003.
- [12] Greener, J., “General Consequences of the Packing Phase in injection Molding”, Polymer Engineering and Science, v26, n12, p886-892, 2001.

- [13] Losch, K., "Thinwall Molding:demanding but rewarding", Modern Plastics, v74, n11, p81-82, 2001.
- [14] Johannaber, F., "Injection Molding Machines a User's Guide", Hanser /Gardner Publications, Inc., Cincinnati, p33-37, 1985.
- [15] Yoshii, M., "Experimental Study of Transcription of Minute Width Groove Injection Molding", Polymer Engineering and Science, v34, n15, p1211-1218, 1994.
- [16] Despa, M.S. ; Kelly, K.W ; Collier,J.R., " Injection Molding of polymeric LIGA HARMS", Microsystem Technologies, v6, n2, p60-66, 1999.
- [17] Friedrichs, " Injection Compression Molding of Thin-Walled Thermo-plastic Parts", Kunststoffe German Plastics, v80, n5, p13, 1990.
- [18]耿繼業、何建娃，幾何光學，全華科技圖書股份有限公司，2002 初版。
- [19]章秀鑫，TFT-LCD 模組設計概論，全華科技圖書股份有限公司，2002。
- [20]施至柔，"背光模組光學模擬技術"，交通大學碩士論文，1998 年 6 月。
- [21]蘇紹安，"非印刷式背光模組光學模擬分析"，中華大學碩士論文，2000 年 6 月。
- [22]方育斌，"背光模組之光學最佳化設計"，成功大學碩士論文，2003 年 6 月。
- [23]詹展昌，"LCD 導光板入光面特性研究"，大葉大學碩士論文，2003 年 6 月。
- [24]蔣宗樹，"導光板導光設計之研究"，中原大學碩士論文，2003 年 6 月。
- [25]蔡俊欽，"導光板光學設計及製程之最佳化研究"，高雄應用科技大學碩士論文，2004 年 6 月。
- [26]杜俐芊，"微米薄流路內之聚物流動特性"，交通大學碩士論文，1998 年 6 月。
- [27] 黃東鴻，"薄殼射出件翹曲變形與殘留應力研究"，成功大學碩士論文，2001 年 6 月。

- [28]羅志謙，“微射出快速模溫控制系統與雙面微結構成型性探討”，臺灣大學碩士論文，2002年6月。
- [29]黃勝田，“雙面微結構超薄件射出成型之實驗探討”，臺灣大學碩士論文，2004年6月。
- [30]林昆燁，“射出壓縮成行於楔型版之研究”，長庚大學碩士論文，2001年6月。
- [31]吳宗祐，“射出壓縮成型在精密圓筒件與表面微肋件之應用探討”，臺灣大學碩士論文，1999年6月。
- [32]陳守仁，“V 槽元件的精密射出與射出壓縮成型的實驗探討”，長庚大學碩士論文，2002年6月。

## 作者簡介

姓名	黃彥文 (Yan-Wen Huang)		
籍貫	桃園縣		
性別	70年09月09日		
<b>教育背景</b>			
起迄年月	學校名稱	科系	學位
92/9~94/6	國立高雄應用科技大學	模具工程研究所	碩士
90/9~92/6	國立高雄應用科技大學	模具工程系	學士
88/9~90/6	國立高雄應用科技大學	模具工程科	
85/9~88/6	省立桃園農工	模具科	
<b>個人經歷</b>			
執行期間	類別	計畫名稱	主要任務
92.07.01~ 92.12.20	教育部	建構光學級精密模具之設計/ 製造/成形之整合系統	研究生助理
93.02.28~ 94.02.28	工業局傳四案 國科會小產學	超精密加工法於數位相機背光 模組開發上之應用	研究生助理
93.03.01~ 94.02.30	產學合作案	精密射出成形技術提昇計畫	研究生助理
93.05.15~ 94.04.30	國科會小產學	雙面非印刷式導光板之光學設 計及模具設計、分析、製造和 射出成形製程之最佳化	研究生助理
<b>論文與專題</b>			
1	超薄形導光板光學設計與精密成形之研究 (研究所論文)		
2	導光板光學特徵對光學性質影響之研究 (2004 模具技術與論文發表會)		
3	軸流式風扇逆向工程製造分析 (大學專題)		