

# 薄形化導光板射出壓縮成型之研究

國立高雄應用科技大學 模具工程系

黃俊欽\*、馮旭彬

## 摘要

導光板(LGP)是背光模組(backlight)中引導 LED 的點光源成為平面光源的重要零組件。其光學特性主要取決於表面微米級的微結構設計，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。為了降低背光模組的厚度，導光板將朝薄型化發展，而其微結構設計及精密成形將更加困難。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，以射出/壓縮製程成形導光板。文中將以壓縮力、壓縮速度、壓縮開始位置、壓縮時間作為控制變因，配合田口實驗計畫法分析成型條件對導光板微結構成形及導光板翹曲變形的主要影響因子，並且由輝度量測了解導光板的光學性質。由結果顯示壓縮力及壓縮速度是主要的影響因子，成型條件的最佳組合可使微結構的成形性明顯提高。與傳統的射出成形比較，射出/壓縮成形可以明顯改善微結構的均齊性，提高導光板的整體輝度，並且有效降低導光板在澆口處的應力殘留現象。

關鍵字：導光板、微結構成形、最佳化、射出/壓縮成型

## Abstract

Light guide plate(LGP) which guide the light from the point light source LED to distribute uniformly on an surface of the monitor, is the most important element of the backlight. The optic characteristic of the LGP is dependent closely on the micro-sturcture on the surface of the LGP. There are many kind of micro-sturcture, such as V-cut, dot, pillar, which scale is about 1~50  $\mu$  m. These micro-sturcture can destroy the total reflection of the light inside the LGP and guide the light to send out uniformly and vertically from the output surface of the LGP. In this paper, the 2.2 inch thinning LGP with thickness 0.6mm and v-type micro-sturcture were manufactured respectively by injection molding and injection/compression molding. The effect of the geometric parameters of v-cut, such as angle, height and pitch, the condition of molding on the luminance and uniformity of the LGP are investigated. The results show that the processing temperature of the polymer and mold temperature are two main parameters which influence the molding of the v-type micro-sturcture. Optimization of the injection conditions can improve the filling of the polymer into the micro v-cut and receive the higher optic quality of the LGP. Comparison the results from different molding, it is found that the residual stress accumulated on the region near the gate can be improved obviously and more uniform v-type micro-sturcture can be molding by the injection/compression molding.

Key words: Light guide plate, design of micro-sturcture, Optimization, injection/compression molding, optic quality

## 一、前言

背光模組(backlight)是整個顯示器光源亮度的來源，其構造包括導光板、擴散片、鍍鏡片、外框等，以側向式光源為例。其中冷陰極管(線光源)或LED(點光源)是整個背光模組的光源，藉由導光板(LGP)引導成平面出光，再經擴散片均勻化作用及鍍鏡片的聚光作用，使其在出光平面具有高亮度及高均勻性的光學品質。導光板的導光性能取決於表面的微結構設計，有V-溝、點狀、柱狀等不同型式，其尺度在數微米至數十微米，配合不同疏密的設計，能夠破除光線在導光板內部的全反射現象，使進入導光板的光線能夠均勻地由出光面的法線方向射出，提供顯示器面板所需的足夠光源。隨著LED的微小化發展，導光板的厚度亦朝向薄型化發展，將使得導光板在傳統射出成型時面臨高射壓及高射速所引起的內應力及翹曲問題。因此！導入射出/壓縮製程於超薄型導光板的製造，將可有效改善上述問題。

關於導光板的研究主要是在微結構的設計及成型時的轉寫性，Kalantar[1]在導光板的上下兩面分別以V形溝槽及點狀的微結構進行設計，發現可達到更好的光學效果。Kalantar[2]於2004提出雙面發光導光板的設計，導光板外型為楔形設計，配合雙面的微結構設計及TIR稜鏡片，使LED光源轉換成均勻的雙平面光源，雙面發光導光板可同時提供兩個螢幕所需之光源，應用在折疊式雙螢幕手機，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則有多種不同方式，包括建立擴散點的散射模型，並利用擴散點的參數調整提高導光板的亮度及均勻性[3]。建立網點分布函數，探討網點性質及導光板底面的傾斜角度，對導光板光學性質的影響[4]。以區塊分割方式，調整各區塊之網點密度以得到最佳之亮度及均勻性[5]。蔡俊欽[6]、黃彥文[7]分別針對楔形及平板型導光板，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，對具有雙面V-型溝構之導光板作一完整的研究，發現熔膠溫度及模具溫度是影響微結構轉寫性的主要因素。

微結構在成型過程中，由於尺度非常小，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，嚴重影響導光板的光學的性質，例如出現暗痕或亮度不均等缺陷。Yoshii[15]以光碟片上的微結構做探討，實驗結果顯示當提高塑料溫度、模具溫度、射出速度、保壓壓力及保壓時間，則可提高微結構的轉寫性。而提高模溫會使光學干涉紋階逐漸減少，有助於應力的釋放[17]。為了改善傳統射出成型在薄件成形的缺點，Friedrichs[18]探討射出壓縮成型應用於薄壁零件的製作，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 [19]以射出壓縮成型方法成形楔形板，發現適當的壓縮壓力可以有效減低殘留應力的產生。廖俊郎[25]探討射出壓縮對微型製品的光學品質影響，發現射出壓縮成型因提供均勻的模穴壓力，故可降低塑品不均勻的收縮與內部殘留應力的產生，對降低收縮翹曲量有很大的幫助。

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，以射出/壓縮製程成形導光板。配合實驗計畫法探討壓縮力、壓縮速度、壓縮開始位置、壓縮時間等成型條件對導光板微結構成形及導光板翹曲變形的影響，並且由輝度量測了解導光板的光學性質。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。

## 二、實驗方法

### 1. 導光板設計

如圖 1，長(56.1mm)、寬(45.75mm)、厚度 0.6mm 之平面型導光板，以四顆 LED 作為光源，出光面、反光面及入光側均有 V-溝型式的微結構設計。在出光面 V-溝與光線前進方向平行，主要以提高導光板出光輝度為目的，在反光面則與光線前進方向垂直，主要以提高導光板的輝度均勻性為目的，在入光側的 V-溝設計，主要以提高光的利用率為目的。利用 V-溝的角度、高度、疏密程度作

為設計參數，以非序列性描光技術模擬其出光現象，作為導光板微結構設計的依據。

## 2. 實驗設計

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-溝轉寫高度最大為目的。選定品質特性為望大特性，以壓縮力、壓縮速度、壓縮開始位置、壓縮時間為控制因子，每個因子取三個水準，自由度為  $4 \times (3-1) = 8$ ，故以  $L9(3^4)$  直交表(表 )配置各控制因子的水準值，進行射出/壓縮成型實驗，如表 1 所示。由微結構的平均轉寫高度及標準差，計算信號雜訊比  $S/N$ ，並建立回應表以推斷出能夠成形最佳 V-溝轉寫高度之條件組合。同時藉由變異數分析，計算各控制因子對 V-溝轉寫性的影響程度，以便找出主要的控制因子。以光學級聚碳酸樹脂(PC)為塑料，其折射率為 1.58。以油電複合式射出機 Sodick-TR30EH 進行精密成型。導光板經射出成型之後，利用表面輪廓儀量測導光板表面的微結構尺寸，了解 V-溝的成形程度，以亮度色度計(BM7)量測輝度，其詳細量測方式如文獻[ ]詳述。

## 三、結果與討論

### 1. 導光板的V-溝微結構設計

微結構幾何參數包括：V-溝的角度、高度、疏密程度。本文所用之導光板入光側為：角度 100 度、高度  $30\mu\text{m}$  之連續 V-溝設計，圖 顯示導光板入光側的 v 溝設計對光源進入導光板的影響，可以發現加上 v-溝設計之後，光線的擴散角度更廣。出光面為：角度 120 度、高度  $15\mu\text{m}$  之連續 v-溝設計，圖 顯示導光板出光面的 v 溝設計對於光線往導光板法向偏折有相當明顯的助益。反射面為：角度 120 度、高度  $6\mu\text{m}$  之 V-溝設計，為使其出光均勻，疏密程度作適當的設計，在靠近入光側密度(V-溝條數/mm)較小，並逐漸往遠離入光側的方向增加 v-溝密度，其 v-溝密度分佈如圖 所示，輝度分佈如圖 ，最高輝度:2418.3nt ，均齊

性:82.71%，其結果顯示適當的分配 v-溝密度將可有效控制導光板的導光功能，使光線能較均勻地分佈在整個出光面。

設計微結構之後，進行模仁精密加工，在入光側、出光面、反光面的 v 溝高度經量測分別為 29.01 $\mu\text{m}$ 、13.9 $\mu\text{m}$ 、5.39 $\mu\text{m}$ 。

## 2.微結構成型的最佳化探討

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。表 2 為壓縮力、壓縮速度、壓縮開始位置、壓縮時間等四個控制因子的水準值。由實驗計畫法可得各組的 S/N 值，建立 S/N 回應表及回應圖分別如表 3 及圖 12 所示。由 S/N 回應表推斷出 V-溝轉寫高度之最佳條件為 A3、B3、C2、D3。在此條件下進行實驗確認，最佳條件為 A3(壓縮力：90%)、B3(壓縮速度：90%)、C2(壓縮開始位置：18mm)、D3(壓縮時間：3sec)，實驗結果如表 所示，在入光側、出光面、反光面的 v 溝高度經量測，其 9 個位置的平均值分別為 28.30 $\mu\text{m}$ 、12.71 $\mu\text{m}$ 、4.54 $\mu\text{m}$ ，轉寫高度已達 85%~95%，表示熔膠已能有效充填進入 v 溝微結構。與表 比較，結果顯示射出壓縮製程在降低微結構轉寫高度的標準差方面有非常明顯的效果。這是由於均勻的壓力作用，因此在微結構的轉寫高度的方面，更能有效的均勻化。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 所示。對於 v-溝成型的影響貢獻度依序如下：壓縮力為 62%、壓縮速度為 29.65%、壓縮開始位置為 4.14%、壓縮時間為 4.2%，其中以壓縮力與壓縮速度的貢獻度為最高，是主要的關鍵因子，而壓縮開始位置與壓縮時間的貢獻度相對小，對於 V-溝微結構成型影響較小。在射出壓縮製程中，射出機提供較高的壓縮力與壓縮速度，才能在極短時間內，趁熔膠還具有良好的流動性之時，有效將模穴內的熔膠壓至所需要的厚度，並且使熔膠充填進入微結構，得到轉寫高度較高且均勻性較佳的微結構。

### 3.降低翹曲量及殘留應力的最佳化探討

由實驗計畫法可得各組翹曲量的 S/N 值，建立 S/N 回應圖，如圖 所示，推斷出降低翹曲量之最佳條件為 A1、B1、C3、D3，即最佳條件為壓縮力：70%、壓縮速度：70%、壓縮開始位置：22mm、壓縮時間：3sec，在此條件下進行實驗確認，可將導光板翹曲量由射出成型(田口最佳條件)的 17.51 $\mu\text{m}$ ，降低至射出壓縮成型(最佳條件)的 7.52 $\mu\text{m}$ ，其主要原因是射出壓縮成型在充填時，由於模穴空間厚度增加，射出速度可適當調降，可避免高射速所產的分子拉伸現象。在壓縮時，射出壓縮製程提供均勻的壓力分佈，可避免在傳統射出成型時，壓力集中在澆口附近，造成分佈不均，因此在射出壓縮製程中，可以明顯降低澆口附近的應力殘留現象，如圖 所示。應力殘留的降低使得導光板的翹曲得到明顯的改善。

### 四、結論

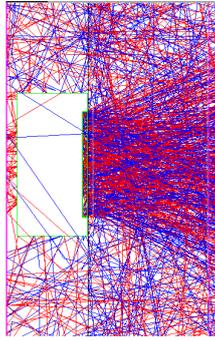
本文以2.2吋、厚度0.6mm、微結構為V-型溝的超薄型導光板為例，探討表面的微結構設計以及射出壓縮成型條件對微結構轉寫性、光學性質、殘留應力及翹曲的影響。獲得重要結果如下：

1. 導光板的光學性質主要取決於微結構的轉寫性，導光板的翹曲變形則與殘留應力有密切的關係，相較於傳統的射出成型方法，射出壓縮成型更能提高微結構轉寫性的均勻程度，同時能有效降低導光板澆口附近的應力殘留現象，使得導光板的翹曲得到明顯的改善。
2. 在射出壓縮製程中，型塑料溫度是最主要的影響因子，其貢獻度為75.8%，其次為模具溫度，其貢獻度為18.3%。
3. 成型條件的最佳組合可使出光面微結構的轉寫性明顯提高，可達95%的轉寫率，在平均高度為12.61 $\mu\text{m}$ 之下其標準差為0.3586。
4. 射出壓縮成型可以明顯改善微結構的均勻性，其標準差降至0.1761，且有效降低導光板在澆口處的應力殘留現象。

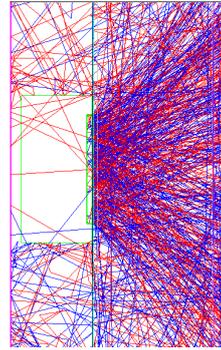
## 參考文獻

- [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]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。
- [4]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。
- [5]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。
- [6]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。
- [7]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。
- [8]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。
- [9] Tsai Kung-Jung , “Back light module with grooved light guide plate and method for manufacturing the same” , US2005013127 , 2005.
- [10] Ono Toshiaki , “Light guide plate, side light type surface light source device, and liquid crystal display device” , TW592310Y , 2004.
- [11] Miyashita Junji , “Light guide plate” , JP2002196151 , 2002.
- [12] Kashima Keiji , “Back light device for panel” , US5093765 , 1992.
- [13] Yamakawa Hiroyuki ; Tamura Yuki , “Light guide plate for surface light emitting device” , JP2003234004 , 2003.
- [14] Miyashita junji ; Matsumoto Kenji , “Lighting panel for a display” , US6791638 , 2003.
- [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]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。
- [18] Friedrichs , “ Injection Compression Molding of Thin-Walled Thermoplastic Parts” , *Kunststoffe German Plastics* , v80, n5, p13, 1990.
- [19]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。

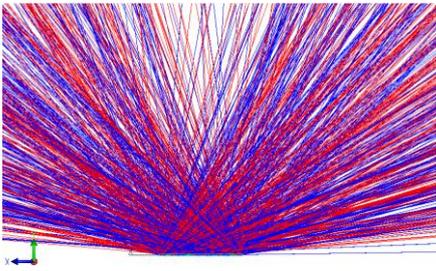


(a) 入光側無 v 溝

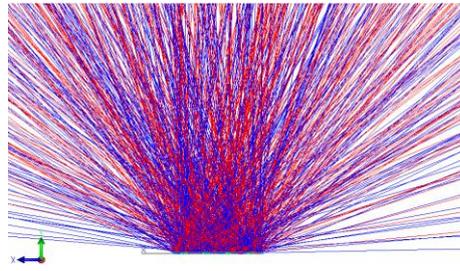


(b) 入光側有 v 溝設計

圖 入光側 v 溝設計對光學的影響



(a) 出光側無 v 溝



(b) 出光側有 v 溝設計

圖 出光側 v 溝設計對光學的影響

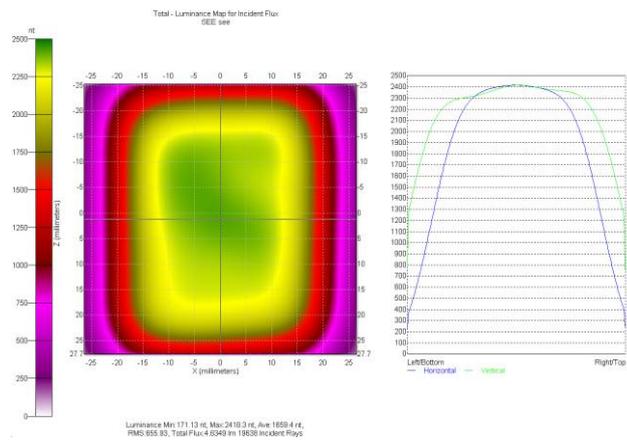
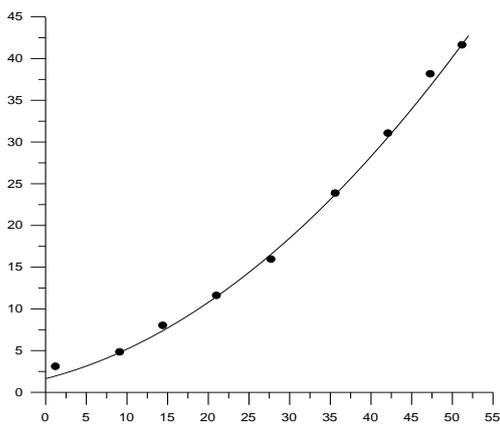
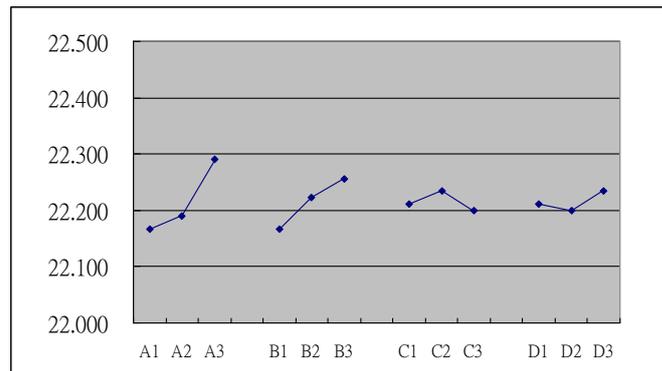


圖 反光面 v 溝密度分部及光學輝度分佈

因子\水準	I	II	III
A.壓縮力(%)	70	80	90
B.壓縮速度(%)	70	80	90
C.壓縮開始位置(mm)	15	18	22
D.動作時間(sec)	1	2	3

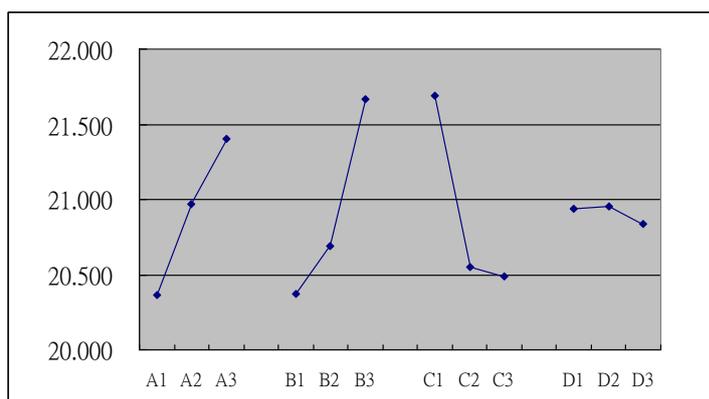
塑料溫度300°C、射出速度 380mm/s、模具溫度105°C、壓時間1秒、冷卻時間40秒



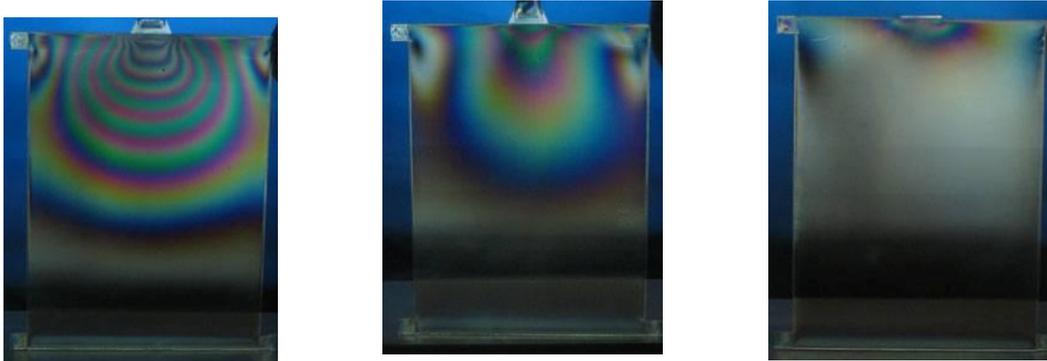
射出壓縮成型	V- 溝平均轉寫高度	充填比例%	標準差
入光側	28.10	96.89%	0.133
出光面	12.71	91.43%	0.151
反射面	4.54	84.23%	0.265

射出成型	V- 溝平均轉寫高度	充填比例%	標準差
入光側	25.03	86.32%	0.208
出光面	12.61	90.73%	0.359
反射面	4.12	76.34%	0.514

因子	變動 (S)	f	變異 (V)	純變動 (S')	貢獻度
A	0.026	2	0.013	0.026	62.00%
B	0.012	2	0.006	0.012	29.65%
C	0.002	2	0.001	0.002	4.14%
D	0.002	2	0.001	0.002	4.20%
T	0.042	8		0.042	100.00%

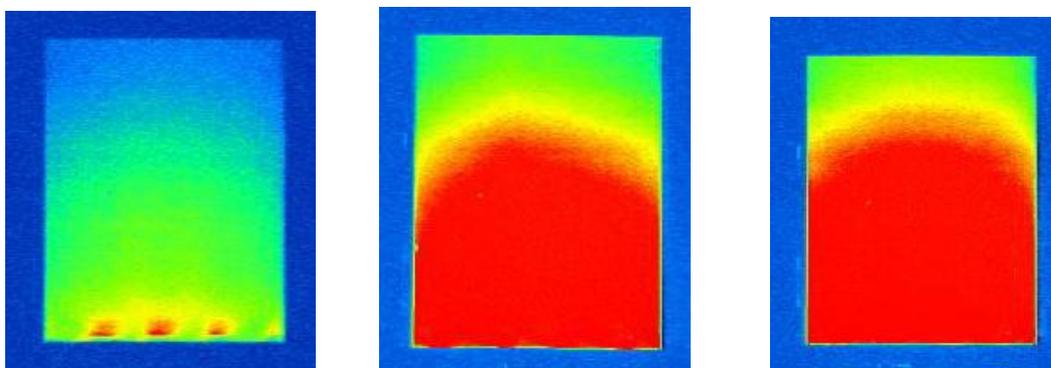


因子	變動 (S)	f	變異 (V)	純變動 (S')	貢獻度
A	1.636	2	0.818	1.636	22.93%
B	2.745	2	1.372	2.745	38.46%
C	2.730	2	1.365	2.730	38.25%
D	0.025	2	0.012	0.025	0.35%
e	0.000	0			
eT	0.000	0			
T	7.135	8		7.135	100.00%



(a)非最佳條件(射出成型) (b)最佳條件(射出成型) (c)最佳條件(射出壓縮成型)

圖 不同成型法的光彈應力紋分佈



(a)非最佳條件(射出成型) (b)最佳條件(射出成型) (c)最佳條件(射出壓縮成型)

圖 不同成型法的光學輝度量測



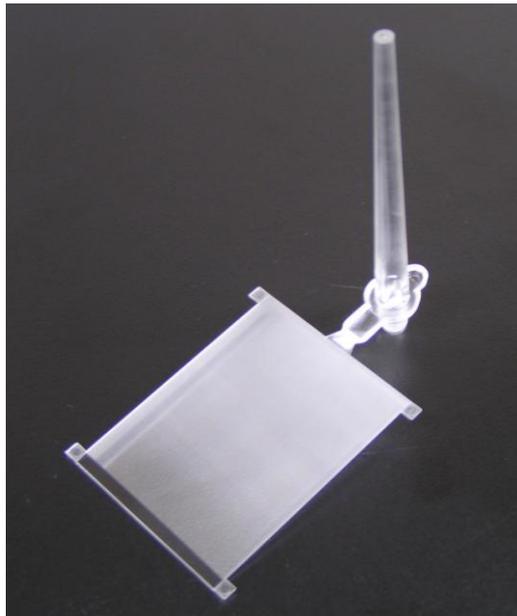
(a)非最佳條件(射出成型) (b)最佳條件(射出成型) (c)最佳條件(射出壓縮成型)

圖 不同成型法的導光板點燈後的實際外觀

表 5-13 射出壓縮成型-光學輝度量測

	光學輝度分佈圖			中央輝度	9點平均輝度	9點均齊度	中央點x色度	中央點y色度
	田口式最佳條件	1166	1392	1218	2407	1992	45.9	0.2972
	2128	2407	2318					
	2295	2538	2465					

	光學輝度分佈圖			中央輝度	9點平均輝度	9點均齊度	中央點x色度	中央點y色度
	射出壓縮成型	1102	1308	1182	2452	2043	40.1	0.2987
	2102	2452	2354					
	2484	2750	2651					



(a)導光板成品圖

表 1 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 7 射出壓縮成型 V-cut 量測結果

射出壓縮成型		左	中(澆口)	右	V-cut 平均轉寫高度(um)	標準差
最佳射壓參數	尾端	12.3	12.7	12.4	12.41	0.1764
	中間	12.5	12.2	12.5		
	入光測	12.3	12.2	12.6		

表 8 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
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 9 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
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

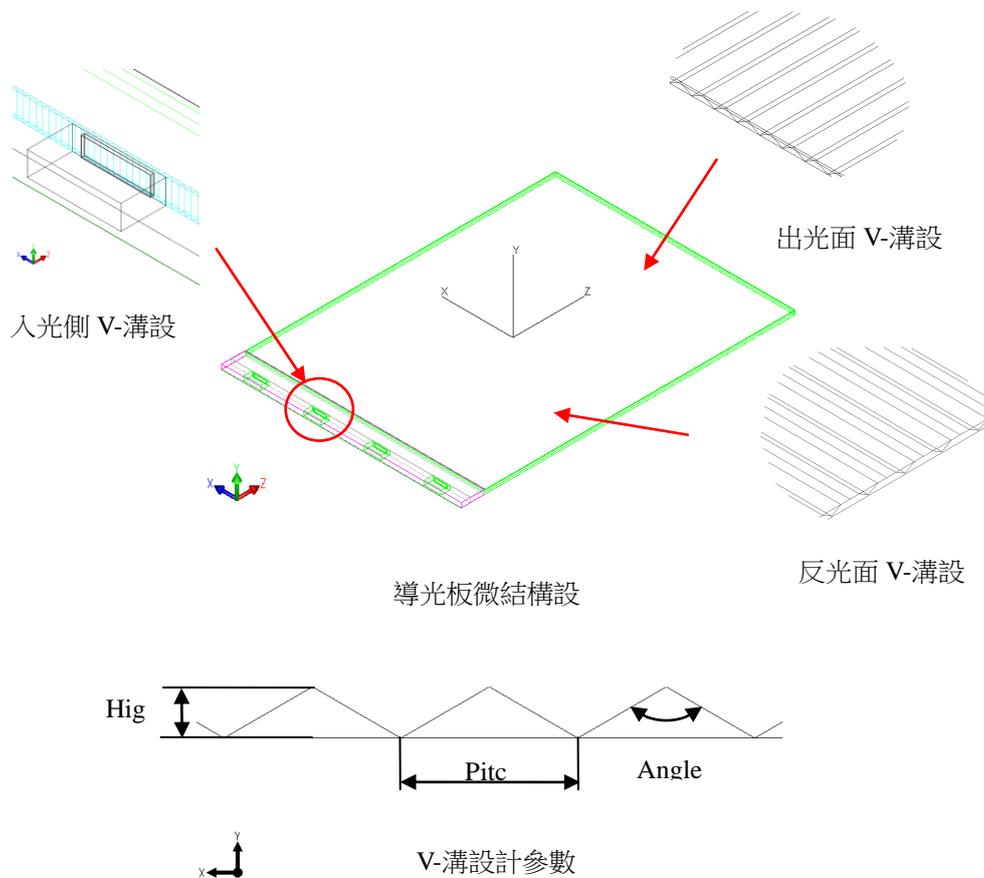


圖 1 導光板 V-溝型式之微結構設計

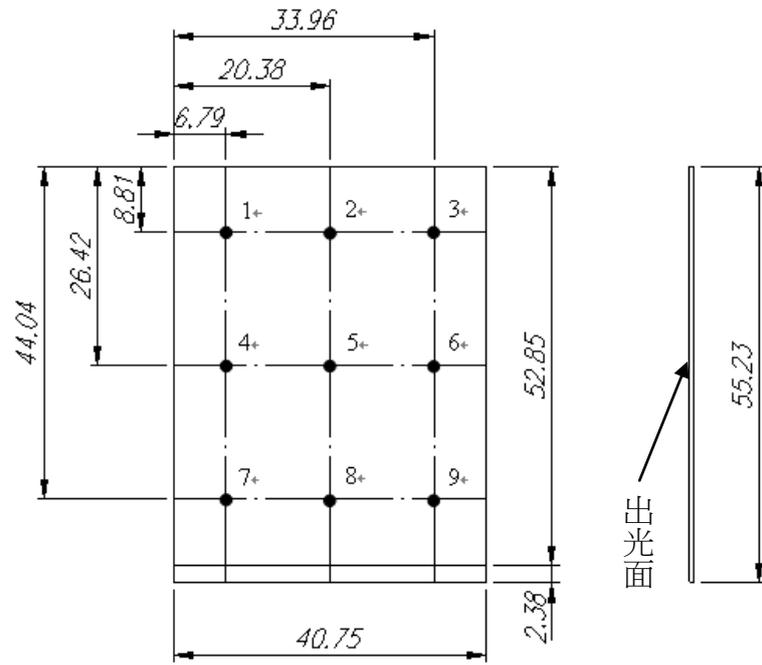
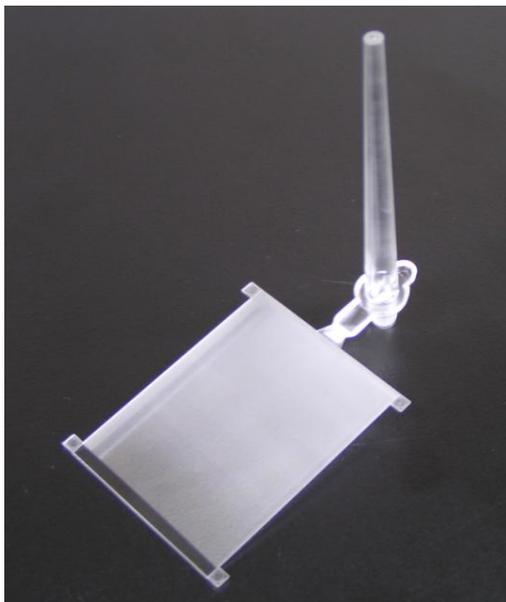
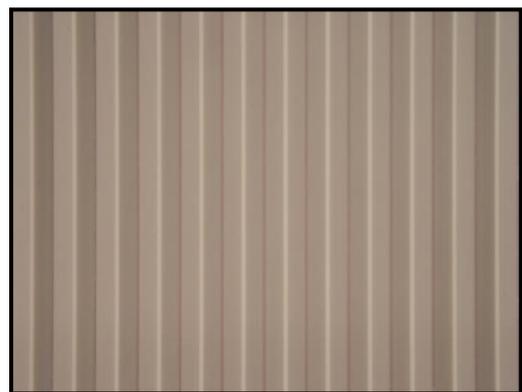


圖 2 微結構量測位置圖



導光板成品圖



出光面 V-溝量測圖

圖 13 V-溝量測圖(光學顯微鏡)

**聯絡信息**

黃俊欽教授

國立高雄應用科技大學 模具工程系

800 高雄市三民區建工路 415 號

電話：07-3814526-2700

傳真：07-3837924

E-mail：cchuang@cc.kuas.edu.tw