

導光板光學設計及製程條件之最適化研究

Optimization of the Optical design and processes condition for Light Guide Plate

作者：蔡俊欽、黃俊欽

C.C.Tsai、C.C.Huang

國立高雄應用科技大學模具工程系

摘要

在 TFT-LCD 液晶顯示器中，背光模組為主要光源所在，而其光亮度分佈和大小，主要為導光板所掌控。光學設計、模具開發、射出成型是影響導光板品質的三個主要階段，而且彼此之間有密切的關係。例如可以達到高輝度、高均齊性的光學特徵設計，在成型階段往往會因塑料充填、收縮、塑品內部應力及翹曲變形等因素，造成特徵尺寸的偏差，導致光學性質不良。本文以長(56.1mm)、寬(45.75mm)、厚度由 2.3mm 漸縮至 0.9mm 之 2.5 吋的 V 溝型式導光板為例，成形塑料為光學級聚碳酸酯(PC)。首先將結合分析、設計、成型、檢測等過程，建立完整的開發技術(total solution)，包括以 Trace pro 軟體進行光學分析及特徵設計，以 moldex3D 軟體進行模流分析及模具設計，並決定出適當的成形條件，以超精密加工進行 V 溝加工，模具製作完成後，以精密射出成型完成導光板的製作，再藉由表面輪廓儀量測尺寸變形量，以及經由背光模組組裝之後，以六軸輝度計量測輝度值並計算均齊性，其次，藉由田口氏實驗法探討製程條件如射出速度、保壓切換位置、保壓壓力、保壓時間、模具溫度、塑料溫度、冷卻時間等，對導光板成形特性及光學品質的影響程度，找出主要的影響因子作為製程條件最佳化的基礎。

由研究結果發現，V 溝的尺寸特徵及導光板的翹曲是影響光學品質的主要原因。維持 V 溝尺寸的精度，需要足夠的壓力，但是若沒有足夠的熔膠作為壓力傳遞的空間，則光學特徵之幾何形狀收縮變形，是造成導致導光板光學輝度下降的主因。因此利用較高的膠溫及模溫控制，配合精密射出機進行保壓壓力的多段精確控制，使保壓階段的壓力傳遞能有效均勻地分佈於整個塑品，將是維持 V 溝特徵及提升光學輝度之最主要的關鍵。本研究針對小尺寸的導光板進行完整的開發技術探討，其結果將可作為開發大尺寸導光板的重要參考資料。

關鍵字：導光板(Light Guide Plate)、光學設計、製程最佳化、V-CUT

Abstract

A backlight module is the light source of a TFT-LCD system. The light magnitude and distribution of the display is mainly dominated by light guide plate. There are three major stages for developing a light guide plate, and these three are correlated with the quality of the light guide plate. For example, an optical pattern design for achieving high brightness and high uniformity may not have the expected optical quality with the dimension instability caused in the molding process. In this thesis, a 2.5" V-cut pattern wedge-type light guide plate (56.1 mm in length, 45.75mm in width, 2.3mm to 0.9mm in thickness) was studied and injection molded with optical class PC resin. A total solution for light guide plate development was built including analysis, design, molding, and

measurement in this thesis. The optical characteristics and micro pattern were analyzed and designed with Trace Pro commercial software; molding tool design and mold flow analysis were done using Moldex 3D software, through Moldex 3D analysis, proper initial molding parameters can be found; mold cavity was manufactured with V-cut machine; the dimension and surface qualities of the molded light guide plate was measured with surface profiler; after assembling the molded light guide plate with a commercial LCD system, brightness and uniformity were measured and calculated by a 6-axes luminousness measurement system. Besides, the effects of different molding parameters, such as injection speed, V-P switching position, holding pressure, holding time, cooling temperature, cooling time, and melt temperature, were studied using Taguchi method, the results of the DOE were implemented in molding the of designed light guide plate.

In this study, it was found that V-cut pattern and the warpage of light guide plate play the most important roles in optical qualities. To achieve higher V-cut pattern precision, it requires higher molding pressure to fill the melt into cavity. Without enough filling and packing pressures, the V-cut pattern on the cavity can not been fully copied and the part is easy to warp after demolding, and that is the main reason of less brightness of the light guide plate. To achieve high V-cut pattern precision and higher brightness of the light guide plate, higher melt and cooling temperatures with multi-stage packing to fill the mold with uniform pressure is crucial. In this thesis, a development process for small size light guide plates was studied, the results of this study can be a good reference for developing larger size light guide plate.

Key word: Light Guide Plate, optics to design , Optimization of Processes Condition ,V-Cut.

一、前言

本研究之主題為『影像顯示器』---TFT-LCD 液晶顯示器中，背光模組（Backlight）之導光板（Light Guide Panel，簡稱「LGP」）。其主要功能是将線光源轉換成面光源。由於導光板佔整個背光模組成本之 15%-25%，所以模組廠為了降低其成本，紛紛投入導光板研究開發之工作。在背光模組中，亮度即輝度表現一直是關鍵所在，導光板之光學特徵設計之良莠，充分關係到日後背光模組，甚至是 LCD 液晶顯示器的品質。而關鍵產品『導光板』，如何盡可能將光引導均勻並達最高效率，即是我們我所關心的。當然影響導光板輝度表現之因素有許多，大概可規納為幾類：一.光學設計不良 二.光學特徵之加工不良 三.射出成型不良 四.背光模組組立不良 等。因此本文針對導光板之光學輝度表現，利用 Trace pro 軟體進行光學設計分析及 moldex3D 軟體進行

CAE 分析，並配合田口氏實驗計畫法就射出速度、保壓切換位置、保壓壓力、保壓時間、模具溫度、塑料溫度、冷卻時間等條件作分析，探討操作條件對導光板光學性質的影響。

二、實例研討

(1).產品說明

導光板長 56.1mm,45.75mm, 厚度由 2.3mm~0.9mm 之 2.5 吋的 V 溝型式導光板(產品實體如圖一)，有效發光面積，長(53.1mm)、寬(42.75mm)，成形塑料為帝人化成 TEIJIN AD5503 光學級 PC，光學檢驗規格(如表一所示)，本光學檢驗標準採用 9 點量測，其中心最大輝度須達 2400 cd/m^2 ，9 點平均輝度 2200 cd/m^2 ，均勻性 80%，檢驗儀器為六軸輝度計+ BM-7。背光模組中，除了導光板為本實驗自行設計，並開模製造外，其餘一切零件部品皆外

購。最主要目的為印證導光板從光學設計、模仁製造，再到射出成型，其光學變化和差異性。

(2).光學設計

本研究首先依據導光板之成品圖面和光學規格，針對幾何形狀和 pitch 之排列著手光學設計，光學特徵之幾何形狀選定 V 形溝槽之形狀。依幾何光學之 *Snell's Law* 作光通量之設計，圖二為已設計完成並經過光學模擬後，Trace pro 之輝度分佈圖，其光路模擬如圖三所示。

Snell's Law :

$$n_i \sin i = n_r \sin r$$

(3).模流分析

依據導光板之成品圖面，建立 3D 模型進行產品之 CAE 分析。利用 moldex3D 模擬軟體，針對導光板厚薄不一之形狀，進行充填、保壓(圖四)、冷卻、翹曲(圖五)等分析，以減少日後成型不良發生。導光板波前圖如圖五所示。

(4).模具設計製造

模具設計則採用二板模，一模一穴設計方式，模座為 200X200X220，模仁材質為鈹銅，模穴中心有偏置，如圖六所示。本產品為楔形平板之薄件，採用澆口扇形澆口，主要是為使塑料能均勻，且穩定的流入模穴中，使其具有較均一的波前流動。進澆口位置置於側面厚到薄邊部位，以減少日後二次加工時，入光側須再鏡面加工。

(4).成形條件之探討

導光板光學輝度之製程最佳化，為本研究重點之一。利用上敘光學設計並開模製造後之模具進行射出成型，其次引入田口氏實驗計畫法尋求成形條件對光學輝度的最佳組合，以達到光學輝度最大化的目標。本實驗射出機之機台選用 Sodick 精密射出成型機(30TH)之機型，機器最大合模力為 30(ton)，最大射壓 262(MPa)，射速 500(mm/s)，冷卻液之模溫為油冷。

首先探討單一成形條件對光學輝度之影響。

1. 射出速度—本實驗利用射出速度改變射出壓力對照的單元。射出速度之快慢，影響到塑脂在模穴中行徑的波前位置，因產品之厚薄不均，其波前落厚之情況特別明顯，也影響到分子配向，對於光學輝度之影響很大。
2. 保壓切換點—一般為模穴充填完畢之 95% 左右，當作保壓切換點。其切換點之主要用意為避免充填切換保壓時，壓力過大充過頭，而產生毛邊，對於光學輝度較無直接之影響。
3. 保壓壓力—對於成品形狀較厚，或有其微特徵形狀之產品，保壓壓力可以利用澆口溫度，尚未低於 Tg 點時，把塑料盡可能的填入模穴或微特徵中，使產品盡量符合模穴形狀，所以對於輝度之影響很大。
4. 保壓時間—為切換保壓時，保壓壓力所施加之時間。一般約略大於澆口冷卻固化所需的時間即可，保壓時間長並無用處。
5. 模具溫度—其溫度的高低，影響到塑脂在模穴中的流動，溫度高時，塑脂比較容易填入微特徵中。
6. 塑料溫度—塑脂之溫度高低，影響到塑脂在模穴中的流動，溫度高時，塑脂比較容易填入微特徵中。
7. 冷卻時間—一般為塑脂材料固化之時間，固化之時間長短，由產品厚度決定。
8. 由上述之七項分析利用田口氏實驗計畫法決定出最佳的成形條件組。

(5).最佳成形條件之組合探討

以射出速度、保壓切換位置、保壓壓力、保壓時間、模具溫度、塑料溫度、冷卻時間等七個操作條件為控制因子，每個因子取三個水準(如表二)，以 L18 直交表(如表三)配置並進行成型實驗。由變異數分析得知，對光學輝度的影響貢獻度依序如下：塑料溫度、保壓壓力、射出速度、模具溫度、保壓切換位置、冷卻時間、保壓時間。實際射出成型，並搭配田口氏實驗計畫法後，結果最佳光學輝度之條件為 a1、b2、c3、d1、e3、

f3、g2(表四及如圖七所示)，其中於塑料溫度、保壓壓力、射出速度等三個條件對光學輝度之影響最為明顯。塑料溫度愈高，光學特徵就愈容易充填，幾何形狀之轉寫性也比較高，光學輝度因為提高。保壓壓力對光學輝度影響，保壓壓力愈大時幾何特徵形狀之轉寫性愈好。射出速度之波前，愈接近相等波前時，其分子鏈較無被過度拉扯，所以塑料分子性質較接近，光學輝度表現自然較好。保壓時間基本上只對翹曲稍有作用，對光學輝度較無明顯之功用。

(5).幾何形狀之轉寫性對光學輝度之探討

對幾何形狀之轉寫性的影響主要為膠溫、模溫及保壓壓力，因為塑脂在高溫高壓之下，比較容易流入微特徵中，再加上保壓壓力推助，其尖深處之幾何形狀相對成型較完全，故光學輝度比較高。本研究之特徵設計為 V-CUT 深度 2.89(um)，V-CUT 角度 120 度。於直交表中之 EXP.1，其條件中膠溫、模溫及保壓壓力皆為較低，結果成型後導光板之光學特徵 V-CUT，利用表面輪廓儀量測後其實際深度為 0.123(um)、實際角度 171.04 度，背光模組最大光學輝度為 $2626\text{cd}/\text{m}^2$ ，利用田口氏實驗計畫法找出之最佳條件 a1、b2、c3、d1、e3、f3、g2，利用表面輪廓儀量測後其實際深度為 1.1322(um) (如圖八所示)、實際角度 138.8 度，背光模組最大光學輝度為 $4912\text{cd}/\text{m}^2$ ，可以發現經由田口氏實驗法所求得的成形條件組合明顯較佳。(背光模組如圖九、背光模組輝度實際量測如圖十所示)

三、結論

在現今政府不段的投入「顯示器」產業，而國內導光板之生產製造廠商正逐步增家之中。在多樣化的時代，成品不段的推陳出新，顯示器中高亮度高輝度的要求，必須從導光板之光學設計和製造著手。本論文中利用自行設計之光學特徵和排列，開模製造後，並搭配田口氏實驗計畫法決定出最佳光學輝度條件，其中塑料溫度、保壓

壓力、射出速度等三個條件，是影響光學輝度的主要因子。依此開發設計方法，其光學輝度相較市面上其他產品，已大幅提升兩倍之多。所以，其結果亦可作為開發其它子尺寸導光板的重要參考資料。

四、參考文獻

- 【1】王英夫，具細微鏡面結構之光學元件，台灣奈普光電科技股份有限公司，中華民國專利公告號 452088。
- 【2】Tomoki Gunjima，Yoshiharu Ooi，Masao Ozeki，Hiroaki Ito，Hiroshi Hasebe，Tetsuro Matsumoto，Yutaka Nakagawa，“LCD Device Including An Illumination Device Having A Polarized Light Separating Sheet Between A Light Guide And The Display” United States Patent，Patent Number：5,587,816。
- 【3】Yoshitaka Yamamoto，Yamato Koriyama，“Liquid Crystal Display Device with Edge Lightguide Reflecting Light to Back Reflector by Total internal Reflection” United States Patent，Patent Number：5,341,231

表一、光學規格

背光模組	導光板	試驗項目	計算條件	規格	單位	環境溫度 (°C)	工作溫度 (°C)	電流型式
		中心輝度	第五	2400	cd/m ²	60±10 °C RH	25±2 °C	DC 12V
平均輝度	9點平均	2200	cd/m ²					
均勻性	9點計	80	%					
色度 X(x)	9點平均	0.295±0.15						
色度 Y(y)	9點平均	0.285±0.15						
塑框	判定基準			成型方式/材質				
	外購			塑膠成型/PC				

表二、操作條件與控制因子水準

Factors	I	II	III
a. 射出速度(mm/sec)	80	90	100
b. 保壓切換位置	12	13	14
c. 保壓壓力(kg/cm ²)	70	85	100
d. 保壓時間(sec)	2	3	4
e. 模具溫度(°C)	50	60	70
f. 塑料溫度(°C)	240	260	280
g. 冷卻時間(sec)	10	15	20

表三、L18 直交表

EXP.	1	2a 射速	3b 位置	4c 保壓	5d 保壓時間	6e 模溫	7f 料溫	8g 冷卻時間
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2	2
3	1	1	1	3	3	3	3	3
4	1	1	2	1	1	2	2	3
5	1	1	2	2	2	3	3	1
6	1	1	2	3	3	1	1	2
7	1	1	3	1	2	1	3	2
8	1	1	3	2	3	2	1	3
9	1	1	3	3	1	3	2	1
10	2	2	1	1	3	3	2	2
11	2	2	1	2	1	1	3	3
12	2	2	1	3	2	2	1	1
13	2	2	2	1	2	3	1	3
14	2	2	2	2	3	1	2	1
15	2	2	2	3	1	2	3	2
16	2	2	3	1	3	2	3	1
17	2	2	3	2	1	3	1	2
18	2	2	3	3	2	1	2	3

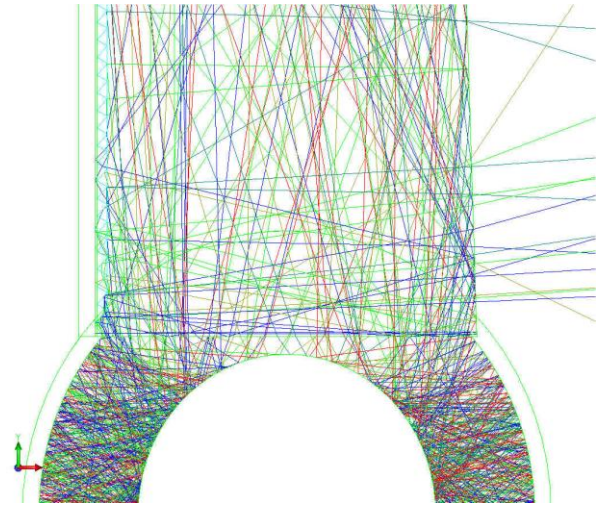
表四、回應表及最佳組合

	a	b	c	d	e	f	g
1	70.03	69	68.85	69.60	69.20	68.04	69.48
2	69.29	69.62	68.9	69.33	69.04	69.16	69.52
3	68.84	69.54	70.70	69.21	69.91	70.95	69.14
Max-Min	1.19	0.62	1.85	0.39	0.86	2.91	0.38
Total	208.15	208.15	208.45	208.15	208.15	208.15	208.15

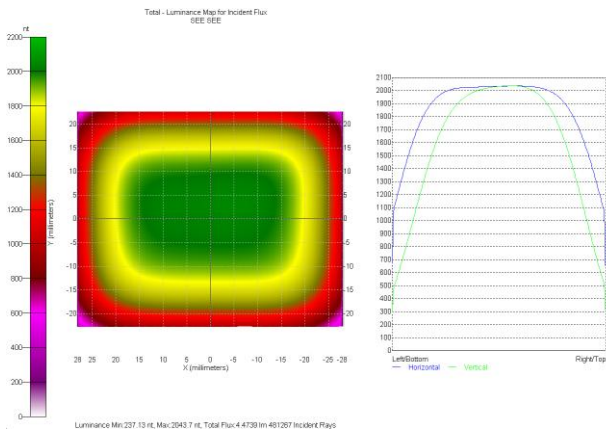
最佳組合 a1 b2 c3 d1 e3 f3 g2



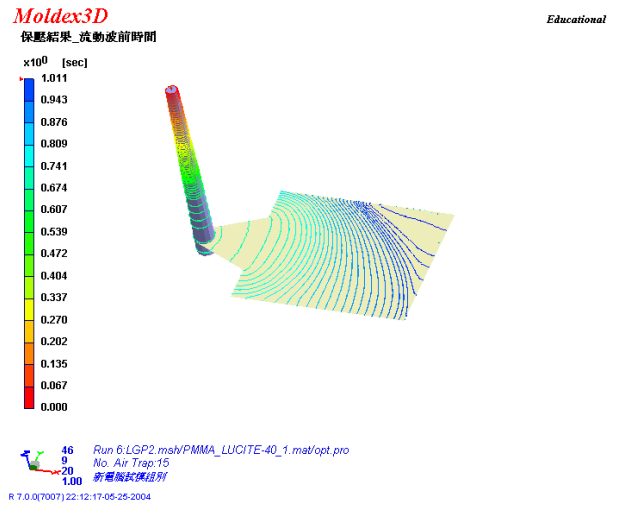
圖一、導光板成品圖



圖三、Trace pro 光路模擬圖



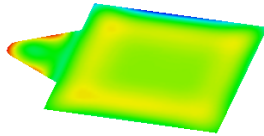
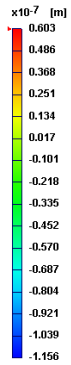
圖二、Trace pro 導光板光學輝度設計圖



圖四、導光板波前分佈圖

Moldex3D

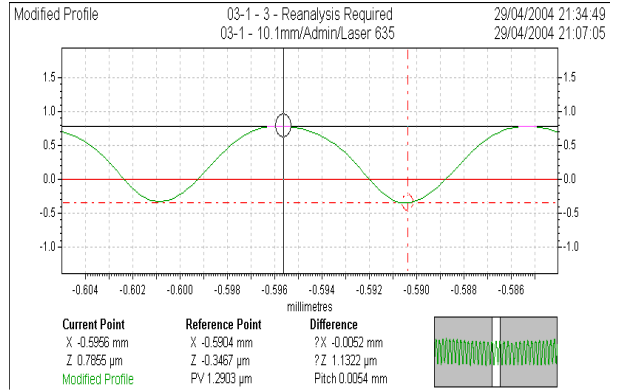
翹曲變形_Z_視位移分量



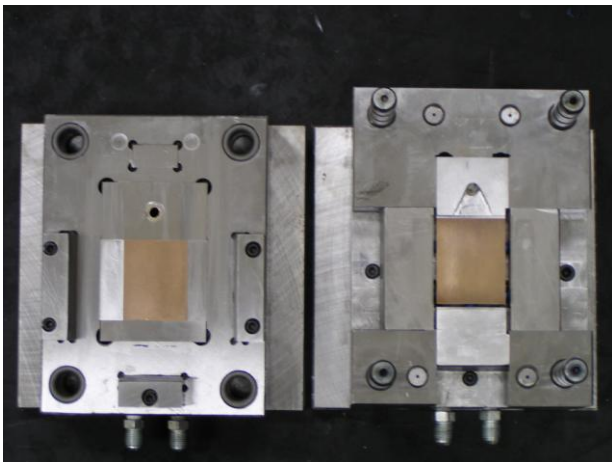
46 Run 6.LGP2.msh/PMMA_LUCITE-40_1.mat/opt.pro
 9 Rng: -1.16e-007 ~ 6.03e-008 Avg: -1.64e-009 m (Scale:0.00,Total)
 20 新舊板裝模區別
 1.00
 R 7.0.0(7007) 22:17:50-05-25-2004

圖五、導光板翹曲分佈圖(總翹曲量 1.759 條)

Educational



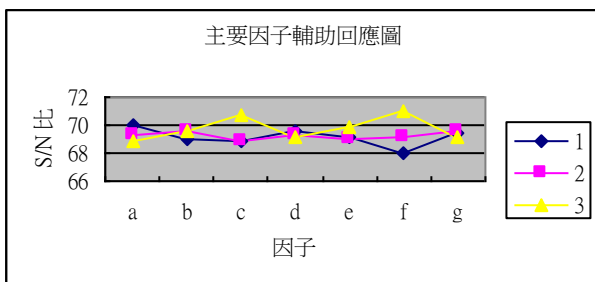
圖八、表面輪廓儀量測後其實際深度



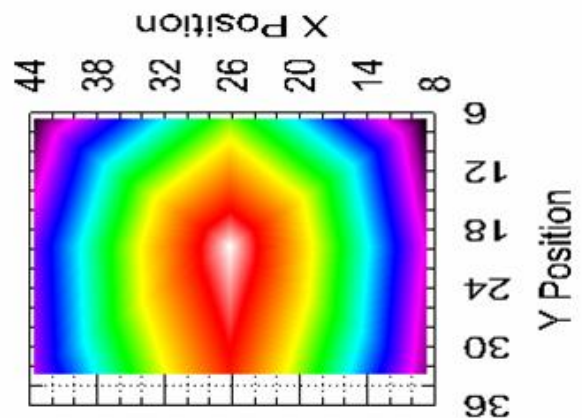
圖六、公母模實體



圖九、2.5吋背光模組圖



圖七、主要因子回應表



圖十、2.5吋背光模組輝度實際量測圖