

國立高雄應用科技大學

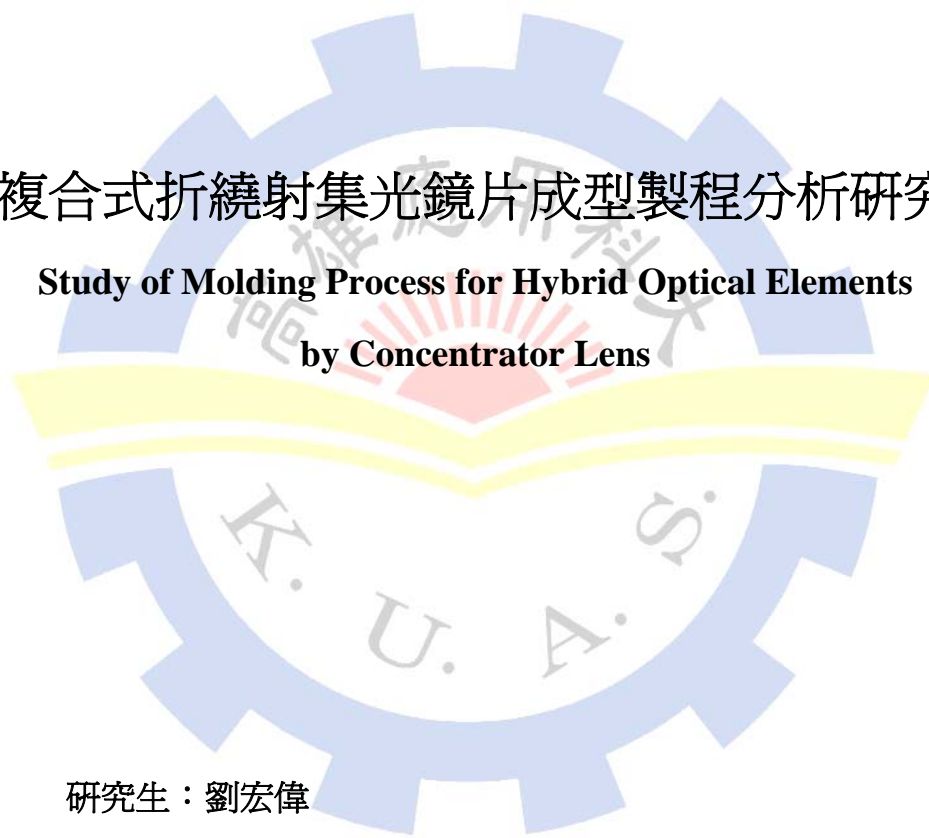
碩士班

碩士論文

複合式折繞射集光鏡片成型製程分析研究

Study of Molding Process for Hybrid Optical Elements

by Concentrator Lens



研究生：劉宏偉

指導教授：黃俊欽 教授

中華民國一 百 年 七 月

複合式折繞射集光鏡片成型製程分析研究

**Study of Molding Process for Hybrid Optical Elements
by Concentrator Lens**

研究生：劉宏偉
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 and Die Engineering
National Kaohsiung University of Applied Sciences
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master of Engineering
In
Mold and Die Engineering

June 2011
Kaohsiung, Taiwan, Republic of China

中華民國一十年七月

複合式折繞射集光鏡片成型製程分析研究

學生：劉宏偉指導教授：黃俊欽教授

國立高雄應用科技大學模具工程系碩士班

中文摘要

目前市面多太陽能發電效率依種類不同而所高低，其中發電效率最高者為 HCPV，HCPV 系統組成多為發電晶片、集光鏡片及追日系統。集光鏡片的研究部份，又多以結構設計為主，較少有製程整合性研究。本論文以直徑 70mm^2 大小之太陽能集光鏡片，以菲涅爾透鏡型式製作，並鏡片兩端設計存有大齒型結構-折射面(高度為 $0-2\text{mm}$)，功用為使產品能距焦於預定位置；及精微小齒型結構-繞射面(高度為 $0-1\ \mu\text{m}$)，將光學色散光頻波修正到聚焦位置，文中將針對此設計之不同大小齒型充填狀況進行研究。

集光鏡片設計採用菲涅爾透鏡型式，菲涅爾透鏡是將傳統曲率式鏡片，切割成齒狀進而達到輕、薄功能，而透鏡齒狀結構轉寫率會影響集光效率。本論文產品為同時存有大齒型結構之特殊設計，影響大小齒轉寫率又各自為不同因素，對於大齒而言影響轉寫率主因為保壓壓力，而小齒型則為模溫。此外塑膠產品的應力殘留，也對鏡片光學有一定的影響程度，而模穴內殘留空氣也會造成尖齒狀尖端充填不足現象，為綜合探討各項因子所發生的問題，本論文以射出成型為基礎，引入射出壓縮、動模溫、抽真空等三種製程，搭配田口實驗法來進行探討。射出成型有快速並大量製造優點，為傳統生產方式；射出壓縮則改良射出成型模穴充填模式，以較均勻應力來完成製品，藉此減少內應力；動模溫系統則將模溫加高到材料 T_g 點，並快速冷卻，在不增加循環時間的條件下提高微小結構的充填性；而抽真空系統則可將模穴抽至一定的負大氣壓下，來減少模穴內充填末端積存空氣產生的問題，尤其是大齒型尖齒狀末端無法排氣結構。本論文以系統性方式對四種製程進行實驗比較，分別量測不同製程對單一產品不同齒型尖端轉寫率之研究，以利相關產業於製造上採用適合的生產方式。

經實驗結果發現影響大齒結構以料溫最為明顯而小齒型則為模溫，這在射出成型與射出壓縮成型上有相同的狀況，高料溫能使保壓壓力能更均勻傳遞進入大齒尖部份，高模溫則可讓微齒型充填更完整，但另一方面，較高模溫會使材料翹曲加大，二者高料溫亦可能造成塑料黃化。使用變模溫裝置再繞射面影響較為明顯，可將轉寫率提升到 98.29%，模穴抽真空製程對大小齒轉寫率提升幅度約在 2~4%，隨抽真空程度加大而增加，整體轉寫率可達 96%以上。

關鍵字：太陽能集光鏡片、複合式鏡片、菲涅爾透鏡、射出成型、射出壓縮成型、變模溫、模穴抽真空



Study of Molding Process for Hybrid Optical Elements by Concentrator Lens

Student : Hung-Wei,Liu

Advisors : Dr.Chung-Ching Huang

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

ABSTRACT

There are many different kinds of Photovoltaic on the market so far, and each one has different effective. HCPV has the highest efficiency of generator. HCPV system is combined with power chips, collector lens and tracking system. The research of collector lens is more concerned about structural design but less process integration. The essay is made of collector lens which diameter are 70mm^2 . The design of lens is Fresnel Lens. It contains with big serrated: plane of refraction which height is 0-2mm. It can let the product to focus on forecasted location. and the mini serrated: diffractive surface which height is $0-1\mu\text{m}$ can correct the location. The research is about each stowing situation of different kinds of Serrated.

The design of collector lens is Fresnel lens, a traditional curvature of the lenses. It can be light and thin while the construction of lens serrated will influence the efficiency of light harvesting. The essay is about the special design of big and small Serrated will influence each transcription rate by different cause. The cause of big serrated is packing stress while the small is mold temperature. Besides, the residual stress of plastic product will also influence the optics. To discuss the problem of each

cause, the essay the essay is basic of injection molding, and has three processing methods : injection compression, Rapid Heat Cycle Molding and vacuum. It also comes with Taguchi experimental method. Injection molding can have mass production quickly, and it's a traditional method. Injection compression has better balanced power to produce products. In order to reduce stress, the system of Rapid Heat Cycle Molding can add to Tg of material and freeze quickly. And the air remained in cavity will cause the insufficient situation. To lift up the mini filling of construction without add the circulation of time, and vacuum system can let mold be under the minus atmosphere. It can reduce the problem that cavity will store air in the point. Especially the serrated don't have the exhauster. The essay is compared with the four methods to find the best producing way, and measure the transcription rate of each product for research. It will help the related industry.

According to the research, melt temperature can influence big serrated most while mold temperature affect micro serrated. Injection molding and Injection compression are in the same situation. High melt temperature can let pressure spread into big serrated averagely. High mold temperature can fill micro serrated completely.

However, the higher mold temperature will enlarge the material while higher melt temperature can cause etiolating. The vacuum cause nothing on transcription rate of big and small serrated. While mold temperature can influence transcription rate of mini structure obviously.

Keyword : Solar Concentrator 、 Hybrid Optical 、 Fresnel 、 Injection Molding 、 Injection Compression Molding 、 Rapid Heat Cycle Molding 、 Vacuum of mold cavity

誌謝

兩年煙酒生生活隨著口試的結束而告一段落，離開高雄的日子也越來越近，一晃眼高雄生活就結束了，從到高雄開始生活已經是第八年了，喜歡上這個城市的悠哉，便宜的美食，還有熱死人的天氣。

首先，感謝父母親與指導教授黃俊欽老師的栽培，也特別感謝王珉玫老師、蕭美枝老師及口試委員對學生的指導，使學生獲益良多。感謝洪宜欣老師與青青文服全體伙伴，讓我有充實的大學與煙酒生生活，並在此間學習與成長。再來感謝漫研社全體，陪我渡過了不少時間，雖然新進學弟妹都不認識了。也感謝 IKA-10s 各位的荒淫，為兩年的煙酒生活多了不少樂趣，也謝謝金工中心鄭穎聰、蔡元勛兩位學長對實驗的大力協助，最後謝謝研究室全體伙伴，及眾多廠商的幫忙，使研究生生活順利與平安。

最後也特別感謝這些人，嘉倫、皓智、英智、俊曜、小弟、君茹、禮鑿、介亭、家祥、宇安、彥君、豆腐、光光、Cakie、冰冰、Anna、JOJO、M 大、SW、貓、成功、昆霖、耀峻、象哥、小美、阿達、一帆、小林、小胖、乙玄、宗模、晨峰、易承、文旺、聖育、旭峰、元植、偉銘、韋德…等。當然還是有漏失掉的人，感謝你們一路上的相伴，僅在此表達我最深的謝意。

2011.07.23Kaohsiung by Hamu

目錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	iii
誌謝.....	v
表目錄.....	viii
圖目錄.....	ix
符號說明.....	xii
一、導論.....	1
1.1 前言.....	1
1.2 高聚光太陽能(High Concentrated Photovoltaic)介紹.....	2
1.3 菲涅爾透鏡(Fresnel Lens)介紹.....	5
1.4 研究目地與動機.....	6
1.5 文獻回顧.....	6
1.6 研究方法.....	8
1.7 論文架構.....	9
二、基礎理論.....	10
2.1 光學理論與基礎.....	10
2.1.1 折射率.....	10
2.1.2 折射定率.....	11
2.1.3 光學像差.....	12
2.2 繞射光學設計理論.....	13
2.3.折/繞射複合透鏡設計理論.....	14
2.4.太陽能集光片光學理論(菲涅爾透鏡成像理論).....	16
2.5.太陽能電池光電理論.....	17
2.6.射出成型理論.....	19
2.7 射出壓縮成型理論.....	21
2.8 變模溫系統介紹.....	24
2.9 真空成型法介紹.....	25

2.10 田口式實驗法	26
2.10.1 田口式實驗法步驟.....	26
2.10.2 參數設計與要因.....	26
2.10.3 水準與直交表.....	27
2.10.4 S/N比與反應圖表.....	27
2.10.5 變異數分析.....	28
2.10.6 確認與預測.....	29
三、製程參數選定.....	31
3.1 鏡片設計	31
3.2 模具設計參數	35
3.2.1 模具設計概要.....	35
3.3 起始條件設定	36
3.3.1 材料選用參數.....	36
3.3.2 機台選用參數.....	39
3.4 CAE模擬概述.....	39
3.4.1 CAE分析判讀與選用流程	39
3.4.2 充填控制.....	40
3.4.3 保壓壓力曲線與充填/保壓轉換點設定.....	40
3.4.4 冷卻結果分析.....	42
四、實驗流程與檢測	44
4.1 實驗流程	44
4.2 實驗與檢測儀器	45
4.2.1 射出成型機.....	45
4.2.2 模溫機.....	46
4.2.3 真空泵浦.....	47
4.2.4 表面輪廓儀.....	49
4.3 實驗參數設計與選用	51
4.3.1 短射實驗.....	51
4.4 射出成型田口式實驗法參數選擇	53

4.5 射出壓縮成型田口式實驗法參數選擇	54
4.6 變模溫實驗設計	54
4.7 抽真空實驗設計	55
4.8 產品檢測	55
4.8.1 齒型轉寫率量測說明.....	55
五、實驗結果與討論	57
5.1 射出成型微結構	57
5.1.1 田口式實驗結果與討論.....	57
5.1.2 變模溫結果與討論.....	61
5.1.3 抽真空結果與討論.....	62
5.2 射出壓縮成型	64
5.2.1 田口式實驗法結果與討論.....	64
5.2.2 變模溫結果與討論.....	69
5.2.3 抽真空結果與討論.....	70
六、結論與展望	72
6.1 結論	72
6.2 未來展望	73
七、參考文獻	75
八、附錄.....	75

表目錄

表 3-1 菲涅透鏡設計參數.....	32
表 3-2 PMMA GH-1000s材料系數.....	37
表 4-1 射出成型機參數.....	45
表 4-2 射出成型要因水準表.....	53
表 4-3 射出壓縮要因水準表.....	54
表 5-1 射出成型田口式實驗法直交表參數.....	58
表 5-2 射出成型折射面 S/N回應表.....	58
表 5-3 射出成型折射面變異數分析表(ANONA results of Refraction parts)	59
表 5-4 射出成型繞射面 S/N回應表.....	59
表 5-5 射出成型繞射面變異數分析.....	60
表 5-6 射出成型確認實驗(confirmation Run).....	60
表 5-7 射出成型變模溫測試.....	61
表 5-8 射出成型抽真空測試.....	62
表 5-9 射出壓縮成型折射面田口式實驗法.....	65
表 5-10 射出壓縮成型折射面 S/N回應表.....	66
表 5-11 射出壓縮成型折射面變異數分析(ANONA results of Refraction parts).....	67
表 5-12 射出壓縮成型繞射面S/N回應表.....	67
表 5-13 射出壓縮成型繞射面變異數分析表.....	68
表 5-14 射出壓縮成型確認實驗.....	69
表 5-15 射出壓縮成型變模溫測試.....	69
表 5-16 射出壓縮成型抽真空測試.....	70

圖目錄

圖 1-1 太陽能電池演進與發電效率比較圖。	2
圖 1-2 HCPV發電示意圖	4
圖 1-3 菲涅爾鏡片切割示意圖	5
圖 2-1 光的折射與反射	12
圖 2-2 光色散示意圖	12
圖 2-3 繞射鏡片光波聚焦圖	13
圖 2-4 複合式鏡片聚焦示意圖	16
圖 2-5 菲涅爾鏡片折射示意	16
圖 2-6 太陽能光電轉換示意圖	18
圖 2-7 射出成型流程圖	21
圖 2-8 射出(a)與射出壓縮(b)壓力比較圖	23
圖 2-9 射出成型(a)與射出壓縮成型(b)澆口應力殘留比較圖	23
圖 2-10 射出壓縮流程示意圖	24
圖 2-11 高低模溫機切換示意，(a)模穴加溫狀態，(b)模穴降溫狀態	25
圖 2-12 田口式實驗法設計流程	30
圖 3-1 折射面角度示意圖	33
圖 3-2 繞射面角度示意圖	33
圖 3-3 複合式折繞射鏡片設計示意	33
圖 3-4 實際產品圖	34
圖 3-5 折射面鏡片設計示意	34
圖 3-6 繞射面設計示意	35
圖 3-7 可動側模具實體圖	36
圖 3-8 固定側模具實體圖	36
圖 3-9 PMMA GH-1000s材料PVT曲線圖	38
圖 3-10 PMMA GH 1000s黏度曲線圖	38
圖 3-11 網格與水路配置圖	40
圖 3-12 澆口冷卻凝固時間圖	41
圖 3-13 澆口於 3.94s凝固狀態	42
圖 3-14 保壓壓力與時間對產品克重實作結果	42
圖 4-1 實驗流程架構示意圖	44
圖 4-2 ARBURG 320C	46
圖 4-3 高低模溫機變模溫系統	47
圖 4-4 真空泵浦	47

圖 4-5 氣壓錶.....	48
圖 4-6 射出壓縮模穴抽真空示意圖.....	48
圖 4-7 抽真空模穴氣密O型環實體照片.....	48
圖 4-8 表面輪廓儀之探針內部結構.....	49
圖 4-9 折射面齒型輪廓.....	49
圖 4-10 折射面末三齒齒型輪廓.....	50
圖 4-11 繞射面齒型輪廓.....	50
圖 4-12 繞射面末齒型輪廓.....	50
圖 4-13 繞射面小齒齒型輪廓.....	51
圖 4-14 射出成型射速與模溫成型視窗.....	52
圖 4-15 射出壓縮射速與模溫成型視窗.....	52
圖 4-16 魚骨圖.....	53
圖 4-17 量測換算示意圖.....	56
圖 5-1 射出成型折射面 S/N回應圖.....	59
圖 5-2 射出成型繞射面 S/N回應圖.....	60
圖 5-3 變模溫系統對射出成型折射面轉寫率之影響.....	61
圖 5-4 變模溫系統對射出成型繞射面轉寫率之影響.....	62
圖 5-5 抽真空系統對射出成型折射面轉寫率之影響.....	63
圖 5-6 抽真空系統對射出成型繞射面轉寫率之影響.....	63
圖 5-7 射出壓縮成型折射面 S/N回應圖.....	66
圖 5-8 射出壓縮成型繞射面S/N回應圖.....	68
圖 5-9 變模溫系統對射出壓縮成型折射面轉寫率之影響.....	69
圖 5-10 變模溫系統對射出壓縮成型繞射面轉寫率之影響.....	70
圖 5-11 抽真空系統對射出壓縮成型折射面轉寫率之影響.....	71
圖 5-12 抽真空系統對射出壓縮成型繞射面轉寫率之影響.....	71

符號說明

W_p	: 峰瓦
n	: 折射率
C	: 真空中光速
V	: 介質中光速
R_1, R_2	: 鏡面曲率半徑
f	: 聚焦位置
V_d	: 阿貝數(Abbe's number or V-number)
η	: 太陽能電池轉換效率
P_m	: 太陽能電池發電量(W)
E	: 標準條件下的光能量(全天空日照射量)
A_c	: 太陽能電池表面積
CR	: 電流比
V_{oc}	: 開路電壓
I_{sc}	: 短路電流
m	: 控制因子
n	: 水準個數
N	: 實驗總次數
η_i	: 各實驗所得 S/N 比
S_e, CF	: 平均變動(Sum of Square due to Mean)
S_T	: 全變動(Sum of Square due to Total Variation)
S_A	: 變動(Sum of Square)
A_i	: 要因之 S/N 比值
V_a	: 變異 (Error Variance)
f_A	: 單項要因之自由度
S'_A	: 純變動 (Pure Sum of Squares)
F_a	: 變異比 (Fvalue)
V_{eT}	: 誤差變異(統合的誤差變異值)
P_A	: 貢獻度 (Contribution)
S_e	: 誤差項變動

一、導論

1.1 前言

1970年代能源危機開始，人類經濟活動的快速成長，加快了地球資源的消耗，人類對資源的依賴尤其表現在煤、石油、天然氣等，三種石化燃料，依現有開採技術而言，很快的我們將要面對資源耗竭的問題，此外使用石化燃料產生的廢氣，更是地球產生溫室效應的原兇。1960年代，核電廠的興起，取代了一部份的石化燃料使用，但使用核能卻有可能產生含放射性的廢料，爲了在環保意識的抬頭及資源消耗及經濟發展上取得平衡，人類便積極的尋找替代能源。

能源依可否重覆使用分爲再生與非再生兩類，不可重覆利用(至少目前不行)的能源，如煤、石油、天然氣等，因人類使用而逐步減少存量。再生能源則是指可重覆利用的天然資源，不因人類使用而枯竭，如太陽能、風能等，其中針對廣義太陽能(因陽光所投射熱量產生的)而言，地球每年接收太陽約 390 萬 EJ/a 能量(地熱能約 996EJ/a、天體能 94EJ/a)[1]，理論上來說，這些能量已遠遠超過全球每年所需的用量，但實際上，因地域及時間上的使用狀況，離普及使用依然存有相當大的挑戰。

2002年開始的石油危機，國際原油價屢創歷史高價，這反應了人類對石油的依賴及供需不穩，各地氣候異常，也促進環保意識抬頭，使再生能源產業興起，2011年3月日本大地震後，福島核電場事件爆發造成輻射污染，至使太陽能電池(Sollar Cell)的發展再次受到矚目。太陽能電池顧名思義便是利用太陽光所產生之光電轉換來發電(光化學及光熱能不在本文討論範圍)，早在1876年，英國科學家亞當斯於半導體研究實驗中發現，利用光照射矽半導體材料時會產生電流，但直到20世紀中期轉換效率僅只有1%，1954年美國貝爾實驗室Chapin等，研製出世界上第一塊有意義的矽太陽能電池，發電效率約6%，不久後提高到10%，此後開啓了太陽能電池的應用性。第一代太陽能電池爲矽晶電池，大至可分爲單晶矽與多晶矽兩種，爲太陽能電池使用上，應用最廣與商業歷史最悠久，第二代太陽能電池爲薄膜太陽能電池，主要材質爲非晶矽(Amorphous)與二六族化合物半導體，常用於建築塗料，第三代太陽能電池便是砷化鎵三五族太陽能電池。砷化鎵

(GaAs)運用於航太科技發電上已有些許歷史，主因是砷化鎵有良好的耐熱、耐輻射等特性，唯價格過於高昂，故很少用於家庭等商業化方面。然而隨著人類對半導體材料的認識及使用的普及，搭配上聚光性光學元件設計，使的砷化鎵電池的可利用性大幅度的提高，在全球積極尋找永續能源的今日，高效率的砷化鎵太陽能電池(發電效率可達 40%)將是一重要選擇。圖 1-1 為各種太陽能電池演進與發電效率比較圖。

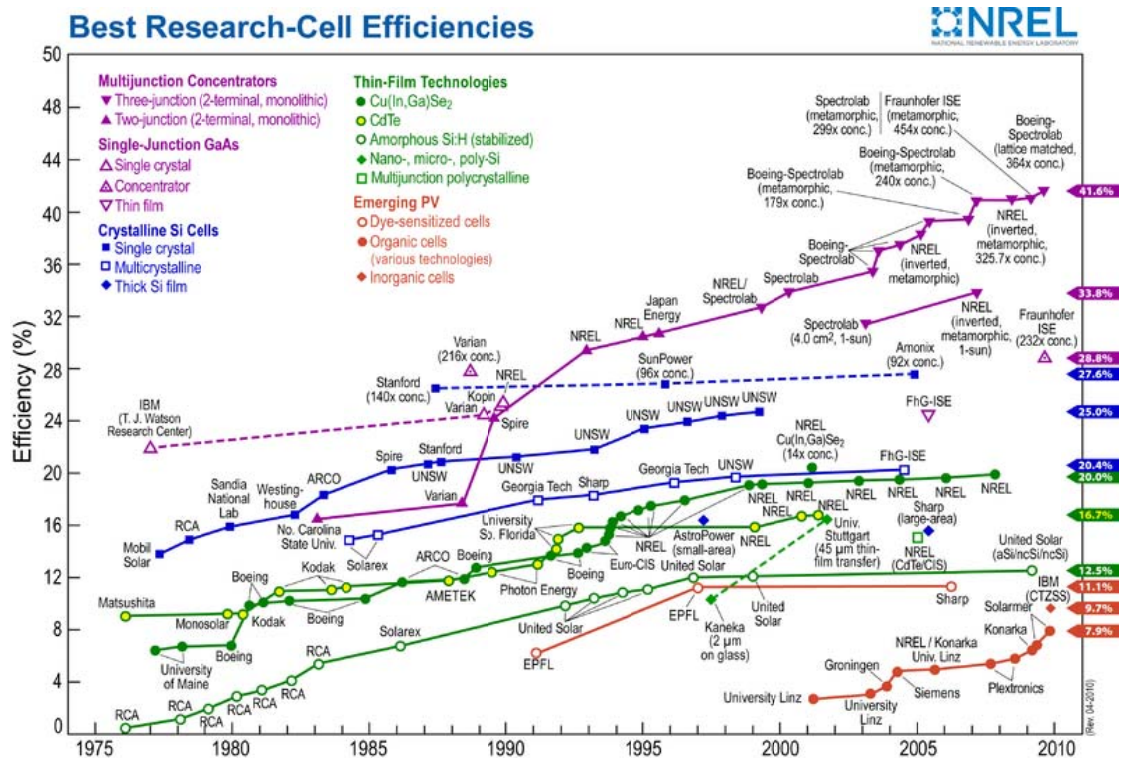


圖 1 - 1 太陽能電池演進與發電效率比較圖。

資料來源：美國國家再生能源實驗室(NREL)

1.2 高聚光太陽能(High Concentrated Photovoltaic)介紹

太陽能發電系統最大問題在於太陽能的密度低，照射到地面的平均光強度為 1kW/m^2 ，一般單晶矽電池約轉換率約可達到 16-19%，多晶為 14-15%，而第二代薄膜電池約 8-12%，而第三代砷化鎵電池雖然轉換效率最高，但整體而言也只維持在 35% 上下，因此為提高轉換效率及降低成本，增加單位面積的能量便是一個

很好的方法。

爲了能夠有效的提高光強度(單位面積的能量)，便得利用凸透鏡將光源聚集起來(圖 1-2)，這樣的做法除了能提高光強度外，另一方面也降低了砷化鎵的使用量，因此實務上砷化鎵太陽能電池往往搭配一整組的系統做來進行發電，通稱高聚光型太陽能發電系統(High Concentrated Photovoltaic ,HCPV)。HCPV 系統大至分爲三部份-聚光型太陽能電池-砷化鎵(Concentrator Photovoltaic)、高聚光菲涅爾透鏡(Fresnel Lens)、太陽光追蹤器(Sun Tracker)組合，此系統是使用菲涅爾透鏡將陽光聚至砷化鎵電池，以期在極小的晶片面積上，達到高倍聚光效果，並利用追光系統使鏡片與晶片與保持垂直，保持系統最大功率。

HCPV 的技術難度較低且使用的半導體製程較矽晶太陽能電池來的少，安裝上也較爲容易，大規模開發結果，成本亦較其他太陽能光電來的低廉，若依發電成本來看，一般平板式太陽能電池一峰瓦(Wp)(*註 1)約爲 5-6 塊美金(\$5-6/Wp)，而聚光型太陽能電池約爲 3 塊美金一峰瓦(\$3/Wp)，根據 Concentrix Solar 的推估，目前在西班牙的 HCPV 發電模組(Isofoton)，在 2006 年安裝時約爲\$2.5/Wp (以產能約 10MW 計)。德國的 Fraunhofer 的 ISE(institute for solar energy system)推出裝有菲涅爾透鏡的聚光型太陽能模組 FLATCON，將轉換效率由 23%提升至 28%，據相關估算，若使用 500suns 的 III-V 族電池(目前是使用 385 suns)之 Flatcon 來建造產能約 20MW 的 HCPV System 在 2010 成本約爲\$3.18/Wp，若產能達到 200MW，則成本可下降至\$1.66/Wp。當然在相同條件下，隨效率及產能提升，成本則下降(*註 2)。

註 1：一般在計算太陽電池的轉換功率時，是在規定的天氣和輻射條件下測試，單位叫峰瓦，符號爲 Wp

註 2：依據 Solar PV business intelligence 最新一期(六月)報告，2011 年各國廠商紛紛簽署多項 CPV 的投資與合作協議，尤其是亞洲國家更爲積極，可參考其網頁所述。

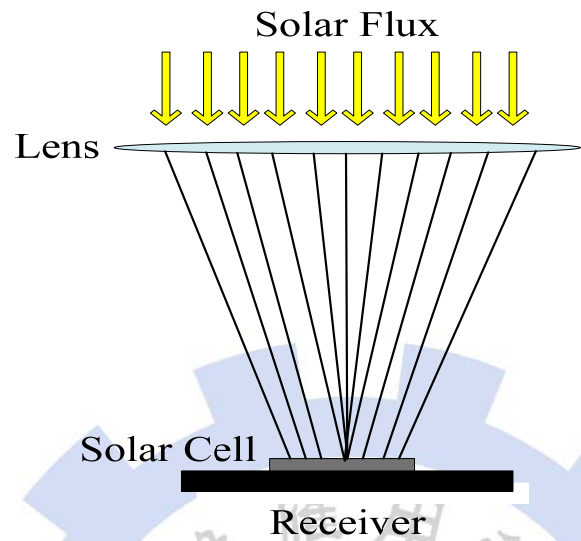
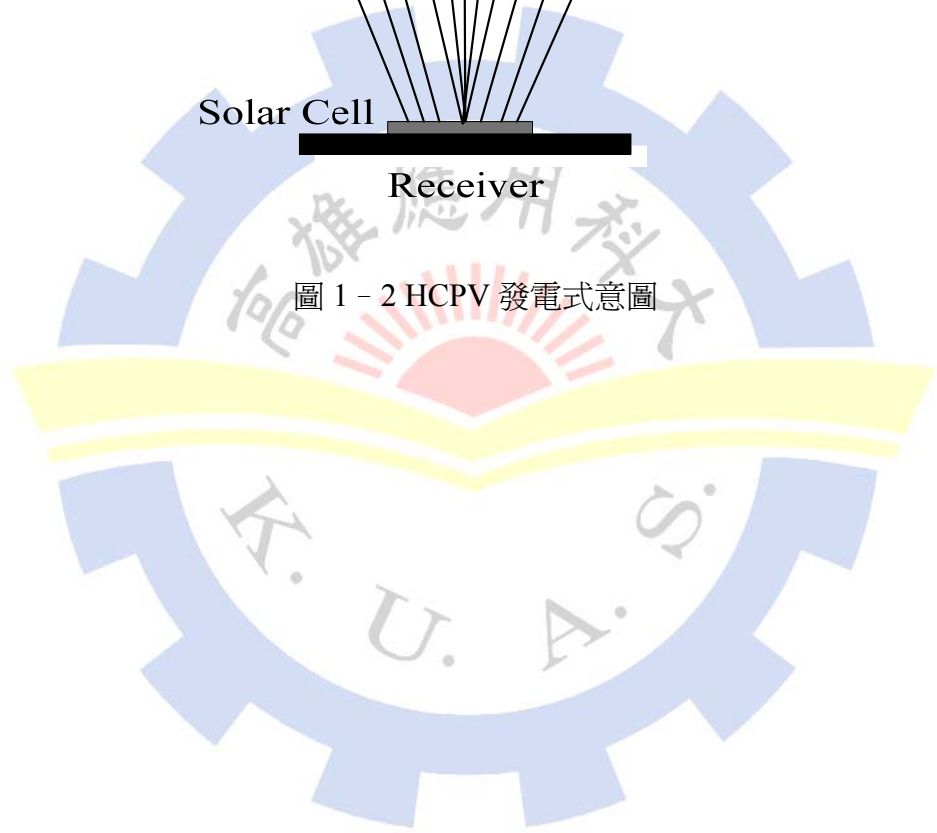


圖 1 - 2 HCPV 發電式意圖



1.3 菲涅爾透鏡(Fresnel Lens)介紹

一般的光學系統不僅由鏡面、菱鏡、平面或單一球面所構成，最常使用的元件是將透明材料的兩面磨成球面，或者是將其中一面磨成平面，另一面磨成球面，我們一般習稱透鏡(lens)多屬此類。

菲涅爾透鏡原理是將傳統的光學鏡片曲面切割成爲同心背脊構成鋸齒狀斷面，在將每一環或每一斷面移至同一平面，如圖 1-3 所示，其爲一典型的菲涅爾鏡片切割過程，在平移的過程，可調整讓鋸斷狀波峰或波谷於同一平面上之兩種選擇，使得原本設計成平凸狀的透鏡薄化，達到減重及避免成形收縮導致透鏡曲率變化。菲涅爾的每一鋸齒狀可視爲一小稜鏡，選擇適當曲率的小稜鏡，設計者便可獲得菲涅爾透鏡的焦距及控制影像品質。

由於菲涅爾積輕巧，成本低，目前廣泛的運用於投影機、太陽能聚光系統、TV 投影機、燈塔探照燈、汽車大燈燈罩、一般放大鏡等。當不要求成像品質，口鏡徑又大，菲涅爾元件比同等光學玻璃元件來的要優越，其中涉及領域則包含了光學設計、模具設計及加工、精密成形、功能量測等。

從第一片菲涅爾透鏡問世以來，迄今已有百年歷史，早期材料多爲玻璃，加工不易，應用例子不多，近代由於光學塑膠材料的普及，工具機及加工技術的精進，使生產菲涅爾透鏡更爲大量化與低成本。

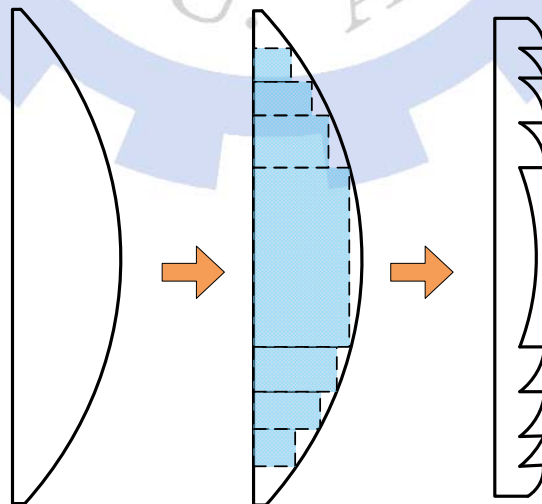


圖 1 - 3 菲涅爾鏡片切割示意圖

1.4 研究目地與動機

鑑於菲涅爾鏡片在太陽能產業的應用需求，我們進一步探討使用上的問題，首先要克服的便是材料所產生的問題，諸如耐候性、穩定性等，這部份有待材料相關行業的突破。第二部份便是成型過程所產生，並足以影響成品結果，例如過壓產生的內應力、冷卻不均產生的翹曲、及菲涅爾透鏡獨有的微結構轉寫率…等。

本論文以複合式集光鏡片做研究，集光鏡片採用雙面結構設計，分別有折射面與繞射面，折射面用意為光線聚集，將光聚焦於發電晶片上，為大齒型結構，繞射面作用為將色散光波修正聚焦至焦點，設計為微小的齒型結構，對此種設計的而言，其鋸斷狀微結構好壞，直接影響光電轉換效能。

塑膠菲涅爾透鏡製造多使用射出成型，若產品出現成型不良狀況時，便調整成型參數或修改模具，近來由於光學塑膠產品使用漸增，採用傳統射出以無法滿足日漸複雜且極端化的光學元件要求，進而便有採用射出壓縮來進行成型，射出壓縮在使用上會比射出成型有較佳的(外型、微結構、應力殘流…等)結果。本文將先比較傳統射出成型、射出壓縮成型，對鏡片結構成型要因進行探討與比較。

而本文採用複合式的集光鏡片，鏡片上下的折射面與繞射面分別為大小齒結構，大齒型尖端於充填過程中，可能由於逃氣不良造成轉寫率下降，因此本文另加掛模穴抽真空系統，將模穴抽至真空狀態，探討其對微結構轉寫率之影響。另一方面模溫為影響微結構轉寫率因素，所以增加變模溫系統，藉提高模溫來增加轉寫率。由此四種方式來做一有系統之轉寫率研究。

1.5 文獻回顧

【2】1989年 Hagmann 等人指出，射出成型過程中，預先使用塑料除溼與模穴抽真空除去水氣及氣體可避免影響成型。

【3】1998年 Kukla 等人，說明當模溫越高時，微射出越易成形，然而過高模溫將使得成型品的冷卻週期延長，因此高模溫所造成與縮短冷卻時間成為兩者無法兼據的條件。

【4】1999年 Despa，說明當模溫降低時，單提高射速來進行模穴充填，並不能使

塑料能夠填滿模穴，藉此證明模溫對充填性的影響。

【5】2000 年 Alessandro 以射出成型方式進行 V 型溝槽成型，經由實驗發現當模溫溫度加高至玻璃轉移點時，對微結構的成型性較佳。

【6】2002 年蔡森章，指出壓縮速度與轉寫性成正比，且在微結構的轉寫性上，壓縮速度與轉寫率成正比。此外射出壓縮轉寫率(93.7%~98%)較射出成形(89.5%~94.2%)佳。

【7】2003 年 Yan 等人，使用壓電材料進行模仁壓縮動作，結果顯示在 V 型微結構成品上，具有較佳光學性質。

【8】2004 年許財得，使用模流分析軟體並配合田口式實驗法針對成形條件對非球面收縮之影響進行分析，該研究指出保壓壓力、充填時間和澆口尺寸會明顯的影響鏡片的體積收縮率，此外採用多段保壓和使用較慢流率會有助於降低體積收縮率。

【9】2005 年蕭文佳，以傳統射出成型、射出壓縮成型、變模溫三種方式對光纖壓塊形狀收縮比做研究，依結果表示射出壓縮對收縮率、成品輪廓控制最佳，成品殘留應力最小。

【10】2006 年 Wu 等人，以射出成型與射出壓縮成型對 DVD 讀取頭光柵所做之研就結果而言射出壓縮成型比射出成型表現上佳，其中影響射出壓縮結果最重要的因素為壓縮速度，其次為壓縮時間。

【11】2006 年張沛頌，以微射出成型技術研究，使用紅外線加熱微針陣列結構進行射出成型加工，並進行抽真空模穴成型實驗，經結果發現使用抽真空的模穴充填結果較未抽真空的結果的複製性來的佳。

【12】2007 年 Yu 等人，以變模溫系統探討高深寬比微結構之轉寫率，文中敘述較高的模溫與較大的保壓壓力可得較深的轉寫率。

【13】2008 年王建智，設計一六吋導光板 V 型結構與 DOT 結構，並利用田口法將製程最佳化，檢驗產品包含平面度、轉寫率和輝度值量測等。此外本文指出，產品微結構轉寫率部份，澆口端會比遠澆口端來的佳，模溫為最大影響因子，其次是料溫、保壓與射速。

【14】2008 年林先明，提出在光學元件的壓射中影響微結構轉寫率，料溫最為顯著因子，壓縮速度為次要因子，搭配不同壓縮速度可改善微結構轉寫性。

【15】2009 年林苡任，利用一集光型菲涅爾透鏡，針對射出模具與成型條件進行探討。書面報告表示，光學設計與模擬時，切割份數越小，聚光效果越好、角度也越小，此外轉寫率與聚光效果是成正比關係。

【16】2010 年施耀竣，以太陽能集光鏡片為研究，研究模溫、料溫與保壓射出製程對轉寫率影響，結果表示模溫為影響轉寫率最大的因子，此外拔模角度對光學性質亦有一定的影響程度。

【17】2008 年 Takash 等人，設計一菲涅爾透鏡結構，除用於聚焦外，主要設計為利用產品外型減少收縮變形程度。

【18】2009 年 Chen 等人，設計一種用於太陽能集光發電系統的設施，其利用包括用於匯聚入射光線的一聚光鏡以及一能量收集器，該聚光裝置具有一用於將經匯聚的光線反射到該能量收集器的一反射鏡，其中，該等聚光鏡、能量收集器以及反射鏡共軸。藉由設置該反射鏡，使得該聚光鏡與該能量收集器之間的距離變小，因而大幅縮減了整個太陽能聚光裝置的體積。

【19】2010 年陳志隆等人，以設計一太陽能集光鏡片包含有一可供收集所需太陽光束能量之太陽能板(solar cell)；一對應設於太陽能板一面上之非平面鏡片單元，用以擷取來自任何角度之入射太陽光束(包含垂直入射)；以及一設於非平面鏡片單元上之散光區，用以分散照射於非平面鏡片單元上之能量光源。

【20】2011 年 Robert 等人設計一組聚光性太陽能鏡片此系統先將光源聚焦至一範圍在利用二次光學元件集光至太陽能發電晶片上，整體著重於系統開發。

整合國內外論文研究與專利設計發現，對於太陽能集光鏡片之研究多著重於鏡片曲面設計、系統開發研究(追日系統)或發電晶片研究，鮮少對集光鏡片的成型做研究，而菲涅爾透鏡的成型研究或微結構製程探討，著眼點也都落在單一製程開發探討，雖亦有整合性製程探討之探討研究，也只對單一特徵做探討，本論文較大不同處在於其成品結構同時存有大型齒型與小型微結構之集光鏡片，整合四種製程分別做單一與統合做成型比較。

1.6 研究方法

本論文依產品規格及設計，主研究方向為製程整合與集光鏡片成型研究，本文所採用之鏡片設計同時包含有大型微結構(折射面)與小型微齒型(繞射面)結構。

集光片直徑為 70mm，採用等深度方式切割，整體厚 3mm，並將光線聚焦於 70mm 處的 5.5X5.5mm² 大小的太陽能發電晶片，不考慮其他環節因素下，本論文著重在成品的成型製程比較與成型品品質，即微結構的轉寫率，依此部份分為四階段探討如下：

第一階段將依產品要求設計集光鏡片，將此集光鏡片進行初期的模流分析與模具設計。使用 MoldFlow 2011 軟體調整射出參數，做為後期射出時的參考依據。

第二階段為模具設計與製作階段，由 CAE 模擬參數來設計並製作模具，並於試模時調整成型參數並與 CAE 結果做比較。

第三階段則安排田口實驗進行射出成型與射出壓縮成型兩者的比較，並安排量測，並探討各因子對成型品的結果影響。

第四階段則待最佳結果出來後加入變模溫系統及抽真空系統來探究其對整體對轉寫率之影響性。

1.7 論文架構

第一章 導論

藉由市場分析介紹 HCPV 系統與菲涅爾透鏡之相關歷史與使用，說明研究背景與動機說明、論文回顧與研究目的。

第二章 基礎理論

本文預計使用之基礎理論介紹，說明射出成型、射出壓縮成型、變模溫、抽真空系統等相關原理與定義。

第三章 產品設計與分析

說明模具設計部份與 CAE 模擬分析，機台參數、成型參數設定截取說明與流程。

第四章 實驗流程與規劃

實驗數據規劃與選定參考，田口式流程規劃說明、成形視窗說明、實物試射、檢測方法說明。

第五章 結果與討論

實驗結果與討論、製程參數對其成品之影響分析。

第六章 結論與未來展望

研究成果匯整與結論。

二、基礎理論

2.1 光學理論與基礎

光學為物理學的一分支，其所討論的範圍包含有紅外線、紫外線、及可見光，其基礎理論大至上分為幾何光學、波動光學、與量子光學，再依不同領域或應用範疇可再細分，如照明工程一類。每一分支應用與技術、及專業觀點皆不盡相同，但區分上並無明顯的界限存在。

光學基礎上，幾何光學是將光視為光束或光線集合，以光線條、物點、像點的概念來描述光的本質，透鏡所討論的範圍皆屬此類。在光的表現上，又類似於電磁波的現象(有波長與振幅)，與無線電、紅外線、X光相同，因此將又有將光視為波動的波動光學。量子光學為近年來新興的光學研究分支，主要是研究光的量子行為，用量子場的方法來描述粒子間的電磁作用。

這三種學說中與菲涅爾透鏡最相關的光學理論就屬幾何光學，幾何光學以光的直線傳播、反射與折射為基礎來研究光學現象，主要是探討光通過曲面、透鏡稜鏡等成像原理與應用，幾何光學有四大原理：直線傳播定律、獨立傳播定律、反射定律、折射定律。正常狀況下，在相同的均勻介質中，光傳播是直線運動，是為直線傳播定律。當光以光束方式射出並以不同方向通過空間某點時，彼此間互不影響，是為獨立傳播定律。當光線行進中，遇到不透明材質時，行進方向會朝相反方向進行，是為反射(Reflection)，此時入射角等於反射角，如進入為透明材質時，行進方向會產生偏折，因此稱為折射(Refraction)，菲涅爾透鏡之光學多利用折射性質。

2.1.1 折射率

在日常生活中，折射與反射是我們最常觀察到的現象，以折射來說，最簡單的例子就是將筷子插入水中後產生類似折斷的現象，是為折射。在光學中我們將物質折射率定義真空中的光速與介質中的光速之比值，習慣上以 n 做表示，如下公式 2-1

$$n = \frac{C}{V} \quad (2-1)$$

n = 折射率

C = 真空中光速

V = 介質中光速

光在真空中的速度為 $3 \times 10^8 \text{m/s}$ ，對任一介質而言，折射率亦可做為光學密度的表達方式(optical density)，對折射率較大者，可以說此介質有較大的光學密度，一般稱為光密介質(optical dense medium)，反之則稱光疏材料，對光疏材料或光密材料其為一相對值而非絕對值。

一般狀態下空氣折射率 $n = 1.0003$ ，水的折射率 $n = 1.333$ ，光學玻璃折射率 $n = 1.5$ ，本文採用 PMMA Teijin GH-1000s 折射率 $n = 1.49$

2.1.2 折射定率

為更進一步說明折射與反射現象，我們用下圖 2-1，來進行說明。當光由折射率 n_1 之物質射入折射率 n_2 之物質中，會產生兩種現象，一種是光線會反射回同樣是 n_1 的介質中，在這需遵從兩個準則 1.光線進入時入射角等於反射角，2.法線(Normal)、入射線(Incident ray)、與反射線需處在同一平面上。

折射則又是另一種現象的表現，當光由折射率 n_1 介質中，進入折射率 n_2 介質，因介質改變(同介質也會產生折射率不同現象)造成的波速差異，使光運行的現象改變造成的偏折現象，光在發生折射時，入射角與反射角需遵守斯涅爾定律(Snell's Law)，斯涅爾定律有兩條公式，第一項便是公式 2-1 折射率計算，第二項則是下(2-2)之公式。當光從介質 1 進入不同折射率之介質 2 時，其入射角的正弦函數(θ)會與其折射率(n)之乘積成正比。由公式(2-2)可發現，當光由光疏介質進入到光密介質時，入射角會大於反射角，則光線會向法線偏折，又入射角小於反射角，光線則會偏離法線。

$$n_1 \sin \theta = n_2 \sin \theta \quad (2-2)$$

n_1 = 介質 1 的折射率

n_2 = 介質 2 的折射率

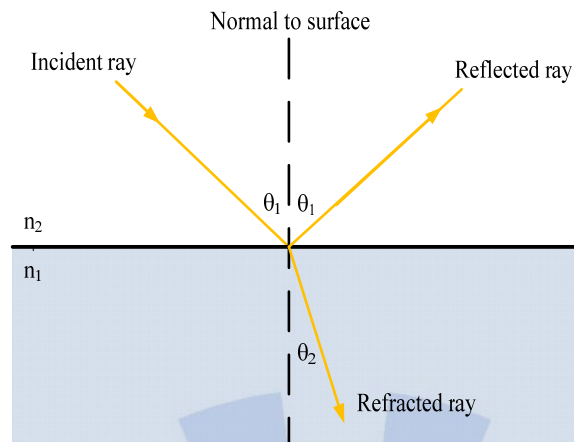


圖 2 - 1 光的折射與反射

2.1.3 光學像差

由於光學的特殊性質，光學系統會受到許多的限制與問題，如幾何像差 (geometrical aberration)、繞射效應(diffraction)、雜散光(strsy light)，甚至於組裝等誤差。光學的色差(Chromatic Aberration)現象，是當光由一物體進入另一物體時產生的光線偏折現象為折射，由於光具有不同波段的波長，對相同介質而言不同的波長(頻率)有不同的折射率，這種些微的差距造成了色差，最基本的現象便是光經三稜鏡後，分析出七種不同顏色，由於不同色段的波長有不同的焦點，因此變會產生如下圖 2-2 的現象，造成一部份的能量損失。

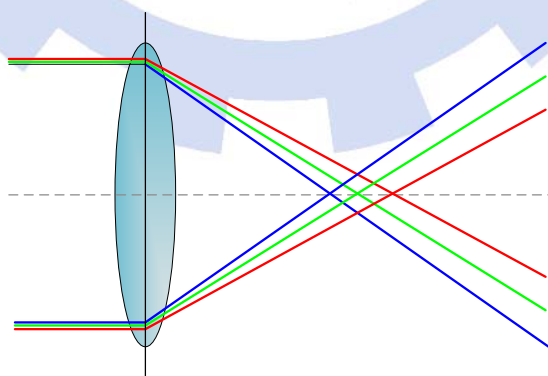


圖 2 - 2 光色散示意圖

2.2 繞射光學設計理論

傳統的折射光學鏡片是利用光的折射與反射來達到光傳遞方向改變，主要是依據斯涅爾定理在做設計，因其波前變化量遠小於波長故可將光視為許多道平行光束。若通過此透鏡後可產生的與此透鏡外表相同的波前亦有聚焦的效果，此即為繞射光學的基本概念，繞射光學計算多利用純量繞射理論(Scalar diffraction)，及向量繞射理論(Vector diffraction)進行運算，其中向量繞射理論牽涉到龐大的運算，而在一般狀態下繞射光學元件最小特徵結構大於光波波長時，以純量繞射理論便可描繪光學特性，繞射元件是由波帶(zone)所組成的元件，這些波帶利用表面輪廓的起伏對入射波做相位延遲，如圖 2-3 所表式，當波帶由左方進入鏡片後藉由鏡片較準，以期形成我們所期望的波面於右方聚集。

繞射光學透鏡的焦距與波長成反比，具有與折射透鏡相反的色差現象可應用斯維特模型(Sweatt Model)，建構其理論其繞射光柵的等效公式，繞射元件有許多優點，例如具高繞射率，其相位位階多則校率越好，此外其色差為負值，因此可設計消色差光學、設計自由度大，使用二進階光學設計可依需求改變波面，較不受限制。

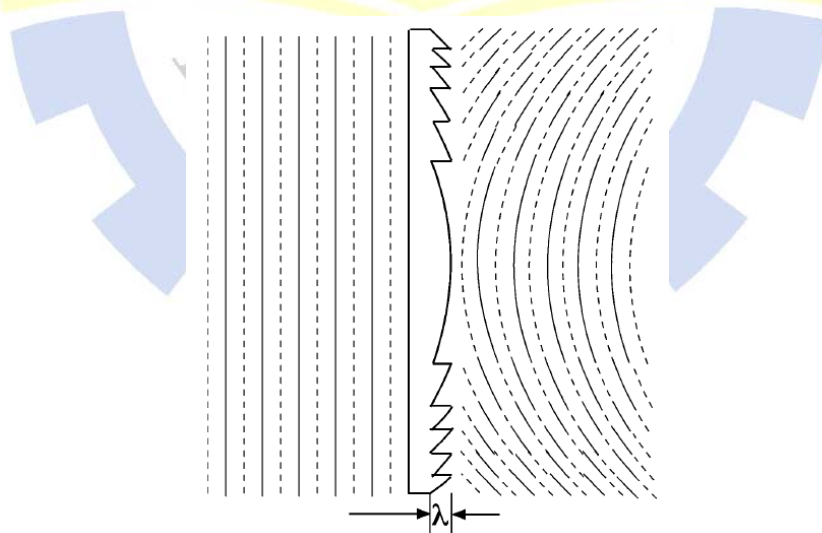


圖 2 - 3 繞射鏡片光波聚焦圖

2.3 折/繞射複合透鏡設計理論

假設一個厚度非常薄的透鏡，其焦距可以用造鏡者公式計算如下公式 2-3：

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (2-3)$$

R_1 、 R_2 ：鏡片曲率半徑

f ：聚焦位置

n ：材料折射率

若 R_1 為折射面， R_2 為繞射面，而繞射光學可等效於折射率無限大的薄透鏡，故 $R_2 = \infty$ 可得公式 2-4

$$f = R_1 / (n - 1) \quad (2-4)$$

另外我們將 $1/f$ ，定義為 ϕ ， $1/R_1$ 定義為 C_1 ， $1/R_2$ 定義為 C_2 ，則上述公式 2-4 改寫為公式 2-5

$$\phi = (n - 1)(C_1 - C_2) = (n - 1)C \quad (2-5)$$

其中 $C = (C_1 - C_2)$

又假設 $R_2 = \infty$ 則 $C_2 = 0$ 代回公式 2-5 得公式 2-6

$$\phi = (n - 1)C_1 \quad (2-6)$$

外說明的便是阿貝數(Abbe's number or V-number)，阿貝數是由德國物理學家恩斯特-阿貝(Ernst Abbe)所定義，阿貝數的定義是在同材質下的不同的光線偏折角度，即定義色散現象的數值，阿貝數的定義為(公式 2-7)

$$V_d = \frac{n_d - 1}{n_F - n_C} \quad (2-7)$$

其中 n_d 、 n_F 、 n_C 為物質在夫琅禾費光譜可見光譜中的 d、F、C 的折射率，(波長為氫黃光 $\lambda_d = 589.67\text{nm}$ 、氫紅光 $\lambda_C = 656.3\text{nm}$ 、氫藍光 $\lambda_F = 485.1\text{nm}$)，色散程度越小阿貝數越大。

爲了表達不同波長對鏡頭折射率影響，三種主波長的折射率帶入公式 2-5

$$\phi_d = (n_d - 1)(C_1 - C_2) = (n_d - 1)C \quad (2-8)$$

$$\phi_c = (n_c - 1)(C_1 - C_2) = (n_c - 1)C \quad (2-9)$$

$$\phi_f = (n_f - 1)(C_1 - C_2) = (n_f - 1)C \quad (2-10)$$

描述長波長與短波長色差差異與距焦點則是將其相減得 $\Delta\phi = \phi_c - \phi_f = (n_c - n_f)C$ ，將此色差除以中心波長可得到公式 2-11

$$\frac{\Delta\phi}{\phi} = \frac{n_c - n_f}{n_d - 1} = \frac{1}{Vd} \quad (2-11)$$

由公式 2-11 得知當鏡頭出現色散現象時，藍光聚焦點會比紅光更接近鏡頭，如圖 2-4，又假設鏡面兩端光焦點爲 ϕ_a 、 ϕ_b 則兩者光焦距爲 ϕ ，如公式 2-12

$$\phi = \phi_a + \phi_b = (n_a - 1)C_a + (n_b - 1)C_b \quad (2-12)$$

爲消除色差其和應爲 0 如下公式 2-13

$$\Delta\phi = \Delta\phi_a + \Delta\phi_b = 0 \quad (2-13)$$

$$\Delta\phi = (n_f - n_c)C | a + (n_f - n_c)C | b = 0 \quad (2-14)$$

將 $C_a = f_a / (n_a - 1)$ 和 $C_b = f_b / (n_b - 1)$ 帶回公式 2-14 得公式 2-15 與簡化後的 2-16

$$\frac{(n_c - n_f)a}{n_d a - 1} \phi_a = \frac{(n_c - n_f)b}{n_d b - 1} \phi_b \quad (2-15)$$

$$\frac{\phi_a}{V_a} = \frac{-\phi_b}{V_b} \quad (2-16)$$

由公式 2-16，可反推算欲設計的複合式光學元件的折射與繞射聚焦點，以此計再帶入公式 2-3 求取鏡片曲率參數。

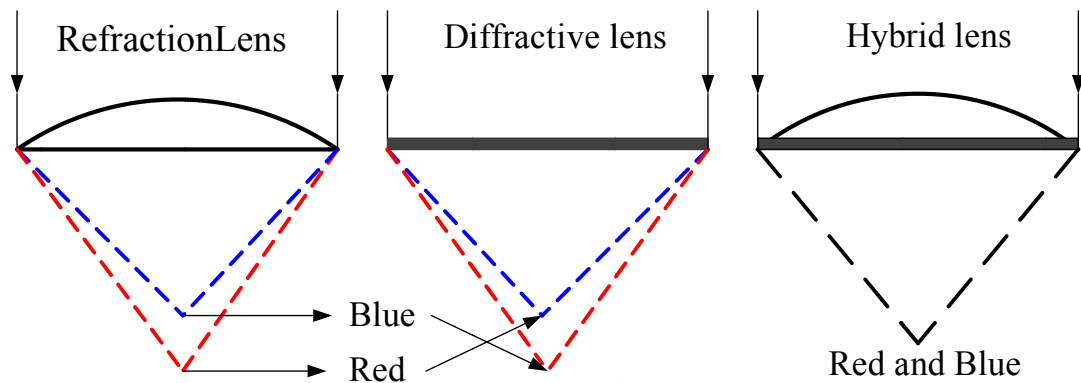


圖 2 - 4 複合式鏡片聚焦示意圖

2.4. 太陽能集光片光學理論(菲涅爾透鏡成像理論)

前述我們對菲涅爾透鏡及幾何光學做簡單介紹後，這邊進一步的針對菲涅爾透鏡的光路軌跡做說明，圖 2-5 為菲涅爾形式集光片光線行為軌跡示意圖，當光線進入透鏡時，會在透鏡表面產生第一次折射。由於是由光疏進入到光密介質，折射光線偏向法線，當光線穿出透鏡時，會產生第二次折射，此時因折射率變小，光線會偏離法線，讓光線往目標集中。另外集光片在尖角處易會形成光柵形態因此在設計時也須考量此對整體光學架構是否會造成影響。

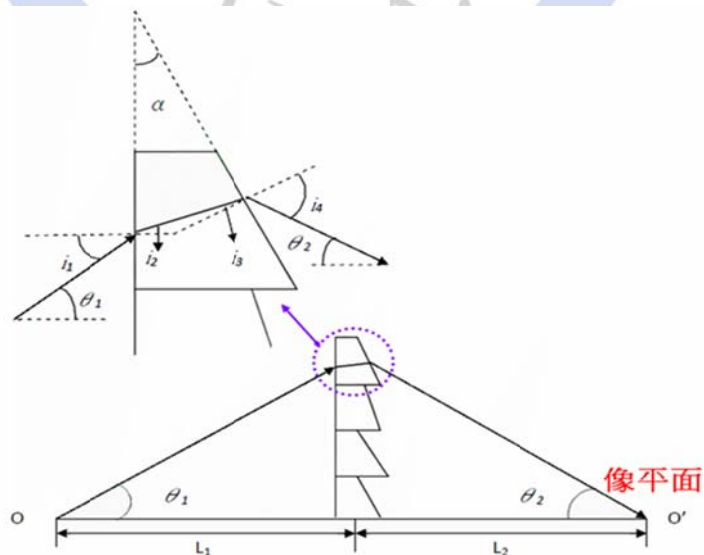


圖 2 - 5 菲涅爾鏡片折射示意

2.5. 太陽能電池光電理論

太陽能電池是將光能轉換成電能的裝置，且不需要透過電解質來傳遞導電離子，而是改採半導體產生 PN 極來獲得電位。當半導體受到太陽光的照射時，大量的自由電子伴隨而生，而此電子的移動又產生了電流，也就是在 PN 極處產生電位差。如圖 2-6 光電轉換所示。太陽能電池的效能由能量轉換效率(Energy conversion efficiency)與充填因子(Fill factorm)來判別，若單就集光片本身設計效能可利用功率比來判斷。以下為上述各專有名詞的詳細說明:

(A.) 能量轉換效率 (Energy conversion efficiency)

太陽能電池的轉換效率(η)是以一天中所得到的日照射能量與光轉電的發電量做比較。將太陽能電池接上一個電子迴路進行能量收集 P_m (太陽能電池發電量)(W)，下面公式說明能量轉換效率。 E 為在標準測定條件下的輸入光能量(全天空日照射量)(W/m^2)， A_c 為太陽電池的表面積(m^2)，公式如下 2-17:

$$\eta = \frac{P_m}{E \cdot A_c} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (2-17)$$

其中

η ：太陽能電池轉換效率

P_m ：太陽能電池發電量(W)

E ：標準條件下的光能量(全天空日照射量)

A_c ：太陽能電池表面積

通常效率的計算公式為 $(Power)_{out} / (Power)_{in}$ ，太陽能轉換效率為所收集的能量 (P_m)除以標準條件下的輸入光能量(E)和電池表面積(A_c)。以集光型太陽能電池模組實際量測而言，光線非完美無損失的集光於晶片上，必須將實測得到的電流比 (CR)帶入，如式 2-18 所示：

$$\eta = \frac{P_m}{E \cdot CR \cdot A_c} \quad (2-18)$$

其中

CR ：電流比

(B.) 充填因子 (Fill factorm)

另一項定義太陽能電池所有項目的參數是填充因子(F_F)，考量到串聯電阻與並聯

電阻的影響，此為最大功率點的比例除以開路電壓 V_{oc} 和短路電流 I_{sc} 。公式如下：

$$F_F = \frac{P_m}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (2-19)$$

其中

V_{oc} ：開路電壓

I_{sc} ：短路電流

(C.)功率比 (Ratio of Power)

一般電器產品使用時，大部份都是以功率來看，因此另一項對於集光片設計的實測參考指標可用功率比來看，如式 2-20 所示。假設未加集光片的輸出功率 1mw，而添加集光片後輸出光率為 60mw；代表的是添加集光片的功率等於未添加集光片的 600 倍，那相對在發電晶片的使用上就可以縮減其面積以降低成本。

$$\text{功率比} = \frac{\text{添加集光鏡片功率}}{\text{未添加集光鏡片功率}} \quad (2-20)$$

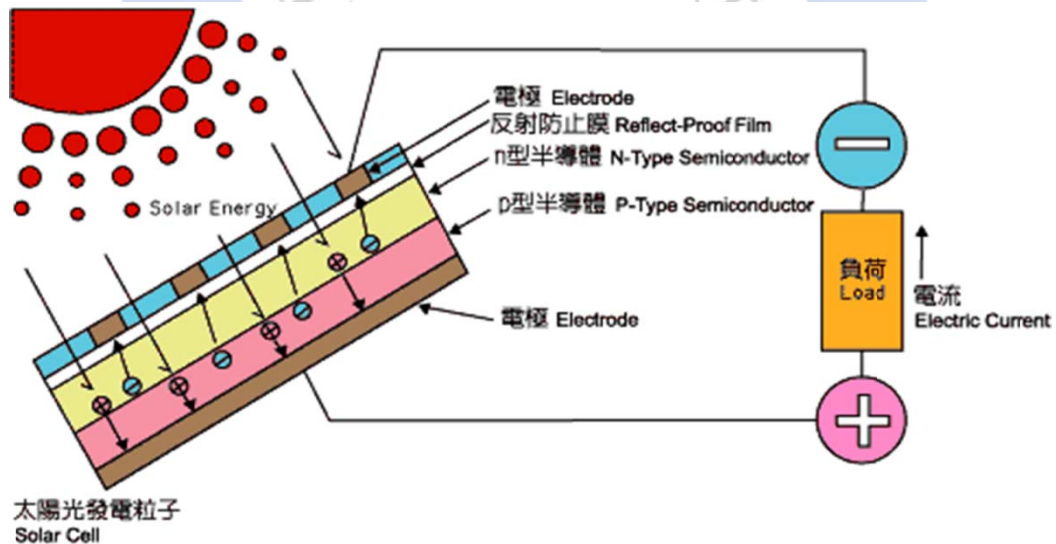


圖 2 - 6 太陽能光電轉換示意圖

2.6.射出成型理論

射出成型是一種週期性的循環製程，廣泛用於熱塑性塑膠產品的製造與生產，一般典型的射出成型流程包含有塑料熔融加熱、充填模穴過程、保壓過程、冷卻、開模頂出等循環。將粒狀塑料於加熱缸熔融成融膠狀態，在利用射出機將黏流態塑料以螺桿或柱塞射入模穴內，待模穴充滿約 80%(習慣上)，機台切換為保壓模式，待模穴充填完成，進行冷卻直到開模頂出。傳統上射出成型之優點為可大量生產、能製造形狀複雜工件、尺寸控制容易等，為目前塑膠產品製造最普遍的成型法。射出成型的各階段重點如下：

(1) 塑化過程

一般市售塑料多為粒狀或粉狀，將塑料加入料缸後，藉由螺桿的旋轉帶動塑料前進與料缸產生的剪切熱(約佔 80%)，與壓力的作用下而成為熔融狀態，外缸加熱片約可保持一定的溫度使其不易冷卻，在塑化階段需注意溫度要均勻，不可過高或過低，以免產生熱劣解或塑化不足的現象。

另外每種塑料均有其適當加工溫度，應依建議溫度設定料溫。

(2) 模穴充填

塑料熔融後，將其經螺桿推送至前端計量區，待充填開始後螺桿(或柱塞)前進，將塑料推送至模穴內，直到保壓切換位置，此一階段通稱為充填階段，充填階段主要控制方式為射速，相關設定包含螺桿轉速、背壓、射速，藉由控制成型參數可控制成品的好壞，提高產品品質並降低成本。充填過程中有幾點應注意如下：

- a. 塑料充填模穴時，應使熔膠於充填過程中行進波前速度一致，不因產品厚度及形狀造成波前速度改變，換句話說便是依熔膠波前面積改變射出速度來使波前速度一致，穩定的波前速度可降低射出壓力，也可使表層分子拉伸程度一致(剪切應力相同)，使產品有較佳成型性質。
- b. 塑料充填模穴的過程中，塑料溫度差應小於十度，使收縮能有一致性，並避免翹曲。
- c. 充填過程中，需注意速度梯度產生的剪切率，太低則會於近模壁處產生滯留，太高則會使分子過度拉伸扯斷或產生過度的磨擦熱，導至熱劣解。

(3) 保壓階段

一般在成品體積填充至 80-90%時進行保壓，此切換點為 V/P(速度/保壓) 切換點，此時射出機由速度控制改為壓力控制，射出機會以壓力將剩於模穴充填完成，做為切換依據可依螺桿位置、模穴壓力、射出壓力做轉換依據，此外配合澆口凝固時間，將壓力由模穴緩慢釋放出來，避免殘餘過剩壓力於產品內部，降低殘留應力，直到澆口完全凝固，此階段為保壓階段。此外保壓另一功用便是持續供給塑料，避免成品內部塑料因澆口未凝固而逆流，造成收縮過大。保壓應注意事項如下：

- a. 保壓過程中，壓力過大或保壓時間過久，易造成應力殘留，而保壓壓力不足或時間過短，則易造成嚴重收縮。
- b. 保壓時間的長短，應足夠到使澆口冷卻，並隨時間緩慢釋放壓力。

(4) 冷卻階段

完成充填與保壓階段的塑料，必需於模穴中冷卻一段時間，不可過早開模，此階段為冷卻階段約佔整體時間的 80%-90%不等，塑料於冷卻過程中應有適當模溫，低模溫雖可縮短成型週期，但過快的冷卻將降低結晶程度，易產生殘留應力，因此調整模溫使產品整體冷卻溫度越趨一致且均勻，在整個射出循環過程佔有重要因子。

(5) 開模頂出

當產品冷卻至頂出溫度後，則開模頂出取得產品，頂出需注意產品是否有達到頂出溫度，避免頂出變形，此外於模具設計上，頂出位置應事先考慮，方使成品頂出時能順利作動。

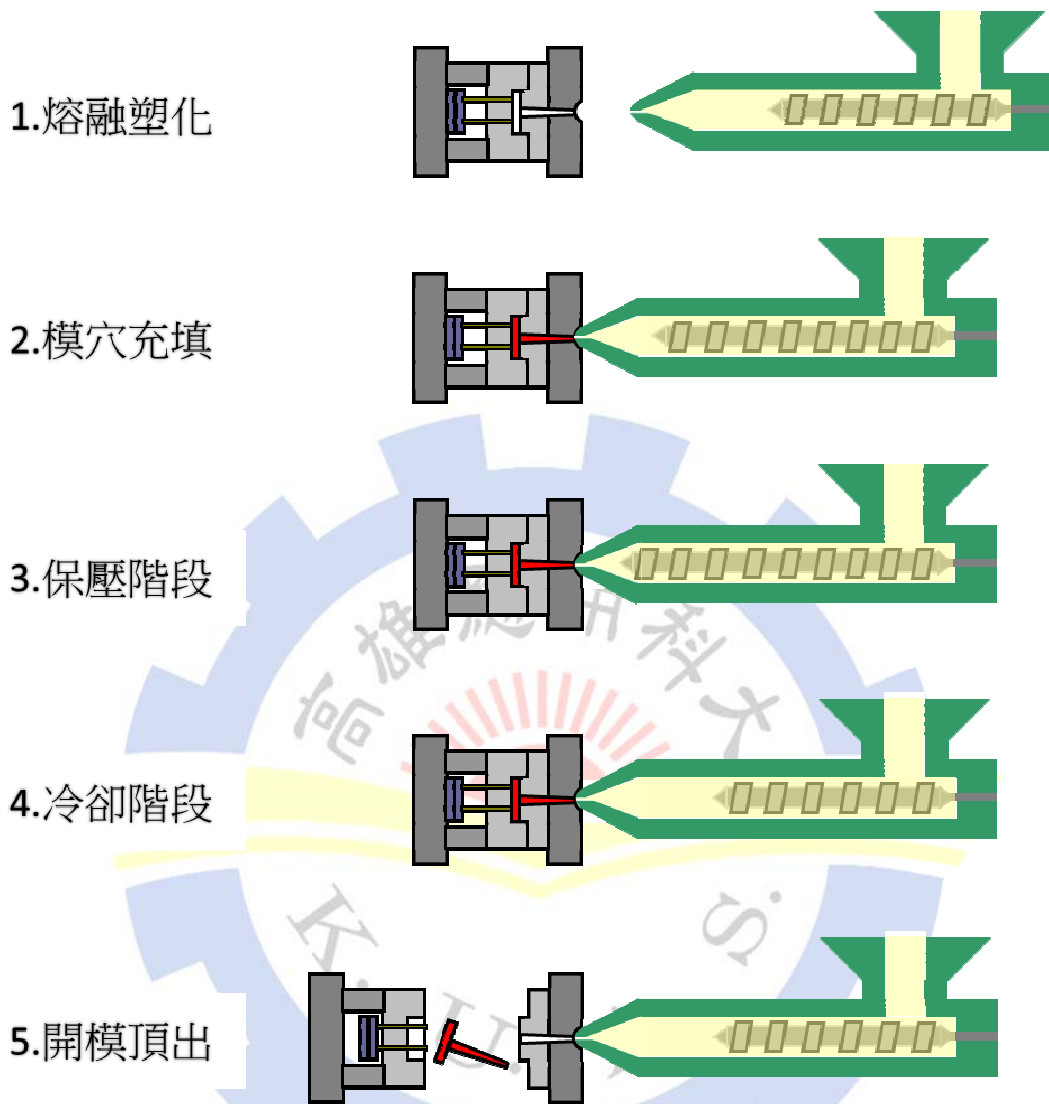


圖 2 - 7 射出成型流程圖

2.7 射出壓縮成型原理

射出壓縮成型(Injection-Compression Molding)，為一種結合了射出成型與壓縮成型的複合技術，近年來隨著市場對光學產品的需求量大增及多元化，也使技術需求提高，射出壓縮技術在學界引起了相當多的討論與研究，而此成型技術目前已廣範應用於光學產品上，因其成型方法是在成型過程中加入壓縮鎖模步驟，將模具不完全鎖模，產生壓縮行程，當部份塑料注入模穴後，利用鎖模機構閉鎖模具，由模仁向模穴施加均勻閉合壓力，以壓縮模穴動作造成熔膠進一步流動，來完成模穴充填，其優點為能使模穴內熔膠能有均勻的壓力分佈、降低殘留應力、

及改善翹曲變形結果，非常適用於塑膠光學元件的製造，如圖 2-8、圖 2-9 所示，圖 2-8(a)為射出成型壓力示意，射出時的壓力分佈不均，易於澆口處殘留過大壓力，可對照圖 2-9(a)的產品照片，使用應力偏光儀可看出澆口處的殘留應力，而圖 2-8(b)為射出壓縮壓力示意，其整體應力均勻，可對照圖 2-9(b)，另外此處需註明鏡片上有微結構且材料為 PMMA，使用應力偏光儀來觀察，無 PC 塑料清楚，射出壓縮整體優點如下：

- 1.降低射出壓力。
- 2.降低殘餘應力。
- 3.減少分子定向。
- 4.均勻保壓減少不均勻收縮。
- 5.克服凹陷及翹曲。
- 6.減少成品雙折射率差。
- 7.緩和比容積變化。
- 8.增進尺寸精度。

爲了進一步了解射出壓縮步驟，茲將射出壓縮過程分爲四步驟如圖 2-10 所示分別爲充填階段、壓縮階段、保壓冷卻階段、開模頂出階段，以下就這四階段做一探討分析。

1. 充填階段

當可動側模板移動至一固定位置時，機台開始進行壓縮動作，此時模穴並未完全閉合，空間較傳統射出壓縮來的大，塑料流動阻力較低，也因此不需以過大射出壓力來進行充填動作，這也是射出壓縮能降低射壓的主因。

2. 壓縮階段

當模穴充填至預定體積後，可動側模板開始進行壓縮合模動作，此時充填動作持續進行或已完成充填，可動側模板開始進行壓縮，直到合模壓縮動作完成，在壓縮過程中，模穴內的塑料是受到均勻的合模力。而等待時間、壓縮時間、壓縮距離及速度則會影響成品品質，注入模穴內的塑料量也需經過計算，以免發生溢料或模具損毀等問題。

3. 保壓冷卻階段

當塑料壓縮至產品厚度後，則進行保壓，以補償冷卻收縮的塑料，此階段

保壓如同射出成型。而冷卻成型部份也是相同，藉由冷卻系統使產品能達到均勻的冷卻頂出階段，此外定置於模穴中冷卻的產品，也有使其尺寸穩定的功用，避免因過早開模而造成成品變形。

4. 開模頂出階段

當模溫達到頂出溫度時，便可進行開模頂出，取出成品。

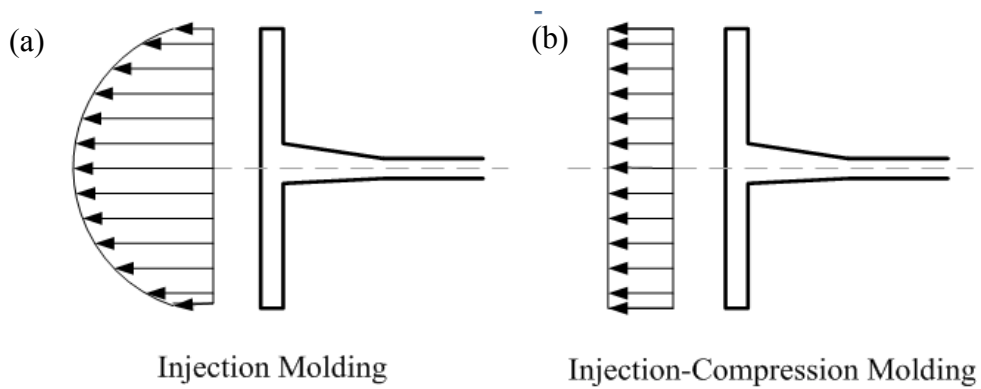


圖 2 - 8 射出(a)與射出壓縮(b)壓力比較圖

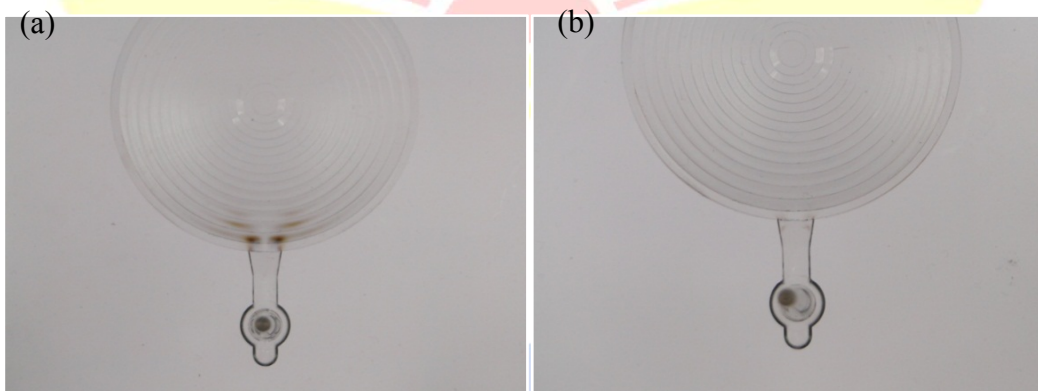


圖 2 - 9 射出成型(a)與射出壓縮成型(b)澆口應力殘留比較圖

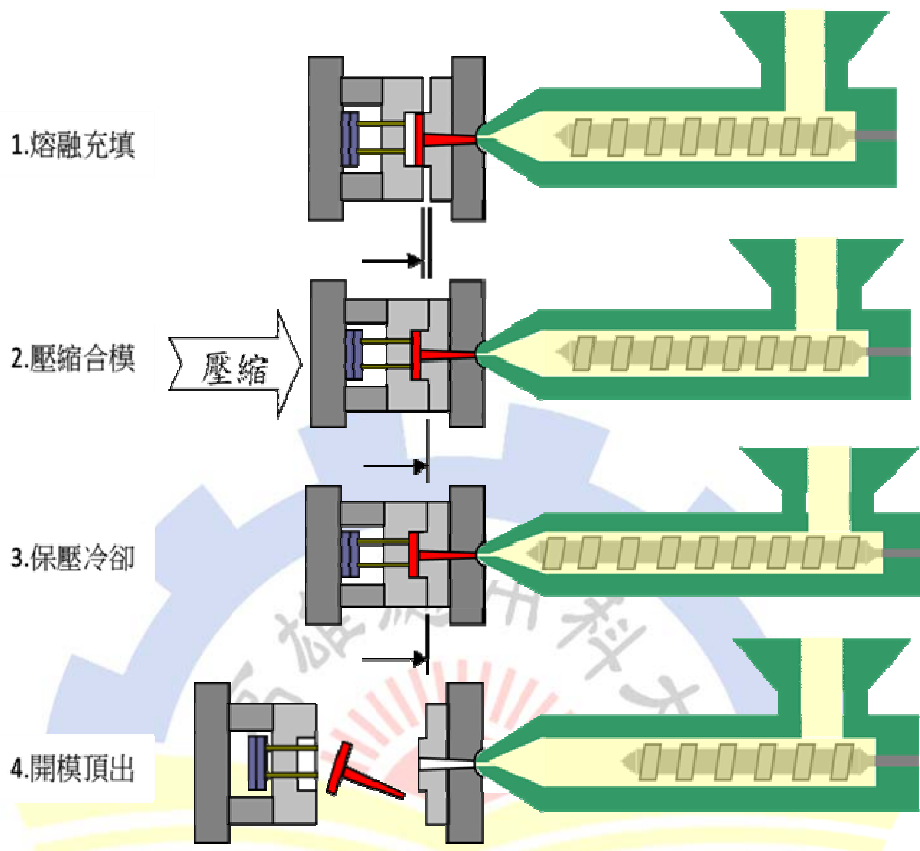


圖 2 - 10 射出壓縮流程示意圖

2.8 變模溫系統介紹

模具溫度亦為影響成品品質及成型性因素之一，較高的模溫可有較佳的成型性，因高模溫凝固層較薄，但成型週期也相對延長，脫模後收縮率較大，相反的低模溫雖能有效的縮短成型時間，但產品冷卻過快，會因熔膠流動性變差，易造成短射現象。

為了同時擁有高低模溫的優點，成型過程中引入變模溫系統，一開始於充填階段下使用較高模溫進行充填，對微結構射出而言將模溫加高至材料 T_g 點以上為最佳，而後在冷卻階段以低模溫模溫機進行冷卻，使其能快速達到頂出溫度(當然還要考慮冷卻過程的整體穩定)，由兩套系統交互使用。藉由水路切換來做高低模溫變化，圖 2-11(a)為模穴加熱階段，當模穴充填時將模溫維持在高溫，模穴充填完成後藉由氣壓閥開關切換為低模溫油路如圖 2-11(b)，藉此降低模溫。近來變模溫

系統更演進到使用電磁線圈或電熱棒(片)等方式，局部加熱模穴內部，好處是能更快速改變模溫，縮短成型週期，缺點為由於只加熱局部區域，使得模具壽命減短，動模溫的優點大致如下：

優點

1. 可減少射出壓力與速度。
2. 利於薄件及微小件射出。
3. 縮短高模溫所需要之成型週期。

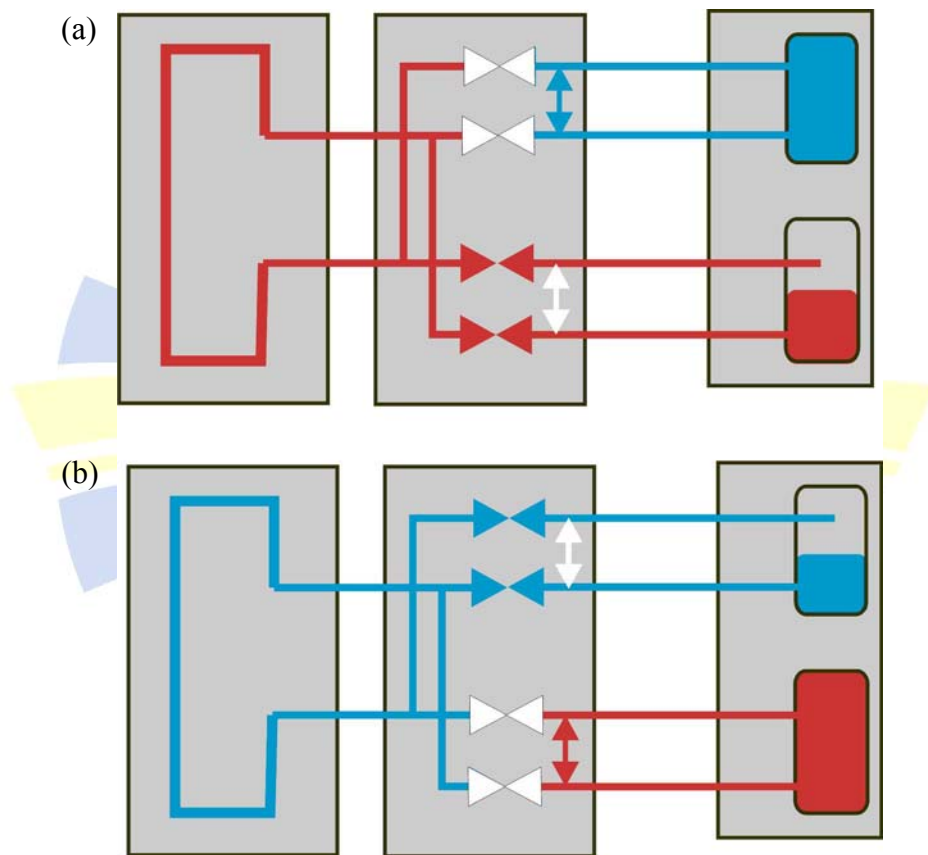


圖 2 - 11 高低模溫機切換示意，(a)模穴加溫狀態，(b)模穴降溫狀態

2.9 真空成型法介紹

射出成型過程中，模穴會形成一密閉空間，空間內會殘留些許空氣，當射出循環動作開始時，塑料的前進會壓縮空氣或將空氣包覆，造成產品的充填不全或包風現象，此外塑料在高速充填模穴的過程中，亦會與模穴內之空氣產生燃燒與

氣爆，造成燒焦等現象，本例中菲涅爾透鏡齒型折射面結構末端，易於積存空氣，且可能產生排氣不良狀況，使用真空泵浦將模穴抽至負大氣壓下，進行射出與射出壓縮充填，量測其對轉寫率是否有所影響。

2.10 田口式實驗法

田口式實驗法是日本田口玄一博士結合改良統計學方法，以實驗手段來決定設計參數的一種方法，目標是以最少實驗尋求最佳的品質、以降低成本，並利用所取得的實驗數據來建構一數學模式，用來預測控制任何因子的反應值，而確認實驗則是證實這個數學模式的合理性質。使用田口式實驗設計法的重要表格為田口式直交表，與其他方法比較(一次一因、試誤法…等)這是一種兼顧實驗成本與精確度下的折衷方法，使用直交表的排列組合可針對因子的反應做出排列並解析，雖因子反應相較於一次一因子來說並不能完全達到準確，但常常還是可以接受。

2.10.1 田口式實驗法步驟

為更精確說明田口式實驗法流程，我們先將整個研發系統又可分成三大區：系統設計(system design)、參數設計(parameter design)，及公差設計(tolerance design)，系統設計主要是技術與工程知識的整合；參數設計則是田口實驗中，最主要的界定部份；公差設計則是縮小變異與進一步提高品質水準。圖 2-12 為一田口式品質工程之流程表，藉由此表流程對田口各階段作說明。

2.10.2 參數設計與要因

當問題產生時，必需了解到問題的產生原因，藉由完整的列出影響成品的相關因素來建構實驗，此階段將所有可能影響品質特性的所有因子列出，稱為要因圖(cause-effect)或魚骨圖(Fish-bone digram)，此表可協助工程師了解生產的各環節，迅速過濾重要因子。又影響品質因子可歸納三類，控制因子(control factors)、信號因子(signal factor)、干擾因子(noise factor)，控制因子為系統可控制設計參數、信號因子是由系統外部輸入之值(多為定值)，干擾因子則是造成品質特性偏離其理想值的因素，田口方法的參數設計是決定控制因子，使品質特性(結果)達到理想值，因為存有干擾因子會影響結果準確，所謂理想值應有符合 1.平均值盡量落在

理想值上，2.變異數盡量接近零，亦即干擾因子影響，不影響結果。

2.10.3 水準與直交表

田口式實驗是一種以實驗手段來達成解決問題的目的的手法，而實驗數據的安排與選定及實驗的嚴謹度也直接影響到資料的可靠性，在兼顧實驗成本及精確度下，田口式直交表是很好的折衷方法。在選定直交表上控制因子選則可依魚骨圖上重要性排定，水準則依經驗及目標調控，由於直交表種類繁多，為確認選定直交表符合期待，以自由度(Degree of Freedom)進行計算，選定實驗次數最少直交表做實驗。

$$D. O. F = m \cdot (n - 1) \quad (2-21)$$

m = 控制因子

n = 水準個數

2.10.4 S/N比與反應圖表

S/N 比(S/N Ratios)或稱信號雜訊比(Signal-to-noise)，是田口法中用來衡量”品質”的計量方式。田口博士將「平均品質損失」以對數轉換後乘 10 取負號。由於 S/N 比可衡量品質的穩定性，表示其與品質的損失函數有相關連，意即 S/N 比越大品質損失越小，在依目的不同的品質特性(望大、望小、望目)使用不同的 S/N 比計算式，並將各組所計算出的 S/N 比整合起來製成回應表與回應圖，並依圖表輔助判斷各因子影響程度，回應圖中，若控制因子斜率越大，則表示該因子對成品品質的影響越大。下式 2-22、2-23 為田口式實驗中望大 MSD 及 S/N 比算式。

$$MSD = \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} / n \quad (2-22)$$

$$S/N = -10\log(MSD) \quad (2-23)$$

y：每一實驗之 S/N 比結果

2.10.5 變異數分析

在計算 S/N 比後，並繪製出回應圖來判斷其影響程度，接著便是進行變異數分析(Analysis of Variance, ANOVA)。變異數分析的主要目的為求得因子的貢獻度及有效性，並評估實驗誤差。在實驗過程中，常出現干擾因子與交互作用影響實驗結果的現象，而變異數分析便是利用平方和的統計技術，以評估各控制因子與整體實驗在平均回應上的偏差量。其相關公式定義，如公式 2-24~2-33。並將其整理成變異數分析表。

(a)平均變動(Sum of Square due to Mean)

$$S_e = CF = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^n \eta_i \right)^2 \quad (2-24)$$

N：實驗總次數

η_i ：各實驗所得 S/N 比

(b)全變動(Sum of Square due to Total Variation)

$$S_T = \sum_{i=1}^N \eta_i^2 - CF \quad (2-25)$$

(c)變動(Sum of Square)

$$S_A = \left[\sum_{i=1}^{K_i} \frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right] \quad (2-26)$$

A_i = 要因之 S/N 比值

(d)變異 (Error Variance)

$$V_a = \frac{S_A}{f_A} \quad (2-27)$$

f_A = 單項要因之自由度

(e)純變動 (Pure Sum of Squares)

$$S'_A = S_A - (f_A \cdot V_{et}) \quad (2-28)$$

(f)變異比 (Fvalue)

$$F_a = \frac{V_A}{V_{eT}} \quad (2-29)$$

V_{eT} =誤差變異(統合的誤差變異值)

(g)貢獻度 (Contribution)

$$P_A = \frac{S'_A}{S_T} \cdot 100\% \quad (2-30)$$

(h)誤差項變動

$$S_e = S_T - S_A - S_B - \cdots S_H \quad (2-31)$$

(i)誤差項自由度

$$f_e = f_T - f_A - f_B - \cdots f_H \quad (2-32)$$

(j)誤差項的貢獻度

$$P_{eT} = \frac{S_{eT}}{S_T} \cdot 100\% \quad (2-33)$$

2.10.6 確認與預測

完成實驗與直交表後，必需確認數據的正確性，因此必需進行確認與預測，以期實驗結果符合期待，驗證實驗通常於第一次實驗後，濾出各要因貢獻率依 S/N 比回應圖表進行第二次實驗，找出顯著誤差，藉由實驗排除交互作用，此兩階段完成後尚有動態測試與允差設計，以架構低成本高品質成品為目標。

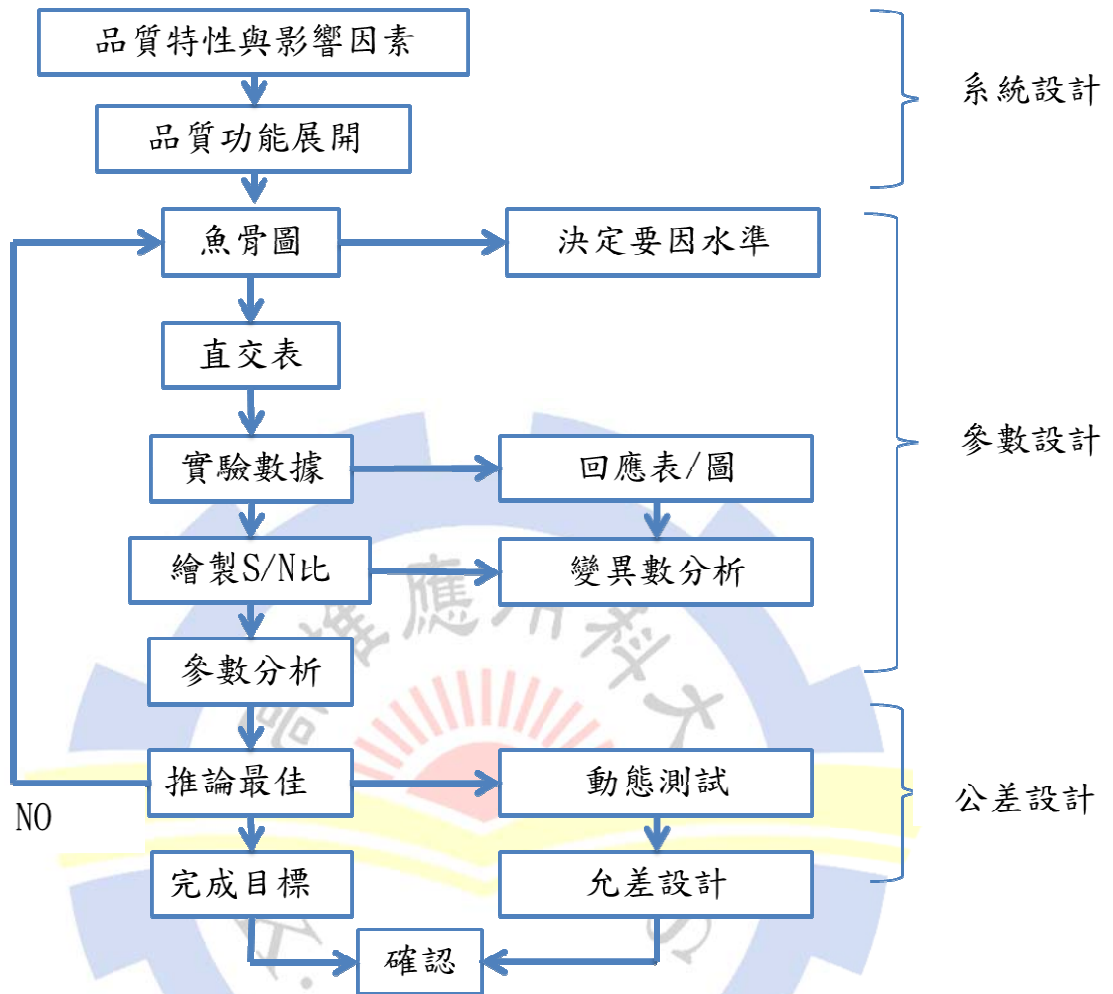


圖 2 - 12 田口式實驗法設計流程

三、製程參數選定

3.1 鏡片設計

由前章節之基礎理論可得知，不同波長的單色光源在折射面與繞射面的聚焦位置剛好成相反狀態(圖 2-4)，因此我們在鏡片設計上一面採折射面設計主功用為聚集光線(有文獻指出占整體功率 95%)，繞射面則用來校正單色光波聚焦位置，鏡片直徑為 $\varnothing 70\text{mm}$ ，聚焦點為 70mm，將光線集中於一 $5.5 \times 5.5\text{mm}^2$ 大小的發電晶片上，由此得到如下表 3-1，圖 3-1、圖 3-2 為對應表之角度及齒距示意，由鏡片中心為起點，外圍為終點，圖 3-3 鏡片整體之產品圖與剖面圖，圖 3-4 為產品實體圖，圖 3-5 與圖 3-6 為鏡片的折射面與繞射面(部份)的設計示意圖。



表 3 - 1 菲涅透鏡設計參數

	Diffractive(α)		Refractive(β)	
	Front prism angle	Grating pitch(μm)	Back prism angle	zone width(μm)
Zone0	0	0	0	2
Zone1	2.678172	316.249236	87.197	2.0028
Zone2	5.329155	159.1028	84.423	2.0112
Zone3	7.930623	107.1	81.698	2.0254
Zone4	10.46219	81.37729	79.046	2.0455
Zone5	12.906	66.15983	76.483	2.0718
Zone6	15.2475	56.18875	74.026	2.1046
Zone7	17.47488	49.2096	71.685	2.1446
Zone8	19.57978	44.09487	69.471	2.1924
Zone9	21.55674	40.2181	67.388	2.2488
Zone10	23.40294	37.20347	65.44	2.3151
Zone11	25.1178	34.812	63.628	2.3925
Zone12	26.70253	32.8847	61.9506	2.483
Zone13	28.1598	31.312	60.4057	2.589
Zone14	29.4934	30.015	58.9896	2.7137
Zone15	30.7077	28.94	57.6981	2.8617

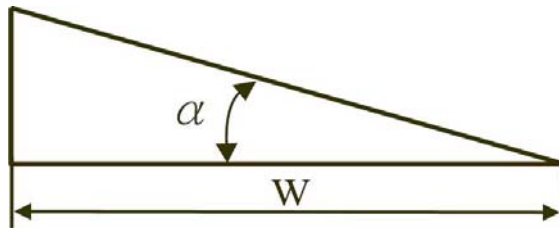


圖 3 - 1 折射面角度示意圖

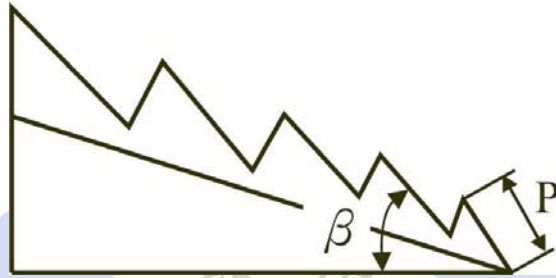


圖 3 - 2 繞射面角度示意圖

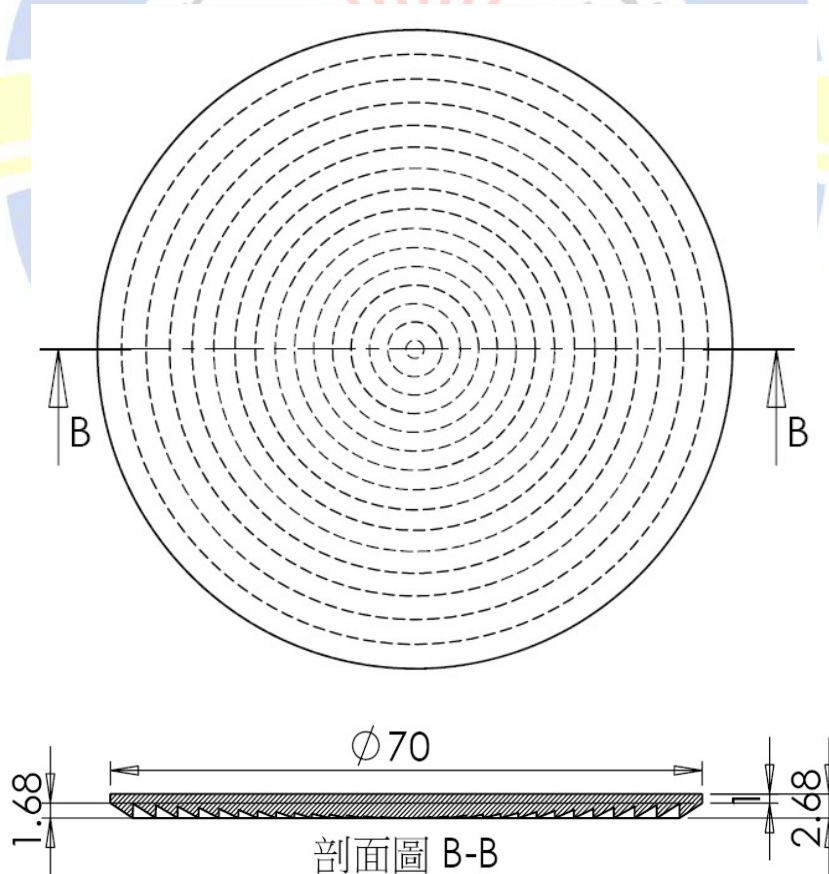


圖 3 - 3 複合式折繞射鏡片設計示意

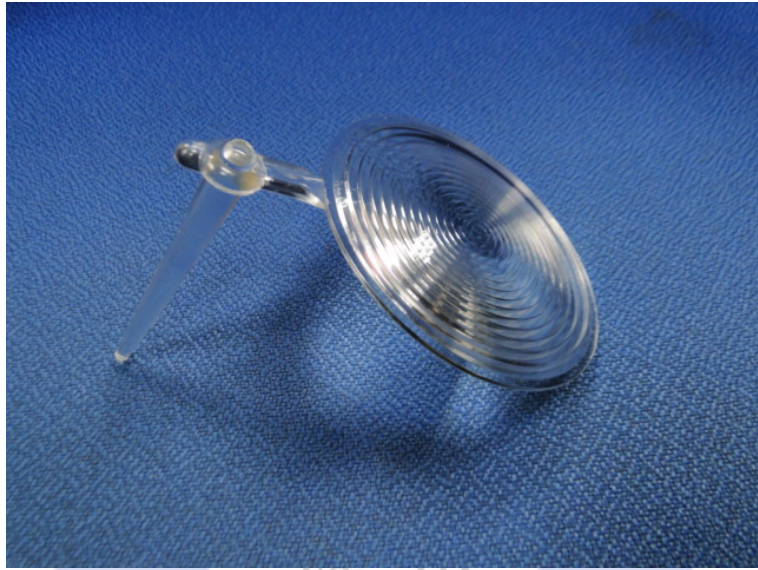


圖 3 - 4 實際產品圖

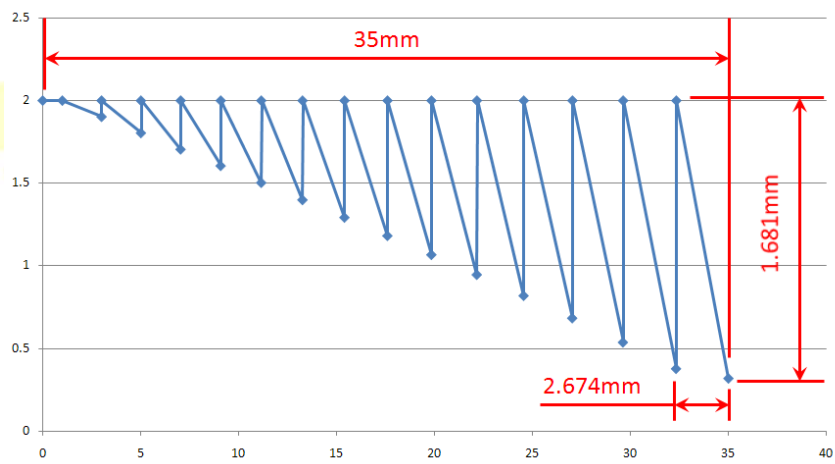


圖 3 - 5 折射面鏡片設計示意

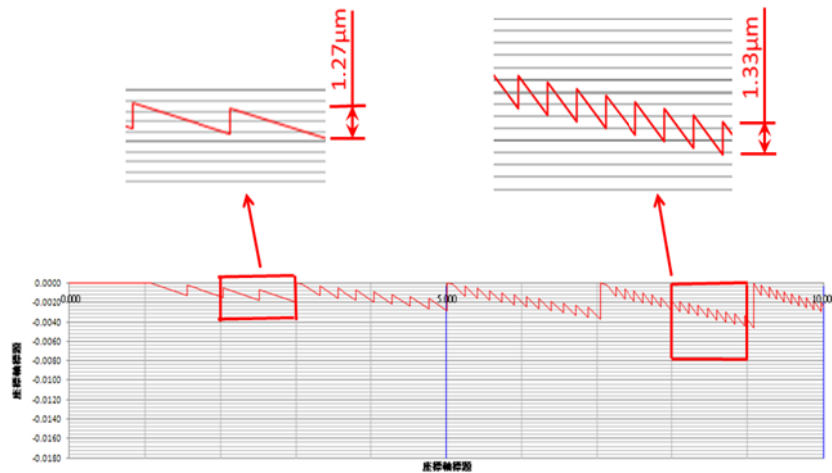


圖 3 - 6 繞射面設計示意

3.2 模具設計參數

3.2.1 模具設計概要

本次實驗模具由金屬工業研發中心模具組製造鏡片尺寸為直徑 70mm，肉厚約為 3mm 的厚肉厚射出成型件，光學產品為透明且注重外觀之產品，澆口的進澆位置為側邊進澆，並採用扇形澆口(Fan Gate)，扇形澆口是利用扇形澆口可以均勻且分散在大面積上充填的特點。整體設計重點大至如下說明，相關設計圖面則如附件標示。

1. 模穴內部採用一模一穴設計。
2. 標準模座 SD-1520-60-40-50 。
3. 公母模仁以鑲塊設計，折射面在可動側(公)(圖 3-7)，繞射面在固定側(母)(圖 3-8)。繞射面模仁以鑽石車削加工製成，折射面由於齒型深度較深，模仁材料為銅。
4. 澆口的進澆位置為側邊進澆，並採用扇形澆口，並且在入口處底端改為有弧度，使塑料進入模穴時，在澆口寬度方向有較均勻的流量分佈。
5. 母模冷卻水路採貫穿孔，管徑 8mm，3 支並排，間距 30/45mm，採串聯式。公模仁水路同母模，此外兩者於靠近鏡片中央肉厚處

以隔板方式冷卻，孔徑 8mm。

6. 成品頂出方式由脫料板直接將成品頂出。
7. 為求模穴定位精準，模具於除了傳統導柱，另於靠近模仁處另設計四個小導柱，當模具合模時，小導柱可引導公母模仁對位，減少其因外力因素可能造成的問題。

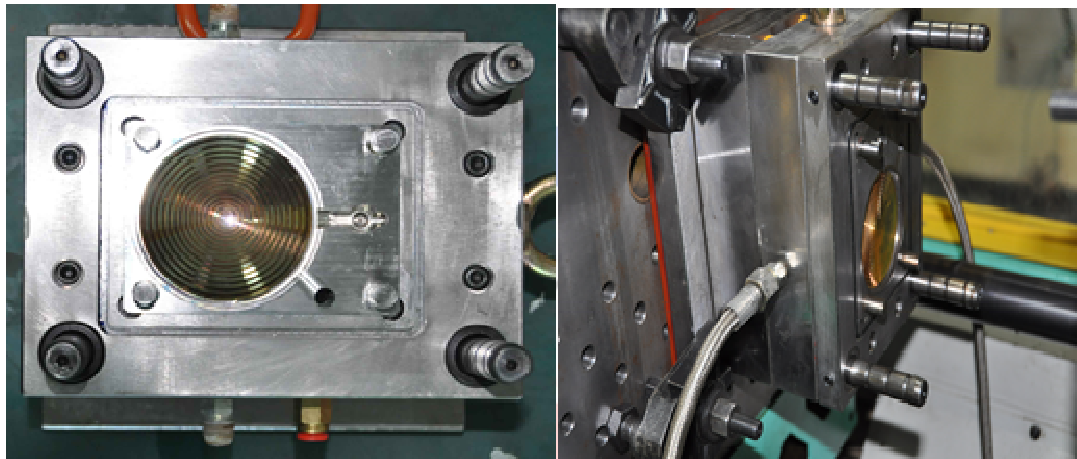


圖 3 - 7 可動側模具實體圖

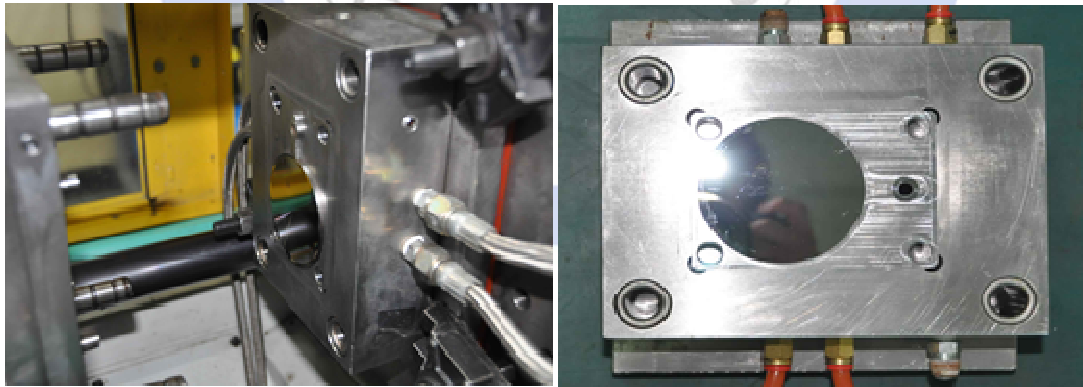


圖 3 - 8 固定側模具實體圖

3.3 起始條件設定

3.3.1 材料選用參數

本次實驗材料選用 Kurary PMMA GH-1000s，PMMA 全名為聚甲基丙烯酸甲

酯 (Polymethylmethacrylate, 簡稱 PMMA, 英文 Acrylic) 即俗稱的壓克力, 有高透明度低價格等優點, 而其重量只有玻璃一半, 故常用為玻璃的替代品, 其相關參數如表 3-2、圖 3-9、圖 3-10 :

表 3 - 2PMMA GH-1000s 材料系數

Physical Properties		
Density	1.19 g/cc	ISO 1183
Water Absorption	0.3%	in water, 23°C, 24h, ISO 62
Melt Flow	10 g/10 min	ISO 1133
Shrinkage	0.2~0.6%	ISO 1183
Mechanical Properties		
Tensile Strength, Yield	62MPa	50mm/min; ISO 527
Elongation at Break	2%	50mm/min; ISO 527
Flexural Modulus	90MPa	2mm/min; ISO 178
Flexural Strength	3300MPa	2mm/min; ISO 178
Thermal Properties		
Deflection Temperature at 0.46 MPa (66 psi)	95°C	ISO 75
Vicat Softening Point	104°C	50°C/hr, 50N; ISO 306
Optical Properties		
Refractive Index	1.49	ISO498
Transmission, Visible	92%	ISO 13468-1

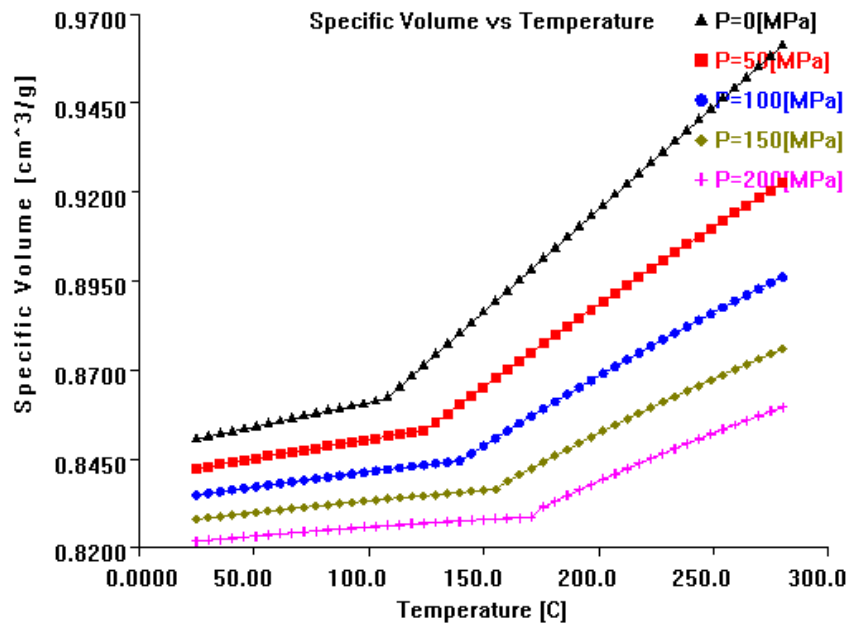


圖 3 - 9PMMA GH-1000s 材料 PVT 曲線圖

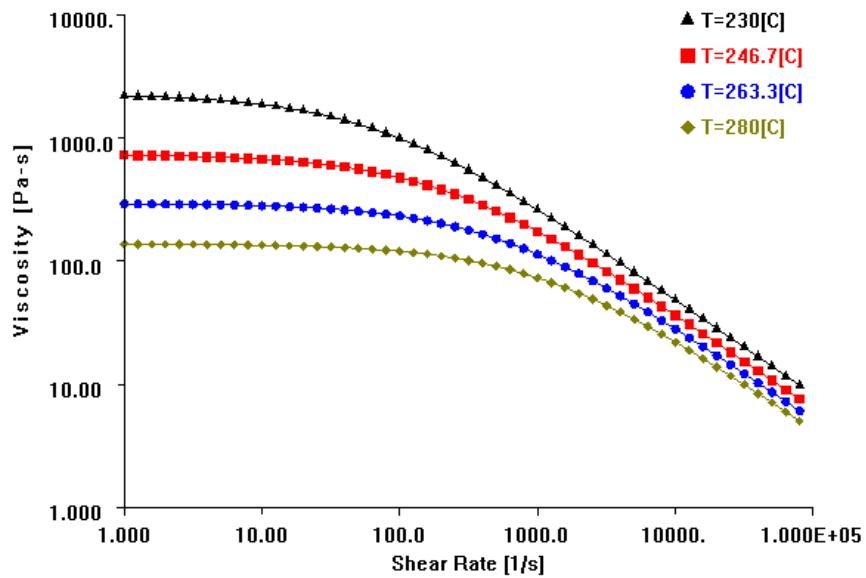


圖 3 - 10PMMA GH 1000s 黏度曲線圖

3.3.2 機台選用參數

為求分析精確，CAE 分析上需盡可能擬合機台參數，本論文採用德制 ARBURG 320C 射出機，螺桿大小為 $\varnothing 3.5$ mm，總行程 70mm，最大鎖模力 60 噸，其相關參數於章節 4.2 節機台介紹中詳述。

3.4 CAE 模擬概述

塑膠產品的成型是藉由模具來定型，而模具的設計與開發傳統上則多仰賴經驗(試誤法)，以經驗法則開發設計的模具，無法事先驗證產品設計效果，必需等待模具開發完成後方可試模產出，經驗上多可製造出符合基本品質的成品，但往往因成型視窗過於狹隘，製造上被迫採用較為嚴刻的成型條件，而造成成品品質的不穩定，此外如涉及修改模具或成品設計，不僅造成試模次數增加，也一定程度的加長了產品開發週期，藉由 CAE 模擬於早期開發過程中，優先排除不良成型設計。

本次論文以 Moldflow 做為 CAE 模擬分析軟體，以預先設定排除不良成型(或無法成型)參數，方便日後實驗進行，並將產品設計流程標準化，並規畫成型視窗與實驗數據。

3.4.1 CAE 分析判讀與選用流程

為順利進行 CAE 模擬，我們先使用一組基準參數進行分析，依料商及軟體建議，用模溫 60°C、料溫 255°C，(田口基準組)來分析。圖 3-11 為模穴成品與水路配置圖，網格為 3D 網格，總網格總數為 348375。

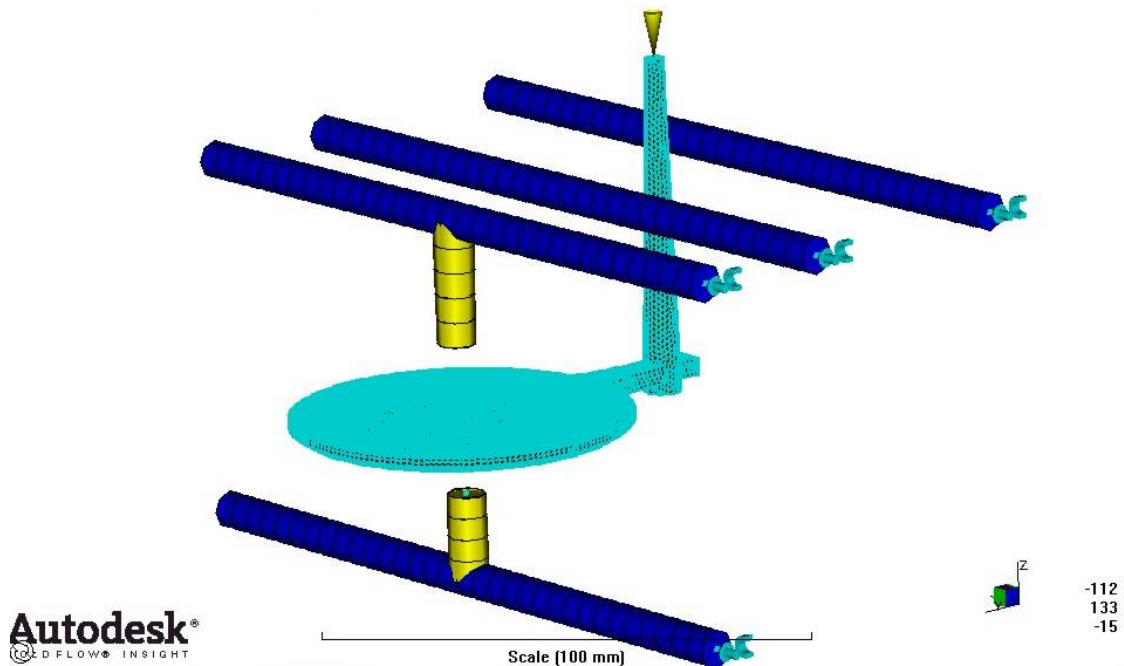


圖 3 - 11 網格與水路配置圖

3.4.2 充填控制

實務上射出成型是使用螺桿位置與速度做充填控制，此外充填過程中應使波前速度穩定，使表層分子拉伸一致，才能維持良好表面性質，本文產品經換算後，模穴總體積約 9.5107cm^3 換算射出機螺桿總行程約 50mm。

此外，充填過程中，速度過快或過慢的模穴充填需壓力自然也大，因此在某一適當充填速度下所需射壓會最小，及最佳充填速度(或時間)，由射出模擬結果來看，我們發現到射出速度越慢則射出壓力越低，若在進一步篩選，因物件大小不大，故可將大於一秒以上之射速排除。

3.4.3 保壓壓力曲線與充填/保壓轉換點設定

充填/保壓轉換點(V/P 切換點)，為射出產品成型過程上，射出機由射速控制轉為壓力控制的轉換點，一般多設定產品充填體積約達 80~90%轉換，若以 MoldFlow 內定 auto 模式，則停止體積射出後並釋放射出壓力，熔膠可膨脹並剛好充滿模穴。以本論文來說 Automatic 模式體積充填約在 98.267%切換保壓，參照習慣後，我們將 V/P 切換位置設定在 90%。

決定切換點後，便是設定保壓壓力曲線參數，保壓壓力曲線是指切換點過後，壓力與秒數的設定方式，包含持平段及遞減段，持平段主要是避免體積的收縮，

並使產品達到重量的要求；遞減段則是避免熔膠逆流及澆口殘留應力產生，持平及遞減時間即保壓時間整體時間，應配合澆口凝固時間，遞減時間開始則配合充填末端壓力。由分析檔案得知，澆口凝固時間約在 4sec(圖 3-12)，充填末端壓力出現秒數為 1.322sec，而充填末端壓力歸零時，秒數為 3.692 代入公式 3-1 得 3-2 式，可得出轉降點的起始秒數 1.403，因射出機設定無小數點因此從 2sec 開始轉降。另外在澆口凝固時間上，以實際短射實驗對照(圖 3-14)發現，4sec 後重量未在增加，模擬與實際的澆口凝固時間吻合。產品克重也與軟體計算相差無多。

$$\frac{(\text{充填末端出現壓力秒數} + \text{充填末端壓力歸零秒數})}{2} \quad (3-1)$$

$$\frac{(1.322 + 3.692)}{2} = 1.403 \quad (3-2)$$

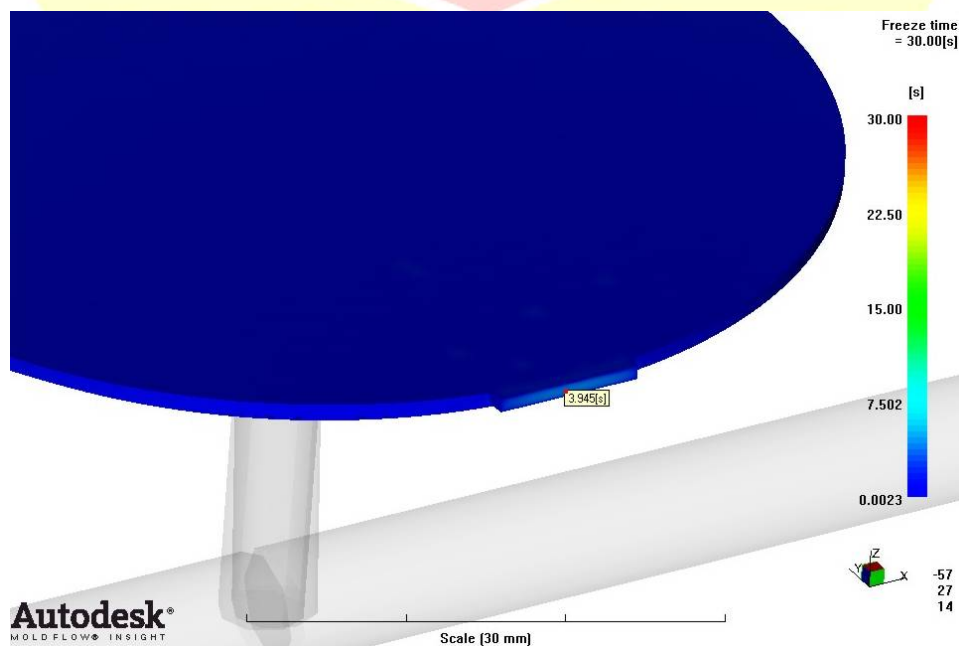


圖 3 - 12 澆口冷卻凝固時間圖

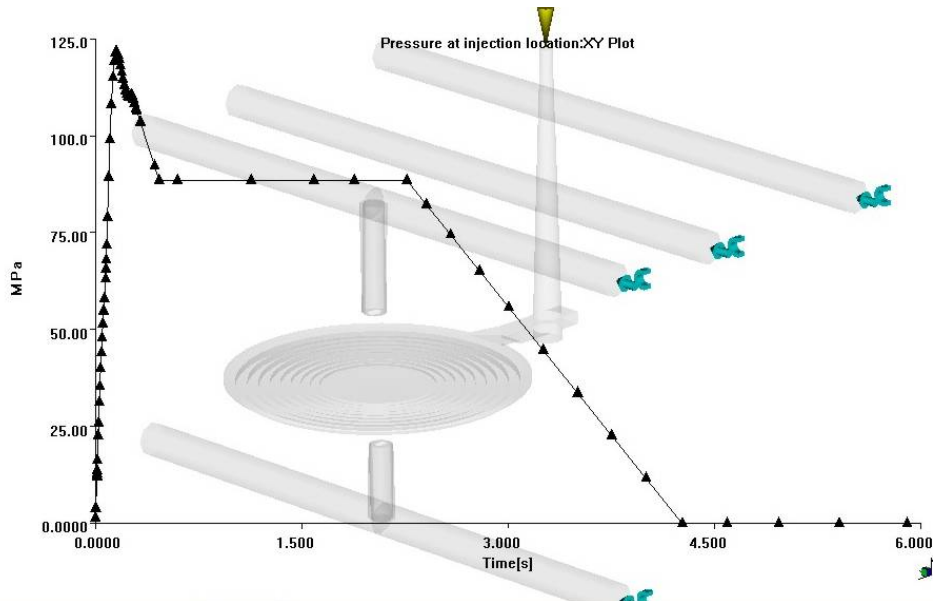


圖 3 - 13 澆口於 3.94s 凝固狀態

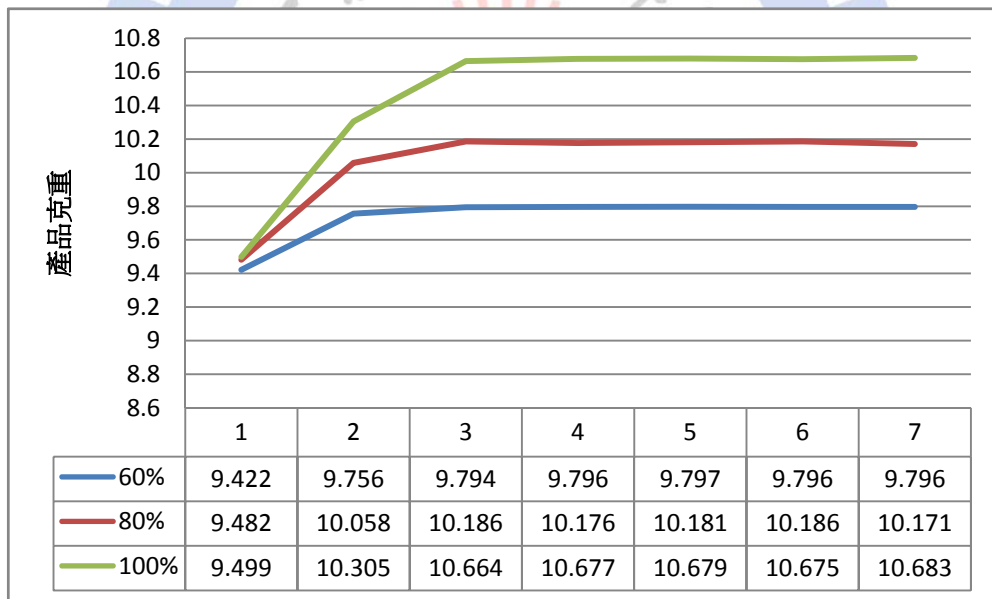


圖 3 - 14 保壓壓力與時間對產品克重實作結果

3.4.4 冷卻結果分析

冷卻時間長短應以肉厚中心達到頂出溫度所需時間為主，不同塑料各有其不同的冷卻時間參數，若單以凝固層來看，本產品約在冷卻時間在模溫 60°C，料溫 255°C 的狀態下，約在 15sec 左右便已達頂出溫度。在本模具設計中，水路設計採

4 進 4 出(圖 3-11)，中間近鏡面中央部份採用隔板法冷卻方式，而最佳水路設計應是產品表面積約等於有效熱傳面積，本文中母模面傳熱面積為 60.31cm^2 而公模面傳熱面積為 32.67cm^2 ，而母模面的產品表面積為 50.3cm^2 ，公模面為 40.3cm^2 ，可見在公模面的散熱會有不足現象，此外一點使用高模溫會使成形品收縮率、翹曲加大，因此若需考量成品的完整性，模溫高低所造成的影響也應一並考慮。



四、實驗流程與檢測

4.1 實驗流程

本次實驗流程大至如下圖 4-1 所表式，數據設定及選用在前述章節進行探討，後段則包含四種實際實驗架構：射出成型田口式實驗法、射出壓縮成型田口式實驗法、變模溫成型與模穴抽真空成型，先以田口法得出射出成型與射出壓縮成型，用以過慮其要因影響結果，其次在比較基準與最佳組差異，最後以基準組跟最佳組結果在裝設模穴抽真空與變模溫系統，觀察其是對轉寫率是否有所提升。

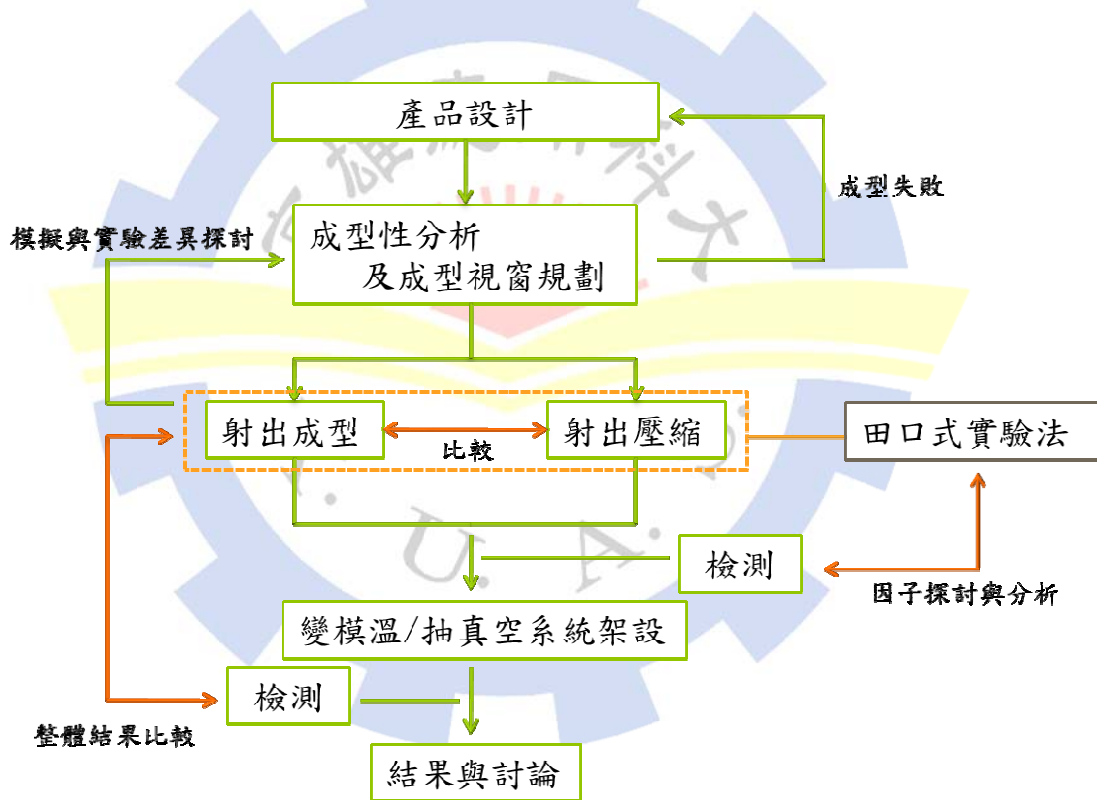


圖 4 - 1 實驗流程架構示意圖

4.2 實驗與檢測儀器

4.2.1 射出成型機

本論文搭配模具及操作功能使用 ARBURG 320C 速射出成型機如下圖 4-2，鎖模部份為直壓式油壓系統並附有射出壓縮功能，射出部份為螺桿型式，其相關參數如表 4-1

表 4 - 1 射出成型機參數

Rheological properties	Value	Unit
Clamping Unit		
Max. clamping force	600	kn
Tie bar distance(WXL)	320 x 320	mm
Platen dimension(WXL)	446 x 446	mm
Open daylight	350	mm
Mold open close force	25/130	kn
Ejecting force	30	kn
Ejector stroke	125	mm
Plasticization and injection unit		
Screw diameter	35	mm
Max. injection pressure	182	mPa
Theoretical injection volume	144	cm ³
Injection rate	154	cm ³ /s
Plunger stroke	150	mm
Max. injection speed	110	mm/s
Nozzle pressing force	70	kN
Unit traveling stroke	240	mm
Machine dimension weight		
Machine dimension	3420x1605x1425	mm
Machine weight	2330	kg



圖 4 - 2 ARBURG 320C

4.2.2 模溫機

模具溫度多為模溫機所控制，一般定義上的模溫也多以模溫機水路溫度為準，實測上模具表面溫度約略比水路溫度低約 15-20°C，這是在不考慮熔膠反覆充填所造成模具表面溫度的狀況下，若將此因素列入則水路與模穴溫差會更小，圖 4-3 為實驗中所用之模溫機，黃色為高溫模溫機，最高加熱溫度可達 260°C，白色為一般模溫機最高加熱溫度為 180°C，使用冷卻液為熱煤油。



圖 4 - 3 高低模溫機變模溫系統

4.2.3 真空泵浦

真空泵浦為將模穴抽至負大氣壓下裝置如圖 4-4，並有一氣壓表進行觀測如圖 4-5，本次實驗中為使射出壓縮裝置能順利掛載抽真空設備，設計 O 型環做空間阻隔空氣進入，當壓射合模至定位後，O 型環會分別在模面與頂出面隔出一空間，由真空馬達抽取真空，氣壓錶進行讀數讀取。因射出壓縮在一開始進行時，模穴會保持著比成品更寬的間距，此時便靠模穴週圍的 O 型環隔出可抽至真空的模穴，而模具合模後，O 型環便會受壓入槽體的溝(圖 4-6、圖 4-7)，不至於妨礙模具合模。需注意的是，因受限 O 型之高度，整體距離有限，因此使用射出壓縮設定的開模距離便會受限。

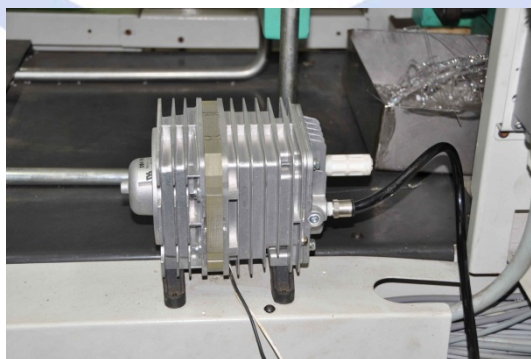


圖 4 - 4 真空泵浦



圖 4 - 5 氣壓錶

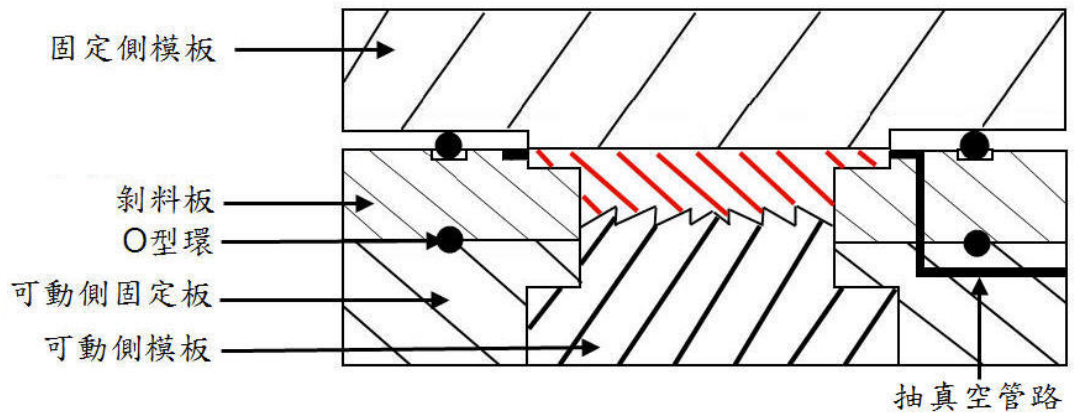


圖 4 - 6 射出壓縮模穴抽真空示意圖

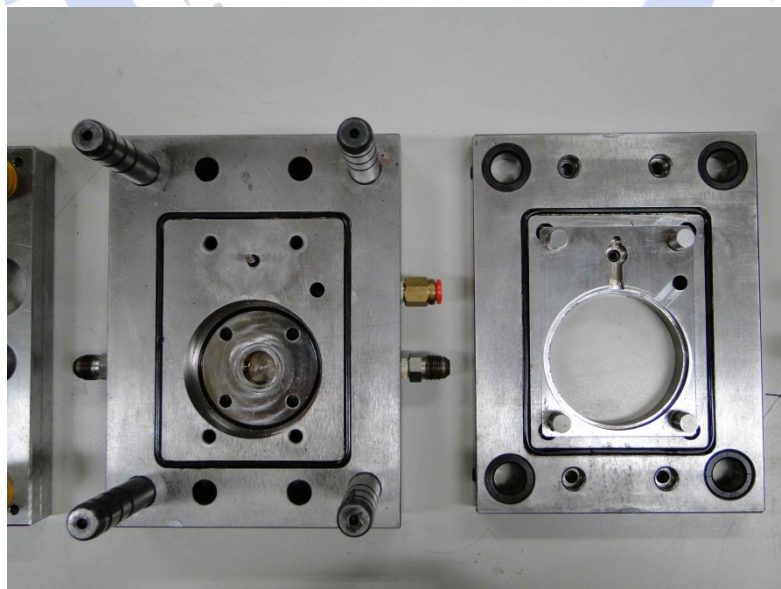


圖 4 - 7 抽真空模穴氣密 O 型環實體照片

4.2.4 表面輪廓儀

本實驗運用 Taylor Hobson 表面輪廓儀進行量測集光鏡片的齒型微結構測量，表面輪廓儀為接觸式量測儀，利用探針接觸被測物並配合光學感測器將資訊回傳運算器內，將所量測之物件輪廓記錄置電腦中，探針內部結構如圖 4-8 所示。藉由內建軟體可以分析形狀精度、粗糙度等資訊。

實際描繪出來之結構如圖 4-9 到圖 4-13 所表示，圖 4-9 為成品折射面全齒型輪廓(由中央往外圍)，圖 4-10 為折射面末三齒輪廓，圖 4-11 為繞射面的全齒型輪廓，圖 4-12 為最末端大齒輪廓，內含有更小的小齒，如圖 4-13 示。

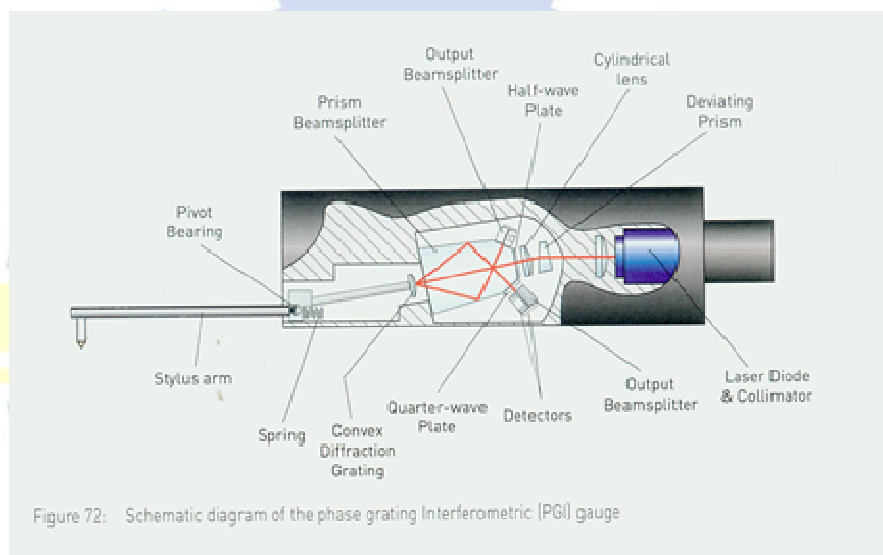


圖 4 - 8 表面輪廓儀之探針內部結構

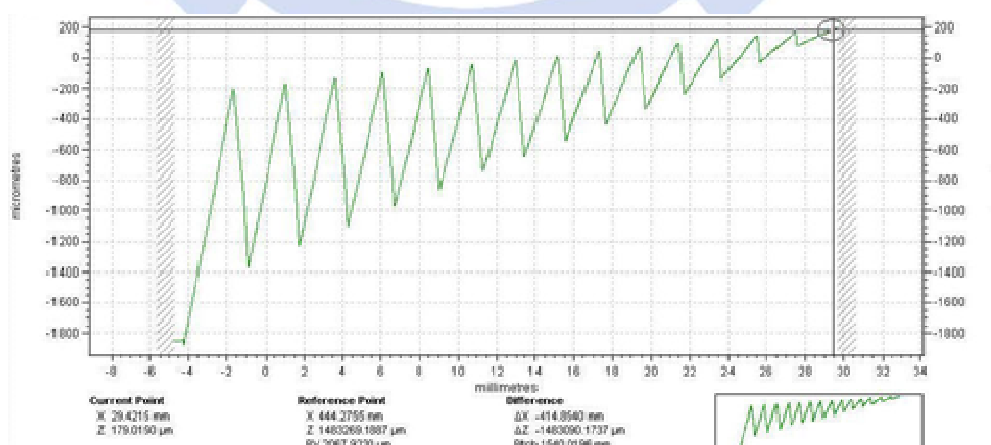


圖 4 - 9 折射面齒型輪廓

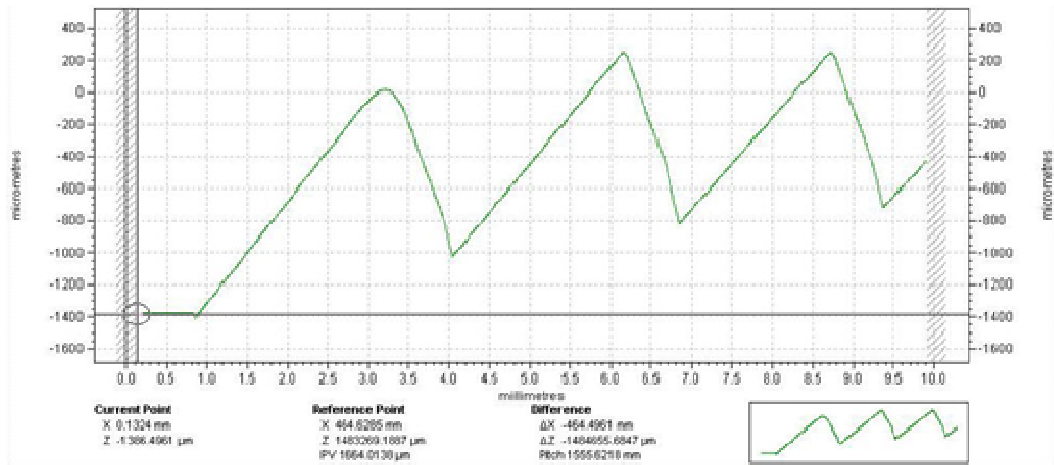


圖 4 - 10 折射面末三齒齒型輪廓

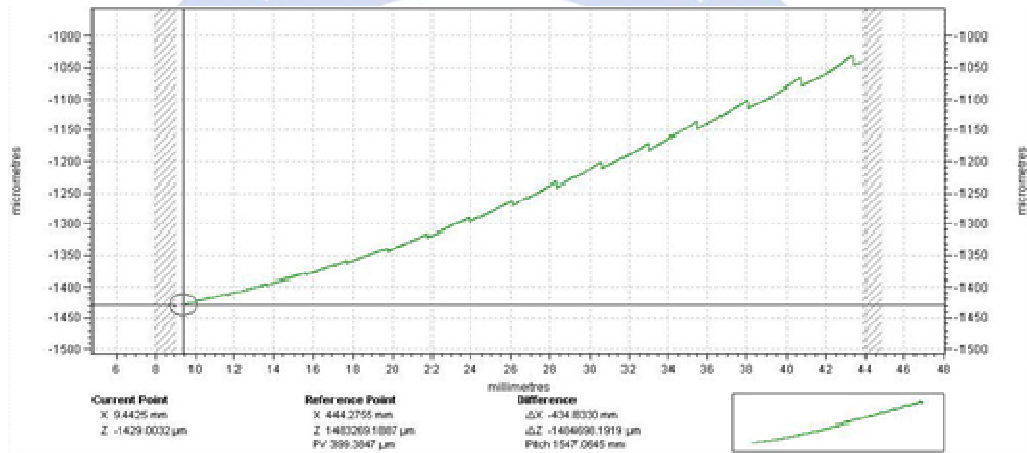


圖 4 - 11 繞射面齒型輪廓

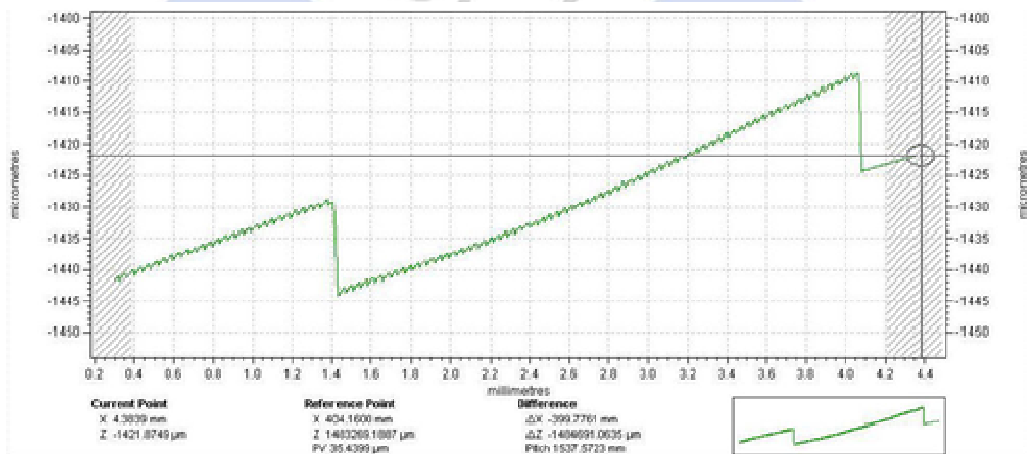


圖 4 - 12 繞射面末齒型輪廓

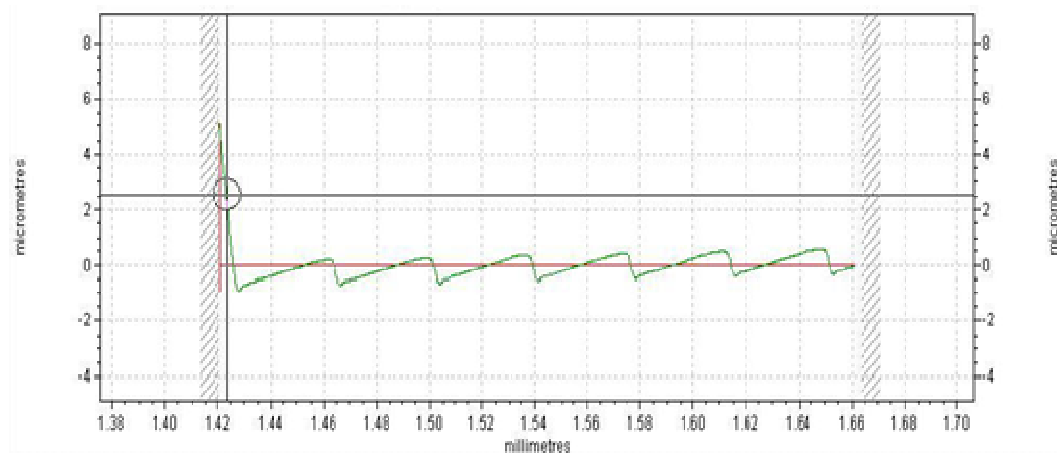


圖 4 - 13 繞射面小齒齒型輪廓

4.3 實驗參數設計與選用

4.3.1 短射實驗

實際進行實驗前先以短射實驗與測試做出射出成型與射出壓縮之成型視窗，用於決定往後田口式實驗法的水準參考，成型視窗參數則以材料成型與否，及機台負荷為依據，一部份也因選擇的材料性質不同而有所改變，本文實驗開始前所測試的成型視窗，由料商所建議之溫度範圍 260°C - 280°C 間測試，射出成型部份射速部份上不宜超過 80mm/s ，以免有射壓超出機台最大上限，而射速過低則會有充填不足的現象產生，料溫最低 260°C 可接受之螺桿射速為 20mm/s ，整體成型視窗如圖 4-14。射出壓縮成型部份，射出壓縮成型在決定成型與否的條件上另需考慮合模速度與距離的搭配，避免於模穴中擠入過多塑料造成無法合模的狀態。本文中的模穴搭配壓縮速度與合離(最大為 1mm)後可得到的射出壓縮成型視窗如下圖 4-15，整體範圍比射出成型來的狹窄。

此外為了能順利的進行田口式實驗的安排，我們將各式要因詳列為魚骨圖(圖 4-16)，越靠近魚頭及骨幹者其影響越大，藉由此表可大略過濾重要因子，方便要因選擇時參考，條列細項越詳細則幫助性越大。

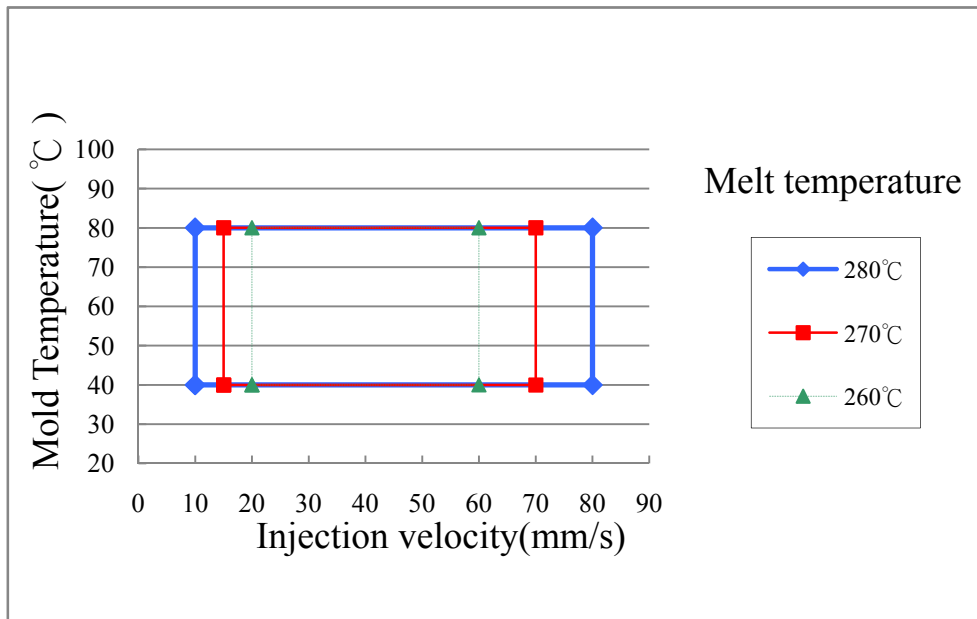


圖 4 - 14 射出成型射速與模溫成型視窗

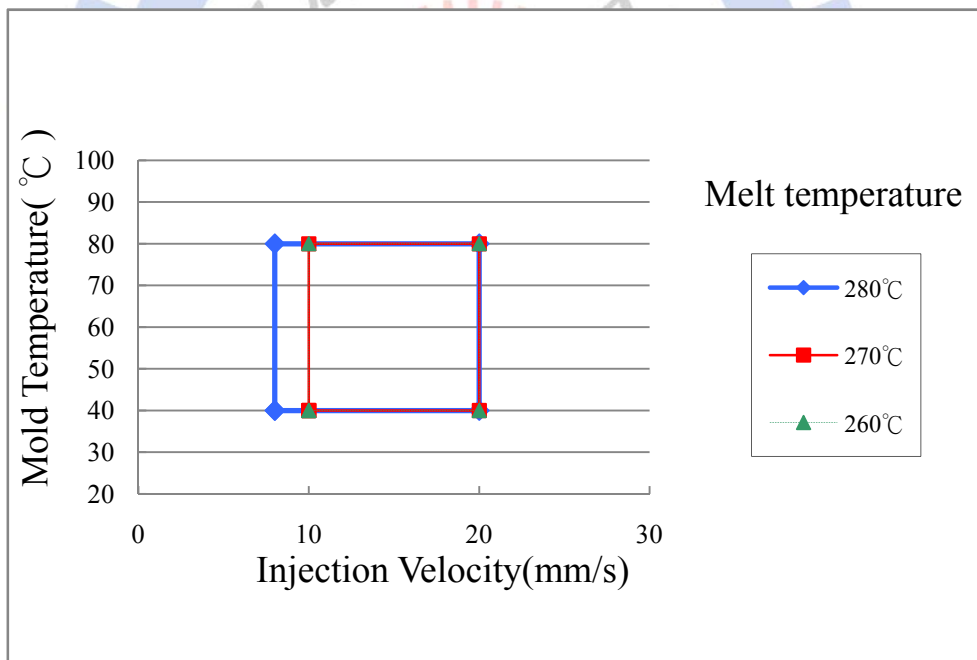


圖 4 - 15 射出壓縮射速與模溫成型視窗



圖 4 - 16 魚骨圖

4.4 射出成型田口式實驗法參數選擇

考量模具設計與成型視窗的實驗結果，並參考前述文獻資料得到本次射出成型田口式實驗法 $L9(3^4)$ 之三水準如表 4-2，其中模溫與料溫為料商推薦之建議溫度範圍，射出速度與保壓壓力則參考成型視窗所選用之設定，保壓壓力則搭配基準組射速之機台射壓，約在最大射壓 70%~110%間。

表 4 - 2 射出成型要因水準表

Factors	Levels		
	1	2	3
Mold Temperature (A) °C	45	60	75
Injection velocity (B) mm/s	20	35	50
Packing Pressure (C) bar	350	500	650
Melt Temperature (D) °C	240	255	270

4.5 射出壓縮成型田口式實驗法參數選擇

射出壓縮成型亦如同射出成型之參數選用，以成型的可能性與否來進行射出壓縮來進行參數設定，考量到可能存有交互作用的可能性，射出壓縮採用 $L18(2^1 \times 3^7)$ 之田口表(表 4-3)， $L18(2^1 \times 3^7)$ 的直交表將交互作用平均分散於直交表中，可增加要因的判斷準確度。原 A 項兩水準要因，因無合適要因可填入，故將其去除，成爲一不飽和直交表，而螺桿切換位置(G)，分別代表了擠入於模穴的塑料量，螺桿位置 9、11、13mm 分別爲整體體積的百分之 70%、80%、90%，當螺桿塑料前進至指定位置，則開始進行合模壓縮動作，其他參數則參考成型視窗與模具設計等條件訂定。

表 4 - 3 射出壓縮要因水準表

Factors	Levels		
	1	2	3
Mold Temperature (A) °C	45	60	75
Melt Temperature (B) °C	240	255	270
Injection velocity(C) mm/s	12	14	16
Packing Pressure (D) bar	300	400	500
Compression distance (E) mm	0.5	0.7	0.9
Screw distance (F) mm	7	9	11
Compression Speed (G) mm/s	6	9	12

4.6 變模溫實驗設計

完成射出與射出壓縮後，選最佳參數組合與基礎組合進行變模溫測試，由於較高的模溫對轉寫率有較好的影響，尤其是將料溫提升到塑料的 T_g 點附近，會有明顯的效果，但模溫較高也表示塑料冷卻時間加長，爲快速使模溫變化而不影響成型週期，故採用高低模溫切換方式進行。本論文實驗除了以田口本身模溫外，另外以田口的基準組、與最佳組條件，單獨改變模溫做量測，分別調整由最高模溫 100、120、140°C(材料可接受

最高成型上限為 140°C)降至開模頂出溫度 60°C。

4.7 抽真空實驗設計

如同變模溫實驗設計，以射出成型與射出壓縮成型基礎組與最佳化參數組進行比較，分別將其氣壓抽至-30kPa、-45kPa、-60kPa、-75kPa 大氣壓(真空馬達最高抽至-75kPa)四種不同氣壓參數來進行進行實驗與比較。

4.8 產品檢測

4.8.1 齒型轉寫率量測說明

菲涅爾鏡片成型品好壞以齒型轉寫率高低辨別，由探針在量測過程中，接處產品表面輪廓形狀並透過光學裝置將訊號傳送至運算軟體。

實務量測上，本次實驗以折射面最外齒與繞射面最外齒的末三齒做為採樣基準，因齒型末端通常為充填率最差的地方，在末端部份由於離澆口最遠無論是保壓壓力、料溫等條件傳遞皆會因距離而有所減損，因此對轉寫率會有所影響。

本次實驗另外需特別對轉寫率換算做說明，如圖 4-17 所示，圖中黑色線部份為產品實際外觀，綠色虛線為表面輪廓儀探針所走路徑，探針行走路徑為由左到右，當探針經過最高點(A 點)時，探針頭便會落下，但探針尖端為一固定的角度的尖錐狀物體，且較成品齒型狀來的大，在落下過程中側邊會持續的與 A 點接觸，造成儀器所量得的最大深度為 B 點(探針落下最低點)，且成斜線滑落軌跡而非垂直落下，而非成品實際的深度(D 點)，因此探針所判讀出來的高度較實際上產品高度來的低，為排除此問題，我們重新以探針所可以量到的最深高度值，假定為充填率 100%(\overline{AC})，取代原本設計高度(\overline{AD})，並藉由公式 4-1 計算轉寫率高度，此方法雖排除了 \overline{DC} 的長度，但轉寫率探討主要還是以充填末端(A 點)的齒形擬合狀況為主，因此對整體計算上影響不大。繞射面亦有相同問題，不過用於計算的高度基準面模仁與微結構為一體成型(折射面模仁與基準面為組裝結構，量測上會有較大誤差固不採用)且齒型間距較短即便有誤差也影響不大。

$$\text{轉寫率} = \frac{\text{量測高}}{\text{設計高}}$$

(4-1)

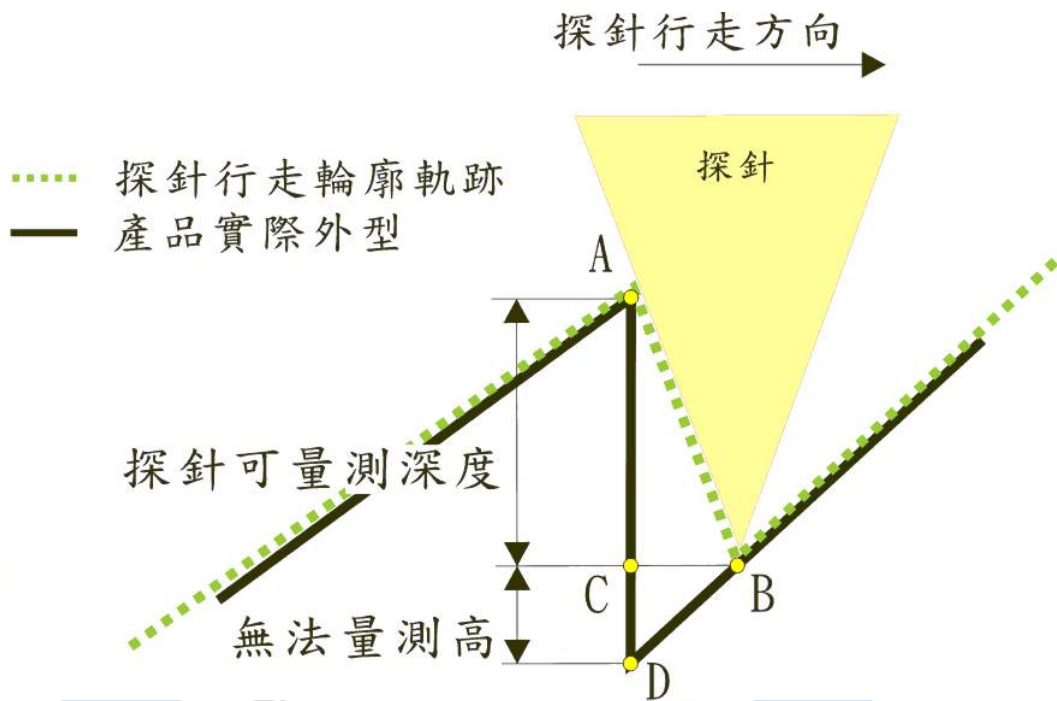


圖 4 - 17 量測換算示意圖

五、實驗結果與討論

5.1 射出成型微結構

5.1.1 田口式實驗結果與討論

射出成型部份以 L9(3⁴)直交表配合表 4-2 要因水準表，排定實驗如表 5-1 的實驗並依直交表進行實驗，完成實驗後將直交表轉為 S/N 比等參數，並製作相關參數表。

由表 5-2S/N 回應表及圖 5-1S/N 比回應圖可觀察在射出成型的折射面上與之相關參數，其中以料溫所佔影響最大，調整料溫可對折射面轉寫率有顯著影響，次者為保壓壓力再次者為模溫，由表 5-3 變異數分析上，可看出料溫佔去了 45.21%、保壓壓力 28.51%、模溫 18.26%、最後為射速僅佔了 8.02%。

而繞射面上如表 5-4、圖 5-2 所式，由 S/N 比回應圖及回應表來說，模溫是影響整最重要因素，隨模溫提高，繞射面轉寫率也相對應提升，以表 5-5 變異數分析來看模溫所佔去了整體的 85.45%。當完成第一輪實驗並進行分析完成後，將可視其反應與比重決定最佳組別，以進行參數調整來獲取最大的效益。以折射面-料溫與繞射面-模溫做調整，折射面與繞射面最佳參數互相干擾狀況理應不至於太嚴重。分別以表 5-2 與表 5-4 兩者來看，折射面建議最佳水準組合為 A3、B2、C2、D3，繞射面則是 A3、B3、C2、D2，權衡比重後以(A3)75°C、射速(B3)50mm/s、保壓壓力(C2)500bar、料溫(D3)270°C 最為最佳組合。

調整最佳參數後可得折射面與繞射面之最佳結果分別與基準值比較，對照可得到如表 5-6，將基準值與最佳值相比後可發現最佳值較基準值在折射面的轉寫率多出 2.11%，而繞射面則多出 6.56%。

表 5 - 1 射出成型田口式實驗法直交表參數

Experimental run	Factor				折射面	繞射面	折射面	繞射面
	A	B	C	D	轉寫率	轉寫率	S/N ration	S/N ration
1	1	1	1	1	91.38	80.06	39.21	38.07
2	1	2	2	2	97.99	83.77	39.82	38.46
3	1	3	3	3	97.16	82.28	39.75	38.31
4	2	1	2	3	98.57	84.66	39.87	38.55
5	2	2	3	1	96.45	86.61	39.68	38.75
6	2	3	1	2	96.80	87.44	39.72	38.83
7	3	1	3	2	97.96	88.52	39.82	38.94
8	3	2	1	3	97.53	91.35	39.78	39.21
9	3	3	2	1	96.62	92.53	39.70	39.33

表 5 - 2 射出成型折射面 S/N 回應表

	A	B	C	D
Lecel 1	39.5933	39.6346	39.5681	39.5292
Lecel 2	39.7566	39.7602	39.7980	39.7859
Lecel 3	39.7656	39.7208	39.7494	39.8005
Range	0.1723	0.0394	0.2299	0.2713
Rank	3	4	2	1
BEST	A3	B2	C2	D3

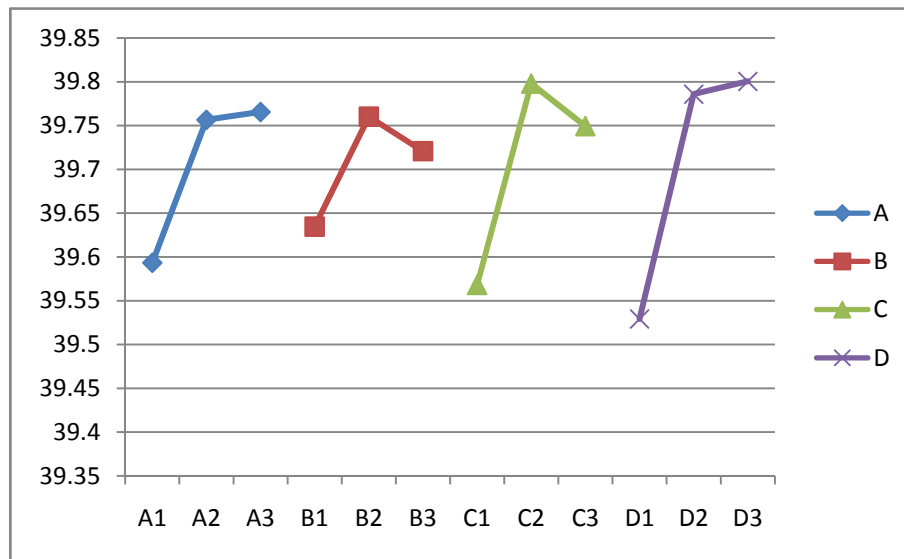


圖 5 - 1 射出成型折射面 S/N 回應圖

表 5 - 3 射出成型折射面變異數分析表(ANOVA results of Refraction parts)

	SS	DOF	Var	純變動 S'	Contribution%
A	0.056415	2	0.028208	0.056415217	18.26%
B	0.024772	2	0.012386	0.024771765	8.02%
C	0.088112	2	0.044056	0.088112115	28.51%
D	0.139725	2	0.069863	0.139725355	45.21%
Error	7.28E-12	0			
Total	0.309024	8		0.309024452	100.00%

表 5 - 4 射出成型繞射面 S/N 回應表

	A	B	C	D
Lecel 1	38.2776	38.5197	38.7046	38.7146
Lecel 2	38.7110	38.8079	38.7786	38.7445
Lecel 3	39.1602	38.8212	38.6656	38.6897
Range	0.8826	0.3015	0.113	0.0548
Rank	1	2	3	4
BEST	A3	B3	C2	D2

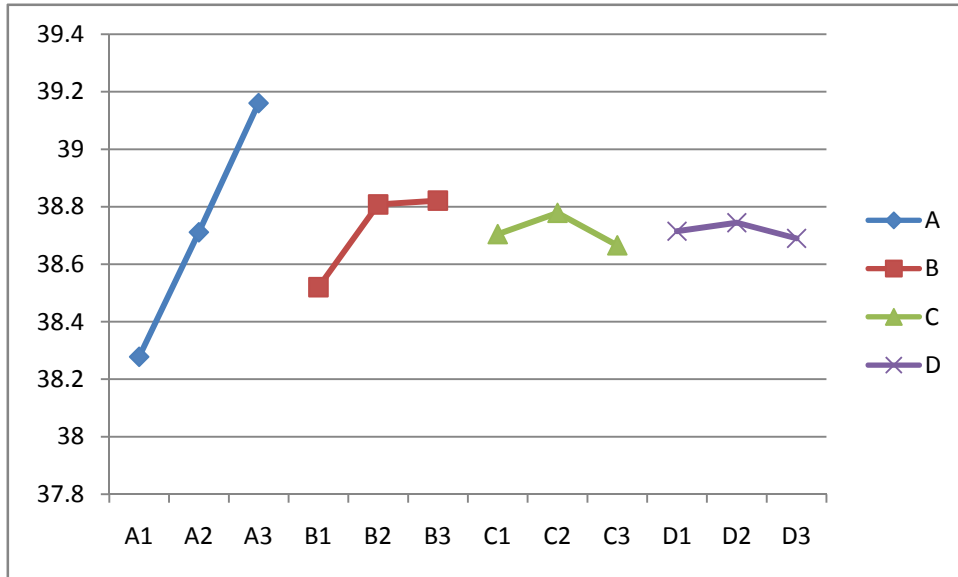


圖 5 - 2 射出成型繞射面 S/N 回應圖

表 5 - 5 射出成型繞射面變異數分析

	SS	DOF	Var	純變動 S'	Contribution%
A	1.168694	2	0.584347	1.168693817	85.49%
B	0.174078	2	0.087039	0.174077684	12.73%
C	0.019772	2	0.009886	0.019771564	1.45%
D	0.004509	2	0.002254	0.004508631	0.33%
Error	-1.8E-12	0			
Total	1.367052	8		1.367051695	100.00%

表 5 - 6 射出成型確認實驗(confirmation Run)

	折射面	繞射面
基準組	96.01%	88.766%
最佳組	98.12%	95.326%

5.1.2 變模溫結果與討論

表 5-7 為變模溫測試的射出成型結果，由表中的觀察可發現無論是在基準的參數組合或最佳的參數組合條件狀況下，對折射面的影響皆不大，如圖 5-3，而對繞射面的微小結構，可觀察到無論在基礎組合或最佳組合的狀況下微結構轉寫率隨模溫升高而有所提升，如圖 5-4，整體最高甚至可達 98%，效果顯而易見。

表 5 - 7 射出成型變模溫測試

溫度範圍	基準組		最佳組	
	折射面	繞射面	折射面	繞射面
100-60	96.56%	94.23%	96.91%	96.25%
120-60	96.36%	94.56%	96.74%	97.32%
140-60	97.88%	96.74%	97.40%	98.29%

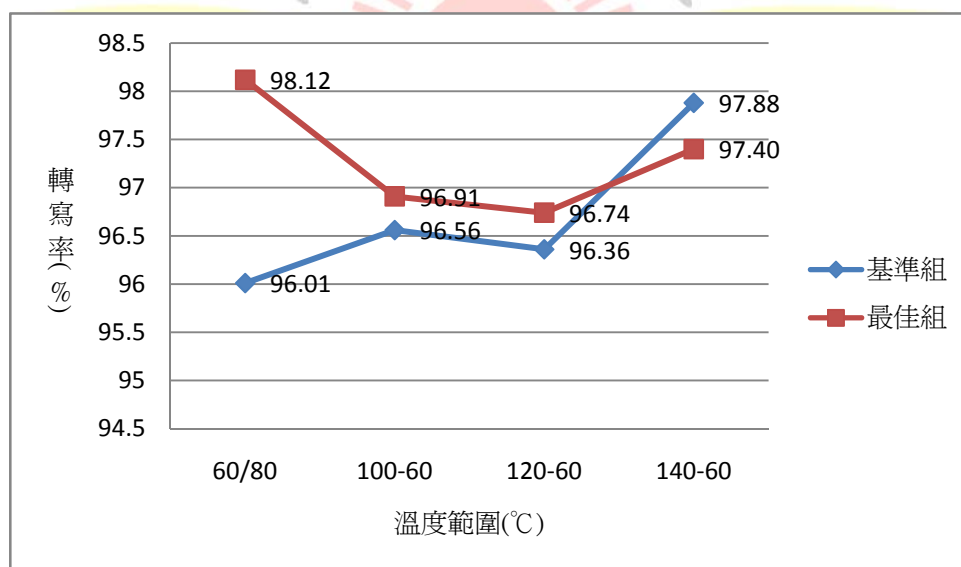


圖 5 - 3 變模溫系統對射出成型折射面轉寫率之影響

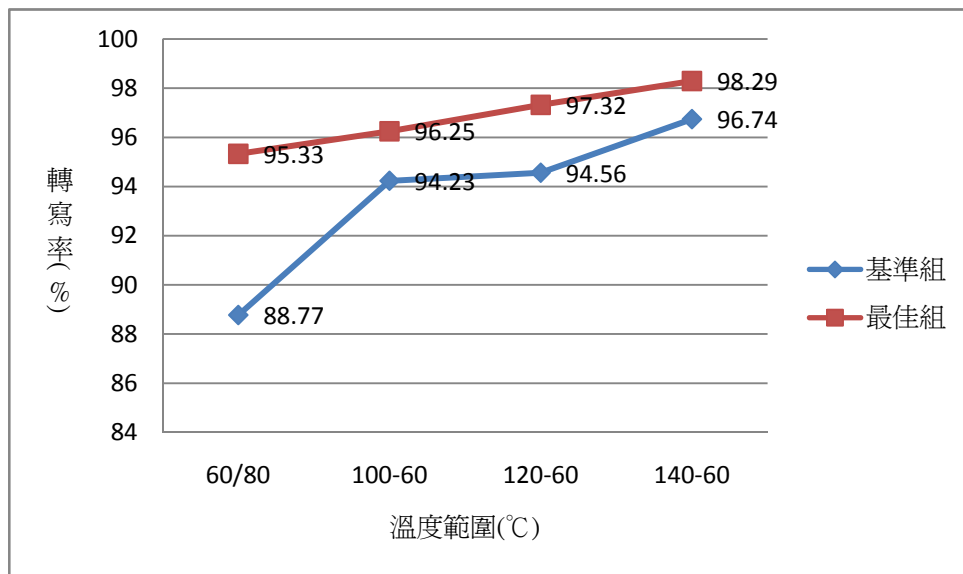


圖 5 - 4 變模溫系統對射出成型繞射面轉寫率之影響

5.1.3 抽真空結果與討論

表 5-8 為射出成型在真空狀態下對微結構的轉寫率結果，無論在折射率面與繞射面的轉寫率成長階有所提高如圖 5-5、圖 5-6，成長幅度無論在基礎組合與最佳組合參數上皆約提高 2%左右。

表 5 - 8 射出成型抽真空測試

氣壓狀態	基準組		最佳組	
	折射面	繞射面	折射面	繞射面
-30kPa	94.13%	94.98%	96.65%	94.83%
-45kPa	95.05%	95.01%	96.87%	94.98%
-60kPa	95.92%	95.29%	97.73%	95.61%
-75kPa	96.76%	97.60%	98.54%	96.15%

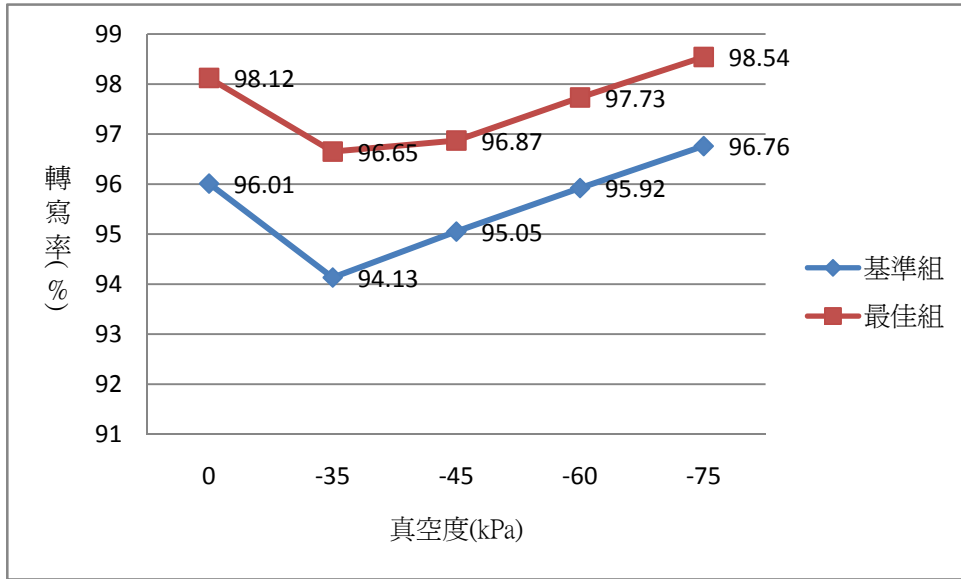


圖 5 - 5 抽真空系統對射出成型折射面轉寫率之影響

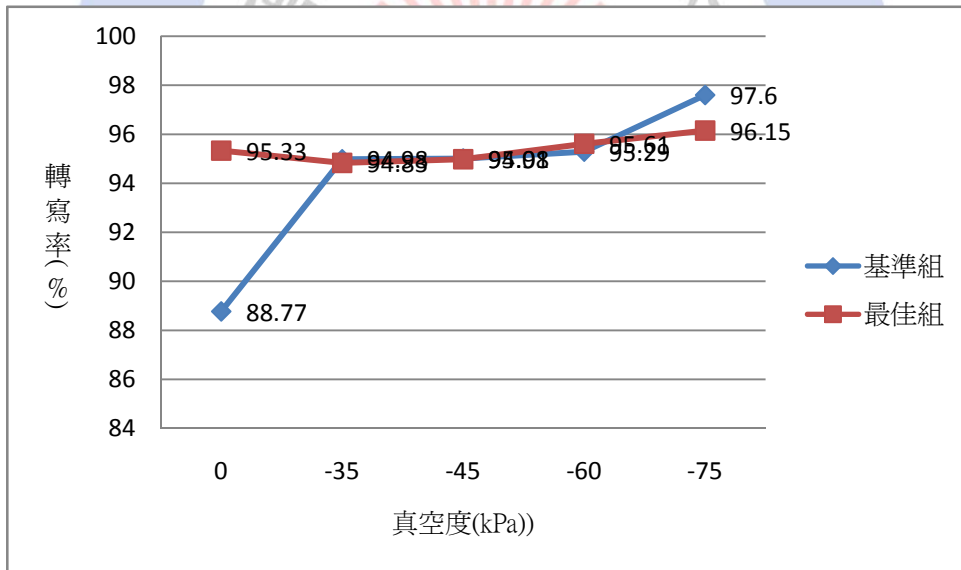


圖 5 - 6 抽真空系統對射出成型繞射面轉寫率之影響

5.2 射出壓縮成型

5.2.1 田口式實驗法結果與討論

射出壓縮成型之田口最佳化使用 $L18(2^1 \times 3^7)$ 做實驗，考量射出壓縮的過程中，將以往只用於定型的模具，改變成為成型過程中的成型步驟之一，為排除要因間的交互作用，所以採用 $L18(2^1 \times 3^7)$ 來進行實驗， $L18(2^1 \times 3^7)$ 是將交互作用散進直交表裡，降低其產生的影響。

由結果看來，由 S/N 回應圖(圖 5-7)與回應表(表 5-10)中可看出對折射面而言影響最顯著的要因為開模距離與料溫，由表 5-11 變異數分析來看，其分別佔去 16.836%與 12.381%。料溫越高相對塑料而言，其溫度越下降較緩慢，相對的塑料的充填性亦有所增加或者可說明合模時的壓力也更能有效傳遞。另較大的開模空間也使得塑料較易於往末端前進，而螺桿切換位置表示於何時開始壓射，太晚進行壓射切換則由於模穴的開模距離使得塑料進入模穴時表層凝固層較厚，壓縮開始後變無法使的折射面尖端齒型充填完整，使折射面的充填率略降，也解釋為何射出成型的折射面最佳值較射出壓縮的折射面最佳值的充填率來得佳。另外射出壓縮動作越晚開始進行則表示螺桿在射出的過程中可能擠入較多的塑料，一但由充填流程進入保壓後，射出機的控制由速度模式改變為壓力模式，尙未合模的模穴對塑料而言是較無阻力，會造成撐模溢料的問題。

對繞射面而言，影響微結構因子如同射出成型，從圖 5-8 S/N 比回應圖及表 5-12 回應表，明顯可看出模溫與料溫對轉寫率的影響比重，再由表 5-13 變異數分析來說明模溫佔了整體的 25.86%。模溫越高對微結構成型越有利，這點在射出與射出壓縮是相同的，而與壓射合模相關的參數要因，對繞射面微結構的轉寫率較無相關連，或影響不大因此併入誤差內。

依回應表(表 5-10、表 5-12)選定射出壓縮成型之折射面最佳水準組合 A3、B3、C2、D1、E2、F3、G2 而繞射面最佳水準組合為 A3、B3、C1、D1、E1、F3、G3，在依各水準重要性調整選則最佳參數為模溫(A3)75°C、料溫(B3)270°C、射出速度(C2)14mm/s、保壓壓力(D1)300bar、模具合模間隙(E2)0.7mm、射壓切換位置(F3)11mm、壓合速度(G3)12mm/s。表 5-14 為上述參數混合實驗結果，折射面儘提高 1.4%，繞射面為 2.78%，結果不甚顯著。

表 5 - 9 射出壓縮成型折射面田口式實驗法

Experimental run	Factor							折射面	繞射面	折射面	繞射面
	A	B	C	D	E	F	G	轉寫率	轉寫率	S/N ration	S/N ration
1	1	1	1	1	1	1	1	94.89	94.20	39.54	39.48
2	1	2	2	2	2	2	2	95.81	93.30	39.63	39.40
3	1	3	3	3	3	3	3	95.59	94.88	39.61	39.54
4	2	1	1	2	2	3	3	95.60	95.28	39.61	39.58
5	2	2	2	3	3	1	1	95.15	94.31	39.57	39.49
6	2	3	3	1	1	2	2	95.73	95.98	39.62	39.64
7	3	1	2	1	3	2	3	95.71	95.16	39.62	39.57
8	3	2	3	2	1	3	1	94.96	96.20	39.55	39.66
9	3	3	1	3	2	1	2	95.66	96.00	39.61	39.64
10	1	1	3	3	2	2	1	95.29	94.20	39.58	39.48
11	1	2	1	1	3	3	2	95.91	95.67	39.64	39.62
12	1	3	2	2	1	1	3	95.27	95.88	39.58	39.63
13	2	1	2	3	1	3	2	94.95	95.92	39.55	39.64
14	2	2	3	1	2	1	3	94.81	96.62	39.54	39.70
15	2	3	1	2	3	2	1	95.55	96.50	39.60	39.69
16	3	1	3	2	3	1	2	95.52	95.02	39.60	39.56
17	3	2	1	3	1	2	3	95.22	96.30	39.57	39.67
18	3	3	2	1	2	3	1	96.31	96.80	39.67	39.72

表 5 - 10 射出壓縮成型折射面 S/N 回應表

	A	B	C	D	E	F	G
Lecel 1	39.5964	39.5841	39.5972	39.6052	39.5698	39.5740	39.5869
Lecel 2	39.5815	39.5826	39.6028	39.5954	39.6070	39.6046	39.6086
Lecel 3	39.6055	39.6167	39.5833	39.5827	39.6065	39.6047	39.5878
Range	0.024	0.0341	0.0195	0.0225	0.0372	0.0307	0.0217
Rank	4	2	7	5	1	3	6
BEST	A3	B3	C2	D1	E2	F3	G2

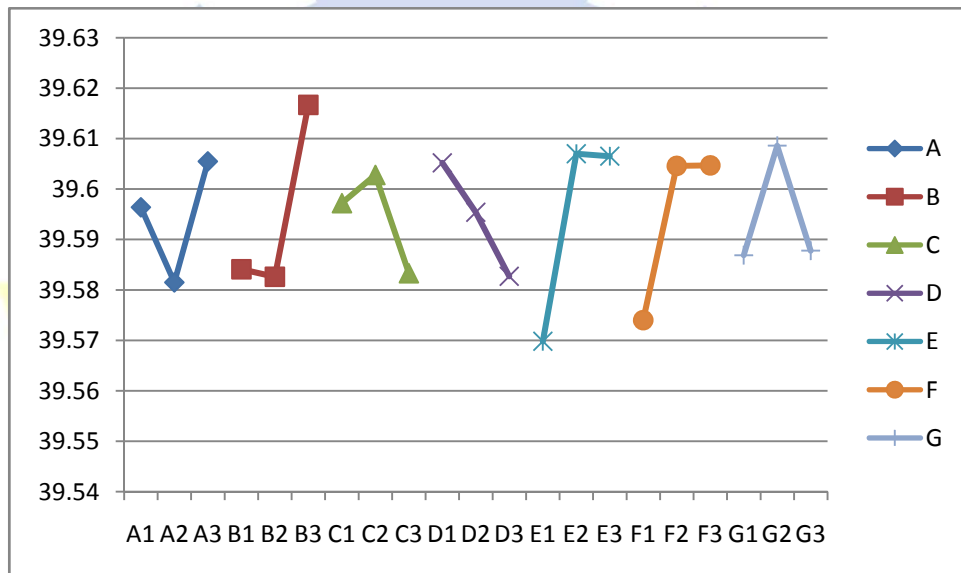


圖 5 - 7 射出壓縮成型折射面 S/N 回應圖

表 5 - 11 射出壓縮成型折射面變異數分析(ANOVA results of Refraction parts)

	SS	DOF	變異 V	純變動 S'	Contribution%
A	0.00177	2	0.00088		
B	0.00445	2	0.00223	0.00281	12.381%
C	0.00122	2	0.00061		
D	0.00153	2	0.00077		
E	0.00547	2	0.00273	0.00382	16.836%
F	0.00375	2	0.00188	0.00211	9.287%
G	0.00181	2	0.00090		
Error	0.00271	3	0.00090		61.496%
誤差調合	0.00904	11	0.00082	0.01397	
Total(St)	0.02271	17			100.000%

表 5 - 12 射出壓縮成型繞射面 S/N 回應表

	A	B	C	D	E	F	G
Lecel 1	39.5238	39.5495	39.6135	39.6203	39.6217	39.5841	39.5857
Lecel 2	39.6235	39.5894	39.5736	39.5868	39.5855	39.5738	39.5820
Lecel 3	39.6368	39.6451	39.5969	39.5769	39.5768	39.6261	39.6163
Range	0.113	0.0956	0.0399	0.0434	0.0359	0.0523	0.0343
Rank	1	2	6	5	7	4	8
BEST	A3	B3	C1	D1	E1	F3	G3

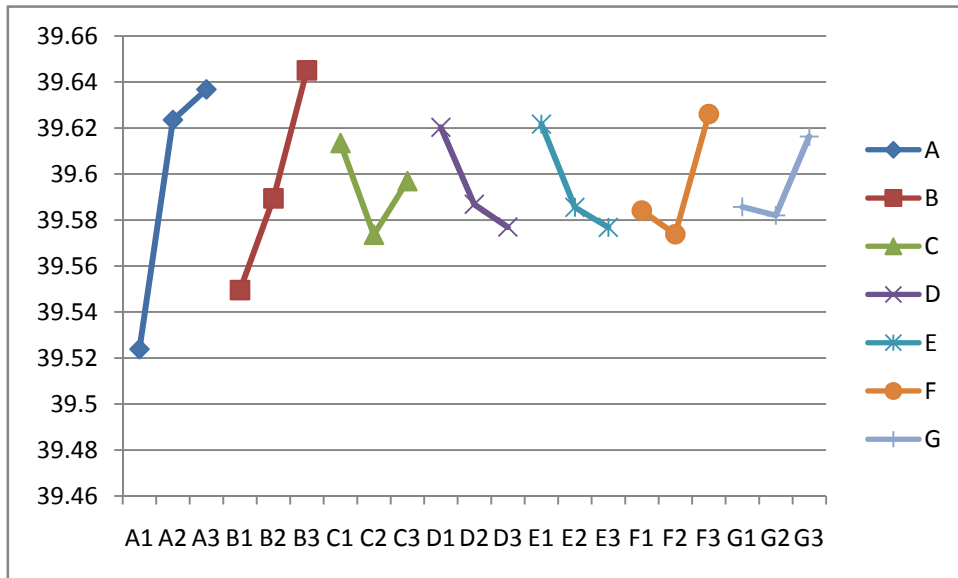


圖 5 - 8 射出壓縮成型繞射面 S/N 回應圖

表 5 - 13 射出壓縮成型繞射面變異數分析表

	SS	DOF	變異 V	純變動 S'	Contribution%
A	0.04579	2	0.0228934	0.0358	25.86%
B	0.02767	2	0.0138366	0.0177	12.78%
C	0.00481	2	0.0024041		
D	0.00622	2	0.0031087		
E	0.00678	2	0.0033887		
F	0.00923	2	0.0046130		
G	0.00426	2	0.0021276		
Error	0.03366	3	0.0112194		
誤差調合	0.06494	13	0.0049956	0.0849	61.36%
Total(St)	0.13840				100.00%

表 5 - 14 射出壓縮成型確認實驗

	折射面	繞射面
基準組	96.18%	94.22%
最佳組	97.58%	96.99%

5.2.2 變模溫結果與討論

完成確認實驗後以最佳的要因水準進行變模溫與抽真空的射出壓縮成型實驗，表 5-15 為變模溫的部份，在繞射面的微小結構上，模溫越高的狀況轉寫率則越佳，以圖 5-9 基準組跟最佳組的比較折線圖來說明，其成長幅度明顯提高 3.38%。而折射面(圖 5-10)則完全不受模溫影響或影響幅度很小。

表 5 - 15 射出壓縮成型變模溫測試

溫度範圍	基準組		最佳組	
	折射面	繞射面	折射面	繞射面
100-60	96.05%	95.45%	97.13%	96.31%
120-60	95.72%	96.54%	97.04%	96.52%
140-60	95.65%	96.71%	97.33%	97.60%

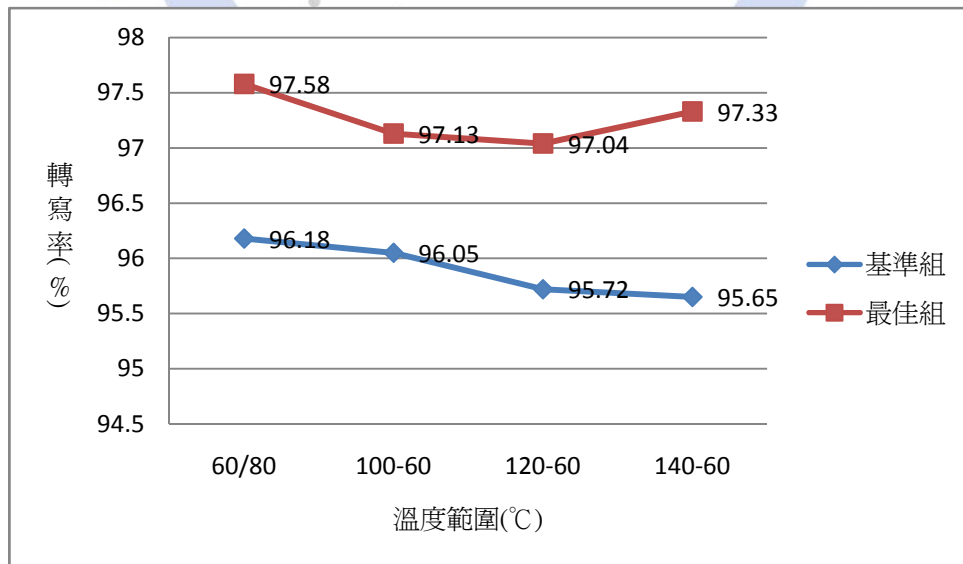


圖 5 - 9 變模溫系統對射出壓縮成型折射面轉寫率之影響

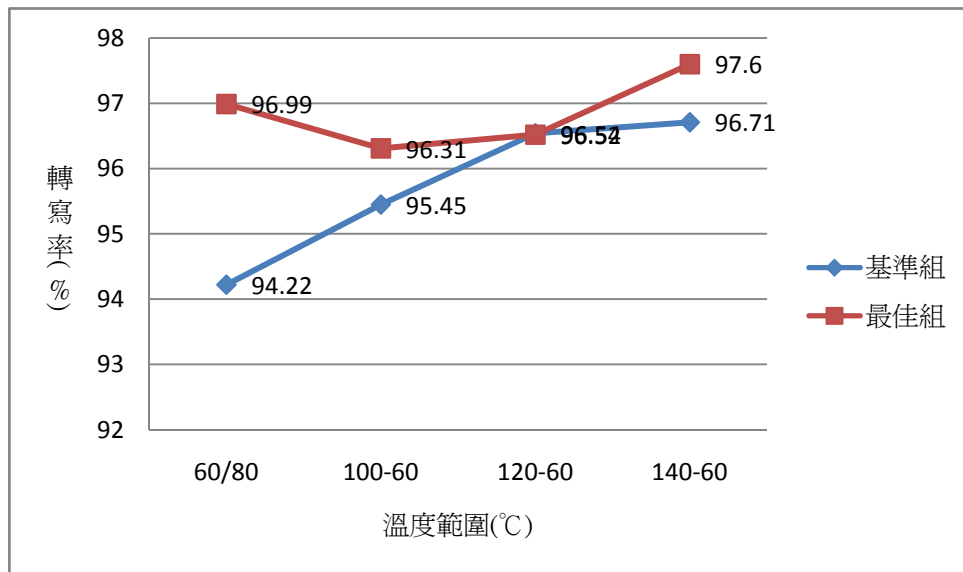


圖 5 - 10 變模溫系統對射出壓縮成型繞射面轉寫率之影響

5.2.3 抽真空結果與討論

表 5-16 為射出壓縮抽真空成型的結果，由圖 5-11 與圖 5-12 模穴抽真空成型的折射面與繞射面轉寫率折線圖趨勢來看，基準組合與最佳組合在使用模穴抽真空成型上，對於折射面的效果比繞射面來的大，整體而言無論再折射面或繞射面皆可增加 1-4% 不等的轉寫率。

表 5 - 16 射出壓縮成型抽真空測試

氣壓狀態	基準組		最佳組	
	折射面	繞射面	折射面	繞射面
-30kPa	96.48%	94.45%	95.84%	96.58%
-45kPa	97.44%	94.67%	96.41%	96.71%
-60kPa	97.47%	95.23%	97.05%	96.93%
-75kPa	97.66%	95.68%	98.32%	96.87%

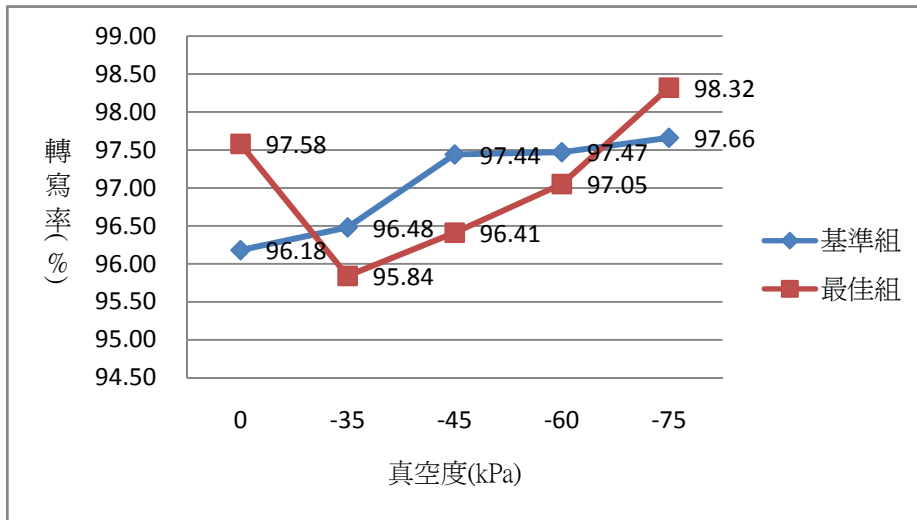


圖 5 - 11 抽真空系統對射出壓縮成型折射面轉寫率之影響

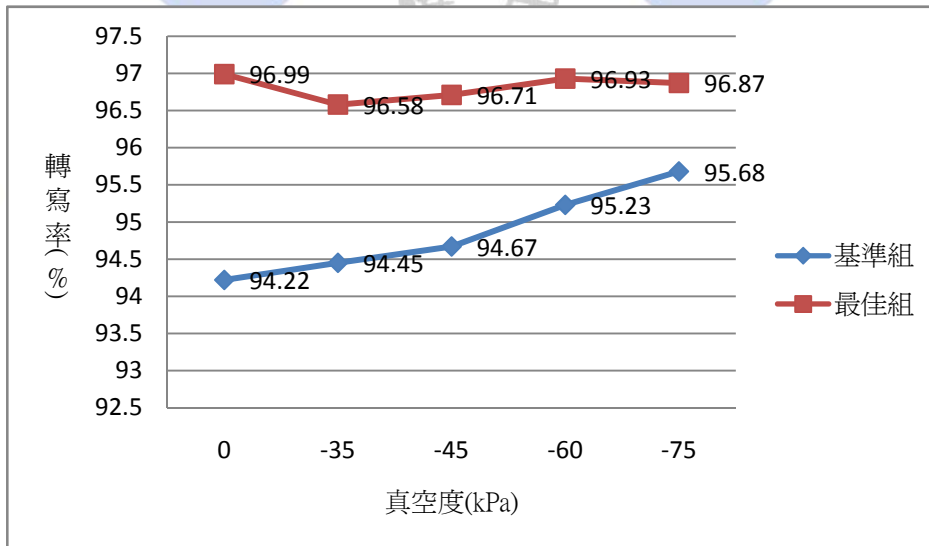


圖 5 - 12 抽真空系統對射出壓縮成型繞射面轉寫率之影響

六、結論與展望

6.1 結論

本章統整全篇結果及數據就各方面做一探討與總結。本次實驗成品為複合式折繞射集光太陽能鏡片，鏡片兩面分別設計有折射面(聚光用)與繞射面(消色散用)兩種大小齒結構，本文以射出成型與射出壓縮成型搭配，並依產品特徵設計加入抽真空與變模溫兩組系統，探究產品轉寫率問題，選擇轉寫率做為探究原因其一為菲涅爾鏡片齒型轉寫率好壞直接影響光學之集光倍率效果。

實驗流程以 CAE 展開，其後搭配成型視窗的設定判定成型範圍，排定魚骨圖設計田口式實驗法來進行實驗，射出成型部份因無明顯交互作用故選定 L9(3⁴)直交表進行實驗，其要因分別為模溫(A)、射速(B)、保壓壓力(C)、料溫(D)，而射出壓縮成型部份考量到模具合模部份參數可能存有交互作用，因此選用 L18(2¹×3⁷)直交表將交互作用的可能性攤入直交表內，其要因分別為模溫(A)、料溫(B)、射出速度(C)、保壓壓力(D)、模具合模間隙(E)、射壓切換位置(F)，決定最佳水準後進行確認實驗，在分別以基準組與最佳組進行抽真空成型與變模溫製程探討。以下就本研究進行探討與分析統整

1. 田口式實驗法是可大幅度減少實驗次數，但實驗嚴謹度直接影響到實驗結果，本次實驗採用模具與材料在進行田口實驗規劃時，可選則範圍便已受限，因此射出壓縮部份田口實驗結果趨勢不突出，誤差值有偏高的狀況。
2. 折射面的齒型轉寫率上，影響要因最明顯的為料溫，在射出成型貢獻了 45.21%，其次為保壓壓力 28.51%、而射出壓縮料溫則佔有 12.38%(第一為開模距離占 16.84%)，因料溫越高對大齒型結構而言壓力傳遞可更為深入與持續，不過較高的料溫與保壓壓力會使得塑料有黃化與翹曲等問題，而開模距離合理的推斷應亦與溫度有所關聯，由 S/N 比表中可看到 0.9 與 0.7(兩者 S/N 相差不多)的開模距離下的轉寫率較佳，其原因與模穴空間較大塑料充填時較容易往末端滑落所造成。
3. 繞射面齒型轉寫率無論在射出成型與射出壓縮成型皆與模溫相關分別佔

85.45%與 25.86%其次皆為料溫佔約 12%，由此可知無論對射出成型或射出壓縮成型而言，模溫是影響微小結構轉寫率最大因素。

4. 模穴抽真空成型主要是針對折射面結構(或成品充填末端)之排氣不良部份進行，對於抽真空的結果來看也確實是有達成其目的，幅度在 4%上下，在抽真空成型製程中繞射面轉寫率也隨負壓值越大而提升，約增加 2%左右轉寫率，而其在繞射面效果並不如變模溫來的明顯。
5. 而針對繞射面之變模溫系統在隨模溫升高，則繞射面的轉寫率約可提高近 5%，可將轉寫率逼近是 98.29%，而變模溫系統對折射影響並不明顯，若提高模溫除了會延長冷卻時間(所以才用變模溫)另一方面會造成較明顯的翹曲及收縮現象，這部份是否值得用轉寫率來換取則由產品的需求狀況來判斷。
6. 以射出與射出壓縮來比較，我們可發現射出成型與射出壓縮成型兩者轉寫率相去無多，射出成型甚至有比射出壓縮有著較好的轉寫率，實際上成品在採用不會只單看轉寫率，射出成型會於澆口處聚集不少應力長期以往則容易造成翹曲，產品也易於從應力集中處破裂，而射出壓縮在成型過程中是以模具的合模力來進行合模，壓力均勻散布於產品各處，可改善此以產品不良現象，對於需長曝於極端氣候的太陽能集光鏡片，除了材料改良外，多一種可延長使用壽命的方法。

6.2 未來展望

針對未來太陽能集光鏡片研究及生產製造，統整以下幾點供大家參考：

1. 材料選用與模具製造

太陽能集光鏡片於開始設計與選用階段，除了光學設計需考慮模具加工及成型性外，考量到使用環境較為嚴苛，首先要考量的重點便是材料的耐候性，材料性質直接影響產品壽命與成本及往後成型加工與成品性質。而模具設計上也應視材料特性做設計，例如澆口大小，分子鏈較長材料可開較大澆口方便其流動，但另一方面材料的若選用分子鏈太短的材料，成品於脫模頂出時會因強度不足及菲涅爾鏡片的齒型結構因素造成破裂，適當的選用材料與模具搭配是得考量的重點之一。此外成品充填末端應設置溢料井，對鏡片而言尤為重要，設置溢料井可免除很多成型上可能遇到的問題(如包風)，提高產品良率。

2. 繞射面製作工藝較高

若以相關折繞射鏡片研究與設計，一般折射面鏡片搭配繞射面鏡片使用，的確能改善鏡片的色散效果，較正不良因素，但相對的製造繞射面所需的工藝水準較為高且精密，但其效果有限，以白話一點來說必便是 C/P(capability/price)值不高，是否值得為此投入大量金錢或時間則依產品特性與需求判斷。

3. 誤差因子

由實驗過程中有幾點是觀察到可能對實驗結果有所影響，應列入考量或排除，如模具的熱膨脹，對射出壓縮的要因-合模間距會造成誤差。模穴在反覆作動的情況下，會使得表面溫度有所提高，對塑料充填狀況會有所影響，在者機台的穩定度與量測方法、成品靜置時間、環境溫溼度、烘料狀況、模穴壽命、試模次數、加熱時間、對成品量測結果都有所影響，本次實驗組別數量龐大，成型上耗時費工，已盡可能將測試條件及環境因素調整為相同狀態，也為此也進行了多次實驗，在此列出做為參考。

4. 產品評估與量測

鏡片在製造上，依其使用場合不同而應有不同考量，單以轉寫率來做評估並不妥當，以產品使用端來評估，另包含有翹曲、內應力、成品耐候性等問題，皆會影響鏡片對集光系統的聚光效率，因此製造上或實驗設計應以此為目標進行生產應較為合理。

5. 展望

由此次實驗證明了大尺寸的繞射光學原件可成型性，因此未來的相關集光鏡片光學設計上，會有更大與更特殊的光學設計，另一部份也增加了產品應用範圍，此外不管集光鏡片也好，或是其他產業的應用，由設計端與製造端的相互結合與發展，將會有更好且更多元的產品融入我們的生活中。

七、參考文獻

- 【1】張文師，2008，太陽熱能利用與製冷，五南圖書出版股份有限公司
- 【2】Hagmann P., Ehrfeld, W., 1989, Fabrication of Microstructure of Extreme Structural Heights by Reaction Injection Molding, Inter. Polymer Processing
- 【3】C.Kukla, H.Loibl, H.Detter, 1998, Micro-Injection moulding the aims of a project partnership, Kunststoff plastic Europe, 1331-1336
- 【4】M.S.Despa, K.W.Kelly, J.R.Collier, 1999, Injection molding of polymeric LIGA HARMS, Microsystem Technologies Vol.6, 66-66
- 【5】D'Amore, Alessandro, 2000, Nano Injection Moulding, Kunststoff plast Europe, Vol. 90, 15-17
- 【6】蔡森章，2002，具微小結構或貫穿孔之薄肉及微射出成型研究，國立雲林科技大學，碩士論文
- 【7】Yan, C, et al, 2003, Injection molding for microstructures controlling mold-core extrusion and cavity heat-flux, Microsystem Technologies, 188-191
- 【8】許財得，2004，非球面塑膠光學透鏡射出成型之電腦模擬與最佳化之研究，逢甲大學，碩士論文
- 【9】蕭文佳，2005，精密微光學平台塑膠微射出成型模具製程及成型技術之研究，國立雲林科技大學機械工程研究所，碩士論文。
- 【10】Cheng-Hsien, Wu, Wei-Shiu, Chen, 2006, Injection molding and injection compression molding of three-beam grating of DVD pickup lens. Sensors and Actuators A125, 367-375
- 【11】張沛頌，2006，熱塑性塑膠微射出成型技術之研究，國立成功大學，博士論文
- 【12】Ming-Ching, Yu, et al, 2007, Micro-injection molding with the infrared assisted mold heating system, Materials Science and Engineering A 460-461 288-295
- 【13】王建智，2008，中尺寸導光板光學設計與製程參數最佳化研究，國立高雄應用科技大學，碩士論文
- 【14】林先明等，2007，塑膠複合式光學元件之微調式射壓成形之研究，中華機械工程學會第二十四屆全國學術研討會論文集
- 【15】林苡任，2009，菲涅爾透鏡之光學設計與精密成型，國立高雄應用科技大學碩士論文
- 【16】施耀俊，2010，太陽能集光鏡片之效能設計與模具開發之研究，國立高雄

應用科大，碩士論文

- 【17】 TAKASHI 等，2008，菲涅爾透鏡，專利編號：200841043
- 【18】 陳明宗，2009，太陽能聚光裝置，專利編號：M360983
- 【19】 陳志隆等，2010，太陽能集光裝置，專利編號：I326347
- 【20】 Robert Scott,2011,Optics for concentrated photovoltaic cell,專利號碼：
WO/2011/005486
- 【21】 Donald C.O'shea, et al,2003,Diffraction Optics,Design,Fabrication,and
Test,SPIE Tutorial Texts in Optical Engineering
- 【22】 陳建人等，2007，光學元件精密製造與檢測，國家實驗研究院儀器科技研
究中心，全華圖書
- 【23】 張永彥，2007，塑膠模具設計學，全華圖書公司
- 【24】 李輝煌，2005，田口方法品質設計原理與實物，高立圖書有限公司
- 【25】 鐘清章等，2009，田口式品質工程導論，中華民國品質學會
- 【26】 黃俊欽，2010，塑膠射出模具-講義，國立高雄應用科技大學
- 【27】 黃明忠等，2010，電腦輔助工程模流分析與應用，全華圖書

八、附錄

一、田口式實驗參數詳細數據

a. 射出成型折射面田口式實驗法

Run	X ₁	X ₂	X ₃	\bar{y}	MSD	S/N 比
1	94.52	90.33	89.30	91.38	0.0001200	39.21
2	96.38	98.90	98.69	97.99	0.0001042	39.82
3	96.04	96.98	98.46	97.16	0.0001060	39.75
4	97.45	98.55	99.72	98.57	0.0001029	39.87
5	93.66	97.14	98.54	96.45	0.0001077	39.68
6	95.52	96.69	98.19	96.80	0.0001068	39.72
7	96.64	98.15	99.10	97.96	0.0001042	39.82
8	95.45	97.57	99.57	97.53	0.0001052	39.78
9	95.11	96.14	98.60	96.62	0.0001072	39.70

b. 射出成型繞射面田口式實驗法

Run	X ₁	X ₂	X ₃	\bar{y}	MSD	S/N
1	79.30	80.38	80.50	80.06	0.000156	38.07
2	84.37	84.65	82.29	83.77	0.0001426	38.46
3	81.82	82.54	82.47	82.28	0.0001477	38.31
4	85.44	85.69	82.85	84.66	0.0001396	38.55
5	86.95	87.41	85.48	86.61	0.0001333	38.75
6	88.67	86.56	87.08	87.44	0.0001308	38.83
7	88.59	88.62	88.37	88.52	0.0001276	38.94
8	91.15	91.88	91.01	91.35	0.0001198	39.21
9	92.14	92.32	93.14	92.53	0.0001168	39.33

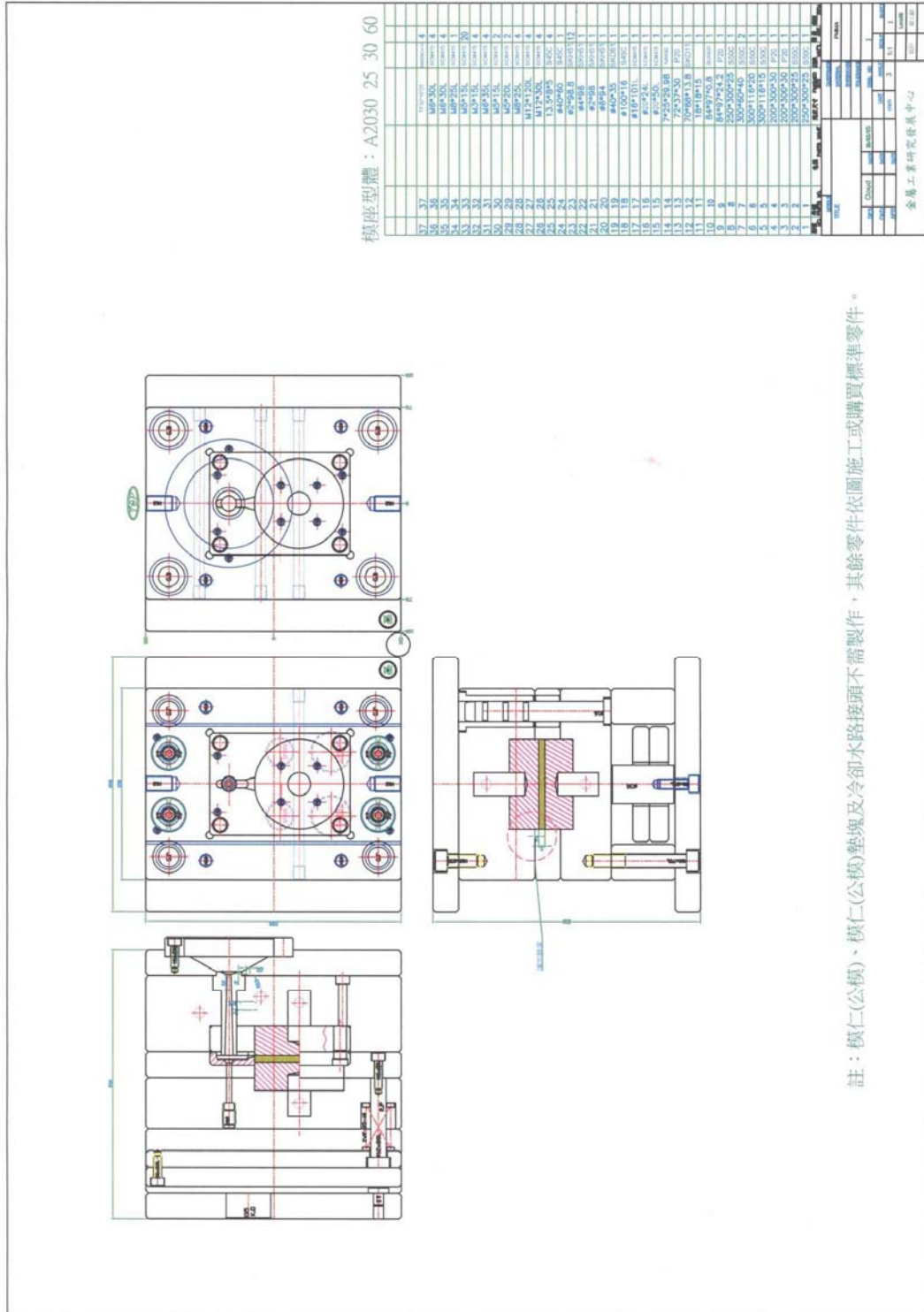
c. 射出壓縮成折界面田口式實驗法

Run	X_1	X_2	X_3	\bar{y}	MSD	S/N
1	95.30	94.72	94.64	94.89	0.0001111	39.54
2	96.16	95.43	95.83	95.81	0.0001089	39.63
3	95.55	95.66	95.58	95.59	0.0001094	39.61
4	95.75	95.33	95.72	95.60	0.0001094	39.61
5	95.02	94.90	95.54	95.15	0.0001104	39.57
6	95.96	95.80	95.44	95.73	0.0001091	39.62
7	95.93	95.72	95.49	95.71	0.0001092	39.62
8	95.26	95.42	94.21	94.96	0.0001109	39.55
9	95.40	95.70	95.87	95.66	0.0001093	39.61
10	94.88	95.77	95.23	95.29	0.0001101	39.58
11	96.24	95.60	95.89	95.91	0.0001087	39.64
12	95.03	95.37	95.41	95.27	0.0001102	39.58
13	94.94	95.27	94.62	94.95	0.0001109	39.55
14	94.65	94.58	95.18	94.81	0.0001113	39.54
15	96.28	94.98	95.38	95.55	0.0001095	39.60
16	95.40	95.73	95.42	95.52	0.0001096	39.60
17	95.80	94.74	95.12	95.22	0.0001103	39.57
18	95.77	96.56	96.59	96.31	0.0001078	39.67

d. 射出壓縮成繞射面田口式實驗法

Run	X_1	X_2	X_3	\bar{y}	MSD	S/N
1	92.76	95.33	94.50	94.20	0.0001127	39.48
2	93.23	91.96	94.70	93.30	0.0001149	39.40
3	95.91	94.03	94.69	94.88	0.0001111	39.54
4	95.07	95.65	95.12	95.28	0.0001102	39.58
5	95.41	94.82	92.70	94.31	0.0001125	39.49
6	96.66	94.63	96.64	95.98	0.0001086	39.64
7	96.38	94.13	94.96	95.16	0.0001105	39.57
8	96.41	96.39	95.81	96.20	0.0001081	39.66
9	95.41	97.13	95.45	96.00	0.0001085	39.64
10	93.01	92.70	96.88	94.20	0.0001128	39.48
11	95.51	95.10	96.40	95.67	0.0001093	39.62
12	95.93	96.00	95.72	95.88	0.0001088	39.63
13	96.36	95.54	95.87	95.92	0.0001087	39.64
14	96.74	96.76	96.35	96.62	0.0001071	39.70
15	96.96	96.41	96.13	96.50	0.0001074	39.69
16	95.12	94.80	95.15	95.02	0.0001108	39.56
17	97.21	95.83	95.87	96.30	0.0001078	39.67
18	96.23	97.04	97.11	96.80	0.0001067	39.72

二、模具設計圖



個人基本資料



姓 名 劉宏偉
 E - m a i l HamuHung@gmail.com
 出生年月 1984(73)/12/09
 興 趣 旅遊、繪圖、攝影

學 歷

碩 士	國立高雄應用科技大學	模具工程系- 塑膠精密加工實驗室	98/6 ~ 100/7
大 學	國立高雄應用科技大學	模具工程系	92/9 ~ 96/6
高 中	私立明道中學	綜合高中製圖學程	89/9 ~ 92/6

執行計劃

98	LDPE/EVOH/LDPE 高阻氣性薄膜開發	國科會計劃
99	複合式折繞射鏡片成型問題分析與驗證	產學計劃

學 業 經 歷

90	昆蟲生態研習社	社長	95	青青基層文服社、漫畫研習社	顧問
94	青青基層文化服務社	資管組組長	96	畢業班丙班	班編
94	嘉義義竹基服隊	隊長	96	高雄長庚青年志工隊	小組長