

國立高雄應用科技大學
模具工程系碩士班

碩士論文

太陽能集光片之效能設計與模具
開發之研究

Study of Efficiency Design and Mould Development for
Solar Concentrator

研究生：施耀竣

指導教授：黃俊欽教授

中華民國九十九年七月

太陽能集光片之效能設計與模具開發之研究

Study of Efficiency Design and Mould Development for Solar
Concentrator

研究生： 施耀竣
指導教授：黃俊欽 教授

student: Yao-Chun Shih
Advisor: Chung-Ching Huang

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

July 2010

Kaohsiung, Taiwan, Republic of China

中華民國九十九年七月

學生：施耀竣

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

近年替代能源不斷地蓬勃開發，其中太陽能具有環保與容易取得之優點，故在眾多替代能源中非常具有開發性。太陽能發電系統中，又以太陽能集光片進行集光式的高效率發電方法最為常用。有關太陽能集光片的研究，大多以結構形狀設計為主，很少針對集光片的成形特性與模具設計進行探討。因此本論文針對太陽能電池系統所用之 $\phi 70\text{mm}^2$ 、焦距 50mm 的圓平板型集光片，進行效能設計與模具開發之研究。

集光片之設計先採用具有良好聚焦特性之非球面輪廓，再配合適當設計的同心背脊鋸齒狀構造，將集光片的厚度降低，達到減重及節省材料成本的目的。本文以塑膠射出製程進行集光片的成型，針對成形、冷卻、脫模頂出等步驟所衍生的問題，例如鋸齒狀的充填、冷卻的均勻性、頂出時的黏模現象等問題，進行模具設計及成形條件的全盤考量，並且使用 CAE 模流分析技術優化成型條件，以及確認流道及冷卻系統的正确設計。射出成型之集光片將以表面輪廓儀進行鋸齒狀結構的量測，瞭解其導光結構的轉寫率。

研究結果顯示；以非球面設計的集光片能有效率地將太陽光集中在焦距更

短、面積更小的晶片上，減少晶片成本；同時避免集光片外圍部份，因短間距(pitch)切割造成鋸齒狀結構過於尖銳的缺點。鋸齒狀結構必須設計適當的拔模角度，以利集光片的頂出脫模，但拔模角度的大小從模擬結果確實會影響光學功能。成型條件部份藉由田口式實驗規劃，可以看出主要影響轉寫率的因子為模溫、料溫與保壓。而最佳製程參數為料溫 285°C、模溫 100°C、保壓 80 與射速 30mm/s。因本文產品肉厚足夠且每一鋸齒結構角度夠大，因此大致上的成型轉寫率約在 90%至 98%左右。

關鍵字: 太陽能集光片、鋸齒狀結構、塑膠射出、模具開發、轉寫率



Study of Efficiency Design and Mould Development for Solar Concentrator

Student : Yao-Chun Shih

Advisors : Dr chung ching huang

ABSTRACT

Advantages of renewable energy are easily utilized and protected environment on earth. For that reason, many alternative energy resources, which are clean and maintain friendly relations with environment on earth, are incessantly getting stronger development in the world in recent years such as solar power, wind, biomass, wave power, etc. Concentrating Solar Power system, which is a fractional of solar-powered resource, is used sunlight to be converted into electricity using photovoltaics to do electrical generation. Main component of Concentrating Solar Power system is solar concentrator panel, which is concentrated sunlight on photovoltaic. Moreover, to consider economic aspect of plastic industry requires toward thinner and lighter products. Flat-rounded concentrator panel with prism profile is designed and studied in this research. This flat-rounded panel can be satisfied thin part and created great focusing sunlight on solar cell similar to panel with aspherical profile that is terrific focused. In other hand, manufacturing flat concentrator panel is considered some problems as prism profile fulfill, cooling uniformity and ejection during injection molding process. The rounded panel with 30mm radius dimension and 50mm focal length is utilized to study optical properties.

Firstly, the flat-rounded panel with prism profile is analyzed from aspherical profile by using TracePro. Secondly, CAE method is utilized to specify an appropriated injection mold design and determine injection molding parameters by using Moldex3D. Experimental results are implemented by using Taylor Hobson for prism profile design. Comparison between CAE and experimental results demonstrate a relationship between the injection molding parameters and the design of flat-rounded concentrator panel.

Advantages of renewable energy are easily utilized and protected environment on earth. For that reason, many alternative energy resources, which are clean and maintain friendly relations with environment on earth, are incessantly getting stronger development in the world in recent years such as solar power, wind, biomass, wave power, etc. Concentrating Solar Power system, which is a fractional of solar-powered resource, is used sunlight to be converted into electricity using photovoltaics to do electrical generation. Main component of Concentrating Solar Power system is solar concentrator panel, which is concentrated sunlight on photovoltaic. Moreover, to consider economic aspect of plastic industry requires toward thinner and lighter products. Flat-rounded concentrator panel with prism profile is designed and studied in this research. This flat-rounded panel can be satisfied thin part and created great focusing sunlight on solar cell similar to panel with aspherical profile that is terrific focused. In other hand, manufacturing flat concentrator panel is considered some problems as prism profile fulfill, cooling uniformity and ejection during injection molding process. The rounded panel with 30mm radius dimension and 50mm focal length is utilized to study optical properties.

Firstly, the flat-rounded panel with prism profile is analyzed from aspherical profile

by using TracePro. Secondly, CAE method is utilized to specify an appropriated injection mold design and determine injection molding parameters by using Moldex3D. Experimental results are implemented by using Taylor Hobson for prism profile design. Comparison between CAE and experimental results demonstrate a relationship between the injection molding parameters and the design of flat-rounded concentrator panel.

The results showed that the design of prism profile, which is based on aspherical profile, improved some significant issues, such as shorter focus length, smaller solar cell, lower production cost. On other hand, sharp angle of prism structure could be arisen on the design of prism structure at peripheral section of the concentrator panel. The angle of prism profile is increased during mold design, because of added draft angle. As consequence, the optical properties were reduced. The effect of injection molding parameters on plastic concentrator panel quality was also investigated by using Taguchi method L9 with factors, such as mold temperature, melt temperature, and holding pressure and obtained melt temperature 285°C, mold temperature 100°C, holding pressure 80%, and injection speed 30mm/s, as optimum factors, which are important key factors affect on transcription rate. An appropriate parameters, therefore, is created the prism profile of injection-molded solar concentrator panel is reached around 90%~98%. This means that the prism profile of solar concentrator panel is reached minimizing shrinkage.

Key Word: Solar Concentrator 、 prism profile 、 Injection molding 、 Mould Development 、 Transcription rate

誌 謝

兩年的研究所生活將告一段落，回顧這兩年的研究生涯可說是多采多姿。這段期間很感謝陪著我一起成長、學習、互相鼓勵求進步與指導我的夥伴們。

首先感謝我的指導教授 黃俊欽教授。老師的學術涵養與待人處事態度是值得我們學習的榜樣。在老師的細心指導與經驗分享，讓我除了在學識上增長外也讓我累積了不少現場經驗，並且很感謝老師的在論文上的指教讓論文內容上可以更佳的完備。還要感謝口試委員王珉玟教授、黃聖杰教授與李輝煌教授的指教，讓論文更加完善。

其次我要感謝我的家人，在我遇到挫折與瓶頸時給我鼓勵與開導，並且這兩年來的支持與包容，讓我充滿信心往前邁進。

最後要感謝成功學長、苡任學長、有鎰學長、阿信學長、老王學長、小郭學長、弘專學長在研究期間的指導與協助。感謝同窗昆霖、小美、象哥與阿達的互相鼓勵與打氣，讓這兩年的研究生涯充滿回憶。也感謝學弟妹宏偉、乙玄、小林、小胖、一帆這段期間的分擔實驗室事務，同時也祝你們順利完成碩士學位。另外也感謝光通所鄭乃仁教授與其實驗室的小甫、榮祥，提供研究所需之機台與問題解析之幫忙。

碩士這段期間，受到很多人的照顧與教導，真的很感謝你們，讓我受益良多並且讓我茁壯、專業領域更加踏實。

目錄

摘要	i
ABSTRACT	iii
誌謝	vi
目錄	vii
表目錄	ix
圖目錄	x
第 1 章 導論	1
1-1 前言	1
1-2 研究動機與目的	2
1-3 菲涅爾透鏡(Fresnel Lens)介紹	3
1-4 集光式太陽能電池介紹	4
1-5 文獻回顧	4
1-6 研究方法	8
1-7 論文架構	9
第 2 章 基礎理論	15
2-1 光學基礎理論	15
2-2 光線追跡法	17
2-3 非球面定義與理論	19
2-4 太陽能電池光電理論	20
2-5 太陽能集光片光學理論	22
2-6 射出成型理論	22
2-7 田口實驗法[27]	23
2-8 轉寫率定義	30
第 3 章 光學設計與分析	38
3-1 初始條件設定	38
3-2 CAE 光學軟體模擬	39
3-3 集光片光學設計	41
3-4 光學設計結果	43
第 4 章 模具設計與模流分析	59
4-1 模具設計與考量提要	59
4-2 產品特徵與塑材選用	59
4-3 澆道與流道系統設計	60

4-4	冷卻系統設計	60
4-5	CAE 模擬分析與設計驗證	61
4-6	射出成型機與標準模座選用	63
4-7	頂出機構設計	64
4-8	加工圖面產出與注意事項	64
4-9	模具設計總結	64
第 5 章	實驗與效能檢測	78
5-1	實驗與效能檢測提要	78
5-2	實驗法規畫與執行	78
5-3	產品檢測	80
第 6 章	結果與討論	91
6-1	導光結構量測實驗確認	91
6-2	單因子實驗法結果探討	91
6-3	田口法 - 最佳化製程參數	93
第 7 章	結論與未來展望	100
7-1	結論	100
7-2	未來展望	101
	參考文獻	102
	作者簡介	105
	附件一 集光片模具加工圖	106

表目錄

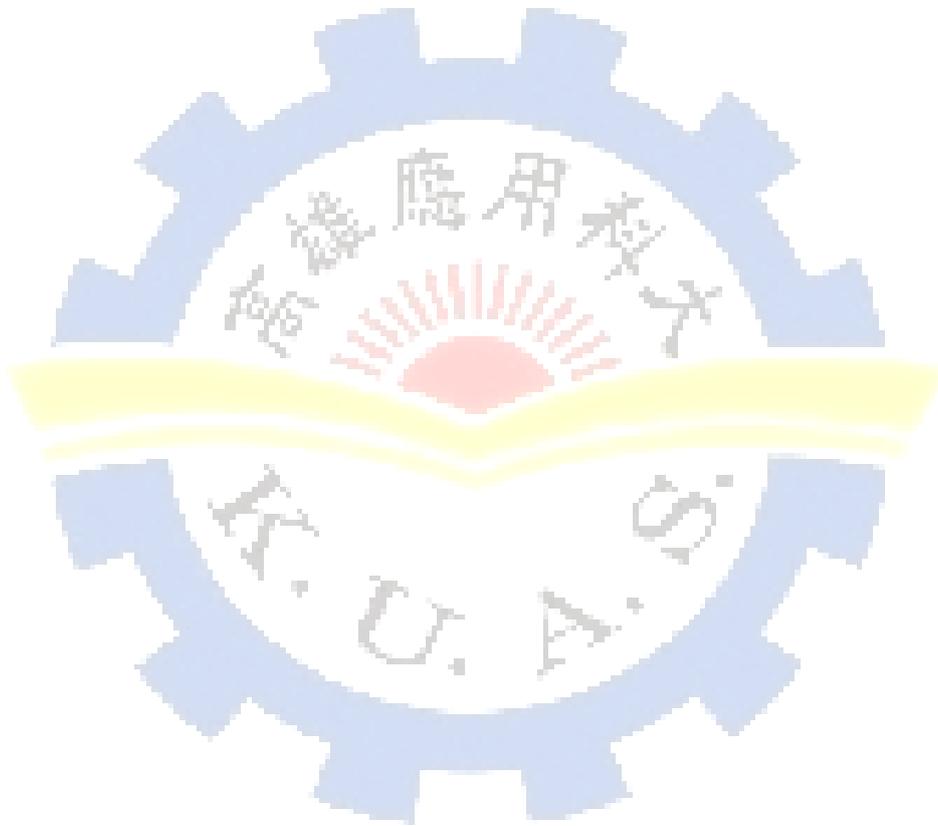
表 1-1 太陽能生電形式分類歸納.....	10
表 1-2 各類菲涅爾透鏡行爲模式示意表.....	10
表 1-3 菲涅爾透鏡與傳統透鏡比較之優缺點.....	11
表 3-1 太陽光波長與權重表.....	45
表 3-2 不同圓錐常數設計縱合比較表.....	46
表 3-3 集光片總規格表.....	47
表 3-4 不同角度對充填的影響.....	48
表 3-5 產品肉厚薄差對成型的影響比較表.....	49
表 4-1 Panlite AD-5503 物性表.....	65
表 4-2 成型機能量與注道口直徑之關係表.....	66
表 4-3 太陽能集光片模具規格表.....	67
表 5-1 射出成型機機台規格表.....	82
表 5-2 表面輪廓儀規格表.....	83
表 5-3 太陽光模擬儀規格表.....	83
表 5-4 CAE 模擬田口規劃與最小翹曲參數組合.....	84
表 5-5 單一參數法實驗規劃.....	84
表 5-6 最佳化製程田口法-因子水準規劃表.....	84
表 6-1 遠近澆口轉寫率情況.....	95
表 6-2 射速對轉寫的影響.....	95
表 6-3 保壓壓力對轉寫影響.....	95
表 6-4 料溫對轉寫的影響.....	96
表 6-5 模溫對轉寫的影響.....	96
表 6-6 射速對光電轉換的影響.....	96
表 6-7 保壓對光電轉換的影響.....	97
表 6-8 料溫對光電轉換的影響.....	97
表 6-9 模溫對光電轉換的影響.....	97
表 6-10 最佳化製程參數.....	98
表 6-11 田口法-光電轉換效能表.....	98

圖目錄

圖 1-1 台灣能源使用情況表.....	12
圖 1-2 菲涅爾鏡片運用歸納表.....	12
圖 1-3 菲涅爾透鏡切割數差異示意表.....	13
圖 1-4 未聚光與聚光時的太陽能電池使用面積比較.....	13
圖 1-5 高聚光型太陽電池系統示意表.....	13
圖 1-6 論文架構流程圖.....	14
圖 2-1 光線的折反射示意圖.....	31
圖 2-2 疏密介質與光線軌跡形態示意圖.....	31
圖 2-3 近軸光線追跡參數描述.....	32
圖 2-4 折射過程.....	32
圖 2-5 傳遞過程.....	33
圖 2-6 不同圓錐常數示意圖.....	33
圖 2-7 太陽能電池結構圖.....	34
圖 2-8 太陽能電池光電轉換示意圖.....	34
圖 2-9 菲涅爾集光片光線行為軌跡示意圖.....	35
圖 2-10 菲涅爾鏡片所產生的光柵現象圖.....	35
圖 2-11 射出成型流程示意圖.....	36
圖 2-12 探針量測軌跡示意與實際量測比較圖.....	37
圖 2-13 轉寫率說明示意圖.....	37
圖 3-1 太陽能集光片光學設計流程圖.....	50
圖 3-2 序列式描光示意圖.....	50
圖 3-3 非序列式描光示意圖.....	51
圖 3-4 光學模擬流程示意圖.....	51
圖 3-5 CAE 軟體設定波長示意圖.....	52
圖 3-6 模擬架構示意圖.....	52
圖 3-7 導光結構各部位名稱示意圖.....	53
圖 3-8 環數切割結果圖.....	53
圖 3-9 現今 HCPV 模組集光片擺放方式示意圖.....	54
圖 3-10 本文光線追跡法計算說明圖示.....	55

圖 3-11 本文集光片外觀圖.....	55
圖 3-12 最佳集光分析圖.....	56
圖 3-13 分布於晶片上分析圖.....	56
圖 3-14 頂角 30 度時滯留圖.....	57
圖 3-15 頂角 15 度時滯留圖.....	57
圖 3-16 拔模角對光學的影響.....	58
圖 4-1 模具開發流程圖.....	68
圖 4-2 產品特徵面示意圖.....	68
圖 4-3 帝人 PC 塑料顆粒圖.....	69
圖 4-4 澆流道示意圖.....	69
圖 4-5 有效管長說明示意圖.....	70
圖 4-6 母模水路示意圖.....	70
圖 4-7 公模水路示意圖.....	70
圖 4-8 2.5D/3D 模型說明示意圖.....	71
圖 4-9 集光片與冷卻系統之 3D 模流網格圖.....	71
圖 4-10 流動波前圖.....	72
圖 4-11 3D 網格感測點設置示意圖.....	72
圖 4-12 保壓時間資訊擷取圖.....	73
圖 4-13 保壓轉降點擷取圖.....	73
圖 4-14 冷卻系統結果圖.....	74
圖 4-15 翹曲分析結果圖.....	74
圖 4-16 Arburg All Rounder 320C.....	75
圖 4-17 標準模座選用說明圖(模仁置放極限空間示意).....	76
圖 4-18 頂出機構示意圖.....	76
圖 4-19 集光片模具母模實體圖.....	76
圖 4-20 集光片模具公模實體圖.....	77
圖 5-1 實驗與檢測規劃流程圖.....	85
圖 5-2 表面輪廓儀外觀.....	85
圖 5-3 表面輪廓儀收錄器構造圖.....	86
圖 5-4 太陽光模擬儀.....	86
圖 5-5 電源電表.....	87
圖 5-6 太陽能電池模組.....	87
圖 5-7 模擬與實際流動波前比較圖.....	88
圖 5-8 成型視窗綜合圖.....	88

圖 5-9 最佳充填壓力說明示意圖.....	89
圖 5-10 最佳充填壓力綜合圖.....	89
圖 5-11 功能性檢測架構示意圖.....	90
圖 6-1 單因子實驗-實際成型量測結果圖	99
圖 6-2 田口法-轉寫與光電效能比較圖	99



第1章 導論

1-1 前言

從工業革命後至今，各型態工具機與機動車產出，造成礦產能源大量被使用，除了引發環境破壞外也造成能源耗竭。根據聯合國指出，現今的石化能源大約僅能在使用 40 年至 100 年間會造成浩劫。圖 1-1 為能源局統計 96 年台灣能源使用情況，由此可看出台灣能源仍仰賴石化為主。因此能源短缺與費用節節升高的情況下，世界各國與台灣皆研發新型態的替代能源，來紓困人類對能源的需求。

近年研發出多樣的替代能源方式，其中以太陽能最具有環保與容易取得之優點，故在眾多替代能源中非常具有開發性。太陽能能源的使用是利用光電轉換或光熱轉換的方式來產出能量。各國於此領域開發出各型態的收光系統與改革太陽能晶片材料來提升此光電輸出效能。表 1-1 為太陽能生電方式分類。

集光式太陽能發電研究從 1975 年開始逐漸受重視。集光式太陽能發電主要是搭配光學元件來提高集光效率，以降低每單位太陽能電池系統的成本。其中高聚光型太陽能電池(HCPV)為常見的集光式之一；此型效果良好可運用於中小型的發電系統。若此系統中的集光元件使用菲涅爾鏡片(Fresnel Lens)方式設計，它將具備與平凸鏡片一樣聚光的能力並擁有厚度薄、重量減輕等優點，故運用於太陽能模組上，可以獲得良好的集光效能及減輕載具負擔。另外菲涅爾鏡片(Fresnel Lens)亦可應用於許多地方，如圖 1-2 歸納所示。

1-2 研究動機與目的

太陽能電池本身的發電效率一直都不高，且昂貴；基於成本和光電轉換考量故需設計一集光系統來增加光線收進晶片中。太陽能發電方式中，以集光型太陽能發電效果最好。從[1]中，可以得知歐美國家大型太陽能發電廠皆以集光型方式進行來提高光電產值。集光方式有反射式(Reflection type)與透過集光元件方式進行集光。其中以高倍率鏡片集光的 HCPV 模組最為廣用。本論文即是使用菲涅爾鏡片(Fresnel Lens)作為集光元件，進行效能設計、模具開發與製程探討。

以菲涅爾鏡片(Fresnel Lens)而言，導光結構的設計為主要重點之一。導光結構設計的好壞直接影響光電轉換效能，因此配合基礎光學理論與現今已成熟之 CAE 光學模擬軟體進行設計出適當的菲涅爾鏡片(Fresnel Lens)。因為有關太陽能集光片的研究，大多以結構形狀設計為主，較少針對集光片的模具設計與成型特性進行探討，故除了集光片效能設計外，也進行射出模具開發與設計。因此本文將兩者皆一併考量進去，讓集光片設計與塑膠射出模具取得一個設計平衡，並且藉由實驗規劃取得最佳製程參數來提高集光片轉寫率，減少因成形端所造成的因素讓效率下降。

另外檢測分形狀精度與功能性兩部份，形狀精度採用接觸式量測獲取集光片的導光結構形狀並藉此換算轉寫率；功能性檢測採用擬太陽光系統並搭配太陽能晶片與集光片進行光電轉換效率(η)和功率比檢測。綜合以上兩者檢測可獲取成型參數因子間的關係、轉寫率與功能性關係，另外可獲得集光片的設計效能結果。

1-3 菲涅爾透鏡(Fresnel Lens)介紹

從文獻[2]，西元 1822 年為菲涅爾透鏡(Fresnel Lens)第一次實際應用，從事光線與光學研究的法國物理學家奧古斯丁·菲涅爾(A.J. Fresnel)設計出適用於燈塔照明，但比傳統透鏡薄，卻能有相同的光學效能的新型組合透鏡，並依創造者而命名為菲涅爾透鏡(Fresnel Lens)。

菲涅爾透鏡(Fresnel lens) 為一種具有平凸或平凹透鏡收斂或發散光線透性的光學元件，如表 1-2 所示，它的表面就像鋸齒形的同心環，原理是將傳統的球面或非球面鏡片曲面分割成許多同心環，再將每一同心環移至同一平面上而成；平移時可以分成讓鋸齒行的波峰在同一平面上或波谷在同一平面上兩種，具備有質量輕、厚度薄、焦距短、價格低、可製造非球面性質等優點。另外當一般球面透鏡被分割的區域數目漸多時，原本表面彎曲部分漸趨於直線，且可以把菲涅爾透鏡(Fresnel lens)當作是由許多小稜鏡組合而成，如圖 1-3 所示。

正因為菲涅爾透鏡的特性厚度薄、重量輕，故常被應用於大孔徑的光學系統上，然而菲涅爾透鏡良好的聚焦能力，亦為其主要優點，故菲涅爾透鏡被廣泛應用於近代的光學儀器及太陽能集光系統上。從第一片菲涅爾透鏡問世迄今，已有百餘年歷史之久，一開始其使用的材料為玻璃，加工不易，應用例子不多。近代由於加工技術進步，要得到高精度、高光學品質的 Fresnel 透鏡以非難事；而光學級塑膠材料的進步，更使得大量生產容易、成本低廉。目前，菲涅爾透鏡已成為塑膠材料的天下。表 1-3 為菲涅爾透鏡與傳統透鏡比較之優缺點。

1-4 集光式太陽能電池介紹

集光式太陽光發電的研究從 1975 年已逐漸開始被重視，當時的研究發現配合太陽追日儀，將陽光集中於太陽電池上，可提升其發電量並降低發電成本。太陽能集光系統的目標是使原本需要大面積且低密度、低利用度的太陽能晶片，透過集光片有效的提高光線集中照射於單一晶片面積上，來減少太陽能晶片的鋪排，並提升整體效率，降低每單位系統的集光成本，如圖 1-4 所示。因此搭配集光片運用於太陽能發電系統可以減少對昂貴砷化鎵晶片的依賴性。其中高聚光型光電系統模組(high concentration photovoltaic, HCPV)為常見模組，高聚光型光電系統模組的主要元件，包括砷化鎵(GaAs)半導體晶片(Solar Cells)、光接收電池基板、集光片與太陽光追蹤器等。

高聚光型太陽電池系統(HCPV)的主要原理是使用集光片，將陽光高倍率聚焦在一個比透鏡面積小的砷化鎵(GaAs)半導體太陽電池上，同時使用太陽光追蹤器，來追蹤日射角度，讓陽光能夠隨時聚焦在太陽電池(cell)上，達到高轉換率。集光片中，以折射式的菲涅爾透鏡(Fresnel lenses)是被廣為使用的一種聚光鏡。圖 1-5 為高聚光型太陽電池系統圖。

1-5 文獻回顧

➤ 菲涅爾鏡片類:

1992 年王永仲[3] 提出菲涅爾透鏡光路的解析計算。探討菲涅爾透鏡的光路解析計算，並提出修正誤差與提高計算精度的方法。

1992 年 J.C.Minanoet 等人[4]運用新的設計方法，設計出非成像聚焦鏡片、消

球差鏡片搭配鏡面鏡片、光線追跡法技術設計出的三維透鏡，並將其效率與複合拋物面集熱器相互比對。

1993 年 M. F. Piszczor 等人[5]建立與設計一拱形的線性菲涅爾鏡片的方式，並建立中型太陽能電池模陣列組合系統，進行實測。

1994 年 K.Yoshioka 等人[6]運用光線追跡技術於固定的光路條件下設計出容忍偏角 30° 的折射透鏡，結果顯示光線入射角增加，集光率有增加的趨勢。

1995 年 G.G. Yaralloglu 等人[7] 通常菲涅爾相關的鏡片設計時會將定義入射角為固定的，此篇將作可變入射角的設計並用 Lamb 結構和 V 溝結構做成的菲涅爾鏡片進行探討，結果將可運用於空氣傳感接收器上的運用。

1999 年 R.Leutz 等人[8]運用邊光原理設計出曲面式菲涅爾透鏡，並搭配光線追跡法修正光路與提高光學集光率來達到最佳化設計。實驗可知聚焦點產生熱能，此可拿來運用於集熱管上或運用於太陽能發電上。

1999 年 R.Leutz 等人[9] 設計出非成像菲涅爾透鏡，並運用數值分析法求出最小導光結構的偏向角。

2001 年駱志龍[10] 運用菲涅爾透鏡的幾何原理並搭配光學設計軟體 Zemax，對 3D 顯示器及簡易變焦透鏡作一設計與模擬，並探究 3D 顯示器中的元件製作及效能分析，並做出最好之設計並提高其效能。

2003 年 M. J. O'Neill 等人[11] 設計與製造出輕量化且可饒式的菲涅爾鏡片運用於太空中提供能量給衛星之類的儀器使用，並顯示此菲涅爾功能性成效。

2003 年 Fresnel Technologies, Inc.[12] 提到若菲涅爾鏡片設計時使用非球面特性可以有較好的聚焦特性，並減少縱向球差。另外針對實務方面提到，當鏡片出現成型不良或是鏡軸偏掉，使光線追跡時會偏移的重加嚴重，亦是導致光線損失

較大。

2006年 V.M. Andreev 等人[13] 探討菲涅爾鏡片設計與優化並將產品實際搭配 GaSb 晶片作量測，鏡片倍率比 4000 倍，其光電轉換效能可提升 9%。

2007年 A. Davis 等人[14] 文中提到光的折光取決於鏡面表面，因此保留曲率減少多餘的肉厚為設計出菲涅爾透鏡的原因。另外實務方面提出量向重要觀點；當每一環加入拔模角時將造成光線損失之主因；另外，當間距切越細，光柵的緣故會造成的高散射造成損失，因此給了一個適當的 PITCH 大小公式：

$Pitch = 1.5 \times \sqrt{\lambda f}$ ，其中 λ 為波長、 f 為焦長。

2007年葉上平[15]提出，對於現行的 III-V 族太陽能電池內，設計一個搭配集光器的二次光學元件，利用光學模擬找出在高倍率集光下擁有高傳輸效率和能量均勻化分佈之最佳化設計，並透過實驗量測來探討二次光學元件之可行性。

2007年葉乃嘉[16] 太陽全光譜分光成 22 波段作為分析時所用之光元波段。鏡片設計為利用幾何光學與結合鏡片材料之光學性質，導證出一曲面式菲涅爾鏡片折光模式，並依之計算菲涅爾鏡片之上每一菱鏡之稜鏡角及其個別折光角度，模擬之結果以現已發表之數據做驗證，其準確度較現有數值模式有顯著提高，以這些計算值來設計折射平行入射光束於一焦點之曲面式菲涅爾鏡片，可以減少製程中的試誤過程。

2008年莊榮翰[17] 提出太陽追蹤器之設計與測試。其中在太陽集光器部分，運用了凱薩格林式集光器與菲涅爾透鏡式集光器兩種不同形式的集光器形式在太陽追蹤器上。並探討與說明兩者的效果。

2009年陳依伸[18] 以設計菲涅爾鏡片的結構做為太陽能集光片進行探討。使用分段直線法、細直線分段曲線法和最佳化分段曲線法設計出菲涅爾鏡片，並探

討各種影響幾何聚光倍率和聚光效率的因素。結果顯示中小型菲涅爾鏡片(半徑約 150mm 以下)利用分段直線法與細直線分段法設計比較適宜；半徑 500mm 的大尺寸菲涅爾透鏡採用最佳畫分段曲線法設計可以得到較佳的結果。另外結果發現設計之菲涅爾鏡片的入射角敏感性約正負 1.5° 。當固定觀測面積可維持幾何聚光倍率 100 倍，聚光效率約 67% 以上，若觀察面隨著焦點移動測量，聚光效率可以維持在 90%。

2009 年林苡任[19] 設計一集光型的菲涅爾透鏡，除了運用光學原理設計鏡片外，並針對射出模具與成型條件進行探討。結果顯示，就光學設計與模擬時，當切割等份數越小時，聚光效果越好、角度也越小。成型部份，主要需注意加工精度和成型時的轉寫率。另外成型轉寫率和成效效果是成正比關係。

➤ 製程與其他類：

1999 年 Despa[20] 以具有高深寬比的微結構作探討，以模流與熱傳理論分析，指出提高模溫時，微結構的成型視窗會加大。

2004 年陳和成[21] 探討多組鏡片組合時的非球面係數的分析和驗正建立的優化方式是否可行性。

2004 年許財得[22] 利用模流軟體來對非球面射出鏡片進行模擬分析並配合田口法研究成型條件對非球面鏡片的收縮影響。研究指出保壓壓力、充填時間和澆口尺寸會有明顯的影響鏡片的體積收縮率。並且進行多段保壓和使用較慢的流率會有助於體積收縮的降低。

2008 年王建智[23] 以六吋導光板設計 V 結構與 DOT 結構，並藉由田口法探討出製程最佳化，檢測目標有平面度、轉寫性和輝度值量測。微結構部分轉寫率近澆口端會比遠澆口端來的好。輝度值部分，模溫為最大的影響因子，其次是料

溫、保壓與射速。

1-6 研究方法

論文初始，先去確認目標與目的。因此本文首先確定使用菲涅爾透鏡(Fresnel Lens)方式製作出太陽能集光片(solar concentrator)，並且聚焦於 50mm 處的 $5.5 \times 5.5 \text{mm}^2$ 大小的太陽能晶片(Solar Cells)上。

第一步光學設計方面，使用光學理論基礎與非球面(aspheric)方式進行設計太陽能集光片(solar concentrator)並且須符合目標條件與目的之要求。設計過程使用光學模擬軟體 Trace pro 進行驗證與修正並且把模具加工觀念一併考量。

第二步進行射出模具的設計階段，首先考量射出機的能量與決定產品的模穴數及其流道系統(runner system)、冷卻系統(cooling system)等的設計規劃。並在此階段運用現今已成熟的 CAE 模流分析技術加以輔助，來驗證設計是否恰當。

第三階段介於射出成型前，亦使用 CAE 模流軟體先進行模擬出最佳充填壓力曲線、成型視窗與實驗法規劃之模擬相關作業，讓射出成型前可事先擷取到重要的參數資訊。

第四階段為射出階段，依照實驗法規劃之依據進行射出實驗，並把射出成型結果與模擬結果做比對，互相驗證。

第五階段為檢測，這部分兩階段，一為形狀精度，另一個為功能性檢測；這兩部份檢測方法為形狀精度用轉寫率來看、光電轉換用擬太陽光(sunlight)搭配集光片與太陽能電池模組(solar cell)方式直接檢測出不同製程下所產出效能結果。整體規劃流程圖，如圖 1-6 所示。

1-7 論文架構

本論文主要架構如下：

第1章 導論

說明太陽能對現今的重要性與太陽能電池模組，並從中引出集光片的運用與重要性，另外說明研究動機目的與相關文獻回顧等。

第2章 基礎理論

本章包含光學、太陽能光電、射出成型、實驗法等理論定義與說明。

第3章 光學設計與分析

本章說明集光片光學設計與利用 CAE 光學軟體技術，獲得產品設計與確立等重要資訊。

第4章 模具設計與分析

本章說明模具設計部份。考量產品大小對射出機台能量與模具的流道系統、冷卻系統、頂出機構等一併探討。此也利用 CAE 模流軟體技術來確認模具設計的可行性。

第5章 實驗與效能檢測

本章包含實驗規劃、現場射出成型、產品轉寫率與功能性檢測。

第6章 結果與討論

本章為實驗結果與討論。

第7章 結論及未來展望

歸納本文所做之研究，並探討未來研究之方向。

表 1-1 太陽能生電形式分類歸納

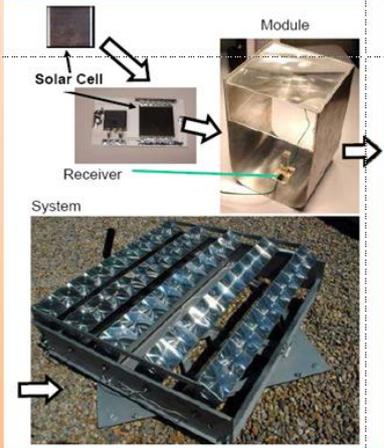
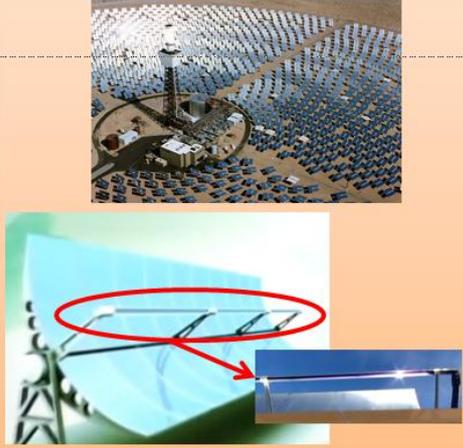
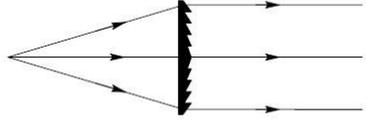
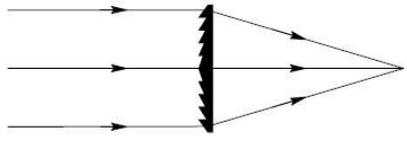
形式	光轉電	光轉熱 再轉電
方式類型	直接將光線收集至太陽能晶片上	將光收集至集熱管產生水蒸氣後，再生電。
運用	小規模太陽能發電儀器	大規模太陽能發電廠(能源塔)
圖片	 <p>The diagram illustrates a small-scale photovoltaic system. It shows a 'Solar Cell' connected to a 'Receiver', which is then connected to a 'Module'. Below this, a 'System' is shown as a collection of solar panels mounted on a structure.</p>	 <p>The top image is a photograph of a large-scale solar tower power plant, showing a central receiver tower surrounded by a vast field of heliostats (mirrors). The bottom image is a diagram showing heliostats reflecting light into a receiver tube, with a red circle highlighting the reflection point.</p>

表 1-2 各類菲涅爾透鏡行為模式示意表

 <p>The diagram shows parallel light rays entering a Fresnel lens from the left. The lens is composed of multiple flat parallel surfaces. The rays emerge on the right as parallel rays, indicating collimation.</p>	<p>Positive Focal length Fresnel lens Used as a collimator (平行光)</p>
 <p>The diagram shows parallel light rays entering a Fresnel lens from the left. The lens is composed of multiple flat parallel surfaces. The rays converge on the right side, indicating collection.</p>	<p>Positive Focal length Fresnel lens Used as a collector (聚光)</p>

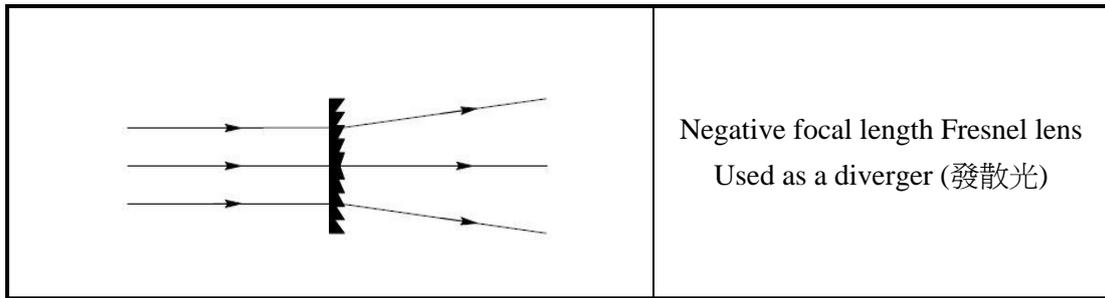


表 1-3 菲涅爾透鏡與傳統透鏡比較之優缺點

透鏡種類 優缺點	菲涅爾透鏡	傳統凸透鏡
優點	重量輕、厚度薄 生產成本低	製作容易 光學品質佳
缺點	模具成本較高	透鏡厚重 成本較高

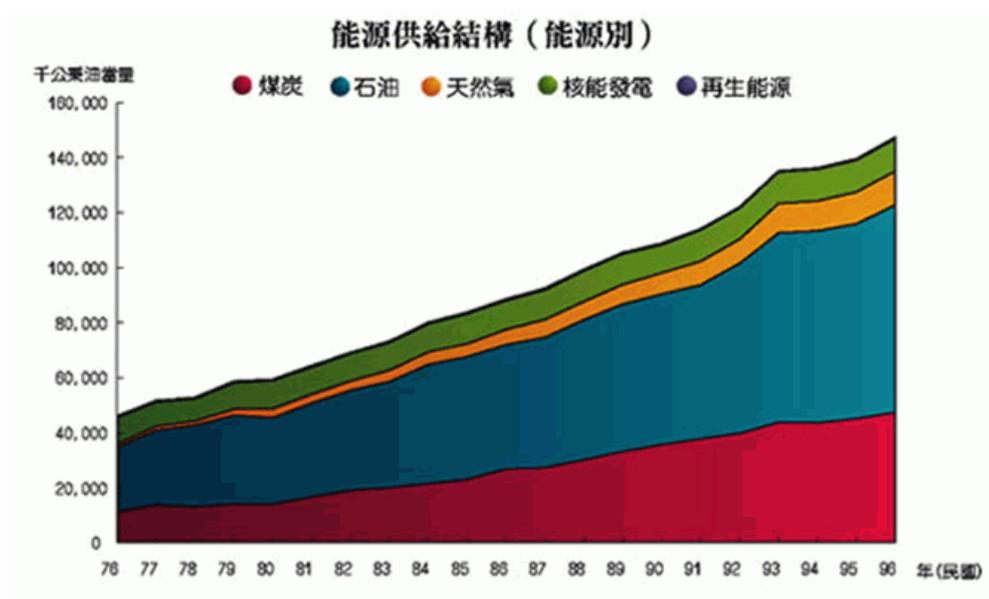


圖 1-1 台灣能源使用情況表

		
燈塔(1822 年最早應用處)	相機鏡片或閃光燈系統	螢幕放大鏡
		
指示燈	舞台燈	太陽能集光系統

圖 1-2 菲涅爾鏡片運用歸納表

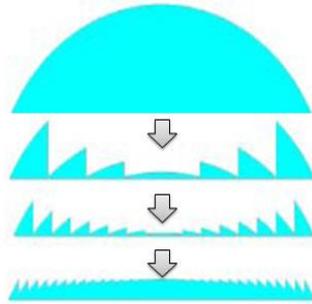


圖 1-3 菲涅爾透鏡切割數差異示意表

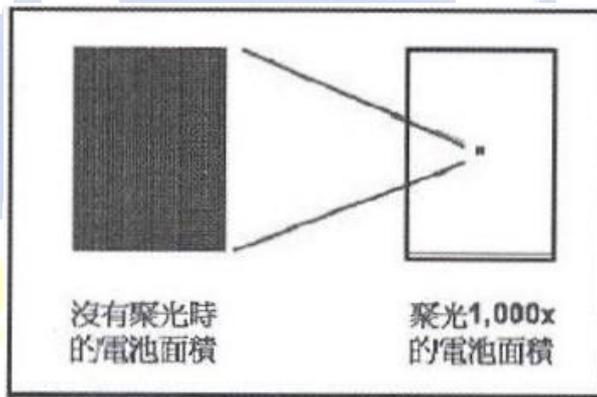
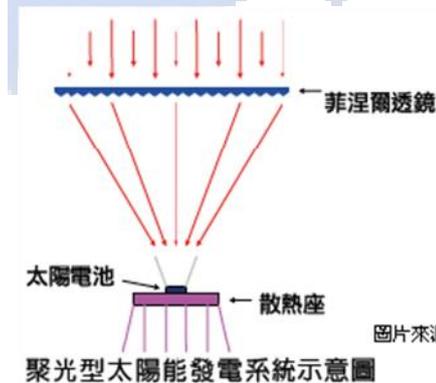
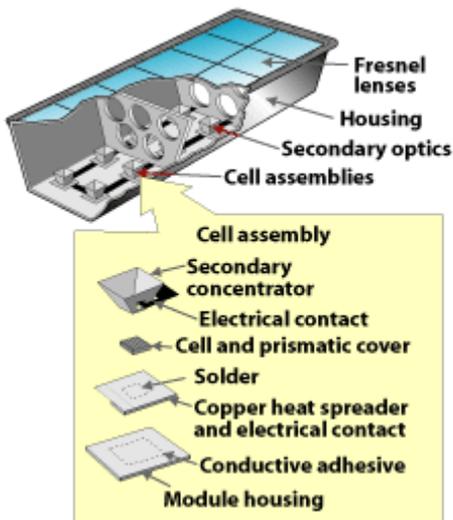


圖 1-4 未聚光與聚光時的太陽能電池使用面積比較



圖片來源: 慶豐科技股份有限公司

圖 1-5 高聚光型太陽電池系統示意表

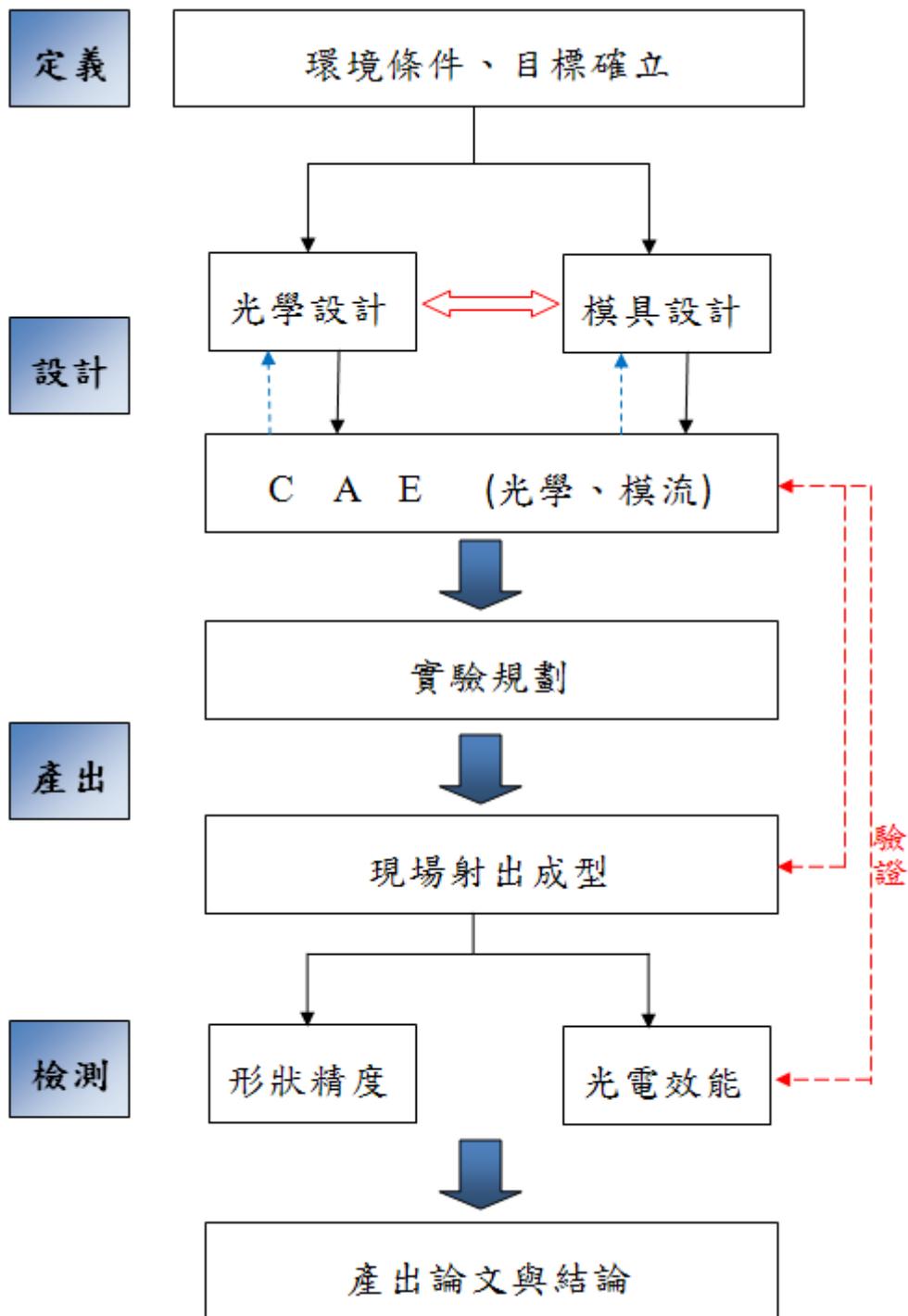


圖 1-6 論文架構流程圖

第2章 基礎理論

2-1 光學基礎理論

[24]、[25]光學的基礎理論可以分爲幾何光學、波動光學、量子光學等，其中幾何光學(Geometrical Optic)是將光束視爲光線和光線集合，光線條、物點以及像點的概念來表示的光學理論。波動光學(Wave Optic)即爲將光視爲電磁波來處理的光學理論。量子光學(Quantum Optic)則主要利用量子的觀念來說明光粒子的本質及其應用的光學。而本文中所設計的非涅爾透鏡主要是應用幾何光學理論中的折射定律。

2-1-1 折射率 (n)

在光學中，折射率通常習慣上使用符號 n 來表示。光的速率爲 3×10^8 m/s 介質折射率大小則是定義光在真空的速率與光在介質中速率的比值。然而對於任一介質而言，折射率也可說是其介質的光學密度(optical density)。

因此對於介質的折射率較大者，可以說這個介質具有較高的光學密度，一般稱之爲光密介質(optical dense medium)，相反的折射率較小者，稱此介質具有較低的光學密度，一般則稱之爲光疏材料(less dense medium)，但光密介質與光疏介質都只是一個相對的量而不是絕對值。折射率公式如下：

$$n \text{ (折射率)} = \frac{c \text{ (真空中的光速)}}{v \text{ (介質中的光速)}} \quad (1)$$

空氣的折射率 $n=1.0003$ 一般視為 $n=1$ ，而水的折射率 $n=1.333$ ，一般的光學玻璃的折射率 n 約為 1.5。

2-1-2 反射定律與折射定律

光線折反射情況如圖 2-1 所示，當光由折射率為 n_1 的介質射入折射率為 n_2 的介質中時，在兩介質的介面會發生兩種現象，一種現象是會有光線反折回同樣為 n_1 的介質中，這種現象稱為反射(Reflection)。此為反射定律，定義為入射角(θ_i)等於反射角(θ_i')。公式如下：

$$\theta_i = \theta_i' \quad (2)$$

另一種現象則是光線會通過兩介質的介面而進入到 n_2 的介質中，而因為介質的改變而有偏折的現象，此現象稱為折射(Refraction)。折射現象必須遵守 Snell's Law。Snell's Law 對於折射光線非常的重要，其決定了光線行進的方向折射的定律可以歸納為以下三點：

- 入射光、折射光和法線都在入射面上。
- 入射光、折射光在法線的兩側。
- 入射角以及反射角的關係必須遵守 Snell's Law。

$$n_1 \sin\theta_i = n_2 \sin\theta_r \quad (\text{Snell's Law}) \quad (3)$$

另外光線在疏密介質中的行為模式由圖 2-2(a)所示，當光線從光密介質到光疏

介質時，折射角 θ_r 將會大於入射角 θ_i ，相反的則如同 2-2(b)所示，光線從光密介質到光疏介質時，折射角 θ_r 將會小於入射角 θ_i 。

2-2 光線追跡法

當我們在做一光學系統設計或評估光學系統像時，我們常常需要了解光線在系統的軌跡如何，研究這個問題的方法稱為光線追跡(Ray Tracing)。

光線追跡(Ray Tracing)技術的基礎出自 Snell 定律，乃是由 Cosby (1977) 所提出，為了數學化計算方式，經過光學系統的光線傳遞，採用習慣性的命名及變數符號是必要的。當分辨鏡面兩邊參量時，物空間的鏡面代表量是不加撇號，像空間的鏡面代表量是加撇號。例如： n 是物空間的鏡面折射率， n' 是像空間的鏡面折射率。如圖 2-3 是近軸光線追跡參數的描述。

我們常見的三種光線追跡的方法就是 y - nu 、 y - ui 、和矩陣法。然而 y - nu 方法是屬於近軸光線的追跡法，也就是高斯光學的範圍內，討論光線在系統中的行進路線，是三種中最有效的方法，且在手算工作中廣泛被使用。光線在光學系統中的傳播行為，大致可分為兩種方式，一為折射過程，另一種為傳遞過程。藉著不斷的重複這兩個過程的結果，光線可從物點經由系統而入射到像點上，以下分別對這兩個過程討論。

2-2-1 折射過程(refracted procedure)

圖 2-4 為單一球面，兩邊介質分別為 n 及 n' ，一條和光軸夾 u 角度的光線入射至球面上，光線在面上高度為 y ，此光線經過球面折射後，與光軸夾 u' 的角度從

球面射出。且入射、出射光線和光軸的焦點分別為 M 、 M' (共軛點)，因此滿足

$$\frac{n}{s} - \frac{n'}{s'} = \frac{n' - n}{r'} \quad (4)$$

將上式每一項乘 y 可得:

$$n \frac{y}{s'} = y \left(\frac{n' - n}{r} \right) - n \frac{y}{s} \quad (5)$$

利用近軸光的條件，上式可改寫成

$$n' u' = nu + yc(n' - n) \quad (6)$$

注意:由於計算上的需求，習慣用曲率 c 來取代曲率半徑 r (c 與 r 互為倒數)。

2-2-2 傳遞過程(transfer procedure)

傳遞過程是在討論光線經過球面後，進行到下一個球面間的關係，如圖 2-5。假設兩球面間距離為 t ，光線在第一球面上的高度為 y_1 ，第二球面上的高度 y_2 ，兩者間的關係如下式:

$$y_2 = y_1 - u'_1 t \quad (7)$$

為了直接利用(6)式得出的結果，習慣上將 (7) 式改寫成:

$$y_2 = y_1 + n'_1 u'_1 \left(\frac{-t}{n'_1} \right) \quad (8)$$

由(6)及 (8)式可分別求出光線的方向(nu)及高度(y)，因此稱為 y - nu 方法。

2-3 非球面定義與理論

非球面起源於西元 1940 年，美國 Polaroid 公司首次發表的非球面塑膠鏡片。但未商品化。在 1960 年由日本所產出的玻璃非球面鏡片才正式產品化用於單眼相機鏡頭。十年後美國 Kodak 和日本的 Konica 這兩間公司先後做出玻璃模造與塑膠鏡片，此部分皆為相機光學零件。

非球面以狹義的定義而言，鏡片的曲面與通過軸心的橫斷面之交集為橢圓面、拋物面、雙曲面等。其中又可分兩類：

- 軸對稱（補正係數為偶次數值）
- 非軸對稱（補正係數為奇次數值）

一般光學鏡片使用非球面時都用軸對稱，因此可使用數學式子(9)來規劃出非球面曲線。其中 X 表示非球面的旋轉對稱軸、Y 表示距非球面軸之水平距離、C 表示非球面頂點曲率、A 為圓錐常數；B、D、E、F 為非球面補償係數。

$$x = \frac{C Y^2}{1 + \sqrt{1 - Y^2 C^2 (1 + A)}} + B Y^4 + D Y^6 + E Y^8 + F Y^{10} + \dots \quad (9)$$

當把非球面補償係數都是為零的時候，式子改成(10)，可以得到一個簡化後的二次曲線數學式，此部份當固定 C 值代入不同的 A 值可以得到兩者的關係，如圖 2-6 為不同圓錐常數的二次曲線差異示意圖。就一般的光學系統使用二次曲線就很足夠了。

$$x = \frac{C Y^2}{1 + \sqrt{1 - Y^2 C^2 (1 + A)}} \quad (10)$$

其中圓錐常數(A)的區分如下：

$A = 0$ 時，圓 (Sphere)

$A < -1$ 時，雙曲線 (Hyperboloid)

$A = -1$ 時，拋物線 (Paraboloid)

$-1 < A < 0$ 時，橢圓線 (Oblate ellipsoid)

2-4 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 2-7 太陽電池結構。圖 2-8 光電轉換示意圖。

一般而言太陽從外太空照射到地球，經科學家的研究證明太陽光照在地球大氣層上的能量 $1.36\text{kw}/\text{m}^2$ 。當天氣晴朗時，將有百分之七十大氣層外的太陽光能量，會到達地表。另外太陽的輻射強度從日出到日落，會因為天空中雲層的變化，太陽位置的變化，及大氣濃密的程度而隨時都在改變。故一般為了在設計與模擬上容易些會將此變數進行簡易化做為太陽能的標準測試值為溫度= 25°C 、日照率= $1000\text{ (W}/\text{m}^2)$ 、空氣質量= $\text{AM}1.5$ ，其中 1.5 表示大氣層折射 1.5。

對於太陽能電池的成效由能量轉換效率(Energy conversion efficiency)與充填因子(Fill factorm)來判別，或許可利用功率比還看集光片設計的效能。以下為上述詳細說明:

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

太陽能電池的轉換效率(η)是以光轉電而收集到的能量與一天中所得到的日

照射能量做百分比。當太陽能電池接上一個電子迴路 P_m 為光轉電的收即能量、在除以上述說明的標準策定條件下的輸入光能量 $E(W/m^2)$ 和太陽電池的表面積 $A_c(m^2)$ 。公式如下:

$$\eta = \frac{P_m}{E \times A_c} \times 100\% \quad (11)$$

另外通常計算效率的公式為 $(Power)_{out}/(Power)_{in}$ ，太陽能轉換效率為所收集的能能量(P_m)去除以標準條件下的輸入光能量(E)和電池表面積(A_c)。就集光型太陽能電池模組實際量測而言，並非所有光線是完美無損失的集光於晶片上，因此必須將實測得到的電流比(CR)帶入，如 (12)所示：

$$\eta = \frac{P_m}{E \times CR \times A_c} \times 100\% \quad (12)$$

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)，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:

$$F_F = \frac{P_m}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (13)$$

C. 功率比 (Ratio of Power)

一般電器產品使用時，大部份都是以功率(瓦)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，公式如(14)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 $30mw$ ；那代表的是添加集光片的功率等於未添加集光片的 30 倍，那相對在太陽能晶片的使用上就可以減少而降低成本。

$$\text{功率比} = \frac{\text{添加 集光片實測功率}}{\text{未添加 集光片實測功率}} = \frac{P_m'}{P_m} \quad (14)$$

2-5 太陽能集光片光學理論

圖 2-9 為菲涅爾形式集光片光線形為軌跡示意圖，當陽光進入透鏡時，會在透鏡內產生第一次折射，光線進入透鏡時，因折射率變大而產生折射，折射光線偏離法線，當光線穿出透鏡時，會產生第二次折射，此時因折射率變小，光線會偏向法線，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。如圖 2-10 為菲涅爾鏡片產生的光柵條紋實際圖。

一般集光片設計會有相關的設計指標如幾合聚光倍率與上一節所提到的光電轉換效率。幾合聚光倍率(GCR)定義為鏡片面積大小(S_1)與集光在像平面上面積大小(S_2)相比所得的值，如下公式(15)。而光電轉換效率則用公式(11)，但其中的 A_c 要改用 GCR 取代下去計算。

$$GCR = S_1 / S_2 \quad (15)$$

2-6 射出成型理論

[26]，射出成型基本上是一個非穩態之週期程序，所謂的非穩態勢至指整個射出成型過程是隨時間變化的，非一成不變的。一般典型的射出過承包包含以下步驟進行：

(1) 塑料之預塑化與熔化：

此階段為使用螺桿隻機械力量級電熱器之熱能，將塑料熔融及賦與高壓，完成射出前準備。

(2) 塑料射出

此階段將熔融狀態下的塑料自機台精油噴嘴射進流道系統進入模穴中，完成

充填程序。

(3)保壓階段

在熔融塑膠以充滿模穴的狀況下加以施加高壓並追加注入更多的熔膠，以預補償因冷卻所造成之體積收縮，來確保模穴完全填滿。

(4)冷卻階段

讓模具於定壓下靜置以減少產品收縮現象，並在此階段配合冷卻系統來加強結晶及凍化。

(5)頂出固化塑料

打開模具，將已固化之成品頂出。

(6)重複(1)~(5)

以上是一般射出成型的過程，也可以由圖 2-11 所示來看出整個成型程序。

2-7 田口實驗法[27]

田口式實驗計劃法(以下簡稱田口法)由田口玄一博士，結合英國統計學家 R.A.Fisher 以及印度學者 Rao，所發展出來的實驗計劃法。是針對有效率開發新產品及改良製程的品質工程技術；它的特性在於以低成本、高效率、數字化的指標，來幫助企業做好品質的源流管理和改善。

2-7-1 介紹

一般實驗用來分析參數的方法大致上有分四種方式；試誤法(Trial-and-error)、一次一因子法(One-factor-at-a-time)、全因子法(Full-factorial-experiments)、田口式直交表法(Taguchi's orthogonal arrays)。

試誤法為依照個人的經驗與直覺，以一組參數做試驗，假如結果可以接受就將此參數保留，若不能接受就在試新的參數組合，直到試出所需之結果。在試誤過程所累積的經驗難以傳承給其他人，新進人員必須重新學習經驗，此方法浪費許多人力及物力資源，因此沒有系統的試誤法較不適用。一次一因子法等同於單變數分析，每次實驗只改變一個因子，在比較兩組實驗的差異，由每組實驗的差異可判斷出此因子的影響品質特性關係，但此方法只能判斷出各因子的趨勢，對整個參數組合還是有誤差存在。全因子法為土法煉鋼方式，即是考慮所有可能的因子排列組合，此方法能準確的分析出最佳參數，但太多組實驗的效率太低。田口式直交表法以較少得實驗次數來獲得有用的統計資訊，雖然還是有誤差存在，但在解決工程品質問題而言很足夠。

田口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。

田口式品質工程可分六大步驟，如下：

1. 確定品質特性 (Quality Characteristics)：

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。而品質特性依理想機能的不同可以區分為許多型態，有望目特性(Nominal The Best)、望小特性(Smaller The Best)、望大特性(Larger The Best)三種，其詳細說明如下：

(1) 望目特性(Nominal The Best)：

品質特性越接近目標值越好，品質特性的機能是此目標值。其 S / N 比公式為：

$$S/N = -10 \log \left[(\bar{y} - m)^2 + S^2 \right] \quad (16)$$

(2)望小特性(Smaller The Best)：

品質特性越小越好，也就是品質特性的理想機能為零(假設品質特性永遠是正數)，其 S/N 比公式為：

$$S/N = -10 \log (\bar{y}^2 + S^2) = -10 \log \frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n} = \eta \quad (17)$$

(3)望大特性(Larger The Best)：

品質特性越大越好，也就是品質特性的理想機能為無窮大(假設品質特性永遠是正數)，其 S/N 比公式為：

$$S/N = -10 \log \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}}{n} = \eta \quad (18)$$

其中： y_i 為第 i 個品質特性、 \bar{y} 為平均品質特性、 n 為資料數目

$$S \text{ 為標準偏差，即 } S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n}}$$

2. 確立控制因子(Factor)與水準(Level)

可以用魚骨圖(Fish-Bone Diagram)的方式呈現，需結合各種專業人才做腦力激盪或依據經驗決定。在所有影響此品質特性的因子中，決定控制因子(Control Factors)，並定出它們的水準。

3. 選擇直交表

應用直交表來配置實驗時之控制因子及水準，以簡化實驗次數的進行來獲得有用的統計資訊，雖然理論上會有精度上的損失，但對解決工程品質問題的目的而言，直交表常常是足夠的。依控制因子及水準的數目來選定適當的直交表，安排、執行實驗，紀錄實驗數據。

4.資料分析：

資料分析工作的主要目的是：

- (1)計算每個控制因子的變動對品質特性的效應(Effects)。
- (2)計算每個控制因子的變動對品質特性變異的效應。
- (3)依據前兩項的資訊，利用 S/N 反應圖表調整控制因子，以求取最佳的參數組合。

5.確認實驗：

依據最佳參數組合做確認實驗，以驗證實驗結果的再現；進行各因子的重要性測試(F-Test)，與變異數分析之貢獻度不同的是，F-Test是根據統計量的機率分配來決定控制因子是否達到最低信心水準，並進而判斷控制因子的重要性。

選擇直交表

由於直交表的種類眾多，所以需要先計算出總共的自由度(Degree Of Freedom)，由總自由度中可得知所需進行實驗次數的最小值，而一個直交表的列數則表示實驗的次數，所以在選擇一個能適用的直交表時，它的列數必須大於或等於所需的自由度，而一個直交表的行數代表該直交表所能研究因子個數的最大值。因此需要先確定所討論的控制因子共幾個，並且每個控制因子需要幾個水準，確定以上參數後即可計算所需之自由度，其公式如下：

$$D.O.F. = m \times (n - 1) + 1 \quad (19)$$

m:成型參數個數(控制因子)、n:水準個數

交互作用(Interaction)

在選定控制因子時會先假設每個因子的效應都是獨立的，表示任何兩個因子間互不影響，表示任何兩個因子間無交互作用，因此所獲得之最佳參數所做的實驗數據會比直交表中任何參數較佳；若不是最佳參數組合則需從新探討各因子間之交互作用，取得考慮交互作用後之參數組合再做確認實驗以求得最佳的參數組合；或是慎選品質特性及控制因子，盡量降低交互作用所產生的效應，並使用高度推薦之直交表，或飽和的直交表來降低交互作用所產生的影響求得最佳的參數組合。

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。其相關公式定義如下：

- 1.全變動(Sum Of Square Due To Total Variation)，為各條件之S / N 比的變異總量為各條件的S / N 比與平均的S / N 比之差的平方和

$$S_T = \sum_{i=1}^n \eta_i^2 - CF \quad (20)$$

- 2.變動(Sum Of Square)，為各因子的變動率

$$S_A = \left[\sum_{i=1}^{k_i} \frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right] - CF \quad (21)$$

3.自由度(f)，P為因子具有之水準

$$f = P - 1 \quad (22)$$

4.變異(Error Variance)，判斷何者將列入誤差因子

$$V_A = \frac{S_A}{f_A} \quad (23)$$

5.純變動(Pure Sum Of Square)

$$S'_A = S_A - (f_A \times V_e) \quad (24)$$

6.變異比(F Value)，可看出誤差因子對每一因子的影響

$$F_A = \frac{V_A}{V_{eT}} \quad (25)$$

7.貢獻度(Contribution)，看出每一個因子對實驗的影響程度

$$\rho_A = \frac{S'_A}{S_T} \times 100\% \quad (26)$$

8.誤差項變動

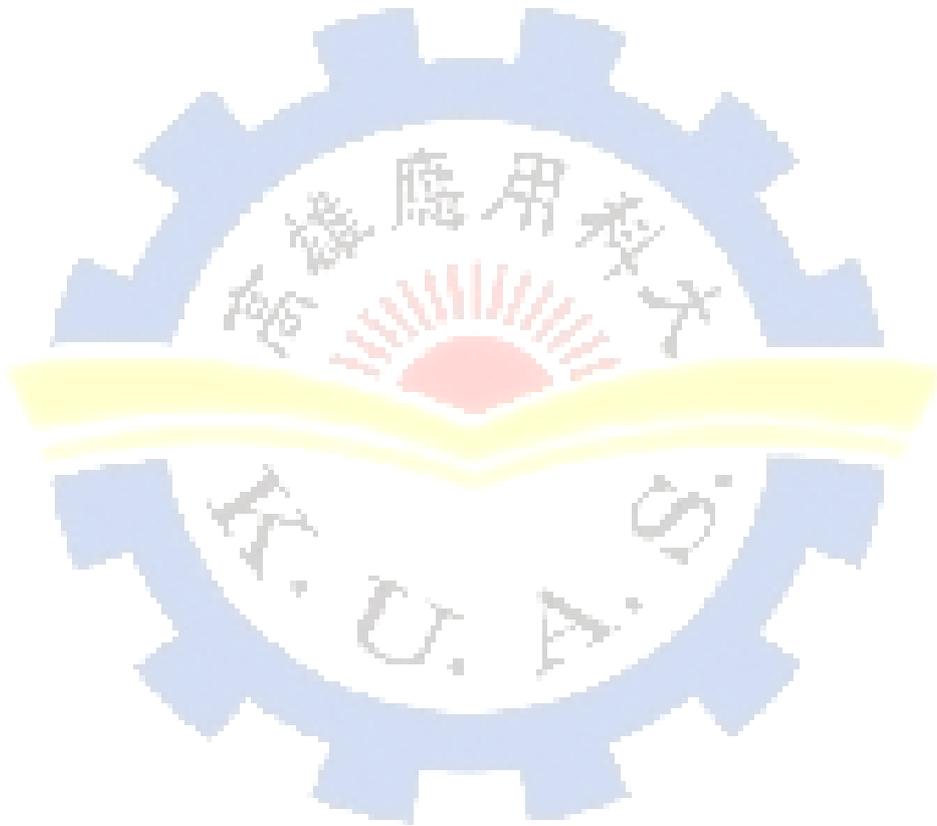
$$S_E = S_T - S_A - S_B - \dots - S_r \quad (27)$$

9.誤差項自由度

$$f_E = f_T - f_A - f_B - \dots - f_r \quad (28)$$

10. 誤差項的貢獻度

$$\rho_e = \frac{S'_{eT}}{S_T} \times 100\% \quad (29)$$



2-8 轉寫率定義

導光結構成型轉寫率計算採用導光結構成型率來表示微結構的轉寫品質，由於探針在量測過程中，擷取數值方式為探針與被測物點接觸時的產品形狀並透過光學裝置將訊號傳送至運算軟體。從圖2-12的量測示意與實際比較圖中可以看到量測時會有一區域因探針角度而量測不到，從實際量測結果圖也可以看出此區域所呈現的形狀為探針本身的形狀。故因此推導公式(30)來計算出集光片的導光結構轉寫率；其公式(30)簡易定義為量測後的高除以原始設計的高，如圖2-13說明之。

$$\begin{aligned} \text{轉寫率} &= \frac{\text{量測的導光結構高}}{\text{設計的導光結構高}} \times 100\% \quad (30) \\ &= \frac{X_1 + X_2}{X_2 + L(\tan\theta)} \times 100\% \end{aligned}$$

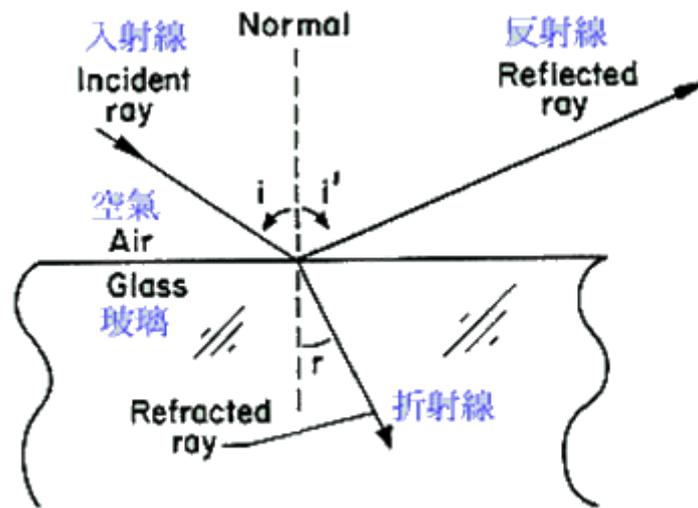
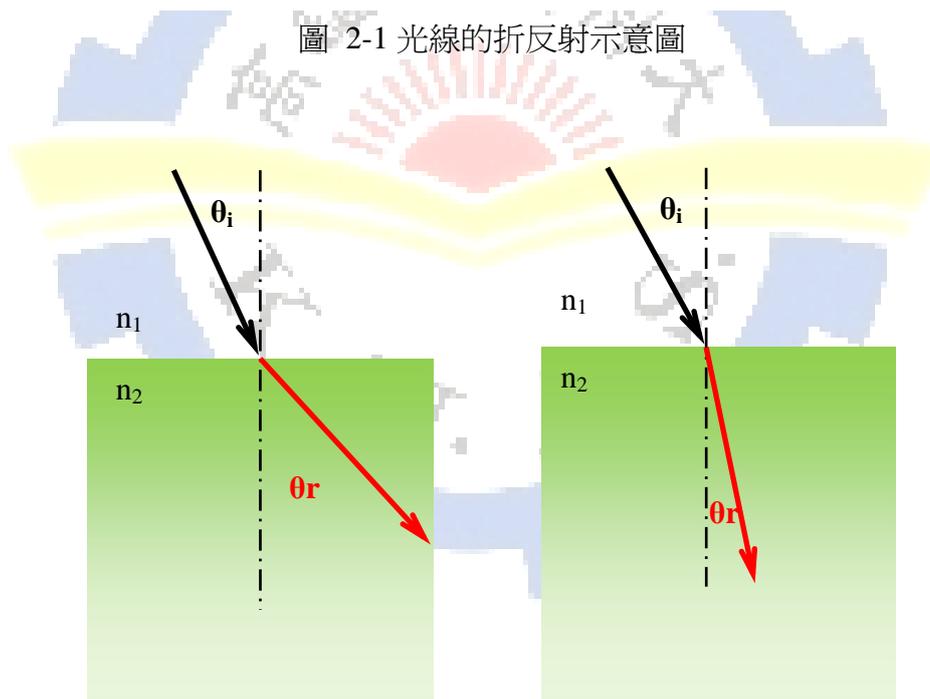


圖 2-1 光線的折反射示意圖



(a) $n_1 > n_2$

(b) $n_2 > n_1$

圖 2-2 疏密介質與光線軌跡形態示意圖

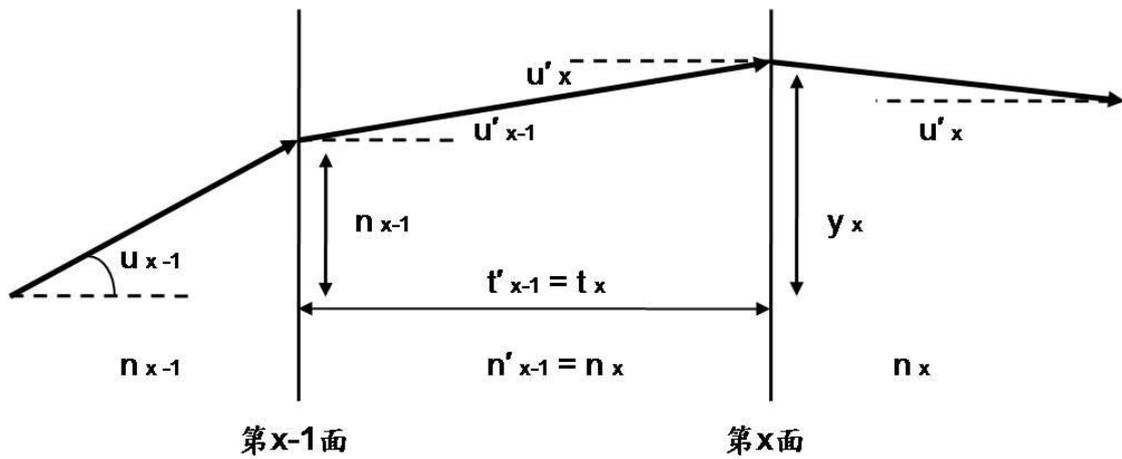


圖 2-3 近軸光線追跡參數描述

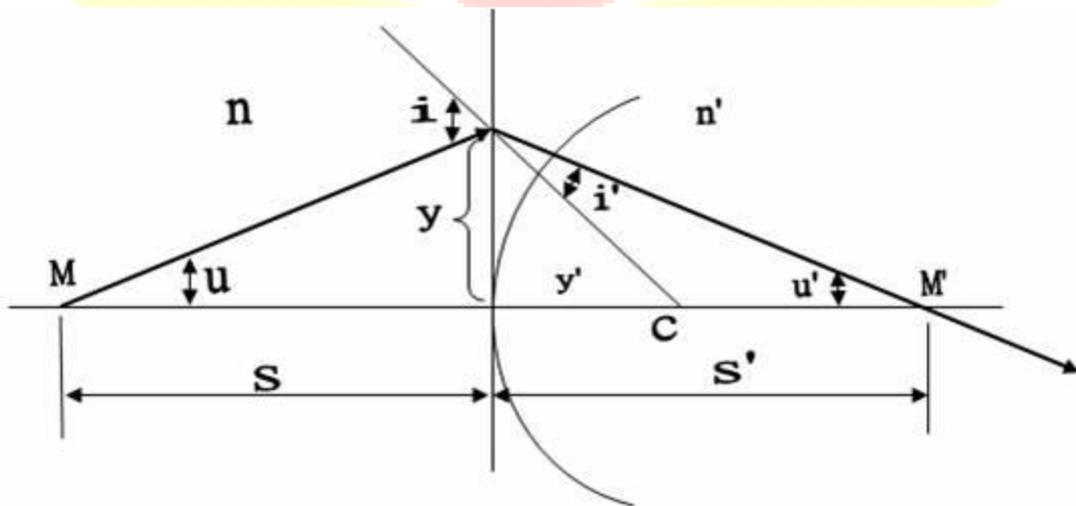


圖 2-4 折射過程

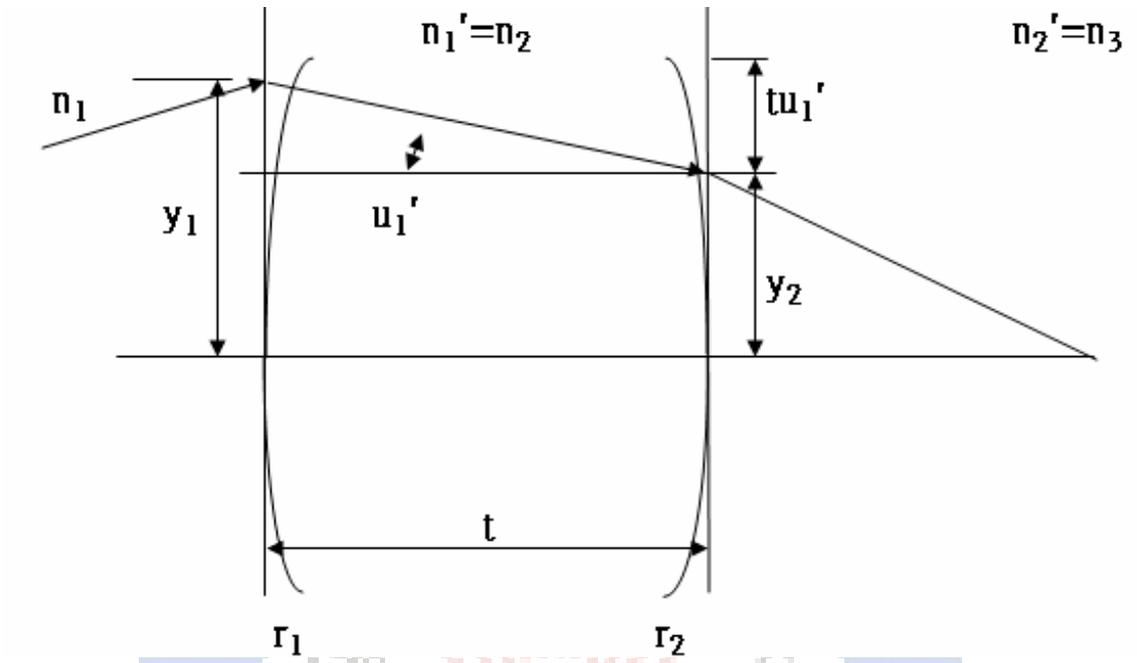


圖 2-5 傳遞過程

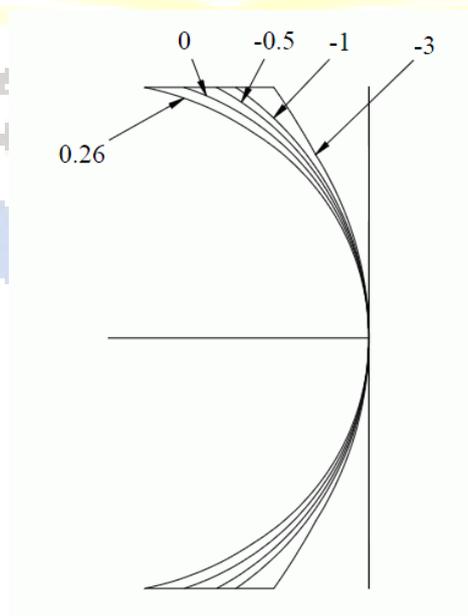
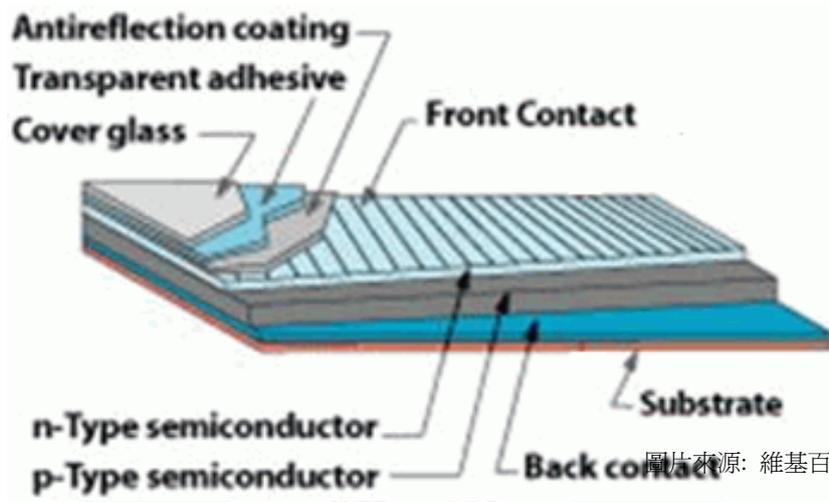


圖 2-6 不同圓錐常數示意圖



圖片來源: 維基百科

圖 2-7 太陽能電池結構圖

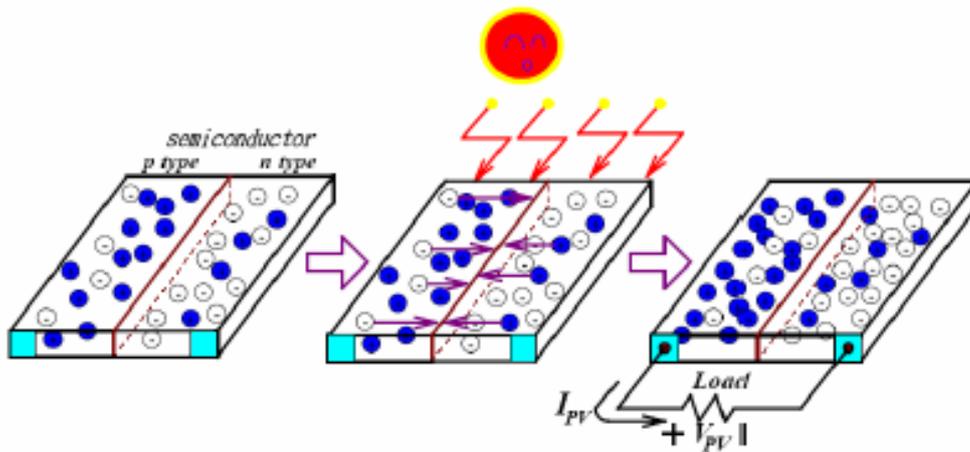


圖 2-8 太陽能電池光電轉換示意圖

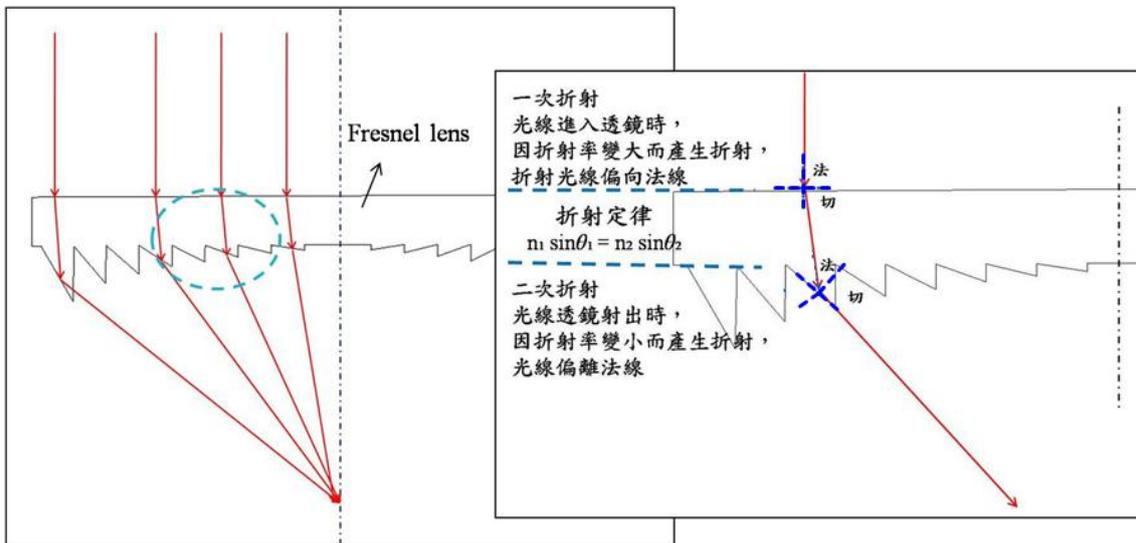


圖 2-9 菲涅爾集光片光線行為軌跡示意圖



圖 2-10 菲涅爾鏡片所產生的光柵現象圖

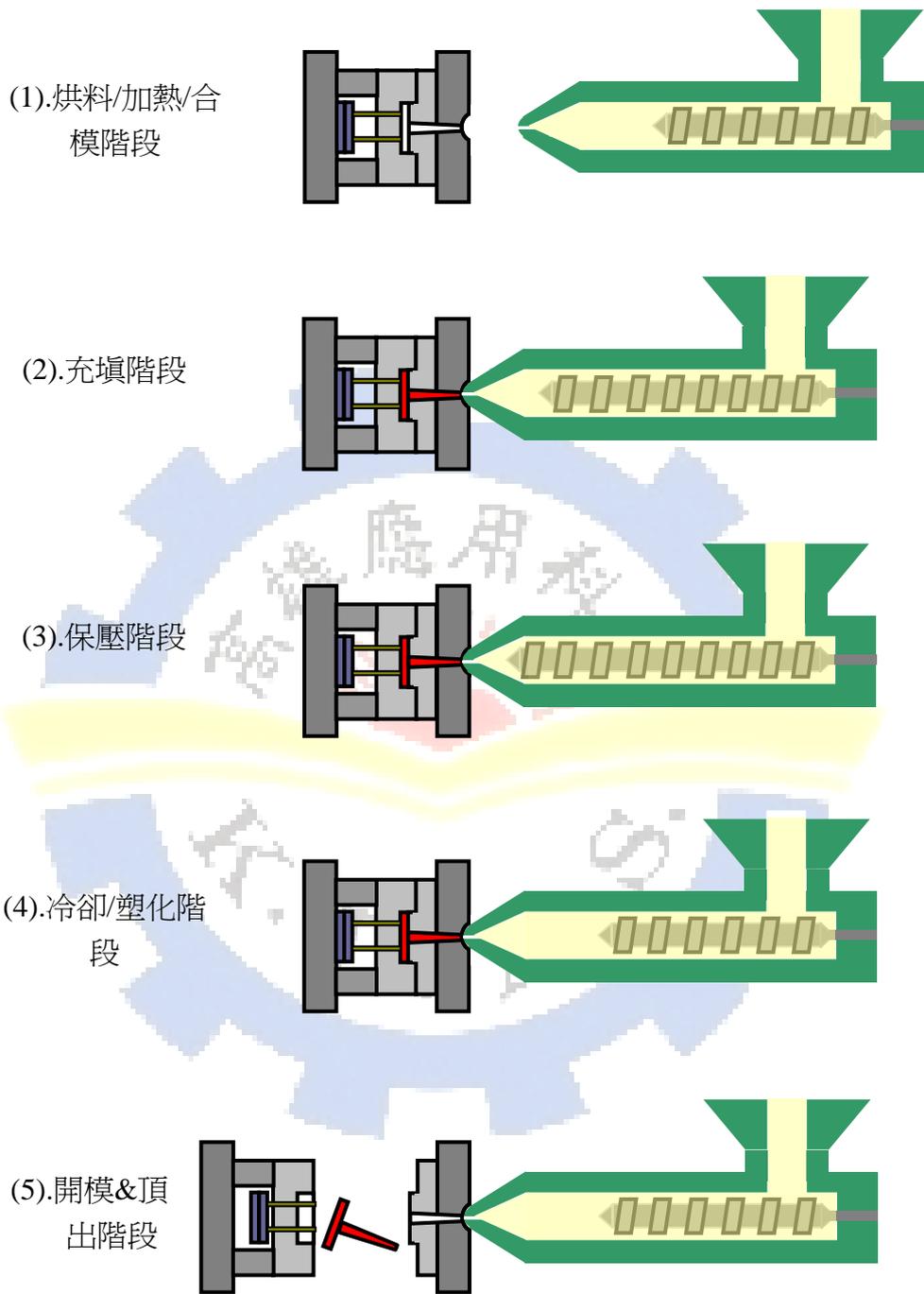
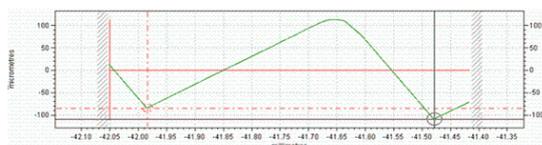
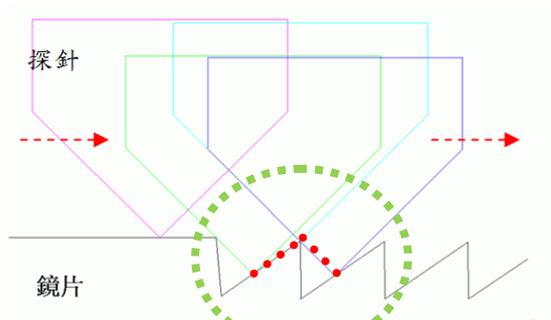
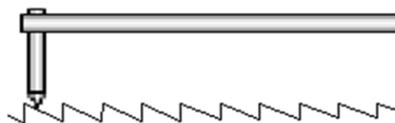


圖 2-11 射出成型流程示意圖



探針軌跡示意圖

實際量測結果圖

圖 2-12 探針量測軌跡示意與實際量測比較圖

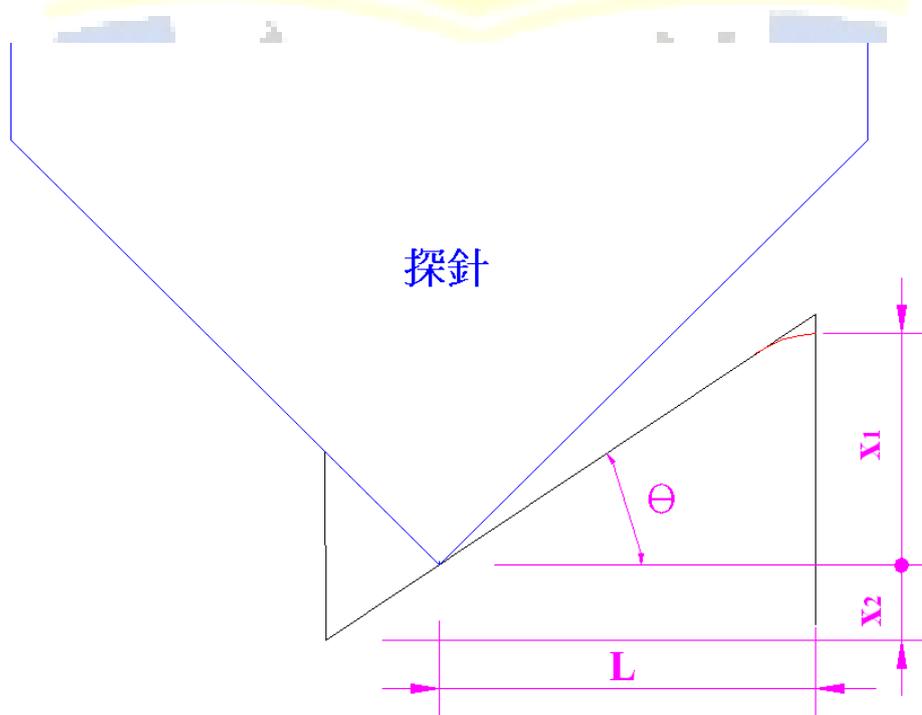


圖 2-13 轉寫率說明示意圖

第3章 光學設計與分析

對於每一項光學元件類產品，必須事先進行設計，以確保產出的光學品功能性。此章節將依照本論文太陽能集光片(Solar Concentrator)光學設計過程詳加說明。圖 3-1 為本文太陽能集光片光學設計流程圖。

3-1 初始條件設定

現今市面上此類型的太陽能集光片大多以方型形式做成產品並由多片鏡片組合在太陽追日儀上做為大面積收光之功用。尺寸依各家廠商需求有所差異，但共通點為光學設計、模仁加工與成型皆具有重要的探討性。

本論文因考量實驗室設備，因此設定鏡片大小為直徑 70mm^2 (具有微結構部分直徑為 60mm^2)、厚度 1.5mm 之圓平板太陽能集光片。焦距部份則設定在 50mm ，聚焦於面積 5.5mm^2 之太陽能晶片上。至於如何取決太陽能晶片大小的條件是依據目前購買到已封裝好的太陽能電池晶片尺寸大小來設定，並且最後的檢測也用此晶片進行光電效能檢測。光源部份，必須擬合太陽光，因此無論模擬階段或檢測階段皆須依照太陽能檢測規範與使用擬太陽光之光源來進行。

另有一項重點為光學設計和模具開發之間的關係，這也必須在光學設計之初始條件這一階段考量進來。若只追求於光學的最佳狀況而忽略掉模具加工部份，易造成最後的產品無法順利產出，故此問題就不再是光學問題而是整體的問題。所以跟模具有關的初始光學設計條件有:切割的等份數(pitch)、導光結構的角度與拔模角(draft angle)等。

3-2 CAE 光學軟體模擬

3-2-1 模擬簡介

現今的 CAE 光學模擬軟體眾多且技術成熟，光學模擬對於光學系統的設計，扮演著極為重要的角色。就模具觀點而言，因為光學元件模具的製作成本都比較高，在製作之前若先使用 CAE 光學軟體進行光路模擬，可以在未進行模具加工之前，預估透鏡的光學特性，以及縮短模具開發的成本與時程。另外依不同的軟體有各種描光方式，現今光學模擬大致描光分兩種模式：

- 序列式描光：

依據光學面的前後順序，模擬光通過一個光學面到達下一個光學面，並計算通過每一個光學面之後的新路徑直到最後一個面，這種方法可以不必先以亂數的方式決定每一光線初始的方向，可以比較快速的得到結果，但是在自然界中光並不可能這麼理想化，因此比較不符合於自然界的真實情況。

- 非序列式描光：

光的路徑與方向不以固定順序加以演算，完全以亂數的方式來決定光的方向，所以光達到光學面的順序並不一定會一樣，因此比較接近實際的情況。但是需要逐一決定每一條的光線方向，因此所需要的運算時間比較長。

上述這兩種方式各有其優劣之處；圖 3-2、圖 3-3 為序列式描光與非序列式描光示意圖，所以其所運用的地方也有所不同，序列式描光法大多用在照相機、數位相機、望遠鏡、光碟機讀取器...等光學系統的初期曲率的設計，而非序列式描

光法則大多使用在燈具、背光模組以及像機，數位像機的後期成像分析及鬼影、雜散光部分的分析。

3-2-2 Trace pro 軟體介紹

本研究使用之光學模擬軟體為美國 Lambda Research 公司所開發的光跡追蹤軟體 Trace Pro，也是首套符合 ACIS 固體模型標準所發展出來的光機軟體，可做一般傳統光學分析、照明系統分析、輻射度以及光度分析，屬非序列描光軟體 (Non-Sequential Ray Tracing)。Trace pro 是以蒙地卡羅(Monte Carlo)方式進行描光，Monte Carlo 是一種採隨機方式計算的數值方法，一開始以亂數決定光線在物體的位置及射出方向，當光在物件表面上運算時，又隨機的決定光線的散射，只要設定的光線數越多，並進行光線對不同材料對光學特性的吸收、折射、反射與全反射現象，就越接近真實系統。資料參考於[28]。

3-2-3 模擬設定

運用 CAE 光學模擬軟體時，通常光學軟體都需有些基本設定流程才能進行模擬。本文所使用的 Trace pro 也不例外，其主要架構為建立模型、賦予模型特性與定義、光源建立與波長權重設定、進行光線追跡(Rays trace)與最後的結果判讀。如圖 3-4 光學模擬設定流程圖所示。另外本研究在 CAE 模擬時所選用輻射度 (Radiometric)類的單位。

光源部份需設定成擬太陽光的行為模式，從文獻[16]中提供太陽全光譜的各波長段與權重的數值，如表 3-1 所示，能量部分則依照太陽能檢測規範中的 $1000(\text{W}/\text{m}^2)$ 。因此在模擬端為了與接近實際，故依表 3-1 輸入進 CAE 光學模擬軟

體中，軟體光源設定如圖 3-5 所示。

產品與檢測面部份。設定兩者時，須依照初始條件與目標值所設定盡軟體中，因此由圖 3-6 看出整體架構鏡片與檢測面距離 50mm，並且檢測面大小為 $5.5 \times 5.5 \text{mm}^2$ 才符合檢測時太陽能電池晶片大小。往後只將變更集光片部份，焦距與檢測面位置大小皆固定。

3-3 集光片光學設計

設計過程中會使用到折射定律、造鏡者公式來獲得曲率半徑，再把此帶入非球面公式進行修正，並配合光線追跡法來修正部分導光結構。

第一步，將焦距和材料的折射率帶入造鏡者公式中，因為鏡片的其中一面為平面所以可以得到簡化後的造鏡者公式，如公式(31)所示。從這個公式中可以求得在焦距 50mm 處所需的曲率半徑值。本論文所用塑料為日本帝人光學級 PC(Polycarbonate)，折射率 $n=1.585$ 。帶入後可得到曲率半徑值為 29.25mm。

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R} \right) \quad (31)$$

第二步將此曲率半徑轉換成曲率後帶入第二章中非球面公式中，其中公式若帶入不同的圓錐常數將可得到不同的曲線形式，如拋物線、橢圓線、...等。本文為了尋求較好的非球面曲線，因此分別帶入不同的圓錐常數後並進行光線追跡來獲得適當的曲線形式進行後續設計作業。從表 3-2 綜合圓錐常數設計比較中可以看出當使用圓錐常數-1.95 的雙曲線圓錐常數時將可得到較好的聚光效果，因此使用

此圓錐常數的非球面進行第三步驟。

第三步將所建置的非球面曲線進行切割並使用光線追跡法微調外環圈的導光角度。就菲涅爾鏡片而言，切割有兩種方式，一為等高度(High)切割；另一個為等間距(Pitch)切割。本論文採取等間距(Pitch)方式進行切割。切割後導光結構各部位名詞如圖 3-7 所示。

環數多寡需考慮到模具模仁加工部份，過少可能因每一間距太長且外環齒深過深，造成加工不易，也會造成成型不良；過多可能造成光柵情況越嚴重影響光學效率[14]。至於如何取決切割環數的多寡，本論文的方法是以相同的曲率情況下，近型不同環數的切割並且配合 CAE 光學模擬軟體進行解析，從圖 3-8 可以看出，當切割至 60 環過後，其能量值趨近於平穩狀態，因此本論文的環數切割以 60 環(Pitch=0.5mm)作為設計的依據。

另外本文運用光線追跡法來修正外環圈的導光角度修正。運用光線追跡法時須考量導光結構是面向光源還是面向像平面。通常以太陽能集光片而言皆以導光結構面向像平面為主，如圖 3-9 所示。此優點為清洗容易，且導光結構不易卡塵灰的問題。故本文光路修正設計使用光線追跡法方式，讓外側散失光源導向晶片。經推導整理後，本文所用的光線追跡法公式(32)所示，並由圖 3-10 說明。

$$\tan \alpha = \frac{\sin \theta_1 + \sin \theta_2}{\sqrt{n^2 - \sin \theta_1 - \cos \theta_2}} \quad (32)$$

因將太陽光視為平行光形式追跡，故上式 $\theta_1 = 0$ 即可以得到 α 角度，公式修正後得：

$$\tan \alpha = \frac{\sin \theta_2}{n - \cos \theta_2} \quad (33)$$

第四步，將上述設計的產品繪製成 CAD 檔並匯入 CAE 軟體進行模擬與修正，結果將在 3-4 節討論。另外此部分須將射出成型時的狀況考慮進來，因此須把脫模角度(Draft angle)考慮進來，並繪製於產品中，且運用 CAE 來看添加拔模角後對效率的影響，其結果皆在下一節進行總討論。

3-4 光學設計結果

以下將會針對集光片的設計結果與光學設計與模具、成型須考量的因素一併在這章節做討論與結果。

3-4-1 集光片設計結果

本論文集光片設計結果為直徑 70mm^2 、導光結構直徑 60mm^2 、導光結構皆有脫模角 0.5° 、厚度 1.5mm 聚焦於 50mm 的 $5.5 \times 5.5\text{mm}^2$ 的砷化鎵晶片上，詳細的規格表如表 3-3，外觀如圖 3-11 所示。

集光片經由設計與 CAE 模擬後，本文產品的最好幾合聚光倍率為 625 倍(光徑大約 2.4mm^2)，若讓光分布在晶片面上的話幾合聚光倍率為 93.5 倍。光電效率部分，經由 CAE 模擬太陽光波長與本文設計之集光片後能量轉換效率約 93%。圖 3-12 為最佳聚焦狀態的分析圖。圖 3-13 為光分布在晶片上的分析圖。

3-4-2 光學設計 vs 模具開發考量

此針對光學設計與模具開發間的相關重疊問題點，並利用 CAE 模擬方式來說明兩者間的相互關係與光學的影響。

➤ 導光結構齒深與角度對充填成型的影響:

當在設計集光片時，無論是等間距切割或是等深度切割，對導光結構都會有

角度的產生。結構角度部分，除了不同頂角角度對光學造成影響外，對於射出成型實的充填也會有影響。若齒型深又尖，那可能造成充填時的困難度與成型完整度(轉寫率)。因此運用 CAE 模流分析技術，在固定間距的情況下來模擬不同角度時，會造成在射出成型時會有影響，如表 3-4、圖 3-14、圖 3-15 所示。從中可以看出當角度 30°時有些許的充填滯留現象產生，若角度小到 15°或甚至更小的話，充填滯留情況越嚴重，這代表著可能在實際成型時會造成成品無法成型或造成劣質品；另外從兩張圖中的各齒尖點時間標示可以更加清楚的看出充填滯留情況。因此往後設計集光片或光學產品時角度不宜小於 30°以下甚至到 15°以下，尤其是越大片的集光片會有角度尖與齒深深的問題。

➤ 添加脫模角度對光學的影響:

射出成型品要脫離模具時，需添加脫模角度便利脫模，若於光學設計端未把脫模角考量進去，可能造成尺寸愈大的集光片會在脫模時有黏模現象產生。此現象將會造成脫模時機台的作用力將成品造成變型或是損壞的情況產生，反而變成不可使用的劣質品。故本文在此運用 CAE 光學技術，針對同一產品在各導光結構處都添加脫模角度進行分析，觀察添加脫模角後的能量損失影響狀況。如圖 3-16 所示。由圖中可以看出，當脫模角越大時能量損失會越嚴重。故本文設計時再脫模角度部分選用 0.5°做為脫模角度，使損失降到最小且具備脫模的功效。

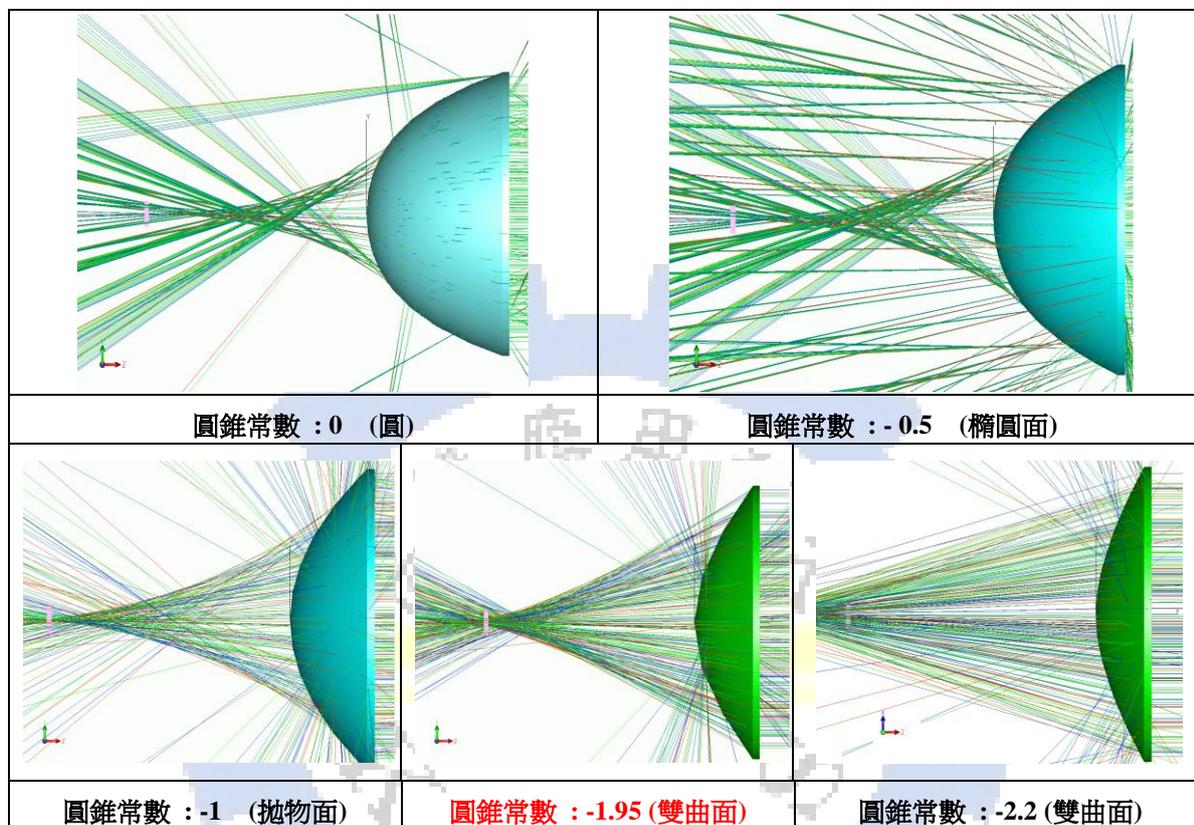
➤ 產品肉厚厚薄差對充填影響

一般在充填過程中，熔膠會往肉厚大的地方先充填。因此在設計產品時，需考量此厚薄差的問題，避免產生包風的現象。表 3-5(a)與表 3-5(b)為透過 CAE 模流分析結果，可以看出若厚薄差沒設計好的話，在成型過程會產生包風現象，造成產品缺陷。

表 3-1 太陽光波長與權重表

波長 Wavelength (μ m)		
increment	center	weight factor
0.295 ~ 0.400	0.348	0.0267
0.400 ~ 0.430	0.415	0.0275
0.430 ~ 0.450	0.440	0.0244
0.450 ~ 0.470	0.460	0.0291
0.470 ~ 0.490	0.480	0.032
0.490 ~ 0.510	0.500	0.0327
0.500 ~ 0.530	0.515	0.0323
0.530 ~ 0.550	0.540	0.0322
0.550 ~ 0.570	0.560	0.0319
0.570 ~ 0.600	0.585	0.0473
0.600 ~ 0.630	0.615	0.0473
0.630 ~ 0.660	0.645	0.0475
0.660 ~ 0.690	0.675	0.0456
0.690 ~ 0.730	0.710	0.0537
0.730 ~ 0.780	0.755	0.0591
0.780 ~ 0.830	0.805	0.0562
0.830 ~ 0.890	0.860	0.0623
0.890 ~ 0.990	0.940	0.0606
0.990 ~ 1.060	1.025	0.0565
1.060 ~ 1.210	1.135	0.0621
1.210 ~ 1.520	1.365	0.0645
1.520 ~ 2.200	1.860	0.0681

表 3-2 不同圓錐常數設計綜合比較表

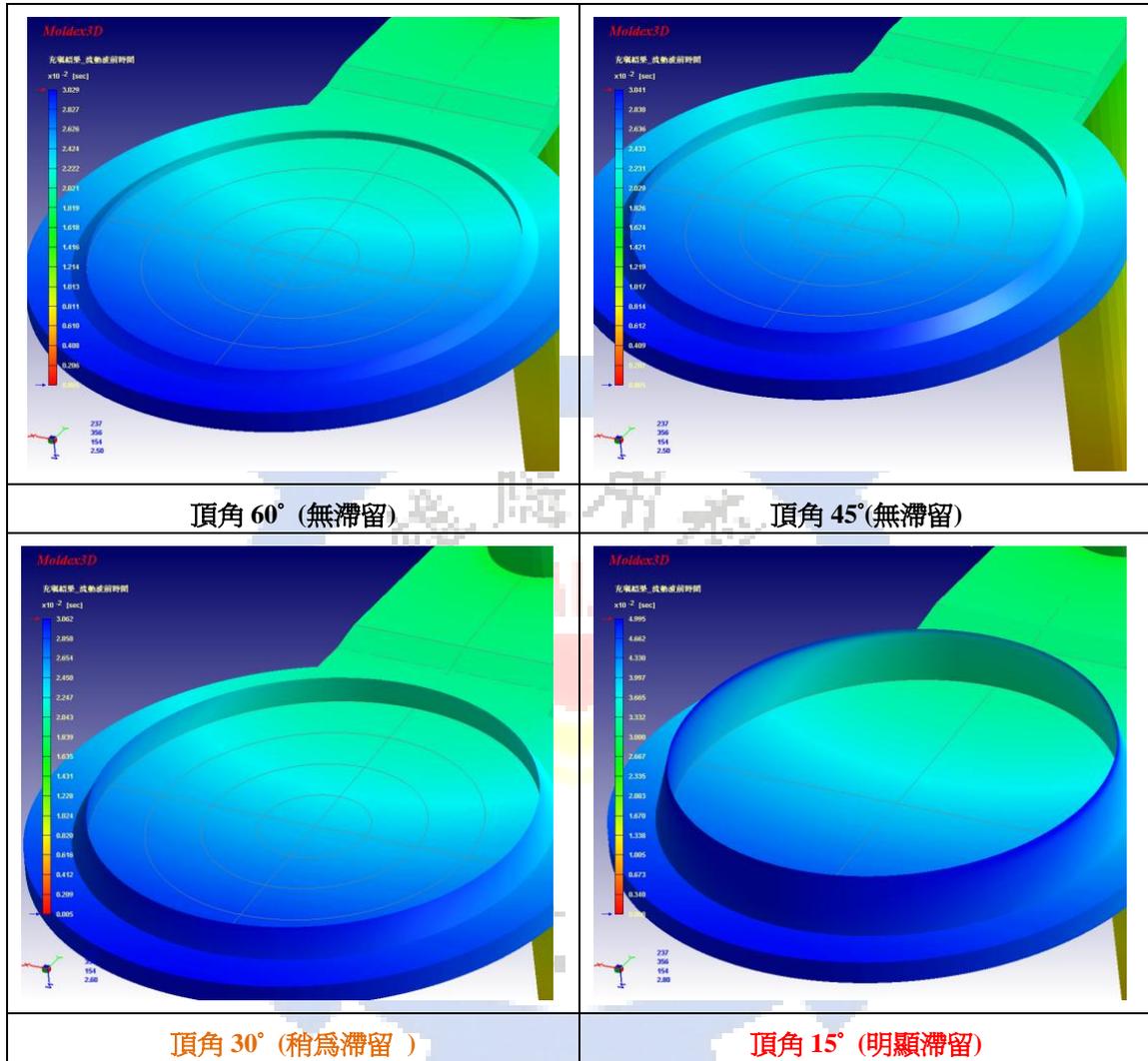


(以上四張圖皆為模擬總光線數的 0.1% 方式顯示)

表 3-3 集光片總規格表

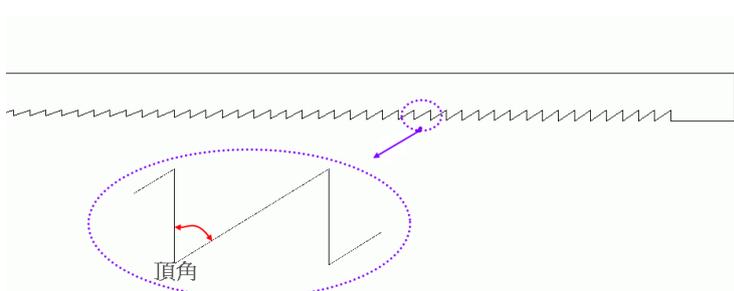
目標	利用集光片將光線收集至 $5.5 \times 5.5 \text{mm}^2$ 的太陽能晶片上			
環境條件	光源	擬太陽光	光源形式	平行光 AM1.5G
	晶片大小	$5.5 \times 5.5 \text{ (mm}^2\text{)}$	晶片材質	砷化鎵
鏡片規格	規格大小	直徑 70 mm^2 (導光結構直徑 60 mm^2) 最大厚度 1.5 mm		
	結構規格	環數	橫斷面 120 齒 (60 環)	
		Pitch	0.5 mm	
		齒角度範圍	$55.01^\circ \sim 89.52^\circ$	
		結構深度範圍	0.01 mm ~ 0.35 mm	
	拔模角	導光結構部份	0.5°	
		產品外框部份	2°	

表 3-4 不同角度對充填的影響



說明:

註一



註二.滯留是否由色桿來判斷

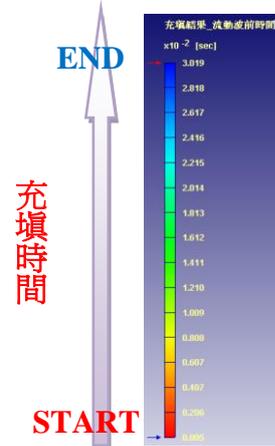
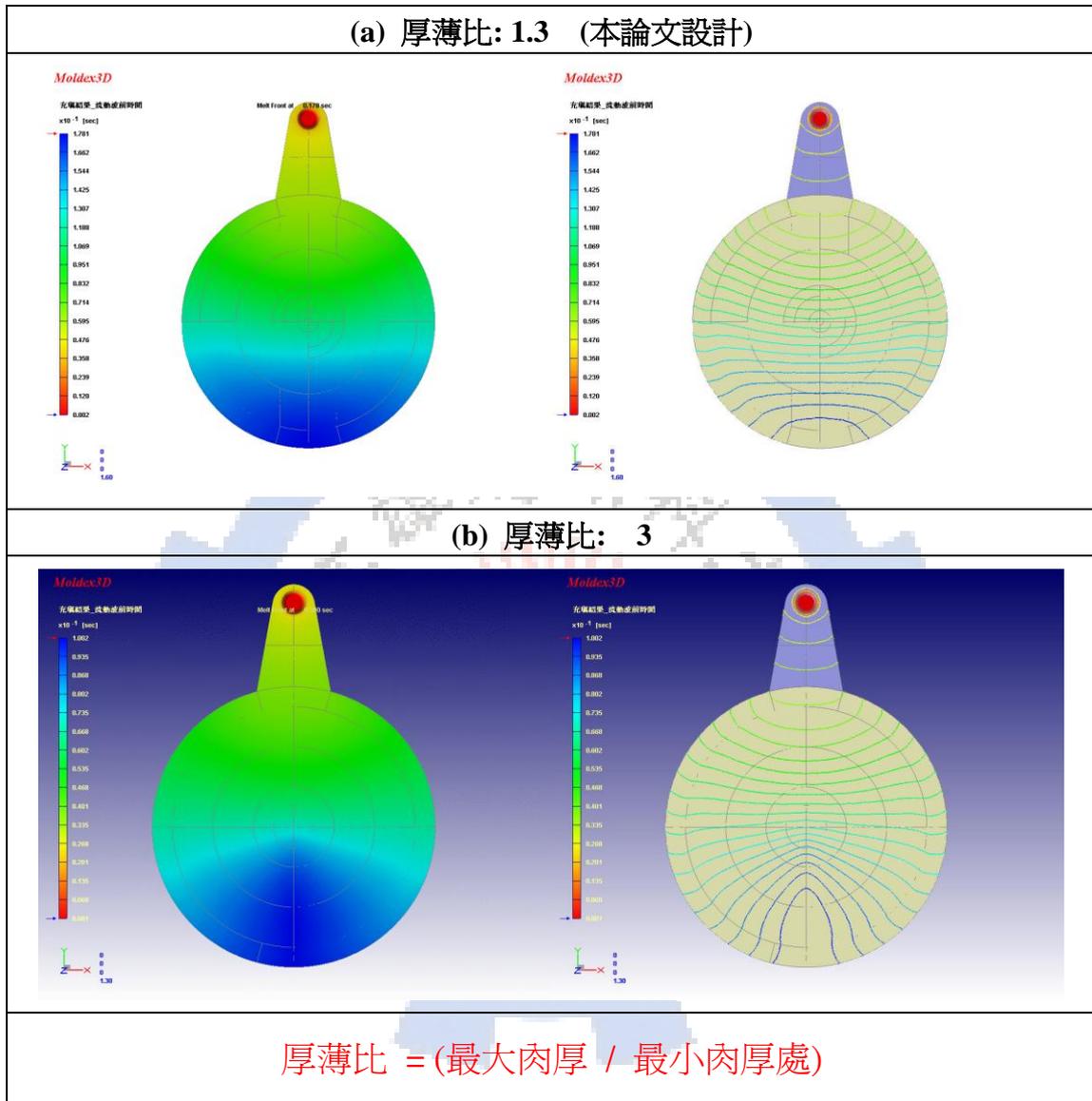


表 3-5 產品肉厚厚薄差對成型的影响比較表



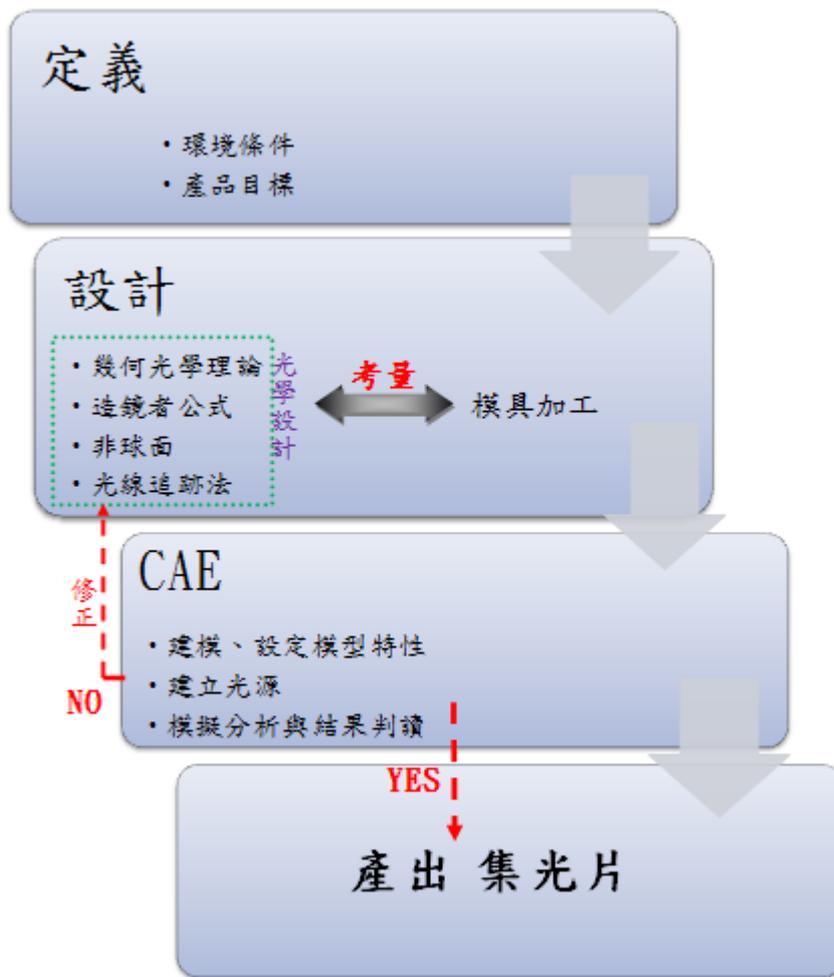


圖 3-1 太陽能集光片光學設計流程圖

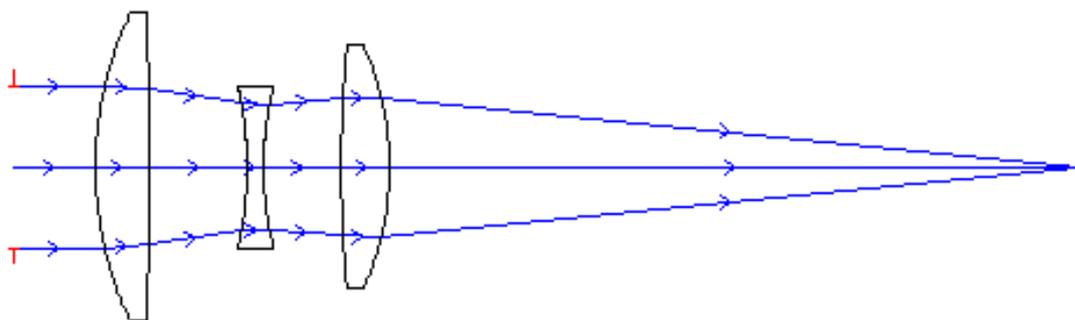


圖 3-2 序列式描光示意圖

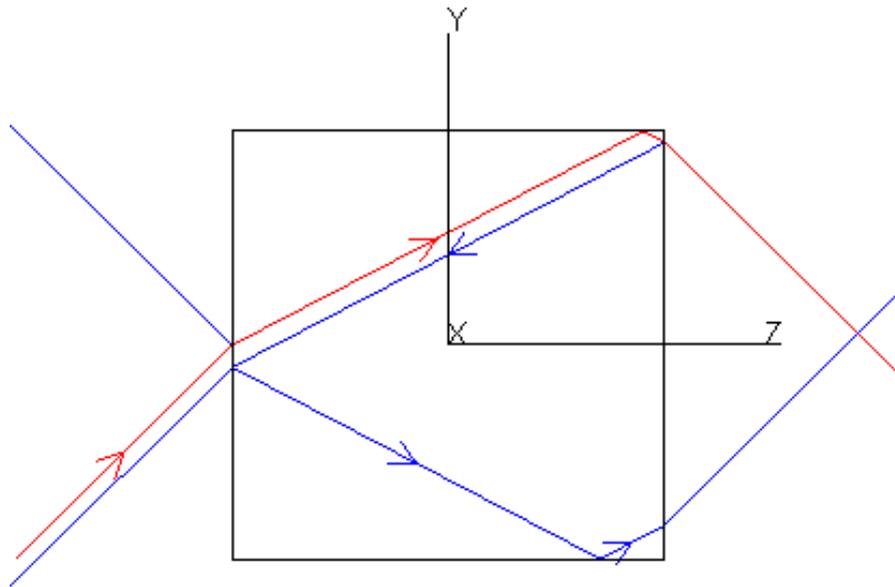


圖 3-3 非序列式描光示意圖

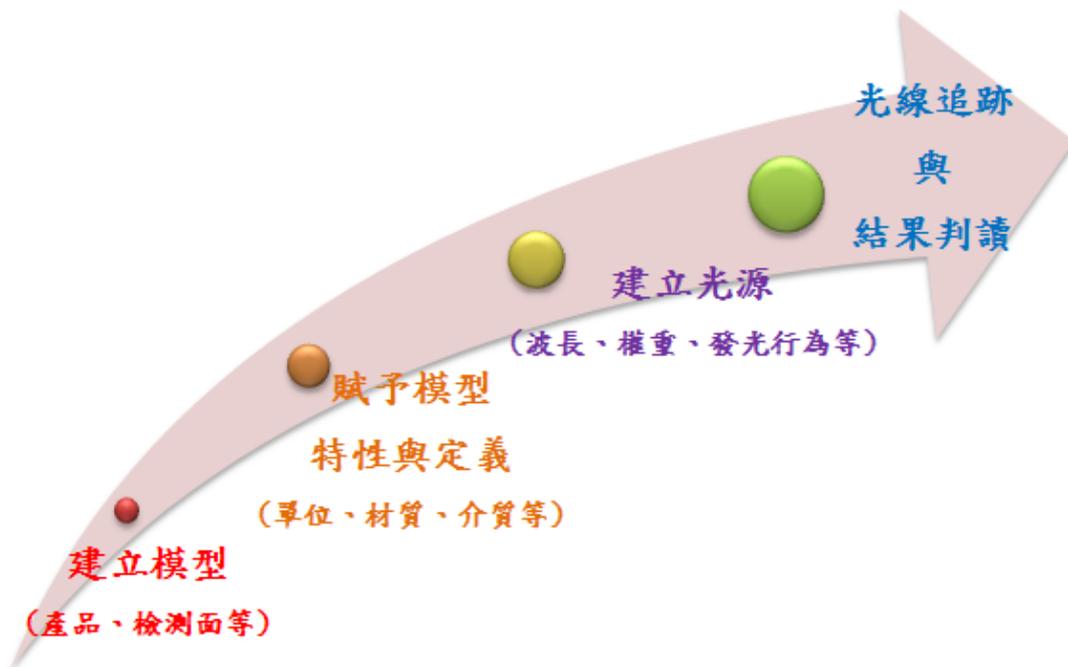


圖 3-4 光學模擬流程示意圖

Object Name	Surface Name	Type	Source	Distribution	Total Rays	Min. Rays	Emissivity
1 SOURCE	Surface 1	Irradiance (W/m ²)	1000	Normal to Surface	10000		

Type: Discrete Wavelengths	
Selection: 0.348	<input type="button" value="Add"/> <input type="button" value="Delete"/>
Wavelengths	
Value (um)	Weight
0.348	0.0267
0.415	0.0275
0.44	0.0244
0.46	0.0291
0.48	0.032
0.5	0.0327
0.515	0.0323
0.54	0.0322

Type: Discrete Wavelengths	
Selection: 0.348	<input type="button" value="Add"/> <input type="button" value="Delete"/>
Wavelengths	
Value (um)	Weight
0.56	0.0319
0.585	0.0473
0.615	0.0473
0.645	0.0475
0.675	0.0456
0.71	0.0537
0.755	0.0591
0.805	0.0562

圖 3-5 CAE 軟體設定波長示意圖

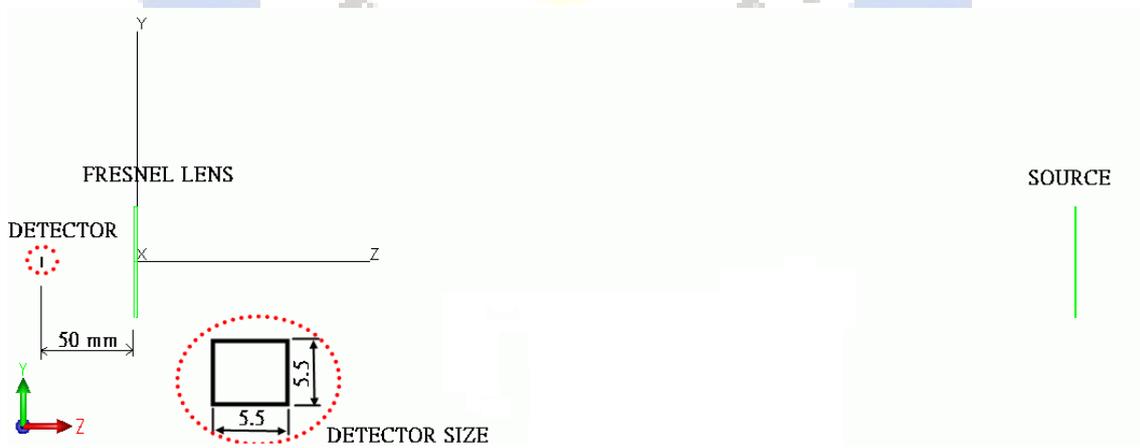


圖 3-6 模擬架構示意圖

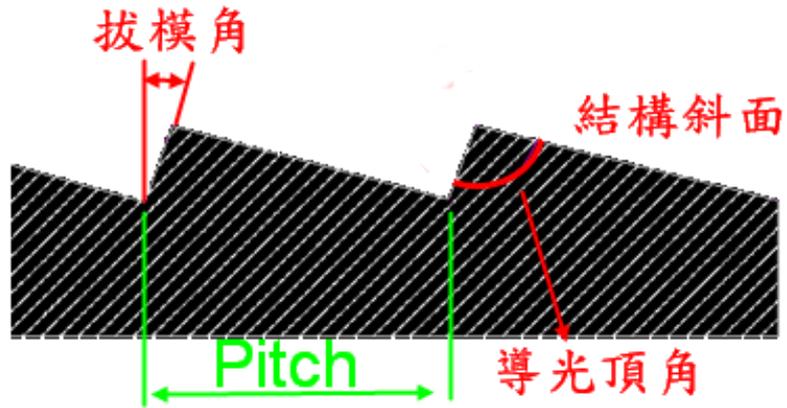


圖 3-7 導光結構各部位名稱示意圖

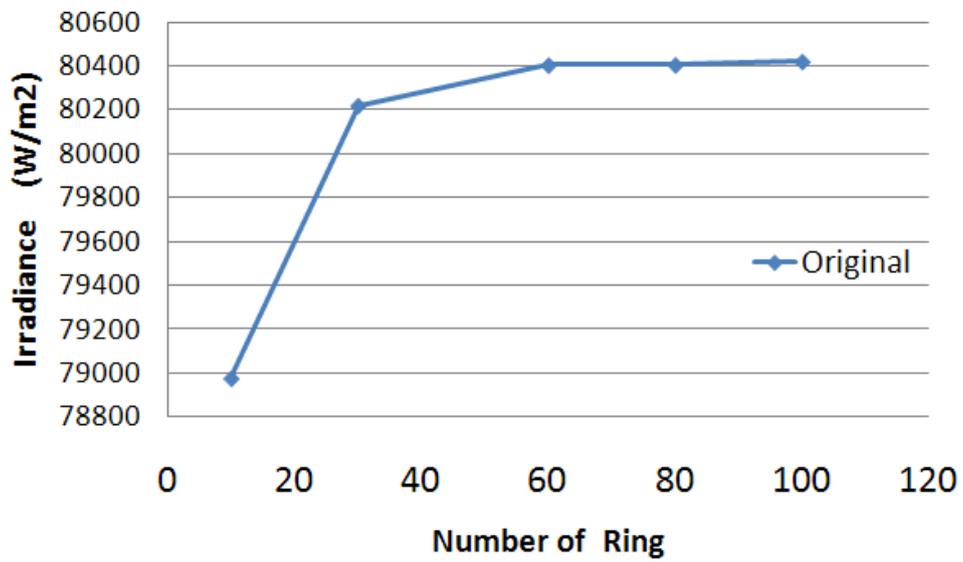


圖 3-8 環數切割結果圖

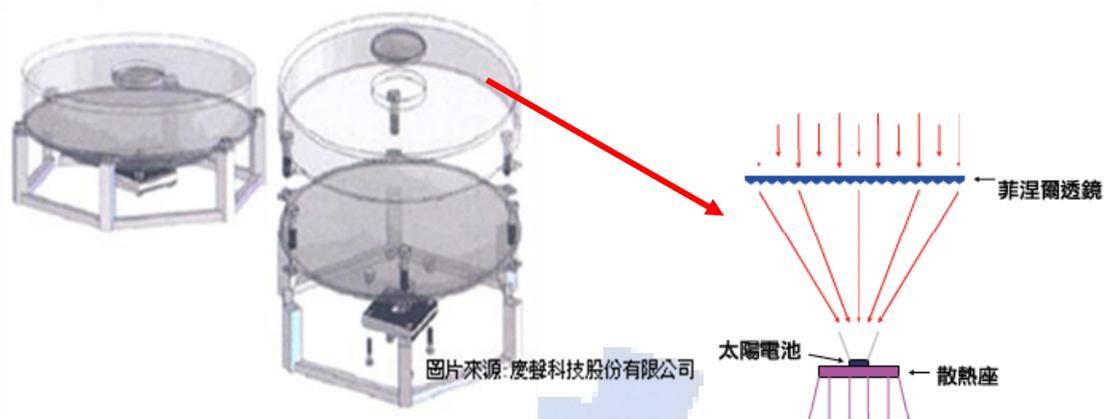


圖 3-9 現今 HCPV 模組集光片擺放方式示意圖

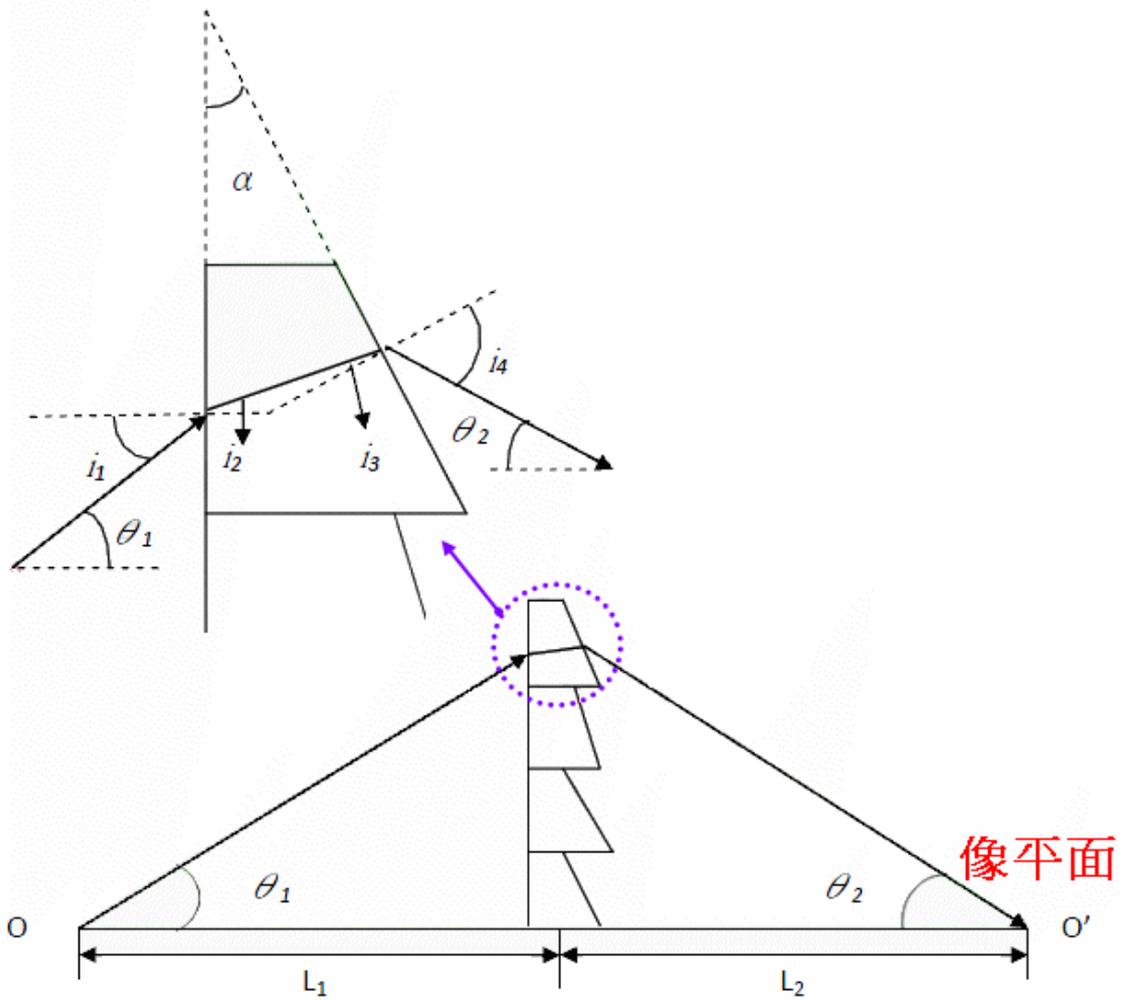


圖 3-10 本文光線追跡法計算說明圖示

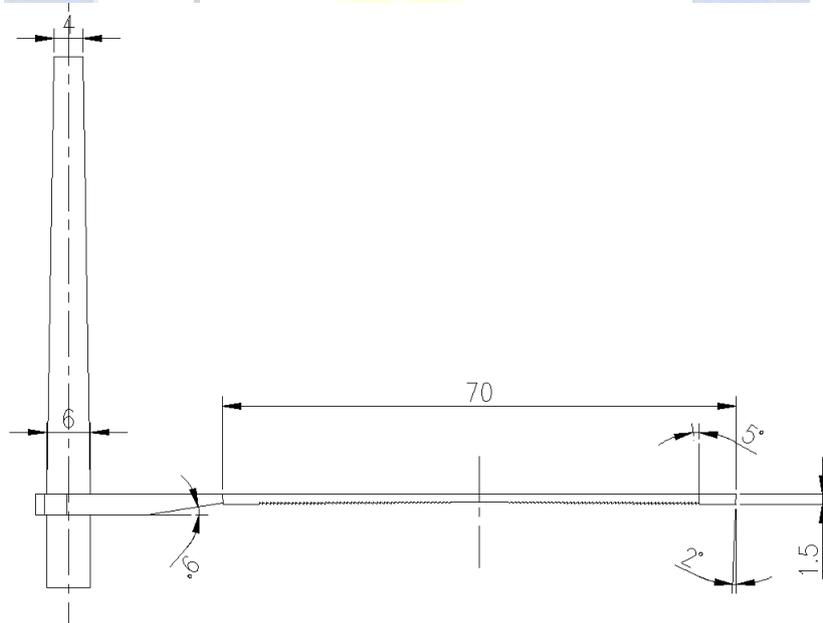
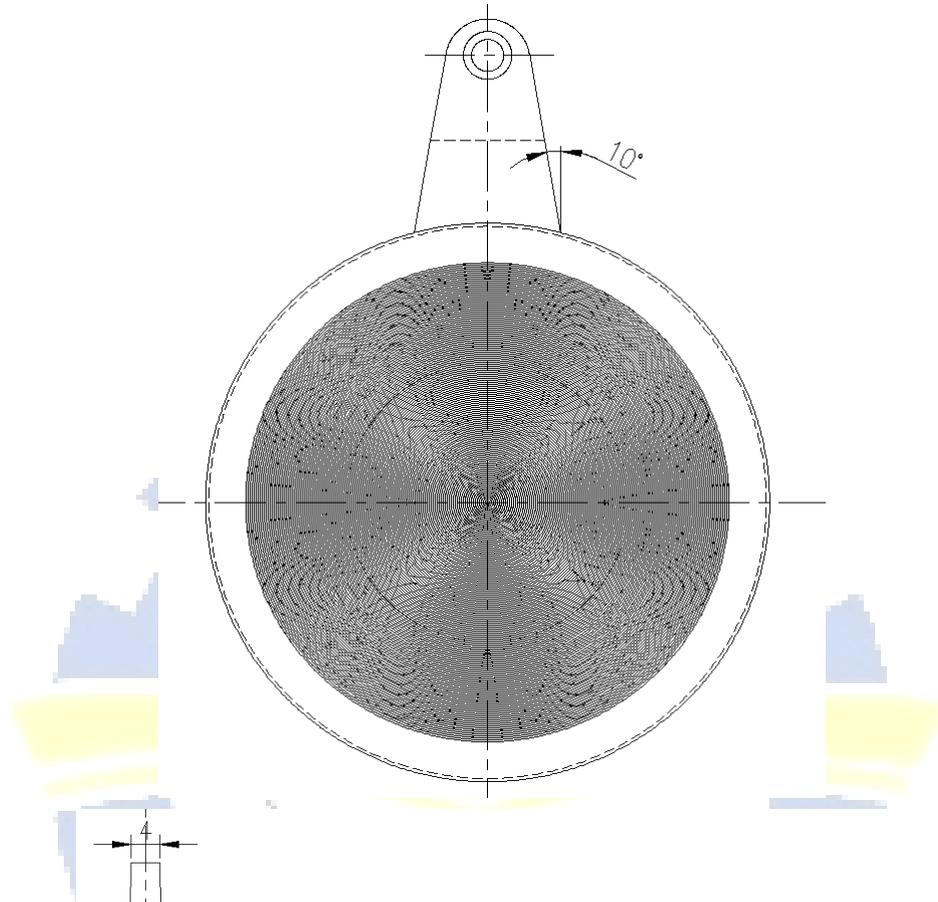


圖 3-11 本文集光片外觀圖

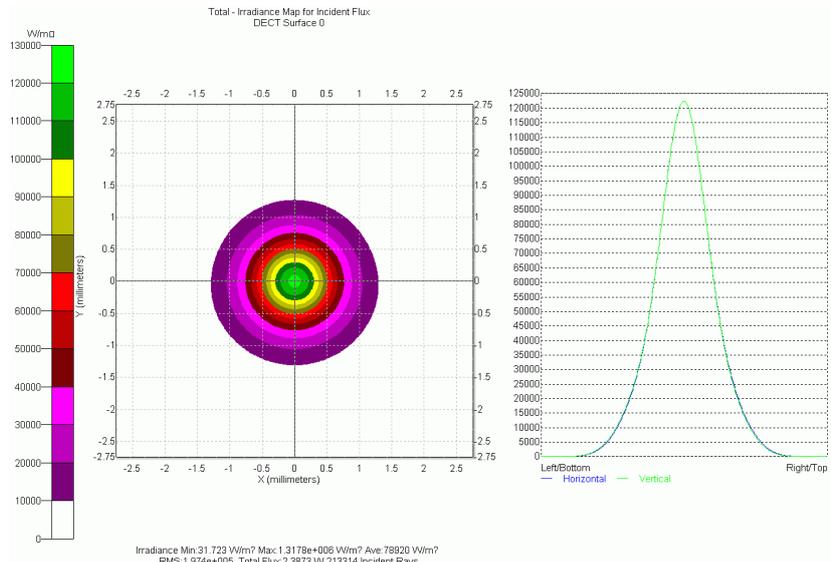


圖 3-12 最佳集光分析圖

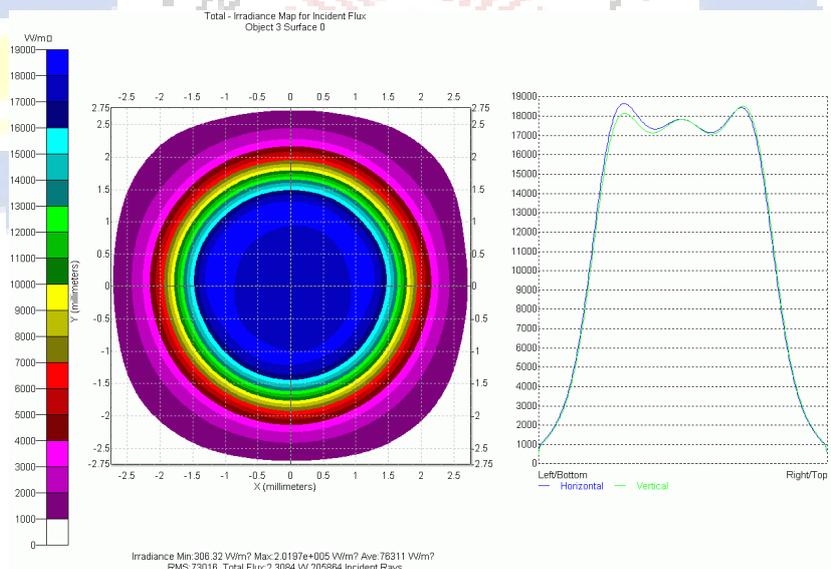


圖 3-13 分布於晶片上分析圖

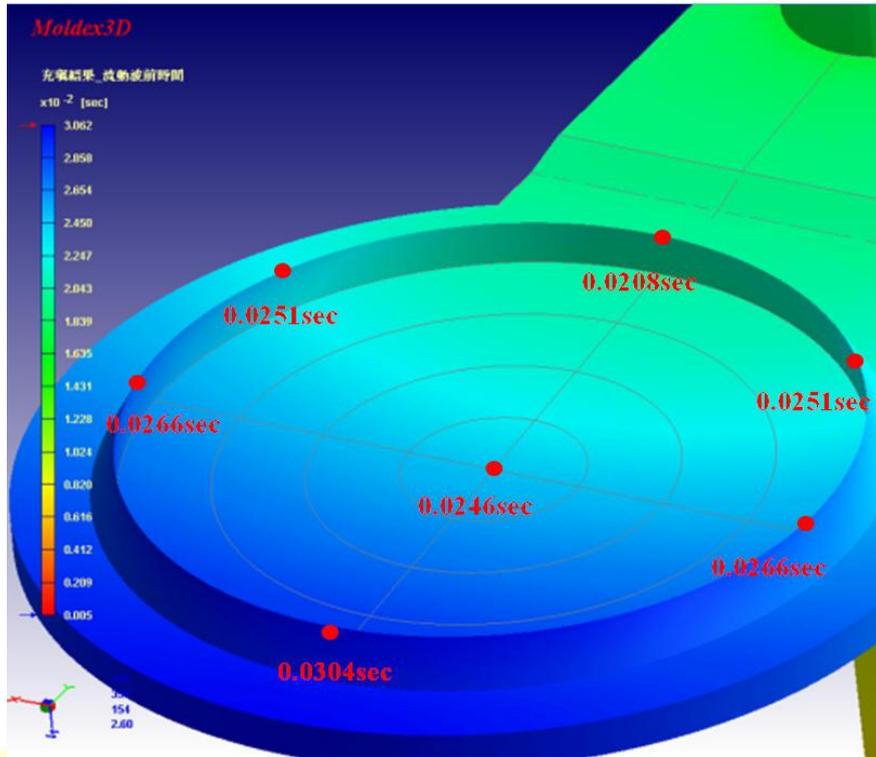


圖 3-14 頂角 30 度時滯留圖

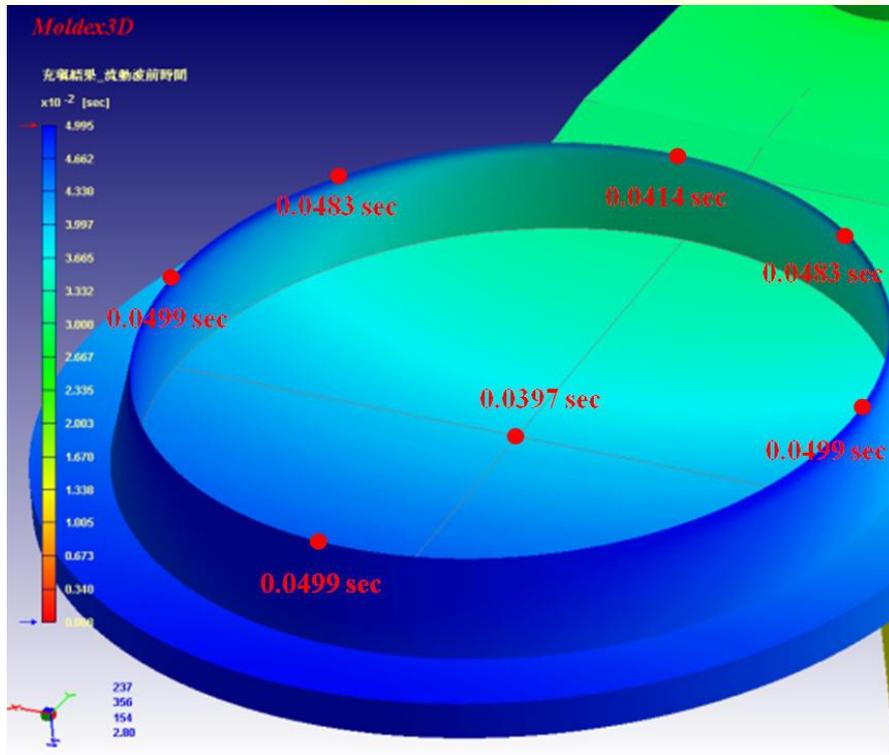


圖 3-15 頂角 15 度時滯留圖

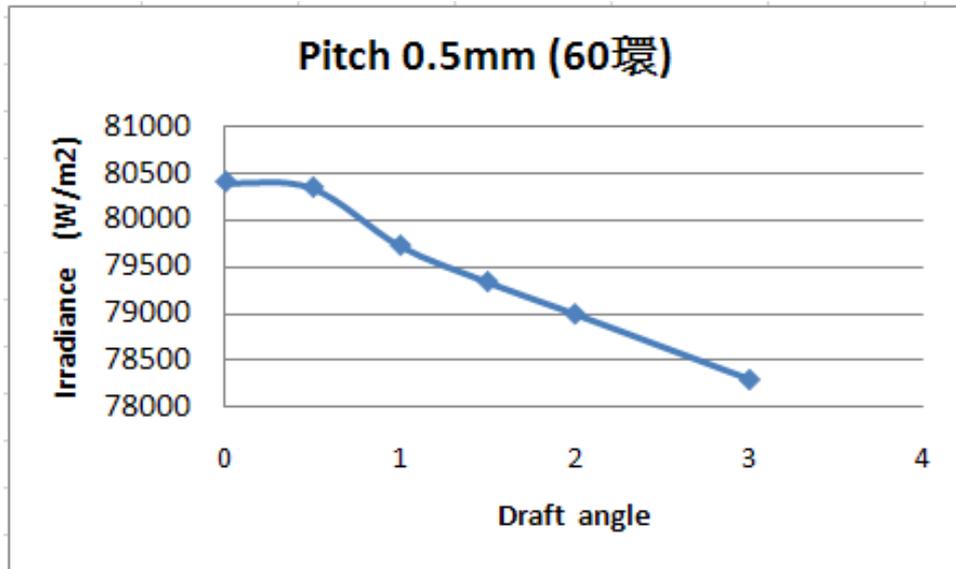


圖 3-16 拔模角對光學的影響



第4章 模具設計與模流分析

4-1 模具設計與考量提要

一般模具開發時，依照產品大小與模穴數為基準點才進行設計並選擇射出機與模座大小之作業；另外模具開發另一項重點為產品特徵面確立、材料選擇、流道系統、冷卻系統、頂出機構等的配置，綜合以上的各部重點才能得到完善的射出模具。圖 4-1 為塑膠模具開發流程。以下小節將依照開發流程排序說明。

4-2 產品特徵與塑材選用

本論文產品經由光學設計後得到的形狀尺寸外觀和導光結構如上一章光學結果所示。本論文集光片為圓盤平板狀的一模一穴模具。本文集光片特徵面而言，將導光結構部分朝著公模部份(亦是導光結構為公模仁)，平板頂面部份為分模面。如圖 4-2 產品特徵面示意圖所示說明。

塑膠材料本身可以用在光學方面的種類並不很多，對於塑膠材料而言一般常有成形收縮問題、雙折射及吸水率等問題而影響光學射出產品品質的好壞。本論文採用的塑膠為熱塑性塑膠的聚碳酸酯(Polycarbonate)俗稱PC。

聚碳酸酯(Polycarbonate)的特色是高低溫之機械性佳、耐衝擊性、低溫安定性佳、耐候性佳、透明性佳、折射率高，另外根據Snell's Law與全反射定律，可知塑膠折射率越大，其全反射的臨界角越小，代表全反射機率越小，對集光片集光效率有正面的幫助。本實驗所使用的日本帝人化工光學級PC，其料號為 Panlite AD5503，圖4-3為PC塑粒圖，折射率為 $n=1.585$ ，其材料物性表如表4-1所示。

4-3 澆道與流道系統設計

一般流道系統的粗細大小由[26]有提供流道相關大小的參考數值。本文在此部分設計除了參考[26]外，也將搭配 CAE 模流技術中進行分析來獲得流道系統配置的資訊。首先在說明本文設計的澆流道系統前，先以圖 4-4 簡易的說明流道系統各部位專有名詞。

本文集光片為圓形平盤狀，因此在澆道(Gate)設計部分考量選用扇形澆口(Fan Gate)，讓熔融塑料可以擁有比較大面積且均勻的進去模穴中並且可避免噴流現象(Jetting)產生。注道(Sprue)部分為接合射出機噴嘴部份，在[26]中，是利用成型機能量(OZ)來決定注道尺寸大小，如表 4-2 所示。本文設計的注道尺寸為 ψ 4~ ψ 6mm。並在注道正下方設計 ψ 6 × 長 6mm 的冷料井，以便後續頂出時做為抓銷抓產品的地方。

流道設計部分可經 CAE 來驗證模擬注道壓力損失、產品流動性、是否造成包封(Air Trap)或縫合線(Weld Line)等不良因素在做尺寸或不同澆口的設計變更。

4-4 冷卻系統設計

冷卻水路設計部份分公模水路與母模水路兩部份。一般在設計水路會考量到水路配置均勻或冷卻區域均勻。從[29]中提到一般設計冷卻水路時，水路的有效管長總表面積與成品面積一致時最佳；有效管長如圖 4-5 來說明之。

$$\text{最佳水路設計: 有效管長表面積} = \text{成品面積} \quad (34)$$

本文模具母模的冷卻水路採取 \square 字型型式的鑽孔法，水路直徑 ψ 10mm，如圖 4-6 所示。公模部份因考量冷卻圓盤狀的產品，因此選用隔板法尺寸為，如圖 4-7

所示。另外因模仁部份為磷青銅材質，因此對公模部份的冷卻也有些效果。另外冷卻設計部份也可運用 CAE 模流分析來看設計的可行性。

4-5 CAE 模擬分析與設計驗證

4-5-1 Moldex 3D 模流軟體介紹

模流分析是以有限元素法為基礎的運算方法，大致上依所建構的模型可以分為 2.5D 以及 3D 的模擬，這兩種模擬方式各有其優劣之處，將在以下說明：

◇ 2.5D 模擬：

2.5D 的模型是為一種簡化後的模型，由於射出成形件絕大部分都是薄殼狀的產品，也就是表面和厚度的比例較大，因此 2.5D 的模擬主要就是把薄殼狀的成形品簡化成一個曲面，因為有經過簡化的動作所以計算結果會有些微的誤差存在，但是這些誤差為小到可以忽略。圖 4-8(a)為一個方盒的真實情況，也就是 3D 的方盒，而將它建構成 2.5D 的型式就如同圖 4-8(b)所示。2.5D 模型最大的優點就是其網格數量遠比 3D 模型的網格數量來的少，因此花費在計算結果的時間遠比 3D 模擬所需的時間短，對於電腦硬體的需求也比較沒那麼高。

◇ 3D 模擬：

3D 的模型是直接以三維的實體網格所堆疊起來的，所以沒有網格簡化的誤差存在，但是為了維持模擬計算的解析度常常需要用上較多的網格數目，網格量一多，所需要用在運算的時間相對也就加長了許多，因此對於要用來執行 3D 模擬的電腦硬體需求也就比較高。但因為沒有簡化模型的誤差存在，因此計算的結果也會比 2.5D 來的準確，甚至有一些現象只有在 3D 的模擬才會顯現出來。

一般進行模流分析時，首先以前處理器先建立模擬的網格模型，再定義限制

的參數以及操作參數進入分析軟體，在這個階段可以導入最佳化的概念來搜尋成形的最佳參數，最後也是最重要的就是判讀軟體後處理出來的結果，結果可能是彩色圖、可能有曲線圖甚至是數據，我們要從這些後處理的結果中判斷出可能發生的問題或是發生問題的原因，並加以擬定解決的方案，如果是修正參數可解決的就從參數修改著手，若式變更模型時則必須從網格鋪陳開始。在本論文研究中所要進行模擬的是菲涅爾集光片，此透鏡的最大特色就是有許多小導光結構，因為導光結構大小不一緣故，難以用一個曲面完全代表它，所以不適合採用 2.5D 的模型來進行模流分析，而必須使用 3D 的模型來進行實驗的模流分析。圖 4-9 為本文集光片+水路系統的 3D 模流網格圖。

4-5-2 模擬分析與設計驗證

通常流道系統、冷卻系統設計完後會運用 CAE 模流技術進行設計的可行性，若從中發現問題點時，可在開模前進行修改，以確保兩好的模具產出也降低成本。初步使用 CAE 模流軟體時，可以獲取到熔融塑膠的流動狀況、冷卻系統的設計優略、預測充填時間、V/P 切換時間、產品翹曲情況、機台鎖模力....等多項資訊幫助後續設出成型。以下為本文設計完流道與冷卻系統後的 CAE 模流評估:

➤ 流動波前

通常藉由流動波前，使用者可以得知所設計的流道系統，在充填過程中的流動情況並可以判斷是否會造成剪切過大、包封、滯留、縫合線等不良因素產生。圖 4-10 為流動波前圖，從圖中可以看出整體流動性算一致，且沒有不良的情況產生，但由此流動分析上可以得知，在開發模具時，需在流動末端處添加排氣孔。

➤ 保壓時間

本模型為 3D 網格進行分析，爲了瞭解澆口凝固狀況，因此需再澆口處設置感測點以便擷取熔膠狀況，圖 4-11 爲感測點設置狀況示意圖。經由 CAE 模流分析結果顯示，帝人 PC 在 168°時爲固化溫度，因此藉由模流軟體內建的曲線圖(如圖 4-12 所示)中可以看出保壓時間約 2.7 秒，但一般會加經驗值時間 1~2 秒；因此在實際現場實驗時保壓時間約抓 4 秒。

➤ 保壓轉降點時間

保壓轉降主要用意是爲了讓澆口處的壓力太大造成應力集中的現象，因此須設定保壓轉降。保壓轉降時間的計算方式爲參考[30]中提到的算法，公式如(35)所示。透過 CAE 模流的結果可以得到保壓轉降時間爲總製程時間的第 2.2 秒開始進行轉降保壓壓力，其詳細結果如圖 4-13 所示。

$$\text{轉降點時間} = [(\text{壓力最大值得時間} + \text{壓力歸零的時間}) / 2] + \text{充填時間} \quad (35)$$

➤ 冷卻效果

藉由模流軟體可以看出整體的冷卻系統設計的優略。由圖 4-14 可以看出整體冷卻很一致，故代表所設計的水路系統是可行的。

➤ 翹曲預估與判斷

此部分主要讓使用者了解產品在產出時的翹曲變形分布情況，且另一個重要資訊可讓使用者看出是造成翹曲變形的因素是製程因素還是冷卻造成，讓使用者在做設變時有一個參考依據。圖 4-15 爲模擬結果。

4-6 射出成型機與標準模座選用

本論文搭配的射出機爲 Arburg All Rounder 320C，如圖 4-16 所示，其機台機能皆符合本論文之產品要求。標準模座選用部份選用的方法有主要兩點，第一要能放進射出機內；第二須讓模仁可放置在模具內(如圖 4-17 所示)且如要做偏心的話，偏 1/3 爲極限，若

不行的話就改大一號尺寸的標準模座做選擇。

4-7 頂出機構設計

本論文產品為圓盤狀，考量到頂出時產品受力的平均一致性，因此採用頂出板(Plate ejection)方式進行頂出動作，另外為了使產品在開模時，能夠跟著公模一起退出母模，因此設置了注道抓銷將產品拉出。注道抓銷部份使用香菇頭形式，作動時再利用頂出板強制將產品脫離注道抓銷，產品拿出。如圖 4-18 頂出機構所示。

4-8 加工圖面產出與注意事項

當流道系統、冷卻系統、排氣、頂出系統設計、模具大小與結構都完全確定後，進入模具加工圖繪製階段。

本論文模具加工圖使用 AUTODESK 的 AUTOCAD 軟體繪製，其中圖面包含標準模座圖、產品圖、組立圖與零件圖，如附件一所示。繪製模具圖時須注意相關細節，如尺寸公差、標準模座孔位是否會與設計干涉、繪製時水路鑽孔位有無考慮好防漏水裝置(O 型環、水路停止栓等)、頂出機構繪製是否正確不然造成無強制頂出的效果等等細節都需注意。

另外繪製時盡量選用標準模具與標準零件，除了方便模具廠開模之便利外，當需有零件損壞時替換性較大等優點。本文繪製時皆參考[31]標準零件購買商冊。

4-9 模具設計總結

經由 CAE 技術與模具設計的搭配，可以讓設計者與模具開發端得到一個較完善的結果，不需等模具開發出來後才針對問題點進行設計變更。圖 4-19 為集光片模具母模實體圖、圖 4-20 為集光片模具公模實體圖、集光片模具規格如表 4-3 所

示。

表 4-1 Panlite AD-5503 物性表

特性	單位	試驗方法	測試條件	光學用
				AD-5503
熔融體積流量	cm ³ /10min	ISO 1133	300°C 負荷 1.2kg	54
密度	kg/m ³	ISO 1183	-	1200
吸水率	%	ISO 62	放置在 23°C 水 中 24h	0.2
透光率	%	ASTM D1003	試樣厚度 3mm	90
折射率	-	ASTM D542	-	1.585
拉伸模量	MPa	ISO 527-1 and ISO 527-2	1 mm/ min	2450
拉伸屈服應力	MPa		50mm/ min	63
拉伸屈服伸長率	%		50mm/ min	6
拉伸斷裂公稱伸 長率	%		50mm/ min	>50
彎曲模量	MPa	ISO 178	2mm/ min	2400
彎曲強度	MPa		2mm/ min	96
懸臂梁衝擊強度	kJ/m ²	ISO 179	沒缺口	NB
			帶缺口	3
熱撓曲溫度	°C	ISO 75-1 and ISO 75-2	1.80MPa	124
			0.45MPa	138
維卡特軟化點	°C	ISO 306	50°C/h 50N	143
成形收縮率	%	本公司製訂的測定 法	平行方向	0.5~0.7
			垂直方向	0.5~0.7
線膨脹系數	X10 ⁻⁴ /°C	ISO 11359-2	平行方向	0.7
			垂直方向	0.7

表 4-2 成型機能量與注道口直徑之關係表

成型機能量 OZ	注道口直徑 mm
2 以下	3
3 ~ 8	4
12 以上	5

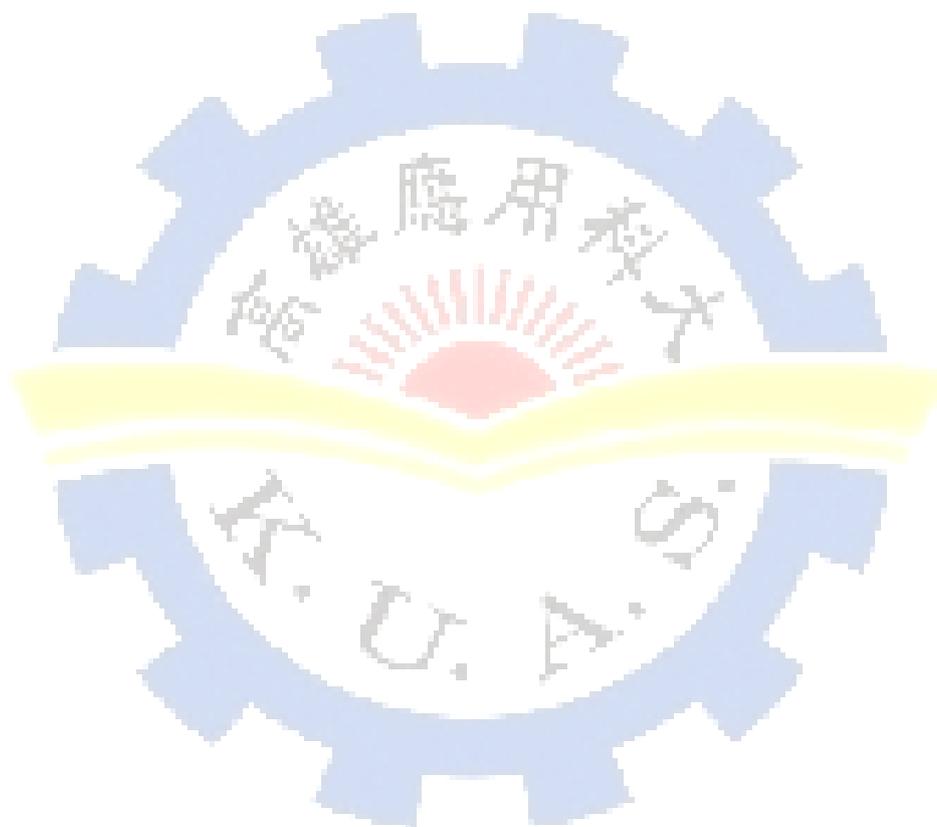


表 4-3 太陽能集光片模具規格表

太陽能集光片模具規格表	
模座型式	參考 FUTABA 標準模座購買手冊
規格尺寸	MDC SB 1820 50 25 60 S
圖式	<p style="text-align: center;">平面規格圖</p> <p style="text-align: center;">SB 型樣貌圖 (撥料板式兩板模)</p>

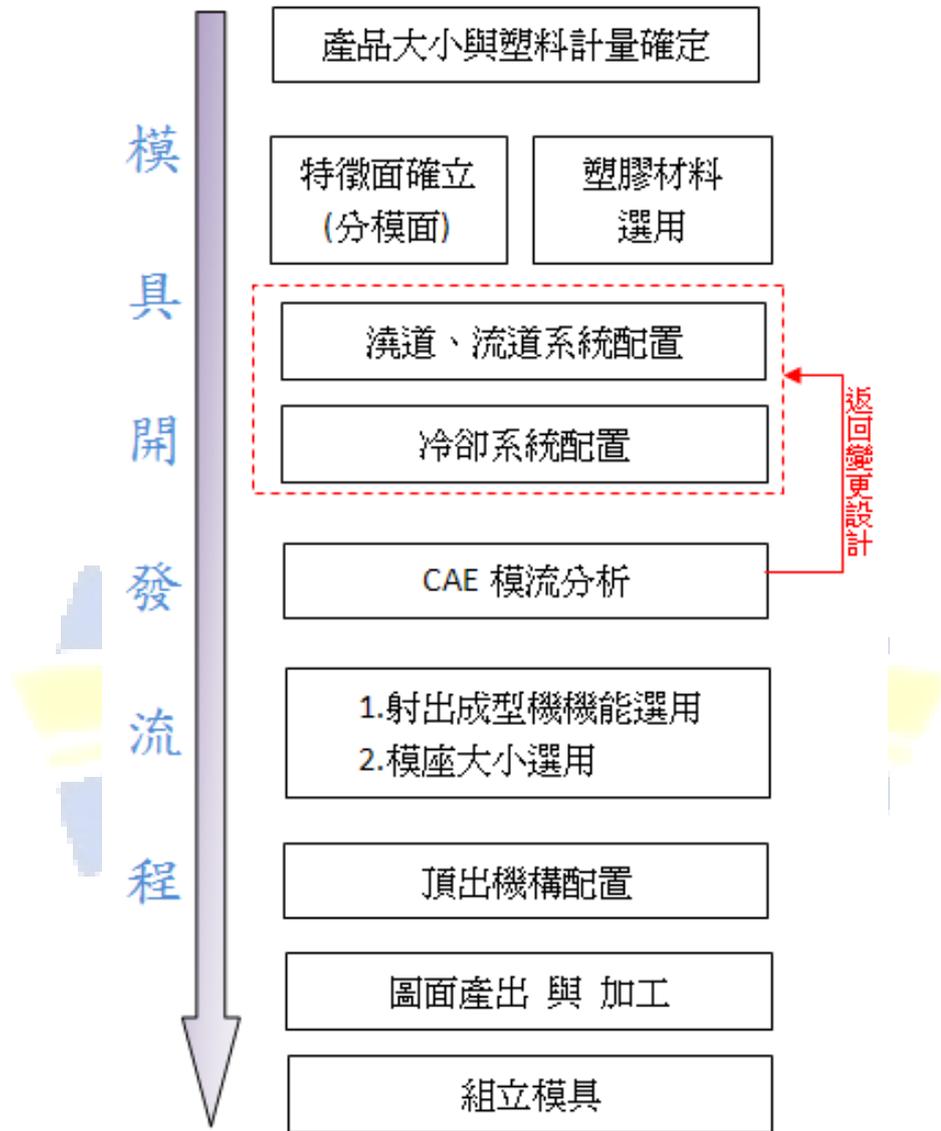


圖 4-1 模具開發流程圖

母模仁

P.L.

公模仁

圖 4-2 產品特徵面示意圖



圖 4-3 帝人 PC 塑料顆粒圖

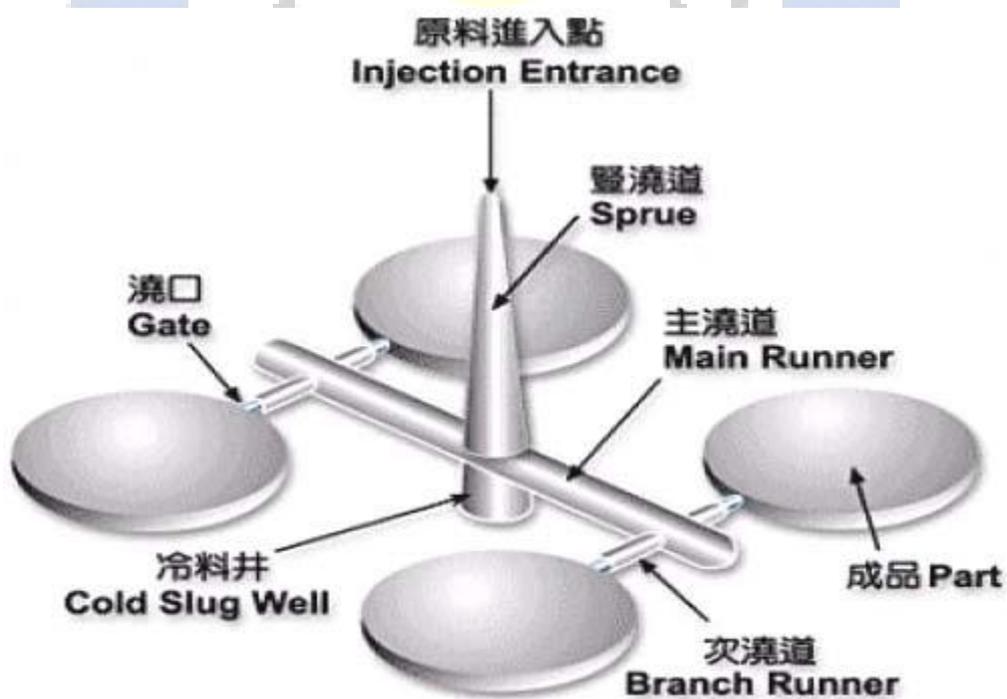


圖 4-4 澆流道示意圖

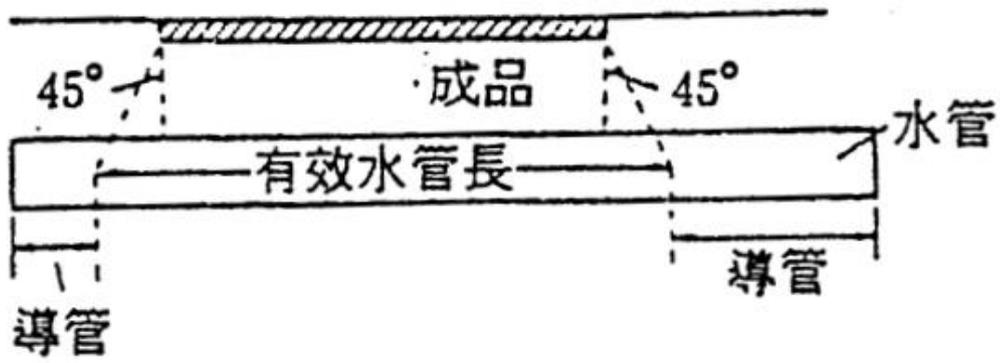


圖 4-5 有效管長說明示意圖

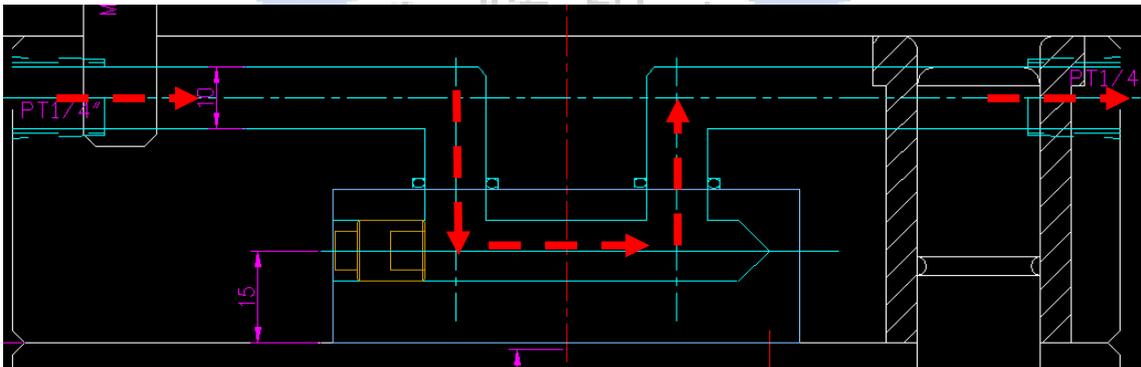


圖 4-6 母模水路示意圖

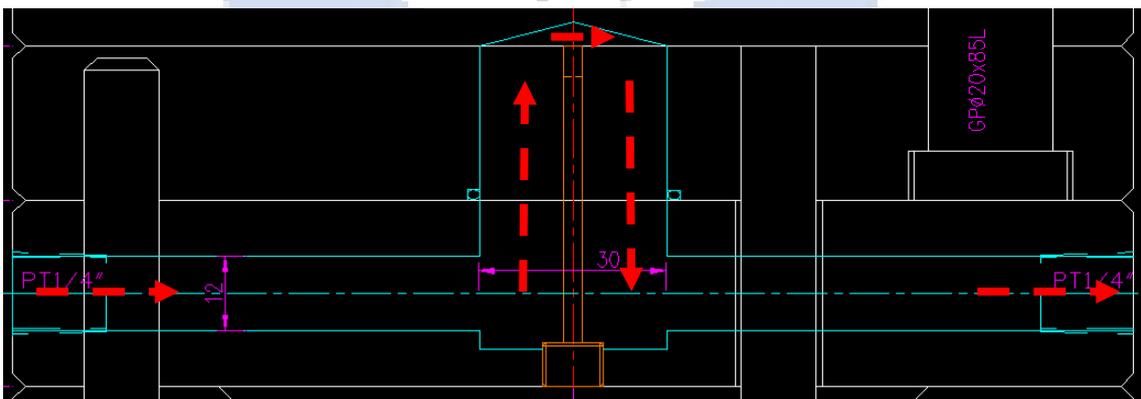
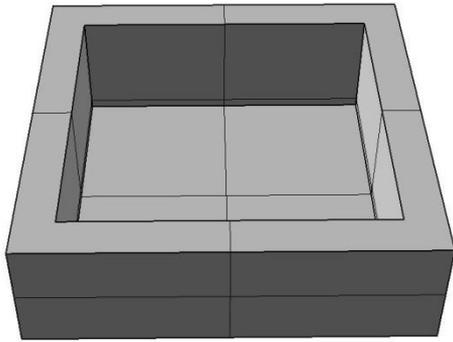
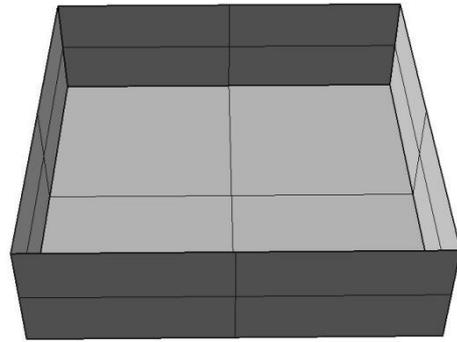


圖 4-7 公模水路示意圖



(a)3D 模型



(b)2.5D 模型

圖 4-8 2.5D/3D 模型說明示意圖

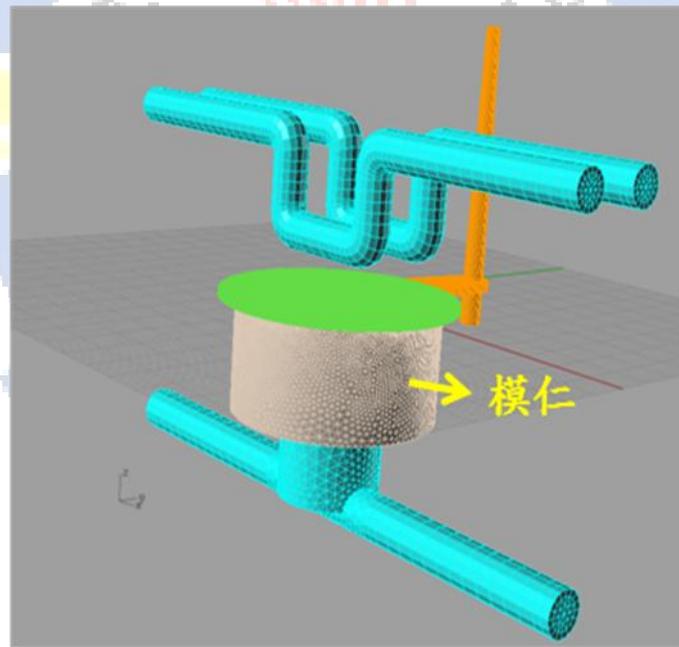


圖 4-9 集光片與冷卻系統之 3D 模流網格圖

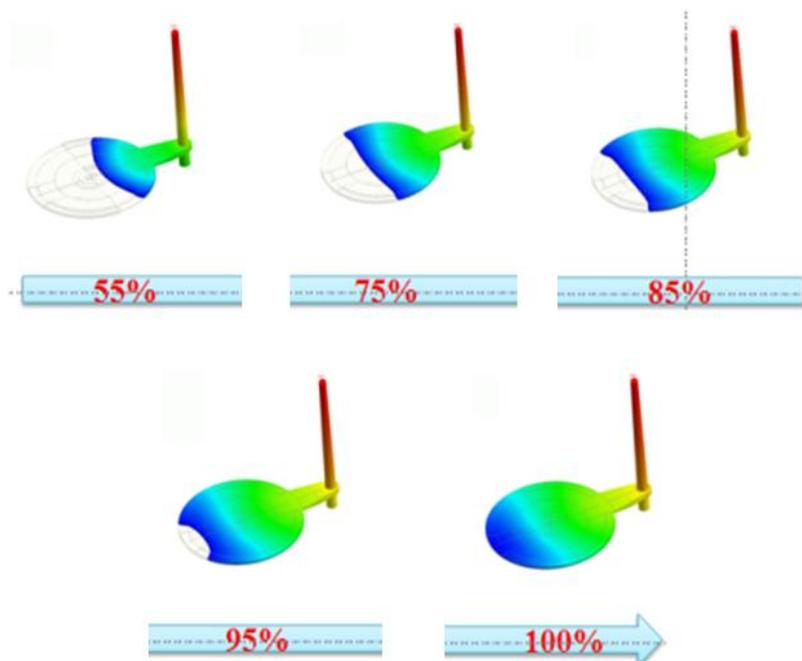
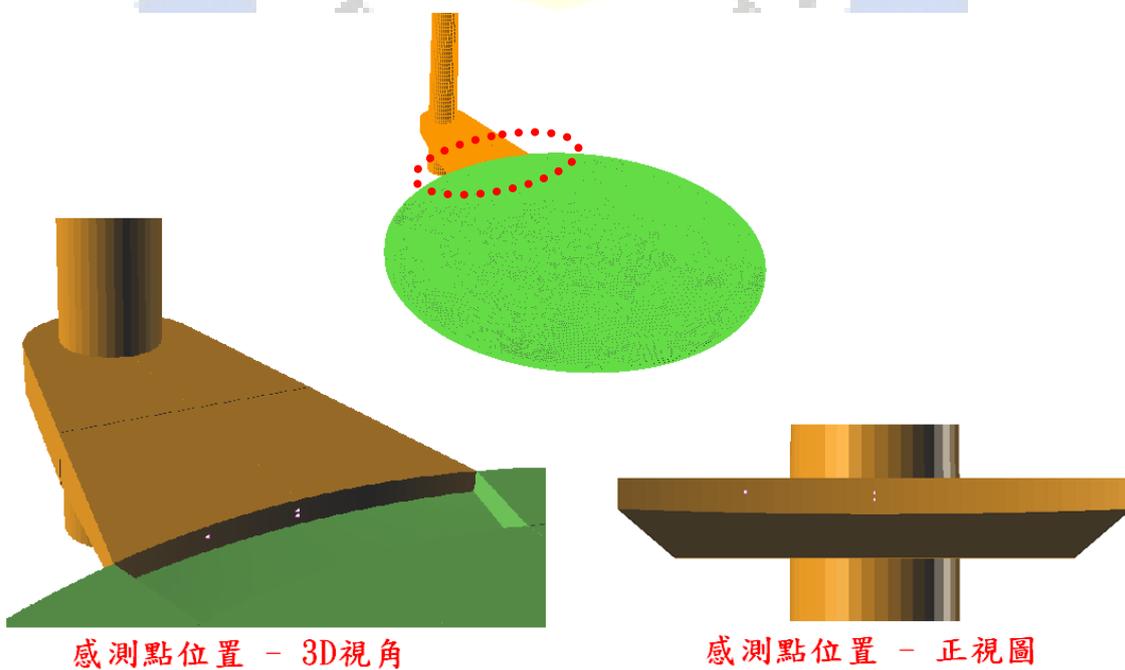


圖 4-10 流動波前圖



感測點位置 - 3D視角

感測點位置 - 正視圖

圖 4-11 3D 網格感測點設置示意圖

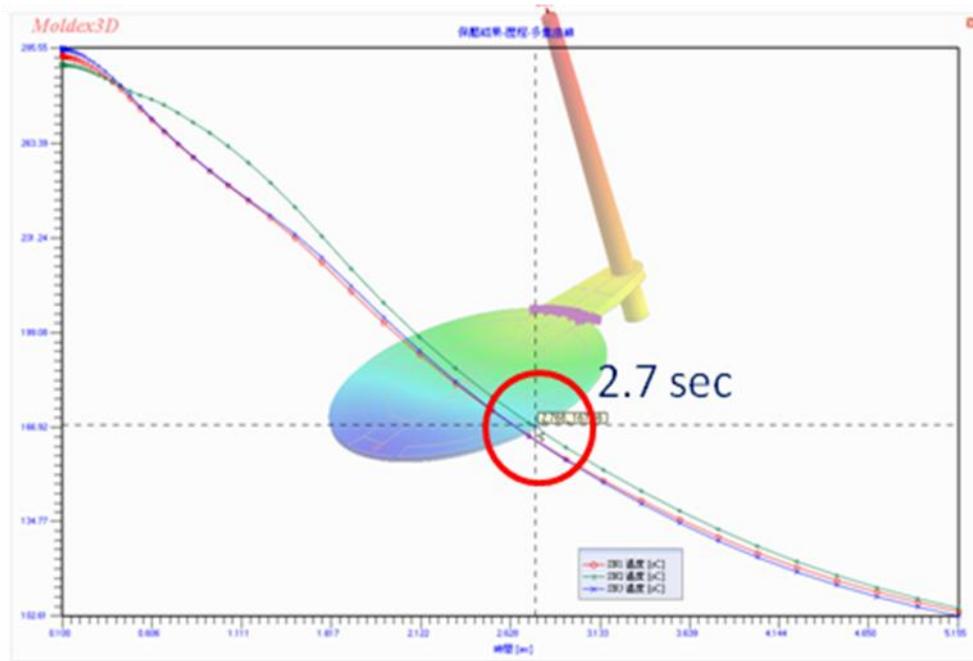


圖 4-12 保壓時間資訊擷取圖

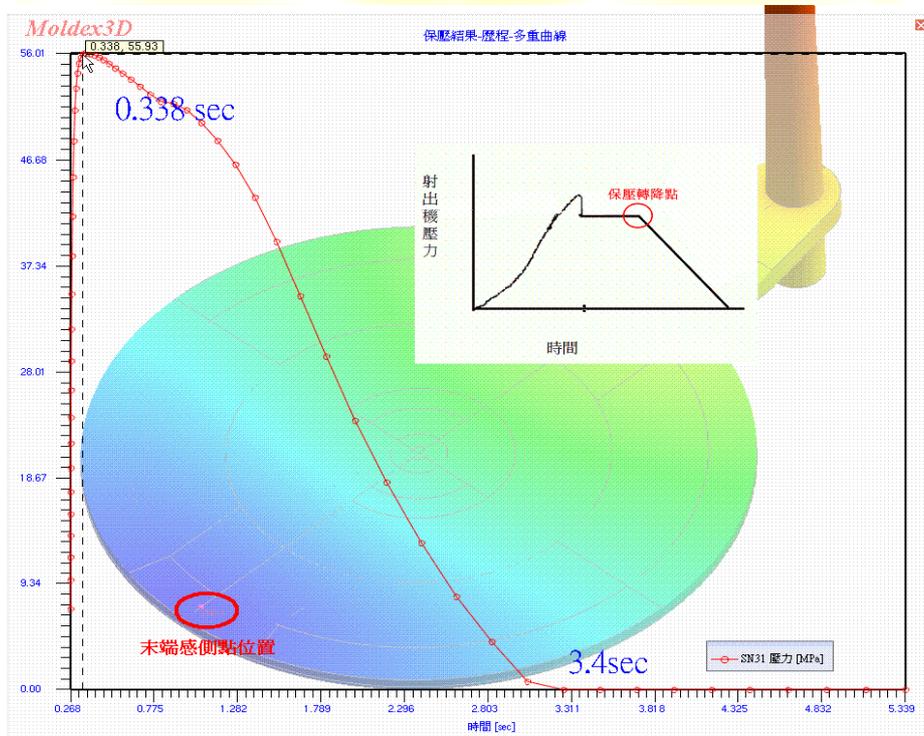


圖 4-13 保壓轉降點擷取圖



圖 4-16 Arburg All Rounder 320C

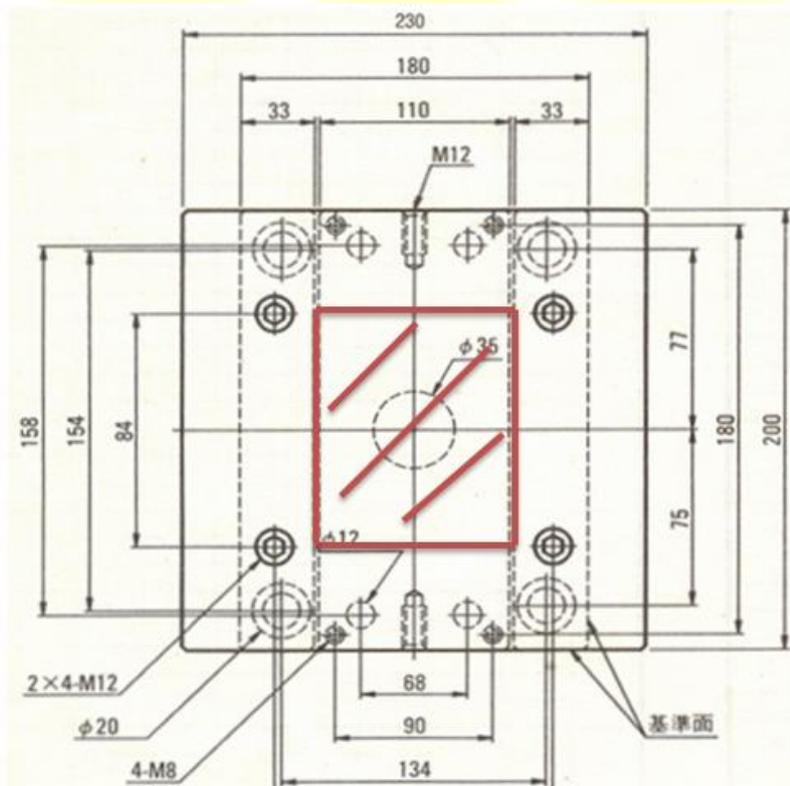


圖 4-17 標準模座選用說明圖(模仁置放極限空間示意)

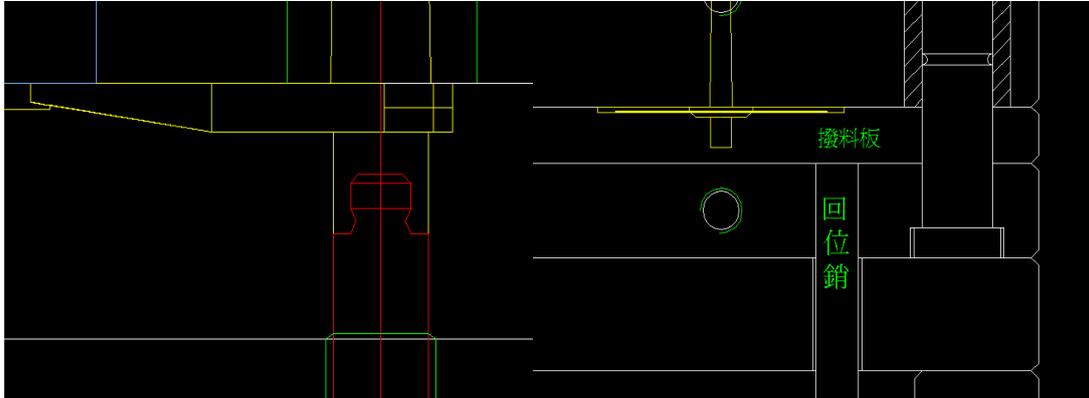


圖 4-18 頂出機構示意圖

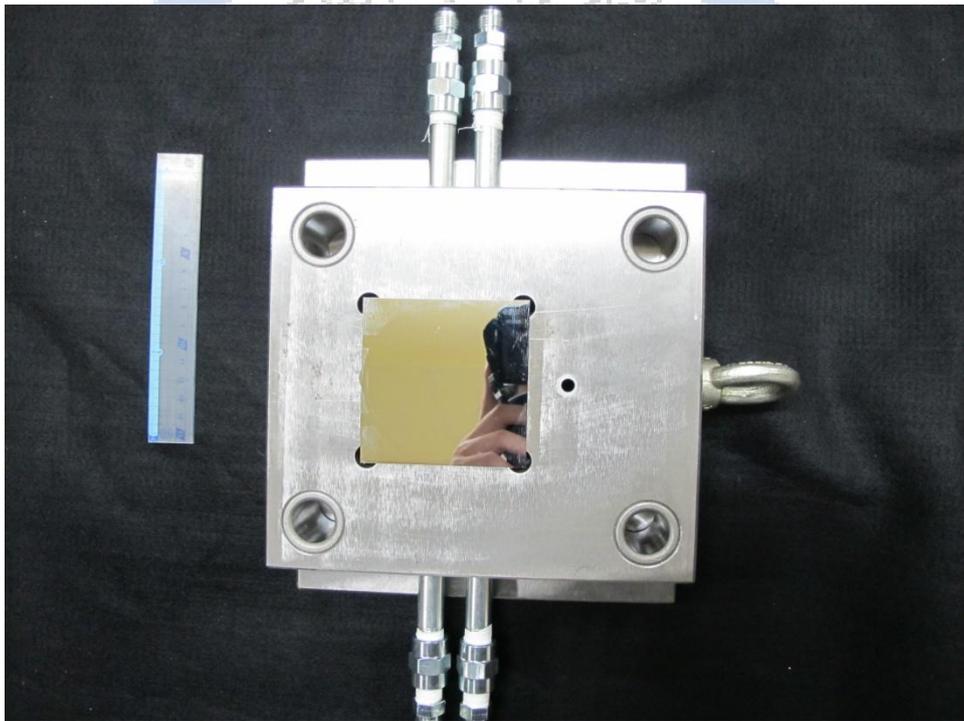


圖 4-19 集光片模具母模實體圖

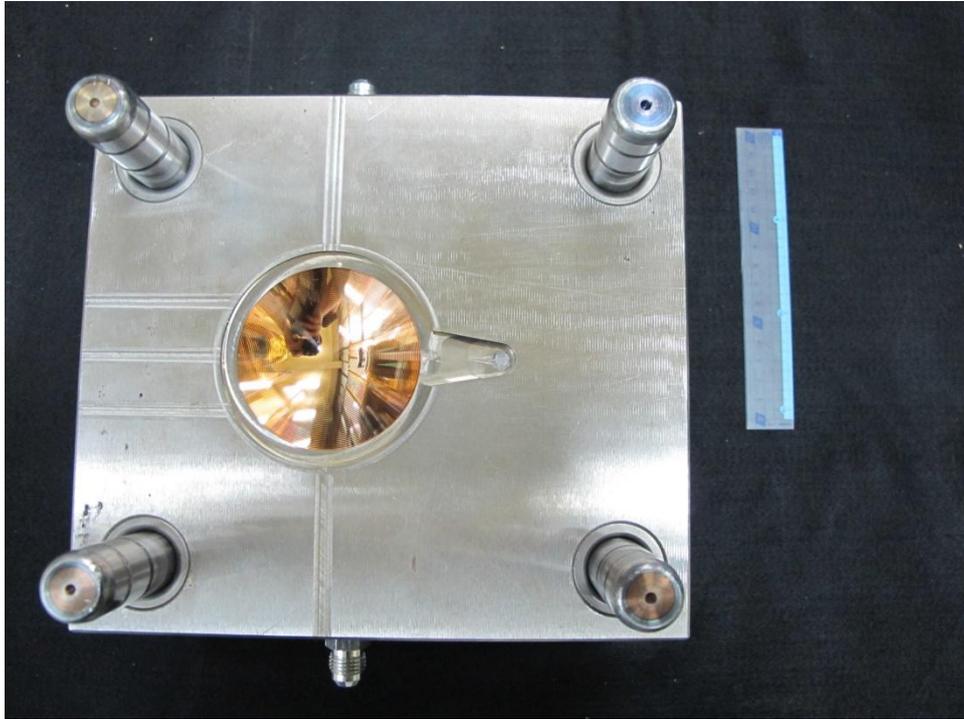


圖 4-20 集光片模具公模實體圖



第5章 實驗與效能檢測

5-1 實驗與效能檢測提要

產品設計與模具開發完成後，進行實驗階段。射出成型實驗規劃可分短射試驗、成型視窗、最佳充填壓力、單因子實驗、田口法實驗。另外上述的實驗規劃可先運用 CAE 模流抓出大致結果並與射出成形實驗互相做趨勢比對。檢測部份，分兩大部分，一個為導光結構轉寫率；另一個為集光片與太陽能晶片模組組合進行的光電效能檢測。實驗規劃流程圖如圖 5-1 所示。

5-2 實驗法規畫與執行

5-2-1 實驗設備

➤ 射出成型機

本研究射出成型機使用德國 ARBURG，型號為 All Rounder 320C。本機台鎖模裝置為油壓肘節式，最大鎖模力 60 噸。調整介面具有高度自由化系統且具備迴路控制系統，操作者可以直接藉由電腦視窗編輯程式與改變參數，如射出速度、塑料溫度、螺桿位置、保壓壓力與時間、冷卻時間等。機台詳細規格如表 5-1 所示。

➤ 表面輪廓儀

本實驗所使用的表面粗糙度及輪廓量測儀器為 Taylor Hobson 公司所製造的，其型號為 Form Talysurf Laser 635，表面輪廓儀外觀如圖 5-2 所示，其詳細規格如表 5-2 所示。其量測原理是以鑽石探針來接觸成品表面，而探針與收錄器(Laser Pick-Up)是相連接在一起的，故當探針朝 X 方向緩緩

移動時，探針會隨著成品外形移動，而收錄器便會記錄 Z 軸方向的變化量，並轉換成電訊號，接著再利用軟體接收成點資料分析，故其量測精度極高，Z 軸解析度為 3.2nm，為奈米級的量測，收錄器結構如圖 5-3 所示。

➤ 光電量測系統與太陽能電池封裝模組

如圖 5-4 與表 5-3 所示，為太陽光模擬儀與其規格表，圖 5-5 為電源電表，此儀器主要將太陽能電池模組所接收的光轉電傳輸出來並藉由軟體繪製出電壓電流圖與其相關數值。圖 5-6 為本次選用的太陽能晶片模組。

5-2-2 實驗法規劃與現場成型

➤ 短射試驗：

藉由短射試驗過程中，可以了解實際熔融塑膠在充填過程中的流動情況，並且可以將此與模流分析的流動波前做比對。另外藉由短射試驗亦可獲取到計量資訊，讓使用者了解計量與充填率的關係。由圖 5-7 可以看出模擬與實際的流動波前幾乎一致的現象。

➤ 成型視窗：

擷取成型視窗主要用意是讓現場操作員可了解產品的生產參數範圍與機台狀況。本文在此先利用 CAE 模流方式模擬出成型視窗範圍，之後在搭配現場實驗，其結果在與模擬分析作比較，並藉此成型視窗範圍來確認後續實驗規劃的參數範圍。由圖 5-8 所示，模擬與實際射出時的成型範圍很廣，代表此產品非常好的成型性，但其中模擬與實際的差異為當速度低於 30 時，因機台本身效能而出現短射現象。

➤ 最佳成型壓力曲線：

進行最佳化實驗前，先規劃一組實驗來找到最佳的充填壓力。就學術理論而

言，成型過程中如果能夠用最小的壓力來成型的話，除了節省能源外，機台也較穩定；圖 5-9 為最佳充填壓力說明示意圖。本階段也相同運用 CAE 模流與現場實驗的趨勢比較。圖 5-10 為模擬與實際射出時的最佳充填壓力，可以看出區是為一致於射速 30mm/s 時，射壓最小。

➤ 單一參數法規劃：

因 CAE 模流軟體無法確切得看出轉寫率部分，因此利用 CAE 模流軟體與田口法找出最小翹曲的較佳參數組合來，參數組合結果如表 5-4 所示。因此單一參數部份以此模擬結果的製程參數為基準，固定三個因子變更一個因子的方式進行現場成型，共 15 組(規劃如表 5-5 所示)。最後在針對各項因子，利用轉寫率與功能性檢測方式，作一討論。

➤ 田口法規劃：

運用第二章理論所提到的田口法進行探討並找尋最佳的製程參數。本文所用的是 L9 的田口表，因子有模溫、料溫、保壓壓力、射出速度共四個，目標為得到最大的轉寫率，因此本實驗的田口為望大特性。規劃如表 5-6 所示。

5-3 產品檢測

檢測部份，本文分兩部分進行太陽能集光片成型品質探討。第一為形狀精度部分；第二為功能性檢測部分，以下小節為詳細說明之。

5-3-1 形狀精度檢測

本文此部分運用表面輪廓儀藉由接觸式進行量測，其主要目的是將成型品的輪廓描畫出來，方便計算轉寫率。其轉寫率定義與方法如第二章所提。其轉寫率

結果將在下一章節討論之。

5-3-2 功能性檢測

功能性檢測部份主要是量測，當擬太陽光光源透過集光片後所產出的效能結果，其量測配置如圖 5-11 所示。其結果將會得到光電轉換效率與功率比兩個效能參考因素；其中光電轉換效率是太陽能電池本身的效能指標，其效率值會遷就於太陽能電池本身的極限值，而功率比可以直接反應出添加集光片後的效能增加情況。功能性檢測結果將在下一章節討論之。



表 5-1 射出成型機機台規格表

裝置項目	單位	ARBURG 320C
合模裝置		
合模方式		全液壓鎖模系統
最大合模力	ton	60
開模行程	mm	350
拉桿淨距	mm	320×320
裝模板面(寬×高)	mm	446×446
模板間距	mm	550
最小模具厚度	mm	200
頂針前頂力	kN	30
頂真行程	mm	125
注射裝置		
螺桿直徑	mm	35
螺桿行程	mm	150
理論注射量	cm ³	144
最大射出壓力	bar	1820
最大射出速度	mm/sec	160
射出率	cm ³ /sec	154
溫度控制區域		5
最大射台平移距離	mm	120

裝置項目	Taylor Hobson Form Talysurf Laser 635
X 軸量測範圍	120mm
X 軸解析度	0.125 μ m
Z 軸量測範圍	6mm
Z 軸解析度	3.2nm
量測速度	0.1、0.25、0.5、1、10mm/s
主軸真直度	0.5 μ m / 120mm
標準校正物	R=22mm 陶瓷標準球
校正精度(陶瓷標準球)	Pt 小於 0.15 μ m
校正報告	UKAS 英國國家實驗室認證報告

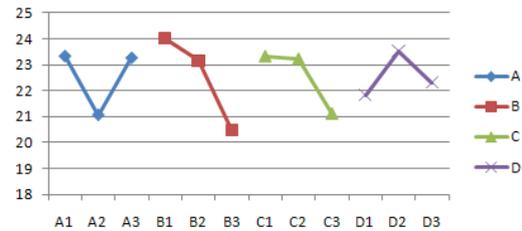
表 5-2 表面輪廓儀規格表

表 5-3 太陽光模擬儀規格表

Model	96000
Simulator Type	Full Spectrum Solar Simulator
Typical Power Output	1.3 suns
Lamp Wattage	150 W
Collimated Output Diameter	1.3 in.
Type	Solar Simulators
Light Ripple	<0.5 % rms
Line Regulation	0.01 %
Lamp Type	Xenon
Approximate Power @ 320 nm	85.0
Approximate Power @ 280 nm	27.0
Approximate Power @ 400 nm	430.0

表 5-4 CAE 模擬田口規劃與最小翹曲參數組合

	水準1	水準2	水準3
塑料溫度(A)	270	285	300
模具溫度(B)	60	80	100
保壓壓力(C)	60%	80%	100%
射出速度(D)	15	30	45



實驗編號	塑料溫度(A)	模具溫度(B)	保壓壓力(C)	射出速度(D)
RUN1	270	60	60%	15
RUN2	270	80	80%	30
RUN3	270	100	100%	45
RUN4	285	60	80%	45
RUN5	285	80	100%	15
RUN6	285	100	60%	30
RUN7	300	60	100%	30
RUN8	300	80	60%	45
RUN9	300	100	80%	15

RUN 10	料溫	模溫	保壓壓力	射速
	A1 (270°C)	B1 (60°C)	C1 (60%)	D2 (30 mm/s)
最小翹曲量 = 0.05528 (mm)				

表 5-5 單一參數法實驗規劃

單一參數法					
料溫 (°C)	270	280	290	300	
模溫 (°C)	60	70	80	90	100
保壓壓力 (%)	60	70	80	90	100
射出速度 (mm/s)	30	50	70	90	

註：橘色為基準組、保壓為充填後壓力值的百分比

表 5-6 最佳化製程田口法-因子水準規劃表

L ₉ (3 ⁴)			
	水準 1	水準 2	水準 3
塑料溫度(A)	270	285	300
模具溫度(B)	60	80	100
保壓壓力(C)	60%	80%	100%
射出速度(D)	30	45	60

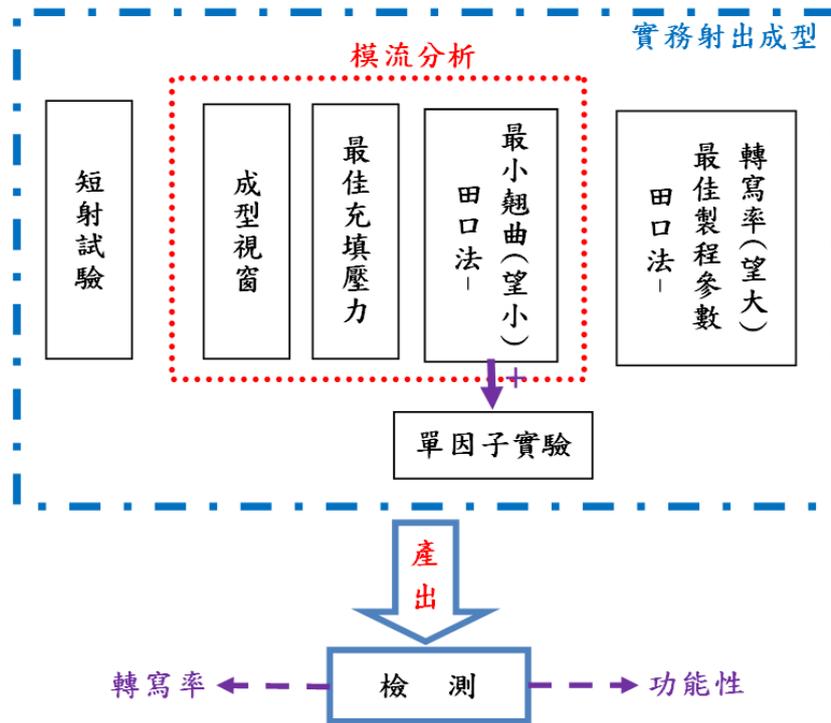


圖 5-1 實驗與檢測規劃流程圖

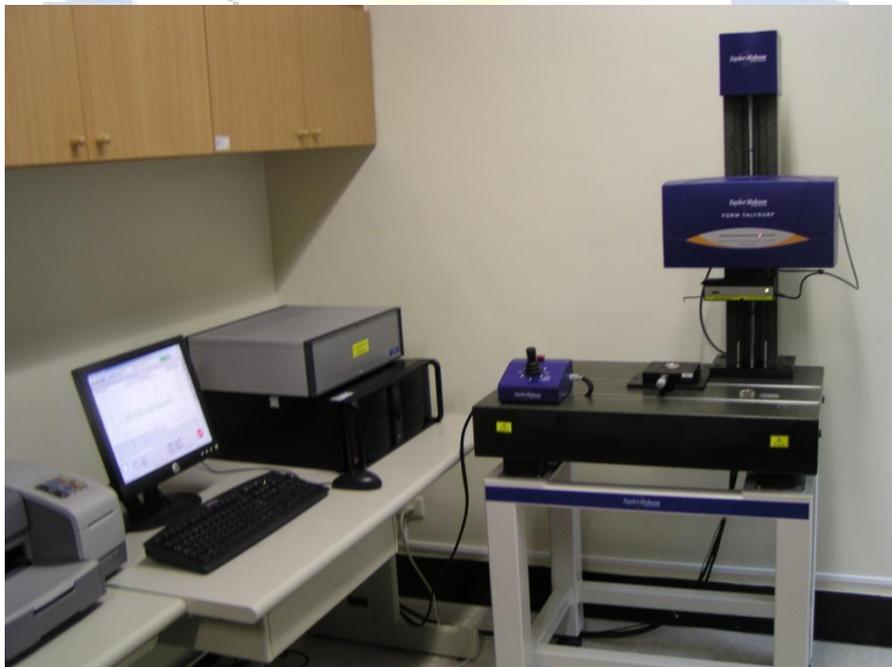


圖 5-2 表面輪廓儀外觀

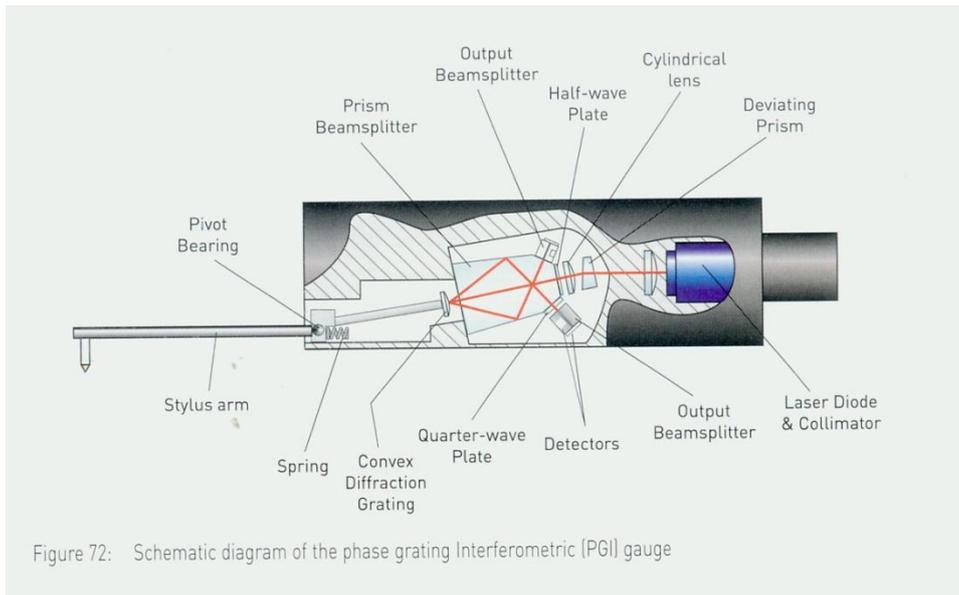


圖 5-3 表面輪廓儀收錄器構造圖



圖 5-4 太陽光模擬儀



圖 5-5 電源電表

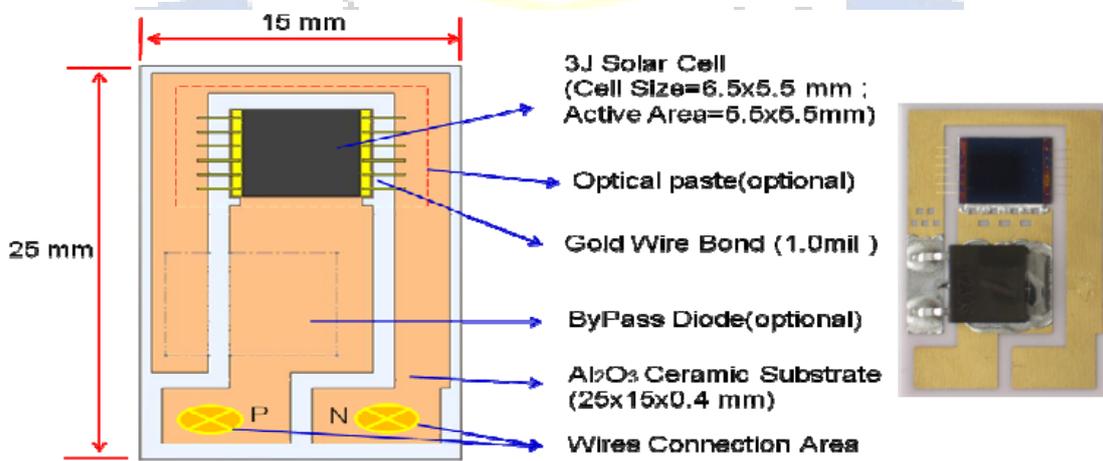


圖 5-6 太陽能電池模組

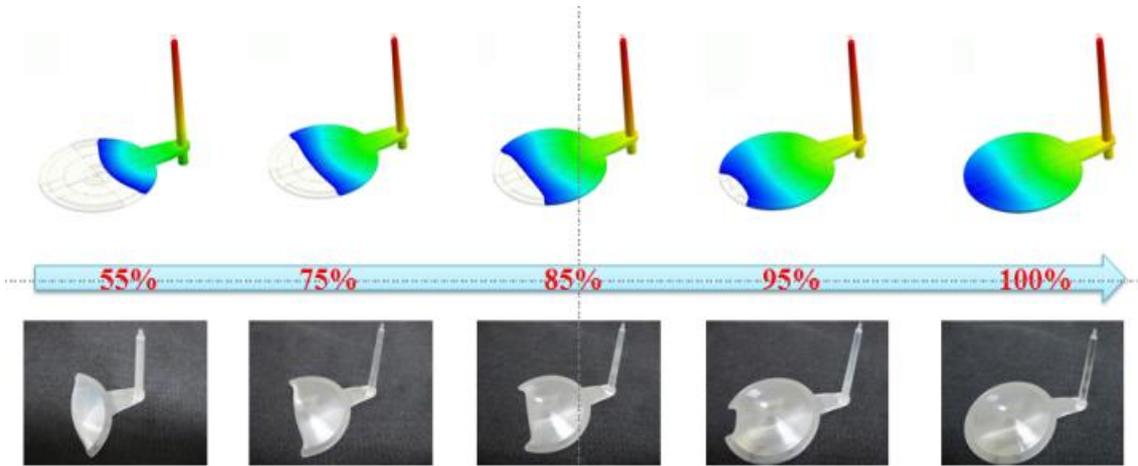


圖 5-7 模擬與實際流動波前比較圖

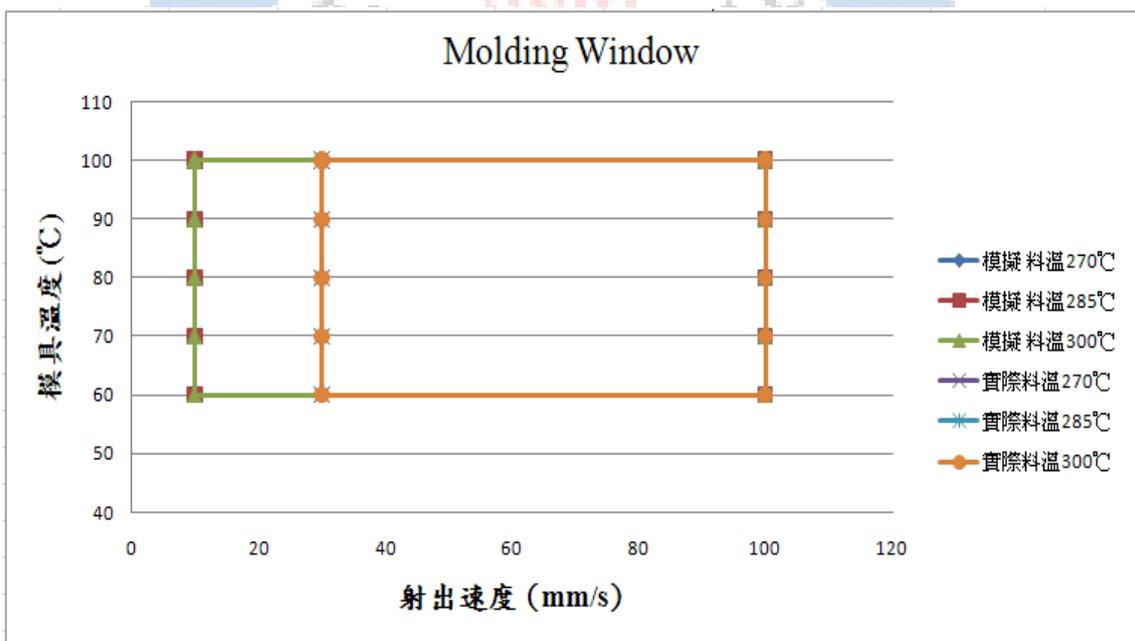


圖 5-8 成型視窗綜合圖

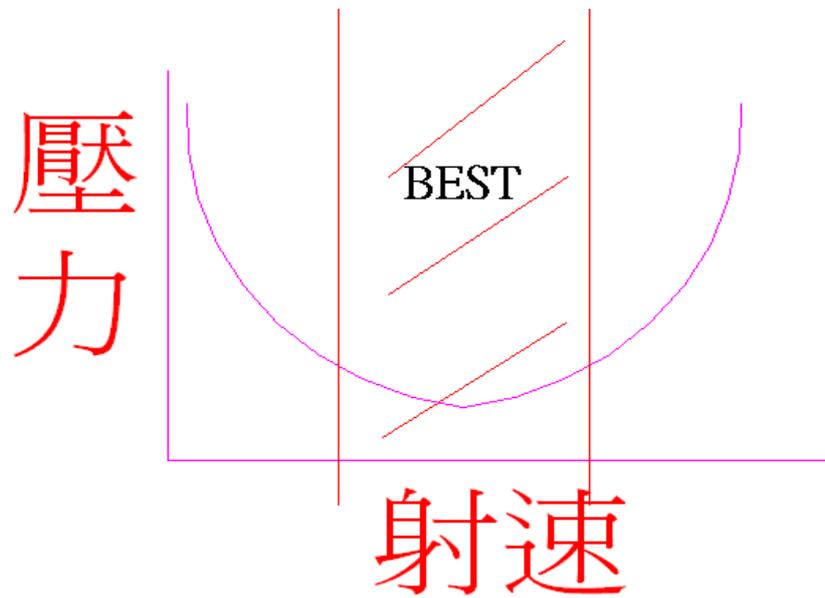


圖 5-9 最佳充填壓力說明示意圖

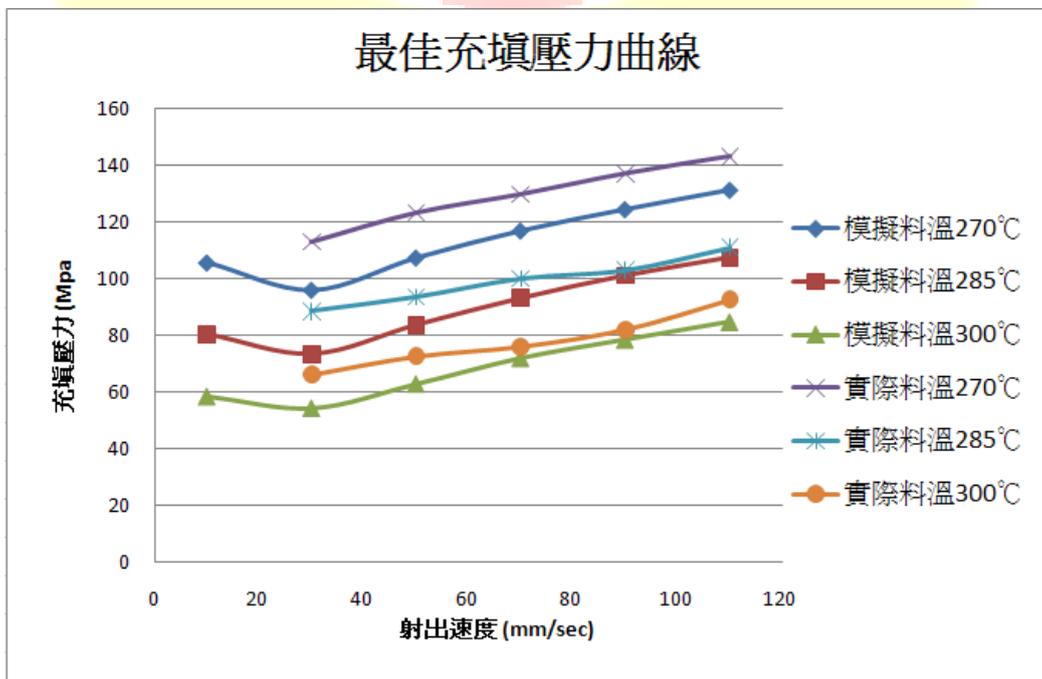


圖 5-10 最佳充填壓力綜合圖

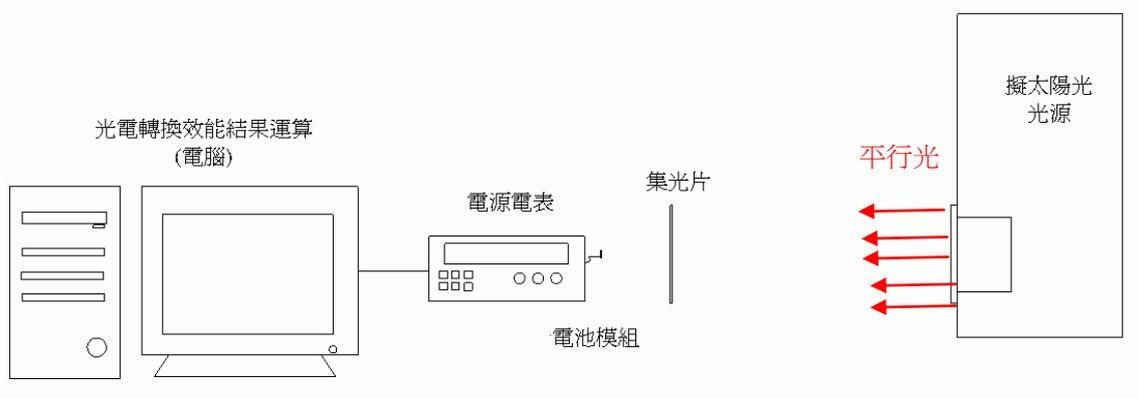


圖 5-11 功能性檢測架構示意圖



第6章 結果與討論

本章節將討論各實驗法所規劃出的成型品經由檢測後的結果顯示，並討論之。其架構先討論單因子實驗的探討，之後再探討最佳化製程參數對成品的關係。

6-1 導光結構量測實驗確認

首先將一集光片進行進澆口端與遠澆口端之導光結構的表面輪廓量測。其主要目的是查看兩者的差異是否很大，若差異很大則往後的單因子、最佳化製程等探討時，就必須取得遠近澆口的導光結構成型狀況。因此擷取遠近澆口端各 15 齒來看轉寫率的情況。由表 6-1 顯示可以看出而遠近澆口的轉寫差異不大，其原因為產品易充填且導光角度夠大的緣故，故往後轉寫率部分將只採取遠澆口的第 1、8、15 齒進行探討。

6-2 單因子實驗法結果探討

單因子實驗在前一章有提到是用模流軟體找出最小翹曲量的製程參數作為基準組，進行固定三個因子，變更一因子方式；其中基準組的參數為料溫 270°C、模溫 60°C、保壓壓力 60%、射速 30mm/s。以下將進行結果探討：

6-2-1 導光結構轉寫率與因子參數探討

➤ 射速對轉寫的影響

固定模溫(60°C)、料溫(270°C)、保壓壓力(60%)，變動射出射度來探討。由表

6-2 可以看出射出速度對轉寫大致上影響不大，只有在射速 90mm/s 時，可能因高速造成剪切生熱，讓後端比較有足夠的時間傳遞壓力，成型轉寫率提高。

➤ 保壓壓力對轉寫影響

固定模溫(60°C)、料溫(270°C)、射出射度 (30mm/s)，變動保壓壓力來探討。由表 6-3 可看出當保壓越高，在熔膠凝固前越有充分的壓力來維持形狀，因此導光結構的轉寫性就越高。

➤ 料溫對轉寫的影響

固定模溫(60°C)、保壓壓力(60%)、射出射度 (30mm/s)，變動料溫來探討。由表 6-4 可看出高料溫時，整體導光結構轉寫率提高，是因為有充足的時間讓壓力傳送到末端，減少收縮變形。

➤ 模溫轉寫的影響

料溫(60°C)、保壓壓力(60%)、射出射度 (30mm/s)，變動模溫來探討。由表 6-5 可看出模溫提高，大部分導光結構轉寫皆在 90%以上，因模溫提高，也會減緩熔膠進入模穴後的冷卻時間，因此整體轉寫都會提升。

6-2-2 單因子與光電檢測探討

光電轉換部份可以得到光電轉換效率與功率比兩個值去探討集光片的效果，以下為單因子實驗所產出的集光片檢測結果，每一參數組合皆各三片集光片進行檢測然後將三片集光片檢測結果取平均值的方式來呈現數據，討論如下：

由表 6-6 至表 6-9 可以看出一個趨勢，無論哪一個因子只要轉寫率提高後，效能接提升，其中光電轉換效率因為直接遷就於太陽能電池本身限制，因此頂多比未加集光片的多 2%左右；至於從功率比部分可以看出大致上都比未加集光片的多

40 多倍以上的功率。

6-2-3 單因子總結

透過單因子的實驗雖然不能得知各因子間的互相關系，但就單一因子而言，經由檢測結果可以讓使用者了解到因子本身對轉寫率與功能性的影響關係。圖 6-1 為綜合 6-2-1 節所提到的轉寫部份，經由表面輪廓儀量測出來的實際成型品結構齒型呈現出來，為了使齒形更加明顯差異，因此各抓每一集光片的充填末端最後一齒來呈現之。從圖中可以看到各因子對成型的變化關係。

6-3 田口法 - 最佳化製程參數

6-3-1 轉寫率(望大) - 最佳製程參數

運用田口法找尋最佳化製程參數，其目標設定為最佳的成型轉寫率，因此必須使用望大特性來尋找最佳參數組合。本文使用 L9 方式，其各因子水準的參數安排如上一章節所示。經由表 6-10 中，Y1~Y3 表示取用的集光片數與其轉寫率值，將這些值計算出 MSD 與 S/N 再帶入因子反應的計算中並繪製成圖，即可得到最佳化製程的參數組合。

從結果中可以看出最佳參數組合為料溫 285°C、模溫 100°C、保壓壓力 80%與射速 30mm/s，此參數組合可讓本文的集光片最外一齒的轉寫率達到 98%左右。另外各因子對轉寫的影響性也可以由表 6-10 中看出，模溫>料溫>保壓>射速，此結果可以了解到要好的成型轉寫，溫度是必然重要的因素，其次是保壓壓力，至於

射速的影響較相較小很多。

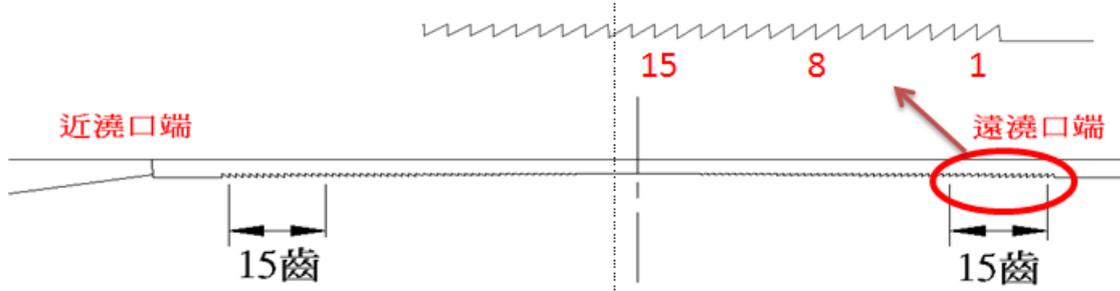
6-3-2 田口法與光電效能

表 6-11 為田口法與最佳化製程參數的光電量測結果。由此表中可以看出運用田口法找尋最佳化至成是非常有效的方式，最佳化的結果因轉寫非常完整，因此光電效能提升至 15.7%，而功率比未加集光片多了約 54 倍的功率值。

6-3-3 田口法總結

運用田口法卻時可以節省實驗的數量，用最有效的方式來找尋到目標值。圖 6-2 為本文的田口實驗轉寫與光電之間的關係，圖中可以看出轉寫率越高，其光電效能也越高。因此可以得知，運用製程最佳化條件可讓導光結構成型的越完整，其齒型外觀將可越接近設計的理想目標值。

表 6-1 遠近澆口轉寫率情況



	1	2	3	4	5	6	7	8
近澆口	95.6%	96.3%	95.8%	95.7%	95.4%	96.2%	95.7%	96.3%
遠澆口	93.4%	93.7%	94.5%	95.1%	95.3%	95.8%	94.9%	95.4%
	9	10	11	12	13	14	15	
近澆口	95.9%	96.2%	95.7%	96.1%	95.8%	95.3%	95.5%	
遠澆口	95.9%	95.6%	95.7%	95.6%	95.3%	95.1%	95.8%	

表 6-2 射速對轉寫的影響

射速對轉寫率%			
	第 1 齒	第 8 齒	第 15 齒
基準組 (30mm/s)	80.2%	92.5%	90.0%
50mm/s	77.1%	93.8%	89.0%
70mm/s	88.5%	94.4%	88.8%
90mm/s	90.3%	93.4%	91.0%

表 6-3 保壓壓力對轉寫影響

保壓壓力對轉寫率%			
	第 1 齒	第 8 齒	第 15 齒
基準組 (60%)	80.2%	92.5%	90.0%
70&	80.8%	90.7%	89.8%
80&	85.2%	93.7%	91.4%
90&	94.3%	95.9%	92.0%
100&	96.2%	90.7%	91.7%

表 6-4 料溫對轉寫的影響

料溫對轉寫率%	第 1 齒	第 8 齒	第 15 齒
基準組 (270°C)	80.2%	92.5%	90.0%
280	93.4%	89.9%	89.8%
290	95.5%	93.9%	91.9%
300	95.2%	95.2%	92.4%

表 6-5 模溫對轉寫的影響

模溫對轉寫率%	第 1 齒	第 8 齒	第 15 齒
基準組 (60°C)	80.2%	92.5%	90.0%
70	91.4%	93.5%	90.8%
80	91.7%	92.0%	94.2%
90	93.2%	92.1%	89.7%
100	94.8%	94.8%	89.7%

表 6-6 射速對光電轉換的影響

射速 對 光電效率	光電轉換效率(η)	功率值 (Pm)	功率比
未加集光片	13.67%	4.14	1.00
基準組 (30mm/s)	15.30%	187.88	45.41
50mm/s	15.30%	182.27	44.05
70mm/s	15.40%	187.53	45.32
90mm/s	15.60%	222.64	53.81

表 6-7 保壓對光電轉換的影響

保壓 對 光電效率			
	光電轉換效率(η)	功率值 (Pm)	功率比
未加集光片	13.67%	4.14	1.00
基準組 (60%)	15.30%	187.88	45.41
70%	15.30%	205.14	49.58
80%	15.50%	206.38	49.88
90%	15.60%	200.57	48.48
100%	15.70%	211.18	51.04

表 6-8 料溫對光電轉換的影響

料溫 對 光電效率			
	光電轉換效率(η)	功率值 (Pm)	功率比
未加集光片	13.67%	4.14	1.00
基準組 (270°C)	15.30%	187.88	45.41
280°C	15.60%	205.17	49.59
290°C	15.70%	210.47	50.87
300°C	15.80%	211.17	51.04

表 6-9 模溫對光電轉換的影響

模溫 對 光電效率			
	光電轉換效率(η)	功率值 (Pm)	功率比
未加集光片	13.67%	4.14	1.00
基準組 (60°C)	15.30%	187.88	45.41
70°C	15.60%	204.25	49.36
80°C	15.60%	206.30	49.86
90°C	15.60%	206.95	50.02
100°C	15.70%	210.51	50.88

表 6-10 最佳化製程參數

實驗編號	塑料溫度 (A)	模具溫度 (B)	保壓壓力 (C)	射出速度 (D)	y1	y2	y3	MSD	S/N
RUN1	270	60	60%	30	87.309	87.158	88.432	0.00013023	38.853
RUN2	270	80	80%	45	97.415	94.805	92.044	0.00011156	39.525
RUN3	270	100	100%	60	97.870	95.503	94.532	0.00010865	39.640
RUN4	285	60	80%	60	97.476	92.833	91.801	0.00011331	39.457
RUN5	285	80	100%	30	97.536	99.995	98.781	0.00010254	39.891
RUN6	285	100	60%	45	94.168	96.535	97.719	0.00010827	39.655
RUN7	300	60	100%	45	92.620	96.656	88.675	0.00011693	39.321
RUN8	300	80	60%	60	95.685	98.113	90.648	0.00011160	39.523
RUN9	300	100	80%	30	99.448	98.447	98.750	0.00010228	39.902
								AVE.	39.530
RUN 10	285	100	80%	30	98.2345	99.9643	99.7822	0.00010138	39.941

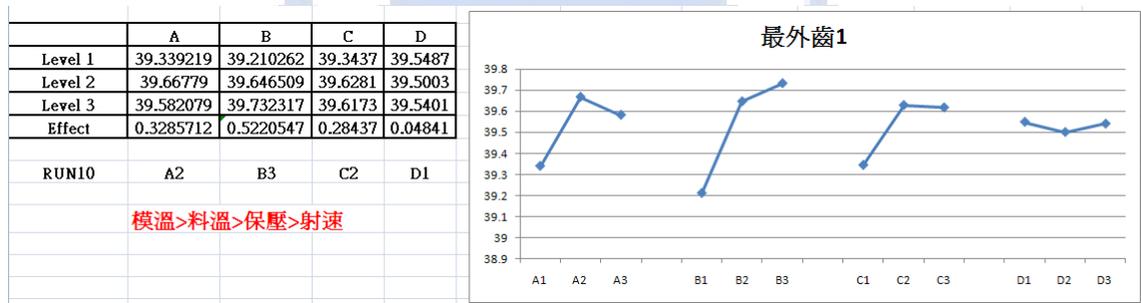


表 6-11 田口法-光電轉換效能表

實驗編號	塑料溫度 (A)	模具溫度 (B)	保壓壓力 (C)	射出速度 (D)	光電效率 (η)	功率值	功率比
未加集光片	-	-	-	-	13.67%	4.14	1.00
RUN1	270	60	60%	30	15.87%	166.33	40.20
RUN2	270	80	80%	45	15.28%	173.52	41.94
RUN3	270	100	100%	60	15.63%	221.27	53.48
RUN4	285	60	80%	60	15.49%	186.23	45.01
RUN5	285	80	100%	30	15.44%	187.77	45.38
RUN6	285	100	60%	45	15.23%	202.82	49.02
RUN7	300	60	100%	45	15.55%	209.13	50.54
RUN8	300	80	60%	60	15.48%	210.27	50.82
RUN9	300	100	80%	30	15.21%	208.20	50.32
RUN 10	285	100	80%	30	15.73%	222.86	53.86

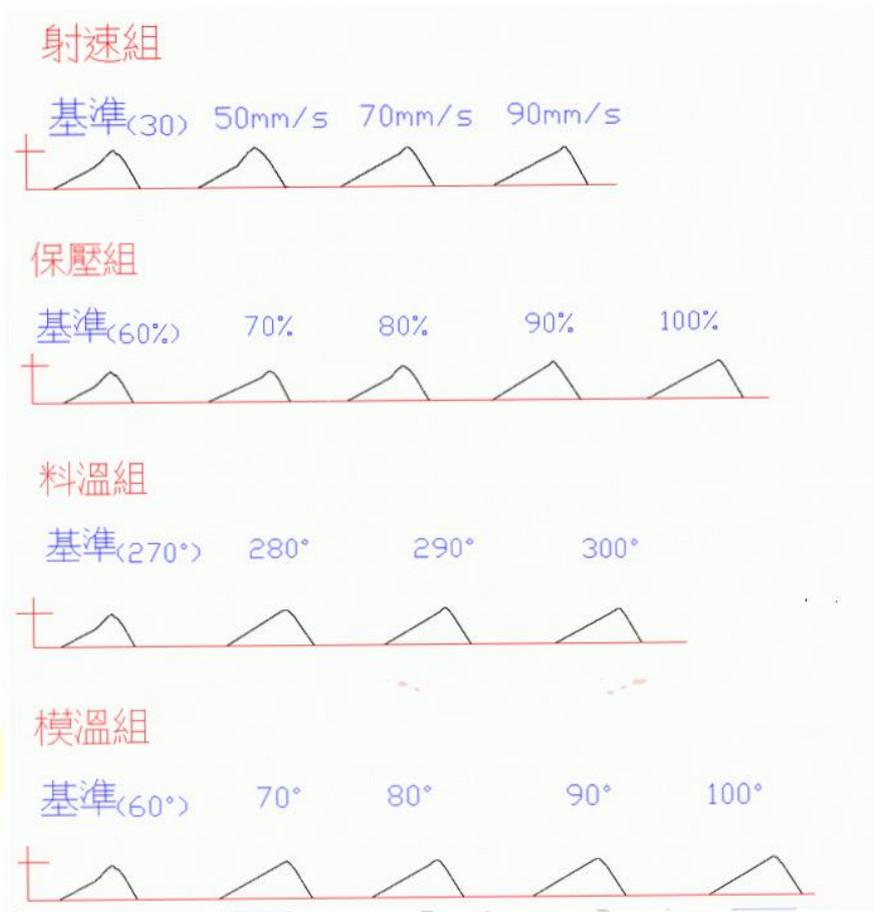


圖 6-1 單因子實驗-實際成型量測結果圖

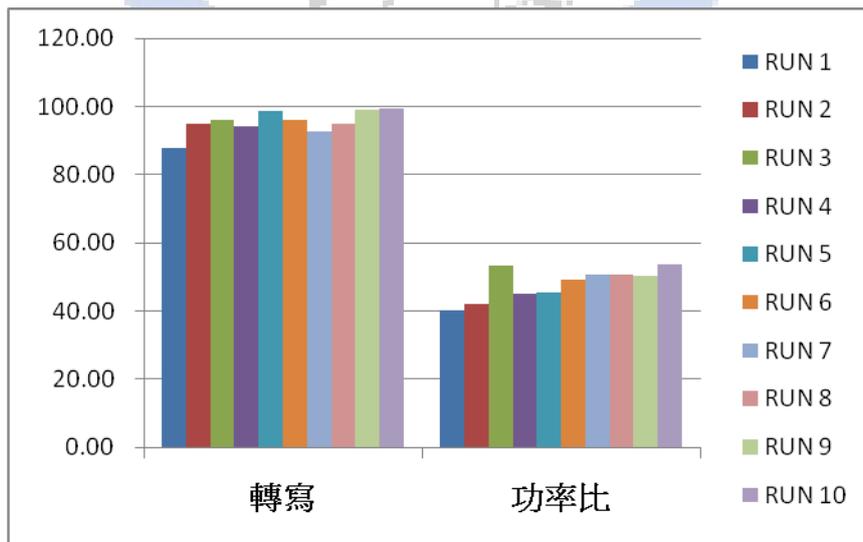


圖 6-2 田口法-轉寫與光電效能比較圖

第7章 結論與未來展望

7-1 結論

1. 太陽能集光片藉由非球面方式設計，可在短焦距發揮作用，由其是利用等間距切割方式，在外圍的導光結構角度與深度形成差距，此法會比用球面來的角度大、深度淺。當角度越尖、深度越深將帶來的缺點有模仁加工問題與射出成型問題。
2. 菲涅爾集光片環數的切割多寡，多少會影響效能結果，若環數過多易產生更多的光柵現象，反而造成反效果，且可能超出模仁加工機台與刀具的加工極限。
3. 集光片的光學設計、模具開發和射出成型是相互緊密關聯著。要容易脫模就需添加脫模角，但影響光學。光學成效要好，模仁加工精度要高，成型製程條件要佳，三者關係並重。
4. 實驗與實作規劃方面，可以借重 CAE 模流軟體的運算能力，讓射出成型前可預測成型狀況與重要的參數資訊，並將此資訊與成型時的狀況做比對、驗證。
5. 運用田口法找尋最佳化製程參數，結果顯示影響導光結構轉寫性的重要因子為模具溫度、塑料溫度與保壓壓力，其中又以模具溫度為重。從此資訊中可以得知良好的轉寫需搭配足夠的溫度與適當的保壓壓力來讓融熔塑料有足夠時間來傳遞壓力至充填末端。
6. 由於表面輪廓儀探針，針對此類型產品在量測時，會有量測不到的死角處，因此本文首先找出探針量測原理後，針對此原理進行轉寫率的定義，希望能

較接近實際成形狀況的轉寫率，其運用結果顯示此方法是可以把誤差值降至較小，並執行換算成型品轉寫率。

7. 光電效能檢測部份，通常如果使用充填因子(FF)或光電轉換效率(η)來表示的話會有一盲點，主要是因為此兩項指標是針對太陽能電池本身的效能情況來表示之。但每一太陽能電池有本身的極限，因此可能換算後的值高到一定程度後會呈現穩定狀態或降低。故如果就集光片本身的設計效能情況，可用量測後產生的功率比來看，就本文最佳製程參數所產出的集光片的功率比約等於五十四，此結果表示在相同功率下，只需用一太陽能電池模組與一集光片，其效能等於使用了五十四的太陽能電池模組的效能。因此對昂貴的太陽能電池而言，就可以降低很多成本花費。
8. 轉寫率越高時，表示導光結構成型的越完整，功能性檢測結果顯示其值越好。

7-2 未來展望

就現在全球的能源越來越匱乏，若能善加利用與提升太陽能的使用率與效能的話，將會是一福音。針對集光片的開發仍是遷就於光學設計、模具與成型。因此未來除了可設計更佳的集光片，增加更廣的太陽光入射容忍角、讓焦點更小以降低太陽電池的單位面積，並搭配適當的追日系統將可成有效率的太陽能系統。

或許這領域無論是開發設計端或是產品化，其實已經非常多樣，但只要集光片尺寸越做越大，其模具開發、成型端將會是一挑戰的難題。另外集光片亦可微型化，可運用在日常隨身電器品中或充電器上來提升效能，讓太陽能使用更加落實於生活中。

參考文獻

- [1]. National Geographic, "Megastructures – solar engine", (2009)
- [2]. Fresnel technologies inc., "Fresnel Lenses", (2003)
- [3]. 王永仲, "菲涅爾透鏡光路的解析計算", 光學儀器 1992 年第 14 卷第 4 期。
- [4]. J.C.Minano and J.C.Gonzalez, "New method of design of nonimaging concentrators", *Appl.Opt.*31,3051-3060, (1992)
- [5]. M. F. Piszczor, Jr., M. J. O'Neill and L. M. Fraas, "a novel space photovoltaic module using a line Fresnel lens and a line-focus tandem cell receiver", 0-7803-1220-1/ IEEE, (1993)
- [6]. K.Yoshioka, K.Endoh, M.Kobayashi, A.Suzuki and T.Saitoh, "Design and properties of refractive static concentrator modules", *Sol.Energy Mater.Sol.Cells*,34,125-131, (1994)
- [7]. G.G. Yaralloglu, A. Atalar, and H. Koymen, "Fresnel lamb wave and V-groove lens with tunable mode selectivity", 0-7803-2940-6, IEEE, (1995)
- [8]. Ralf LEUTZ, Akio SUZUKI, Atsushi Akisawa, Takao Kashiwagi, "Design of a nonimaging Fresnel lens for solar concentrators", *Solar energy*,65(6):379-387 (1999)
- [9]. Ralf LEUTZ, Akio SUZUKI, Atsushi Akisawa, Takao Kashiwagi, "Shaped nonimaging Fresnel lens", 2000 *J.Opt. A:Pure Appl.Opt.*2 112-116, (2000)
- [10]. 駱志龍, 2001, *Fresnel 透鏡設計及應用*, 國立中央大學, 碩士論文

- [11].M. J. O'Neill , M. F. Piszczor, M. I. Eskenazi , A.J. McDanal, P. J. George, M. M. Botke, H. W. Brandhorst, D. L. Edwards, D.T. Hoppe,” Ultra-light stretched Fresnel lens solar concentrator for space power applications” Paper No. 5179-17 , SPIE , (2003)
- [12].Fresnel Technologies, Inc.,” FRESNEL LENS”, (2003)
- [13].V.M. Andreev, A.S. Vlasov, V.P. Khvostikov, O.A. Khvostikova, P.Y. Gazaryan, N.A. Sadchikov, V.D. Rumyantsev ,” Solar thermophotovoltaic converter with Fresnel lens and GaSb cells”, 1-4244-0016-3/06,IEEE, (2006)
- [14].Arthur Davis、Frank Kühnlentz ,” Optical design using fresnel lens basic Principles and some Practical Examples” , Optik-photonik.de ,(2007)
- [15].葉上平、張正陽、伍茂仁，2007，” 用於 III-V 族太陽能電池之高效率且均勻化聚光鏡之研究”，國立中央大學，碩士論文
- [16].葉乃嘉，2007，”曲面式 Fresnel 透鏡太陽能集光器之幾何光學模式”，明道學術論壇，3 卷 1 期，P.33-P.49
- [17].莊榮翰、吳俊琪，2008，”太陽追蹤器之設計與測試”，國立中央大學，碩士論文
- [18].陳依伸，2009，”太陽能聚焦用菲尼爾透鏡表面結構設計”，國立成功大學，碩士論文
- [19].林苡任，2009，”菲涅爾透鏡(Fresnel lens)之光學設計與精密成型”，國立高雄應用科技大學，碩士論文
- [20].M. S. Despa , K.W. Kelly and J. R. Collier ,” Injection Molding of polymeric LIGA HARMS”, Microsystem Technologies , v6,n2,p60~66, (1999)

- [21].陳和成，2004，”透鏡非球面係數之分析與優化”，國立台灣科技大學，碩士論文
- [22].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
- [23].王建智，2008，”中尺寸導光板光學設計與製程參數最佳化研究”，羅一高雄應用科技大學，碩士論文
- [24].Mcgraw Hill，”Optical System Design “，2000
- [25].林宸生、陳德請，”近代光電工程”，全華圖書股份有限公司，2001
- [26].張永彥，”塑膠模具設計學，全華圖書股份有限公司，2007
- [27].李輝煌，”田口方法品質設計的原理與實物”，高立圖書有限公司，2005
- [28].Lambda Research Corporation，”Trace Pro user handbook”，2002
- [29].黃俊欽，”塑膠射出模具射出實物-講義”，2009
- [30].Moldflow，”User handbook”
- [31].台灣三注股份有限公司，”塑膠膜居用標準零件購買指南”，2007

作者簡介

姓名：施耀竣

生日：75/04/11

性別：男

E-mail：kec20020411@hotmail.com



求學經歷：

97/09~99/06 國立高雄應用科技大學 模具工程所 碩士

93/09~96/06 國立屏東科技大學 機械工程系 學士

論文與專題：

太陽能集光器效能設計與模具開發之研究 (研究所論文)

特定功能輪椅之研究開發 (大學專題)

附件一 集光片模具加工圖

