

超音波輔助光學玻璃(微)熱壓成形之研究

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 97-2221-E-009-017-MY3

執行期間：97年8月1日至100年7月31日

執行機構及系所：國立交通大學 機械工程學系(所)

計畫主持人：洪景華

共同主持人：

計畫參與人員：蔡彥彬、曾煌基、江銘傑

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本計畫除繳交成果報告外，另須繳交以下出國心得報告：

赴國外出差或研習心得報告

赴大陸地區出差或研習心得報告

出席國際學術會議心得報告

國際合作研究計畫國外研究報告

處理方式：除列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

中華民國 100 年 10 月 28 日

中文摘要

玻璃熱壓成形技術是玻璃光學元件重要的製程方式，近年來由於玻璃熱壓成形技術的蓬勃發展，更是向下延伸為玻璃微結構熱壓成形技術，大幅降低了玻璃微光學元件製程成本。而超音波振動輔助已經廣泛應用於塑性加工，藉由摩擦力的改變、材料溫度升高等現象，使得材料成形性提高，提昇加工精度及降低成本。因此本研究結合超音波輔助應用於玻璃熱壓成形製程中，利用超音波對玻璃材料性質的改變，提升成形的效能與成品的品質，並延伸玻璃熱壓成形技術的應用。

研究中針對超音波輔助玻璃熱壓成形製程，首先對製程機台進行開發，使傳統玻璃熱成形技術中，可加入超音波振動之輔助成形。先修改已有的玻璃熱壓成形設備，增加升溫效能；並利用加熱實驗配合有限元素分析，建立升溫後超音波放大器之模態分析模型，使修改後之設備具有初步超音波輔助玻璃熱壓成形之能力。再針對製程限制以及製程需求，改良設計一新型之超音波輔助玻璃熱壓成形機台，增加了紅外線加熱燈管的壽命，且具有準確量測真空加熱爐中玻璃成形力等功能，使新型機台可用於更高精度之實驗。接著利用建立之機台進行超音波輔助玻璃熱成形，於平面熱壓實驗中，證明玻璃材料受超音波振動後會發生軟化。再分別使用 V 溝、圓孔陣列與 Fresnel 結構之模仁，嘗試成形具複雜結構之玻璃元件，測試超音波使玻璃材料流動性增加的特性，探討對製程參數及成品所產生的效應。最後考慮光學元件於未來可能之應用，以及綠色能源發展趨勢，進行以 Fresnel 結構作為太陽能發電集光器之先期研究，建立光學設計、最佳化與實驗檢測流程，以期於後續研究中可利用玻璃材料之優異性質，製作具有實用性之太陽能集光器。

關鍵字：超音波振動、玻璃熱壓成形、V 溝、Fresnel 結構

英文摘要

Glass hot embossing technique is important in manufacturing glass optical elements. With the vigorous developments, the process was extended to micro structure hot embossing process, and substantially lowered the cost to produce glass micro optical elements. Ultrasonic vibration-assisted forming was extensively adopted in plastic manufacturing processes. With the effects of changing the frictional condition and raising the material temperature, the material formability is increased, the forming accuracy is improved and the cost is reduced. Thus, this research combined the ultrasonic vibration-assisted forming and the glass hot embossing process. The effect of changing material properties caused by ultrasonic vibration was applied to improve the forming efficiency and the product quality, and stretched the applications of glass hot embossing technique.

In this research, the apparatus for the ultrasonic vibration-assisted glass hot embossing process was firstly developed, so the function of ultrasonic vibration-assisted forming can be applied in traditional glass hot embossing process. An existing apparatus for traditional glass hot embossing process was modified to improve the heating efficiency; with the finite elements analysis and verification experiments, a modal analysis model for high temperature ultrasonic horn was built. Thus the modified apparatus could provide preliminary function for ultrasonic vibration-assisted glass hot embossing process. Due to the operation limit in the existing apparatus and the requirements in future process, a new apparatus was developed. The life time of the infrared heaters were extended, and the embossing force in the vacuumed heating chamber can be measures precisely, so experiments with higher accuracy can be performed in this new apparatus. Next, the ultrasonic vibration-assisted glass hot embossing processes were held by these apparatuses. In the flat mold hot embossing experiments, the result proved that the material was softened by the application of ultrasonic vibration. Then V-groove structure, holes array and Fresnel structure molds were used to form glass elements with complex shapes, and the effects caused by the increasing flow with the application of ultrasonic vibration were discussed with the process parameters and the formed products. Finally, for the future applications of optical elements and the developing trend in green energy, a preliminary study was performed on using Fresnel structure as concentrator design in solar cell. The procedure of optical design, optimization and verification experiments were built, hence the excellent properties of glass material can be used in the future work to produce practical solar concentrators.

Key words: ultrasonic vibration, glass hot embossing process, V-groove, Fresnel structure

目錄

1 前言	1
1.1 玻璃熱壓成形.....	2
1.2 超音波輔助成形.....	7
1.3 太陽能集光器.....	9
2 研究目的	15
3 研究方法	15
4 結果與討論	15
4.1 超音波輔助玻璃熱壓成形設備之開發.....	16
4.1.1 已有機台之改良.....	16
4.1.2 高溫超音波放大器.....	16
4.1.3 新型超音波輔助玻璃熱壓成形設備.....	17
4.2 超音波輔助玻璃熱壓成形.....	28
4.2.1 平面熱壓.....	29
4.2.2 V 溝結構熱壓成形.....	29
4.2.3 透鏡陣列熱壓成形.....	30
4.2.4 Fresnel 結構熱壓成形.....	30
4.3 太陽能集光器之設計.....	49
4.3.1 Fresnel 結構太陽能集光器之設計.....	49
4.3.2 實驗驗證.....	51
4.4 結論.....	58
5 參考文獻.....	59
6 國科會補助專題研究計畫成果報告自評表.....	62
7 國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表.....	63

圖目錄

圖 1.1 玻璃熱壓成形技術示意圖.....	2
圖 1.2 熱壓成形技術溫度—時間關係圖.....	2
圖 1.3 熱壓設備外觀圖.....	4
圖 1.4 殘留應力檢測結果(圖中所標示為持壓時間(sec)).....	5
圖 1.5 商用預型體(玻璃球).....	5
圖 1.6 透鏡成品之表面品質檢測結果(三維表面輪廓結構圖).....	5
圖 1.7 模仁完成圖.....	6
圖 1.8 模具補償最佳化流程.....	6
圖 1.9 第二代紅外線真空加熱爐外觀圖.....	7
圖 1.10 第二代實驗裝置初步實驗成品.....	7
圖 1.11 超音波加工原理示意圖.....	9
圖 1.12 複合式太陽能集光器設計.....	10
圖 1.13 Rice 之集光器設計.....	11
圖 1.14 Northrup Jr.之集光器設計.....	11
圖 1.15 O'Neill 之集光器設計.....	11
圖 1.16 Sletten 之集光器設計.....	12
圖 1.17 O'Neill 之集光器設計.....	12
圖 1.18 Appeldorn 之集光器設計.....	12
圖 1.19 O'Neill 之集光器設計.....	13
圖 1.20 O'Neill 之集光器設計.....	13
圖 1.21 Johnson 之集光器設計.....	13
圖 1.22 Jebens 之集光器設計.....	14
圖 1.23 Olah 之集光器設計.....	14
圖 1.24 Chen 之集光器設計.....	14
圖 1.25 Domingues 之集光器設計.....	15
圖 4.1 第二代玻璃熱壓成形設備.....	19
圖 4.2 環形紅外線加熱燈管之架設.....	20
圖 4.3 紅外線燈管加熱裝置設計與實體.....	20
圖 4.4 上下模座之設計.....	20
圖 4.5 第二段放大器之設計尺寸.....	21
圖 4.6 常溫第二段放大器之溫度分布.....	21
圖 4.7 共振頻率與溫度關係.....	22
圖 4.8 真空加熱爐體之設計圖.....	22
圖 4.9 真空腔體與心軸之設計圖.....	22
圖 4.10 荷重元裝配示意圖.....	23
圖 4.11 紅外線加熱模組之設計圖.....	23
圖 4.12 紅外線與真空腔體組合圖.....	23
圖 4.13 紅外線加熱燈管.....	23

圖 4.14 熱電偶 (K-type).....	24
圖 4.15 溫度控制器.....	24
圖 4.16 真空幫浦.....	24
圖 4.17 氮氣鋼瓶.....	24
圖 4.18 真空度計.....	25
圖 4.19 模仁夾持具設計.....	25
圖 4.20 35 kHz 頻率產生器.....	25
圖 4.21 35 kHz 超音波換能器與聚能器.....	26
圖 4.22 冷卻器設計.....	26
圖 4.23 冰水機.....	26
圖 4.24 新型超音波玻璃熱壓成形設備.....	27
圖 4.25 K-PSK100 光學玻璃試片.....	27
圖 4.26 平面壓縮實驗結果之荷重-位移關係.....	28
圖 4.27 超音波輔助玻璃熱壓成形實驗流程.....	32
圖 4.28 超音波輔助玻璃熱壓成形實驗之歷程.....	32
圖 4.29 平面模仁.....	32
圖 4.30 超音波輔助平面熱壓成形之荷重-位移關係.....	33
圖 4.31 V 溝結構模仁尺寸設計.....	33
圖 4.32 V 溝結構模仁成品.....	34
圖 4.33 V 溝結構模仁量測結果.....	34
圖 4.34 V 溝結構熱壓成品 V1-ultra 及 V1.....	35
圖 4.35 V 溝結構熱壓成品 V2-ultra 及 V2.....	35
圖 4.36 V 溝結構熱壓成品 V3-ultra 及 V3.....	35
圖 4.37 V1-ultra 輪廓量測.....	36
圖 4.38 V1 輪廓量測.....	36
圖 4.39 V2-ultra 輪廓量測.....	37
圖 4.40 V2 輪廓量測.....	37
圖 4.41 V3-ultra 輪廓量測.....	38
圖 4.42 V3 輪廓量測.....	38
圖 4.43 圓孔陣列結構模具.....	39
圖 4.44 Array1 圓孔量測.....	39
圖 4.45 Array2 圓孔量測.....	39
圖 4.46 透鏡陣列成品.....	40
圖 4.47 雷射結構量測儀器.....	40
圖 4.48 透鏡陣列輪廓量測.....	41
圖 4.49 透鏡陣列輪廓量測.....	41
圖 4.50 Fresnel 結構模仁尺寸設計.....	42
圖 4.51 鎳鈷電鑄之母模.....	42
圖 4.52 鎳鈷電鑄模仁.....	42
圖 4.53 電鑄母模量測結果(1).....	43

圖 4.54 電鑄母模量測結果(2).....	44
圖 4.55 Fresnel 結構模仁量測結果(1).....	44
圖 4.56 Fresnel 結構模仁量測結果(2).....	45
圖 4.57 Fresnel 結構模仁量測結果(3).....	45
圖 4.58 Fresnel 溝結構熱壓成品 F1-ultra 及 F1.....	47
圖 4.59 Fresnel 溝結構熱壓成品 F2-ultra 及 F2.....	47
圖 4.60 Fresnel 溝結構熱壓成品 F3-ultra 及 F3.....	47
圖 4.61 齒高量測結果(1).....	48
圖 4.62 齒高量測結果(2).....	48
圖 4.63 齒高量測結果(3).....	48
圖 4.64 ASTM G-173-03 太陽光譜[53]	52
圖 4.65 最長波長之折射光線目標區域.....	52
圖 4.66 Fresnel 透鏡之稜鏡設計	52
圖 4.67 Fresnel 透鏡之幾何模型	53
圖 4.68 太陽能集光器光學模擬之配置.....	53
圖 4.69 輻射通量分布.....	53
圖 4.70 截面輻射通量分布.....	54
圖 4.71 最佳化後輻射通量分布.....	54
圖 4.72 最佳化後截面輻射通量分布.....	54
圖 4.73 初始設計與最佳化後之 Fresnel 透鏡.....	55
圖 4.74 雙界面 III-V 族太陽能電池及其量子效率	55
圖 4.75 太陽能聚光實驗支架.....	56
圖 4.76 太陽能電池表面光形 (a)初始設計之 Fresnel 透鏡聚光(b)最佳化設計之 Fresnel 透鏡聚光(c)直 接入射.....	56
圖 4.77 太陽光模擬器.....	56
圖 4.78 太陽能電池 I-V 曲線	57
圖 4.79 太陽能電池 P-V 曲線.....	58

表目錄

表 4.1 超音波熱壓成形機之規格.....	19
表 4.2 A、B 與 C 點之模擬與溫度比較.....	21
表 4.3 K-PSK100 光學玻璃材料性質表	27
表 4.4 平面熱壓實驗溫度參數.....	28
表 4.5 超音波輔助平面熱壓成形參數.....	33
表 4.6 V 溝結構熱壓成形實驗參數與量測結果.....	34
表 4.7 圓孔陣列結構模具之設計尺寸.....	39
表 4.8 透鏡陣列熱壓成形實驗參數.....	40
表 4.9 雷射位移感測器規格.....	40
表 4.10 透鏡陣列之高度.....	41
表 4.11 側邊中央直徑量測結果.....	42
表 4.12 Fresnel 模仁齒高設計與量測值.....	43
表 4.13 鎳鈷合金耐熱實驗結果.....	46
表 4.14 Fresnel 結構熱壓成形參數.....	46
表 4.15 雙接面 III-V 族太陽能電池規格	55
表 4.16 太陽能電池 I-V 參數.....	57

1 前言

近年來由於數位科技的發展，3C 產業快速成長，全球數位產品的需求量大增，應用於其中之光學元件供應量不足的窘境在此時即被凸顯出來；再加上目前國內亟欲提升產業技術，在此關鍵元件的成形製程上，更增添了高精度的要求。所以如何增進光學元件的產量及成形精度成為目前產學界積極研究的重點之一。

傳統光學元件以透鏡為例，在相機鏡頭、顯微鏡頭等皆具有廣泛的應用；而現今積極發展的微結構光學元件，具有體積小、重量輕、可陣列化等優點，可應用在光纖通訊、光資料儲存、顯示器、生物晶片以及太陽能集光器等。而光學元件所使用的材料可分為光學玻璃與高分子材料兩大類，在成形性及可撓性方面，高分子材料具有較佳的特性，但在光學性質、抗磨耗、耐熱性以及抗潮濕方面，玻璃仍舊有其優勢存在。所以在要求高精密度的光學儀器設備中，玻璃材料仍保有高分子材料無法完全取代的優勢，因此玻璃材料是製造光學元件的理想選擇。

在玻璃光學元件的製造技術方面，傳統光學玻璃球面及非球面鏡片藉由研磨、拋光加工成形，但耗時耗工，無法應付目前日益增大的產量需求，且無法成形微光學元件；近年來有以單點鑽石 (Single Point Diamond) 為刀具，對玻璃進行超精密加工，即在成形機完成玻璃球面鏡片或是光學微結構；然而超精密成形機的設備費用昂貴，且刀具成本高，目前尚未被廣用於光學元件的加工。玻璃熱壓成形技術，如圖 1.1 及圖 1.2 所示，具有材料流動距離短、成形精度高、設備簡單等特性，任何一種製程所製作出來的模仁，包括球面透鏡、非球面透鏡等元件，皆能經由熱壓成形技術來達到批量複製的目的，因此被認為是光學元件製造中可用以降低成本，提高產量之關鍵技術。將玻璃熱壓成形技術再向下之延伸則為玻璃微熱壓成形技術。過去由於製造技術上的限制，微光學元件多使用高分子做為材料，且元件成品的操作環境亦因材料先天上的劣勢多有所侷限；現今則可透過玻璃微熱壓成形技術，採用相較於高分子材料更能應付惡劣環境的玻璃材料來製作微光學元件。且隨著元件精度要求的提高，微結構在熱壓成形製程中之填充性扮演了關鍵角色。

近來應用超音波振動於塑性成形之複合加工技術逐漸受到重視。由於超音波振動於塑性加工成形時會產生一些效應，如摩擦力的改變、材料溫度升高、材料塑流應力降低的效應及成形回彈量的降低現象，使得材料成形性獲得提高，達成傳統塑性加工無法達到之加工成形界限。一般超音波能量於工業上的應用有：超音波切削、超音波研磨、超音波熔接、超音波洗淨等應用。因而若將超音波振動應用於玻璃熱壓成形中，可預期在製程中使材料產生上述之特性，冀能以此提升玻璃之成形性，增加玻璃熱壓成形技術應用在更複雜之光學元件的可能性。

太陽能集光器是微光學元件重要的應用發展之一。現今太陽能集光器之設計為了精密的控制光的行為以有效提升聚光效能，常應用微光學元件之設計原理。透鏡式太陽能集光器常使用 Fresnel(Fresnel) 之微結構設計，將大面積的太陽能集中到一個小面積的太陽電池上，提高光的能量密度，用以增加太陽電池的發電能力。並且，若能使用玻璃材料製造太陽能集光器，相較於常用之高分子材料，除了具有較佳的光學性質以提升聚光效能，在優越的抗磨耗、抗腐蝕、熱穩定等特性，將使得在室外曝曬之太陽能集光器可抵抗溫度、濕度之變化以及外界侵蝕，使太陽能集光器可配合太陽電池 10 年以上的使用保證。

以下將針對玻璃熱壓成形、超音波輔助成形、太陽能集光器三個部分進行介紹及相關的文獻回顧。

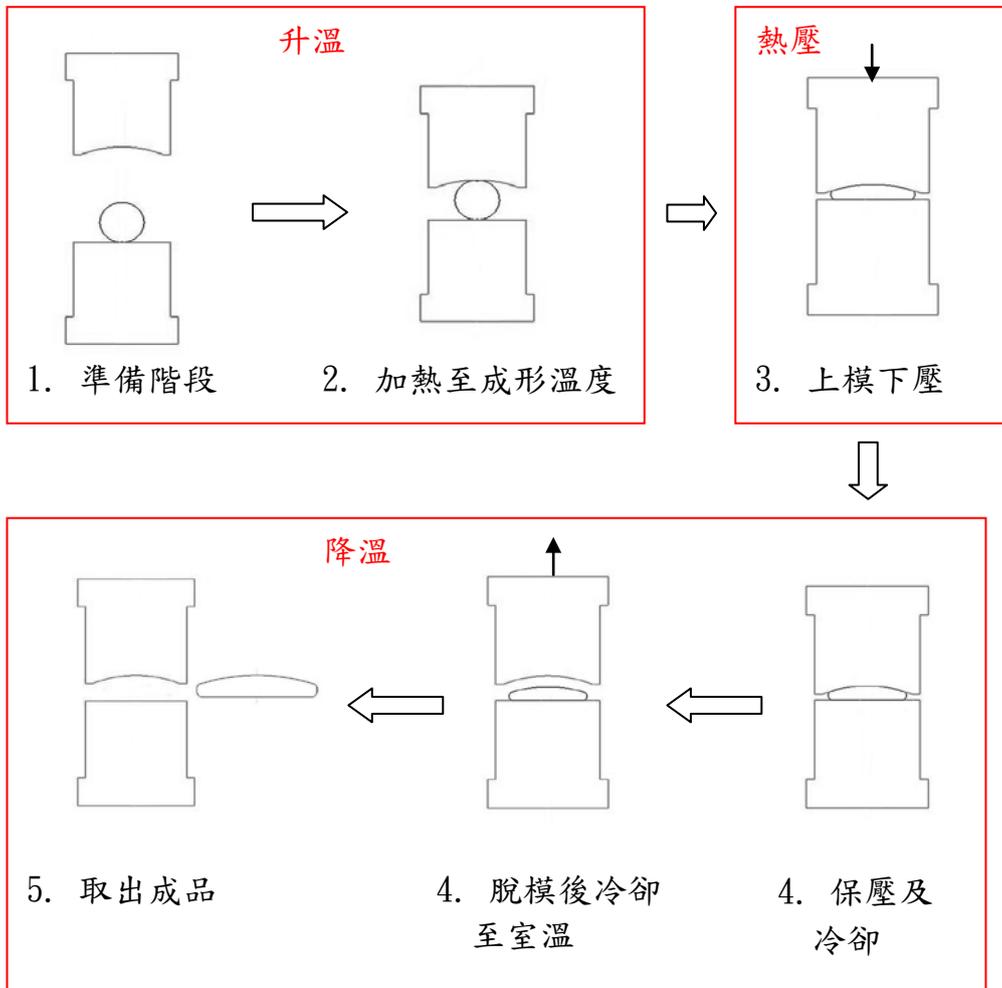


圖 1.1 玻璃熱壓成形技術示意圖

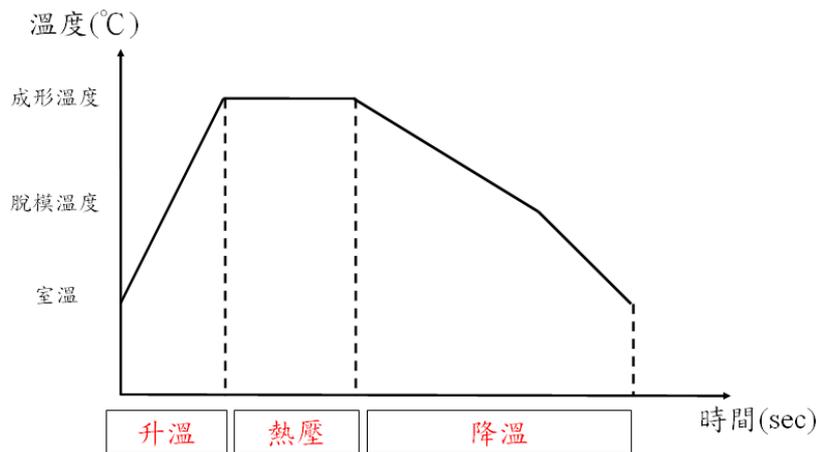


圖 1.2 熱壓成形技術溫度—時間關係圖

1.1 玻璃熱壓成形

目前國外在玻璃熱壓成形的研究，有 Saotome 等[1]對兩種光學玻璃特定的溫度範圍條件下進行壓縮實驗，得到不同溫度下真實應力與應變率的關係，證實了該溫度區間玻璃可視為牛頓黏滯流 (Newtonian viscous flow) 亦即表示黏度係數 (Viscosity Coefficient) 為一常數；Heckele[2]等人認為

熱壓成形是適用於微結構成形的理想技術，其優點是材料流動率低，可避免由內應力引起的散射中心（Scattering Centers）誤差，熱壓成形是可製造出高精度、高品質、大面積的光學元件技術，由於成形步驟簡明，若能將熱壓成形過程更改為自動化成形製程，將有效的降低成本；Shishido 等[3]針對玻璃熱壓時玻璃與模仁間之貼合程度進行研究，發現貼合程度將隨著玻璃表面張力的變化而改變，而貼合度的變化也會影響成形後的複製精度。

Zhong 等[4]，對於玻璃模造裡模仁進行熱機械特性的有限元素分析，探討模仁幾何形狀、材料，以及鍍膜層材料對於鍍膜模仁的影響；Jain 等[5]以商用 FEM 軟體建立 2D 軸對稱模型進行分析，將成形時的玻璃視為牛頓流體（Newtonian fluid）且將黏度與溫度的相關性以及模仁與胚料介面的熱傳皆考慮進去，探討模造製程參數對成品品質的影響；Yi [6]等人使用有限元素模擬預估光學玻璃透鏡在熱壓成形製造中的變形行為，證實高精度非球面透鏡可利用模造方式來取得，且模仁的表面品質可以被轉印至透鏡上。

玻璃微結構熱壓成形之研究方面，Saotome[1]等人以低玻璃轉移溫度之玻璃材料，在 V 溝之模具上進行微熱壓，討論玻璃材料的微成形性，實驗結果發現由於 V 溝槽的尖角與溝槽表面粗糙度的原因，導致玻璃無法完整的填充模穴，但仍然證明了以玻璃材料成形微米及奈米結構的可行性；Schubert[7]等人採用熱壓技術，成功在硼玻璃上成形微結構，顯示了以更高溫度進行熱壓成形微結構的可能性；Yi[8]等人將繞射結構成形於矽晶片上，利用低玻璃轉移溫度之玻璃材料進行熱壓，成功轉印出繞射光學元件，證明利用熱壓成形可用於大量生產具有微米和奈米尺寸特徵的繞射光學元件。國內則有邱[9]以數值方法分析玻璃鏡片壓製成形整個製程中的溫度場；游[10]等人以電鑄鍍金屬模仁，熱壓成形於 PSK-100 玻璃材料上，成功地驗證了熱壓成形於玻璃材料之可行性；王[11]以陣列式 V 形槽結構分別對 FCD1 及 SF2 光學玻璃材料進行微熱壓印實驗，探討製程中各種參數對玻璃微熱壓成形特性的影響，且對成形中產生的缺陷探討其原因及改善方法，得知 FCD1 材料較適合應用在微熱壓成形製程，適合的壓印溫度介於轉移點與軟化點之間而接近軟化點

本實驗室的研究中，黃[12]自行設計與製造球面透鏡的模仁，並探討不同材質與鍍膜之模仁表面的品質，並以 FCD1 光學玻璃胚料製成平面透鏡，使用實驗室自行設計之熱壓設備(圖 1.3)，藉由熱壓技術將平面透鏡壓印成球面透鏡，得到下述結論：壓印時階段式升、降溫可以避免玻璃於升、降溫過程中破損；在此製程上，除了壓印壓力會影響填充性，持壓時間亦會明顯的影響填充性；此實驗壓印出之球面透鏡，其透鏡中心較外圍部分具有較低的殘留應力；王[13]於後續的研究中得到以下結論：模仁在熱壓成形過程中，其轉印性良好，如能控制模仁表面品質，則可易於控制產品的精度；預形體(圖 1.5)的形狀與表面精度將影響透鏡成品的精度(圖 1.6)；硬膜層的技术將絕對影響壓印成品的結果，適當的製程參數將能提高模仁及硬膜層壽命並提升成品品質；蔡[14]利用單軸壓縮試驗與有限元素分析的配合，證明玻璃材料在熱壓成形階段的材料模型可假設為彈-黏塑性 (elasto-viscoplastic)。

本實驗室在 94 至 96 年度執行之國科會計畫—光學玻璃微熱壓成形之有限元素分析研究，針對光學玻璃材料熱壓進行有限元素分析，由材料模型之尋找與驗證著手，建立合理的製程模擬，並且根據模擬之製程參數進行實驗，驗證數值模擬之最佳製程參數組合的可行性。在 96 年度執行之工研院委託案—精密光學技術-應用於數位成像系統[15]，從一系列成形實驗中，首先進行不同模仁材料與加工方式的嘗試、不同材質鍍膜的比較；並對模仁材料與硬膜層之搭配在成形上的影響進行系統性的探討，以此尋找出較佳之組合，模仁成品如圖 1.7。另輔以有限元素成形製程分析探討製程參數對於元件成形性、殘留應力以及尺寸精度之影響，作為製程參數調整與模具設計之參考。為了縮短製程研發所需之時間，計畫中更建立了模具補償最佳化系統，流程如圖 1.8。而在此計畫期間，本實驗室完成了第

二代紅外線真空加熱爐設備(圖 1.9)，其功能具有可做真空或特定氣體環境下的高溫實驗，並且具有快速升溫之功能。於後續的研究中，林[16]利用 L-BAL42 玻璃，直徑 5.8mm 的球形預形體，配合曲率半徑 15mm 的模具，成形出玻璃透鏡。並且針對不同的模仁材料以及硬膜層之搭配進行測試，結果證明真空環境下由於含氧量低，故可減少模仁表面發生變質、與玻璃發生沾黏的情形，可有效提升模仁的使用壽命，實驗成品如圖 1.10。王[17]嘗試使用電鑄鎳鈷合金作為模仁材料，製作出具有 Fresnel 結構之模仁並進行熱壓成形實驗，結果玻璃材料皆未能達到完美填充，得出壓印力與熱壓溫度為影響較明顯之參數，保壓時間與加壓行程的控制則對於填充性的影響較不顯著之結論。由上述之文獻以及研究發現，微結構之成形性為現階段玻璃熱壓成形製程之瓶頸之一，且著實影響著微光學元件的性能，限制了玻璃熱壓成形製程應用的推展。

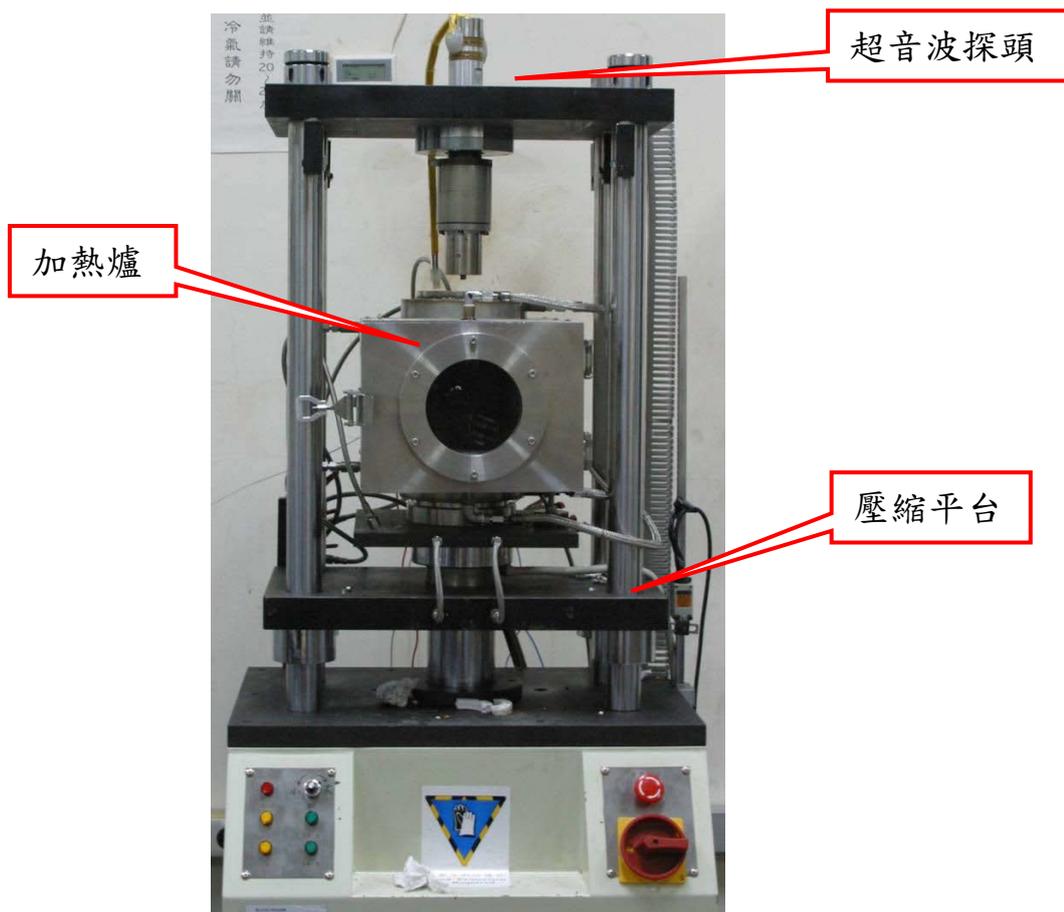


圖 1.3 熱壓設備外觀圖

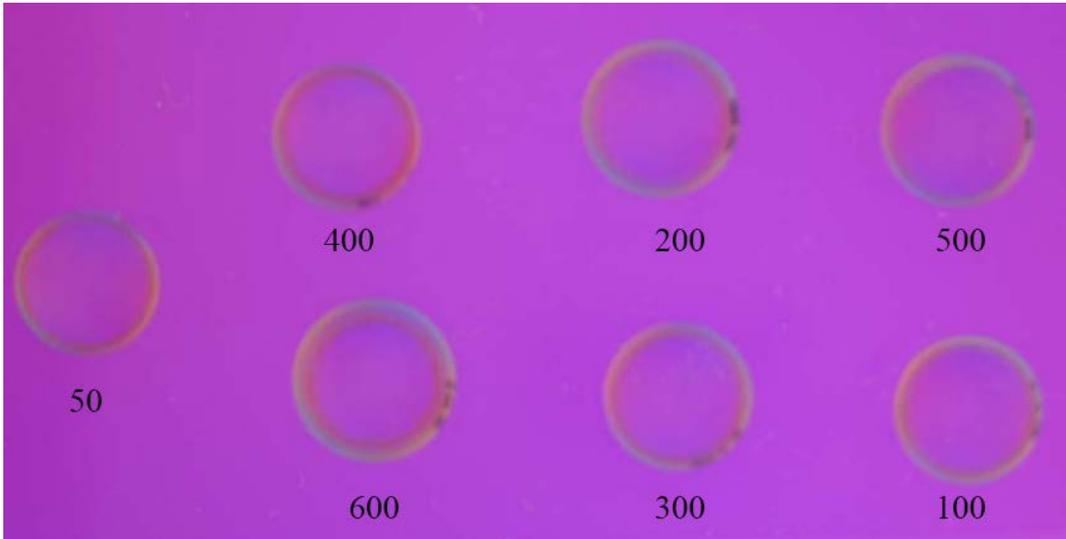


圖 1.4 殘留應力檢測結果（圖中所標示為持壓時間（sec））



圖 1.5 商用預型體（玻璃球）

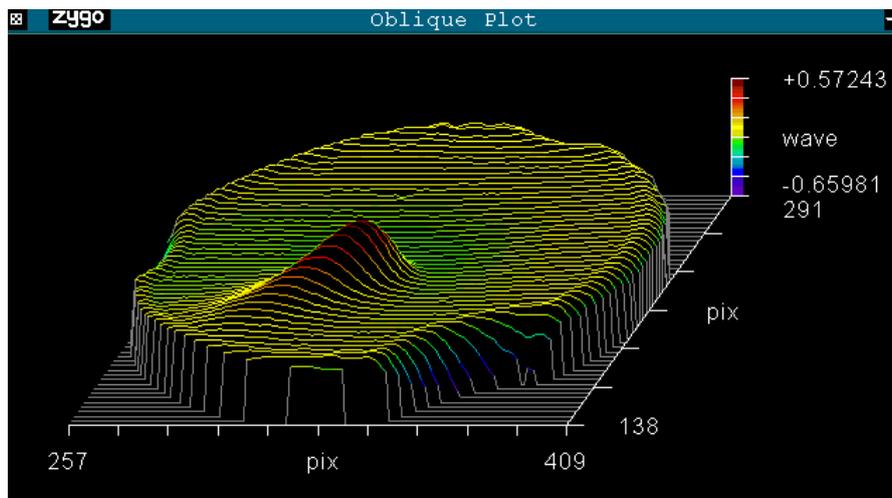


圖 1.6 透鏡成品之表面品質檢測結果(三維表面輪廓結構圖)



圖 1.7 模仁完成圖

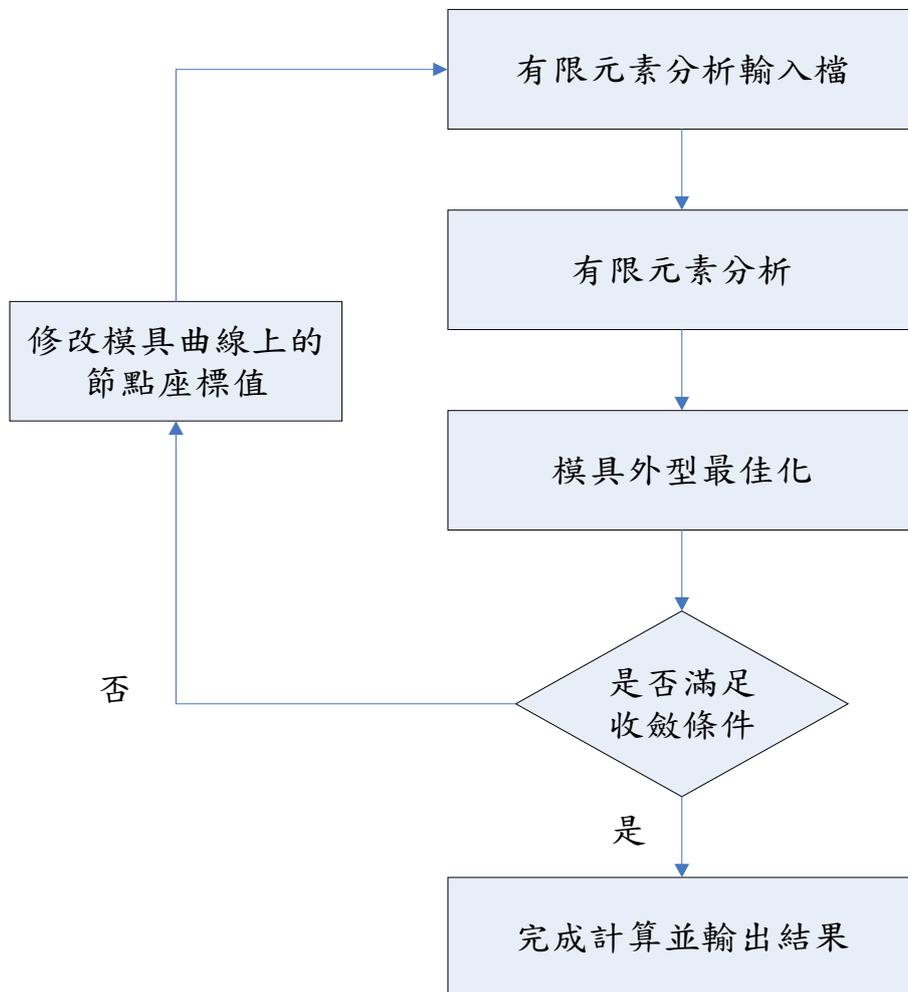


圖 1.8 模具補償最佳化流程



圖 1.9 第二代紅外線真空加熱爐外觀圖



圖 1.10 第二代實驗裝置初步實驗成品

1.2 超音波輔助成形

超音波振動加工乃利用頻率產生器內部的振盪電路產生超音波頻率信號，此振盪信號經換能器將電能轉換為機械能，以產生超音波頻率的機械振動。最後利用聚能器與放大器將機械振動的振幅放大，以增加工具加工端的振幅輸出，提升加工效率，如圖 1.11 所示。超音波振動塑性加工與傳統塑性加工之不同在於前者於成形期間將超音波振動能量作用於成形模具或工件上，再經由模具對工件進行成形，因此為複合成形之加工方式。由於超音波振動於塑性加工成形時會產生一些效應，如摩擦力的改變、材料溫度升高、材料塑流應力降低的效應及成形回彈量的降低現象，提高材料之成形性，達成傳統塑性加工無法達到之加工成形界限。

將超音波振動能量應用於材料之塑性行為研究，最早由 Blaha 與 Langenecke[18]所提出，他們對單晶鋅試片進行拉伸試驗時，附加一超音波振動於負荷上，實驗結果發現超音波振動作用時，材料之降服應力會產生降低現象。且材料在塑性成形時，其材料塑流應力大為減少，此現象稱為 Blaha effect。後來 Langenecke[19]又針對鋁、銅、鋼等多晶材料進行超音波在材料變形特性的影響，實驗證明超音波振動能量增加，材料塑流應力隨之降低，且認為以差排理論與機械波動理論無法合理去解釋超音波

應力波與差排之互相影響，因此他只針對實驗結果現象作一些描述與預測。對於降低塑流應力的原因，Nevill[20]不認同 Kempe 等人所提出的差排吸收振動能量的三種可能機制假設：(1) 共振機制(2) 鬆弛機制(3) 遲滯機制。認為塑流應力降低是由於靜態應力和交變應力交互作用產生，因此提出應力重疊機制之假設。所以 Blaha effect 之機制至今尚未有普為接受之理論解釋。

超音波應用在金屬切削已有相當發展，例如 Dam[21]利用超音波振動進行陶瓷材料切削加工研究，探討加工速率、刀具磨耗及表面粗度。Pei[22][25]提出超音波旋轉加工與平面研磨加工結合，利用旋轉超音波振動進行陶瓷材料平面磨削加工研究，使加工不再侷限於圓孔加工；並以實驗證明超音波加工材料移除的機制在脆性破壞伴隨著塑性流動。Soveton[26]研究超音波焊接，實驗結果發現，當焊件表面上具有 V 形凸起的結構，這些凸起的結構具有聚集能量的作用。Siegert[27]將超音波振動應用於線材抽拉成形之研究，實驗證明由適當控制抽拉力、振幅及抽拉速度，可以達到傳統抽拉成形無法達到之材料成形界限。Murakawa[28][29]同樣對超音波振動於線材抽拉成形進行研究，分別對傳統抽拉、軸向超音波振動抽拉及徑向超音波振動抽拉實驗比較。結果顯示超音波置於金屬塑性成形時，材料變形之阻力大為降低，而成品之品質與精度均相對提高。在板材彎曲成形方面，Tsuji[30][31]將超音波振動應用於金屬板彎曲成形，實驗發現當靜壓力相同下，超音波之振幅增加則金屬板可彎曲角度亦隨之增加，且金屬板之回彈角度減少。另外證明超音波振動下，降低了加工硬化現象以及彎曲表面的粗糙度，而彎曲部份之曲率半徑增加。

超音波應用於光學材料之成形研究方面，羅[32]以高分子材料進行熱壓，為了提升昇溫速率，試以超音波振動加工工件表面，所產生的熱能融化表面，使模具上之微結構能複製於表面上。研究結果顯示以超音波加熱壓印微結構確實在加溫降溫性質有極佳的表現，且能單獨加熱表面，保持其他部分溫度變化不大，有效提升熱壓成形製程的產能。超音波應用在玻璃材料的成形方面，Gan[33]等人將超音波振動應用在鑽石車削之刀具，加工玻璃材料，結果顯示工件上的切削速度和刀具上的最大振動速度之比例將會影響其在工件上的加工深度。Egashira[34]等人應用超音波在玻璃材料上進行微鑽孔，結果可降低所需的力量，增加刀具壽命，增加了可穿透的長度，且可形成光滑的表面。然而，目前超音波用於玻璃熱壓成形，尚無文獻可循。

本實驗室在超音波的研究中，陳[35]以實驗與有限元素模擬之方式討論熱音波打線接合中，參數與接合強度的關係，結果振動功率、接合下壓力、結合之間的參數越大時，接合強度也越大，接合面積也越大；但當參數值加至某一範圍後，接合強度便開始減小。何[36]研究超音波來改善薄殼塑膠射出成形所遭遇的材料流動性不良之情況，結果表示超音波振動用於薄殼射出成形時，較高的模具溫度因材料的固化時間較長，超音波振動能讓成品有較大的增長量。推測此乃因超音波振動在材料固化前能降低其流動時所受的阻力。洪[37][38]以超音波振動抽拉與端面壓縮製程，研究超音波振動於塑性加工之摩擦影響。由其模具與工件之相對速度兩極端化的加工特性。分析比較模具與工件之相對速度對超音波振動所產生摩擦機制的影響，推論超音波振動對於其他塑性加工可能產生的摩擦影響。研究結果顯示，超音波振動在塑性加工時，模具與工件之相對速度與超音波振動方向均會影響超音波振動所產生的摩擦機制。塑性加工時，模具與工件之相對速度為零時(例如鍛造)，超音波振動方向與成形力方向相同時，超音波振動會增加介面摩擦，且會使材料溫度上升的效應較明顯。當模具與工件之相對速度不為零(例如抽製)時，超音波振動方向與工件移動方向平行時，超音波振動會降低介面摩擦力，其切線相對速度越大，所降低的摩擦力越大。塑性加工時，模具與工件之相對速度不為零時，超音波振動方向與工件移動方向垂直時，超音波振動降低介面摩擦力的效應最佳，且切線相對速度越大，所降低的摩擦力越大。但當切線相對速度為零時，降低摩擦力的效應消失。

本研究為應用超音波振動於玻璃熱壓成形製程中，透過超音波輔助成形時所造成的摩擦力改變、

局部溫度升高等效應來提升光學玻璃材料之成形性，為一創新的技術方法

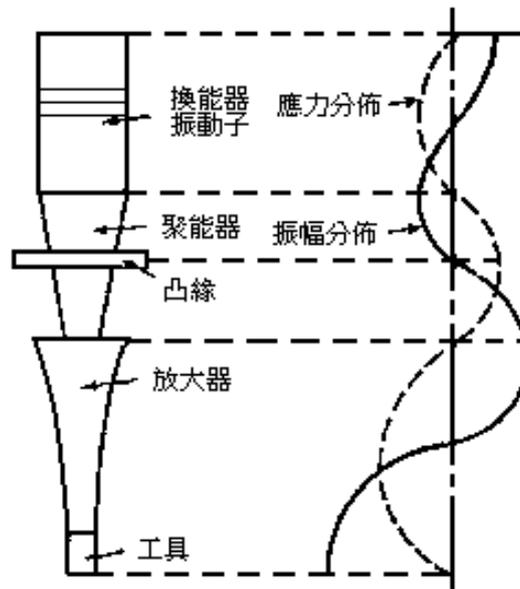


圖 1.11 超音波加工原理示意圖

1.3 太陽能集光器

在石化等能源危機及環保意識的高漲下，尋求一種無污染、無公害的新能源是當今世界上極力尋求的目標。太陽能是取之不盡、用之不竭的能源，因此適合作為人類在未來依賴的能源來源。目前太陽能發電成本都遠高於傳統燃燒石化燃料發電的成本，但由於人類正面臨氣候變遷與能源危機等等問題，如何將太陽能轉換為可更有效利用之能源變成了亟待解決且刻不容緩之課題，因此世界各國無不大力支持相關研發。目前利用太陽能來發電的方法，包括熱能發電與光能發電，前者收集太陽能量轉換為熱能，再利用熱能推動輪機或熱機來發電；後者則是利用太陽電池(Photovoltaic)將太陽發出的光能直接轉換成電能之發電方式。目前大型太陽熱能發電的成本低於太陽光能發電，但實際情況太陽光能發電的利用多於熱能發電，原因是不需維護且可與建築物整合的便利性。然而，目前市場上主要的矽晶太陽電池，效率約在 12% 至 17% 左右。為了降低發電成本，除了降低造價，另一方法為增進太陽能轉換效率。太陽能集光器即是利用透鏡或反射鏡等光學元件，將大面積的太陽能集中到一個小面積上以提高光的能量密度，將能量集中，提升太陽能發電的效率。

常見的太陽能集光器可分為反射鏡式、透鏡式以及反射鏡與透鏡複合式。複合拋物面集光器(Compound parabolic concentrator, CPC)為反射鏡式太陽能集光器常用之設計，適合用在收集太陽熱能的應用方面，其集中比(concentration ratio)較小，可容忍較大角度的入射陽光，且可配合管狀的太陽收集器來加熱水或是產生蒸汽。當需要較小容忍角度以及較大的集中比之設計時，反射面會增大且加深，使得反射的角度增大且光線反射的次數增加，造成能量損失。透鏡式的太陽能集光器例如非成像菲涅爾透鏡(Nonimaging Fresnel lens)，相較於複合拋物面集光器的限制，可達到較高的集中比。然而在要求更高的集中比之設計時，色散會成為最大的問題。反射鏡與透鏡複合式之集光器設計如圖 1.12 所示，可適用於這種更高集中比之應用。但是當這種設計需較大的容忍角度且較小的集中比時，接收器的尺寸必須增大而擋住入射的陽光，因而降低效能。透鏡式太陽能集光器具有結構簡單、集中比高、能量損失少等優點，由於製造技術的限制，因此目前所使用的材料大部分為塑膠材料；考慮太陽能須

在陽光曝曬之室外環境操作，玻璃材料除了具有較佳的光學性質，在強度、抗磨耗等機械性質、熱穩定性以及抗腐蝕等特性方面，皆優於塑膠材料，對於太陽能集光器長久的使用需求，具有實際之可行性，且由於玻璃熱壓成形製程的發展，以玻璃製造太陽能集光器變為可能。

透鏡式太陽能集光器的設計，大部分為 Fresnel 透鏡結構之應用，可分為線性與環形兩種結構，線性聚光結構結構的設計方面 Rice[39]以一系列並排且平行的線性聚光結構組成太陽能轉換系統，其聚光結構並排的角度和其間的距離依據聚光區域的不同而有不同的設計，如圖 1.13 所示；Northrup[40]結合反射和折射的聚光結構如圖 1.14，中央部分的聚光結構為一截面為曲面之折射式線性 Fresnel 透鏡，兩邊為大量相互平行的稜鏡，功能為反射其他角度入射的太陽光，以增加產熱的效率；O'Neill[41]以截面為曲面的線性 Fresnel 透鏡為聚光結構，經設計過的稜鏡位置和角度可以避免多餘的能量散失，增加產熱的效率，如圖 1.15 所示；Sletten[42]以截面為曲面的線性 Fresnel 透鏡搭配特別形狀的反射面鏡為聚光結構。且將太陽能集光系統放置為東西向，此設計可適應大範圍的太陽入射角度，如圖 1.16 所示；O'Neill[43]設計出以圓柱狀透鏡和線性 Fresnel 透鏡組合為聚光的結構，圓柱狀透鏡和線性 Fresnel 透鏡方向互相垂直，能將陽光匯聚在線性排列的太陽能面板上，如所示圖 1.17；Appeldorn[44]將有彈性的線性 Fresnel 透鏡做為聚光結構，沿著平行於預計聚光區的軸摺疊，將可折射其他角度入射的光，增加效率，且此結構在強風、重力的作用下，效能較無明顯的下降，如圖 1.18 所示；2000 年 O'Neill[45]提出可摺疊式的太陽能聚光系統，聚光結構為可摺疊式的線性 Fresnel 透鏡，利於在太空中收起和展開，如圖 1.19；接著設計出利用基板兩面的線性菱鏡陣列作為聚光結構如圖 1.20，使得不同波長的光經過折射後再度混合，以增加太陽能電池的效率[46]。環形聚光結構的設計方面 Johnson[47]以環狀的 Fresnel 透鏡和平面鏡組合為聚光結構如圖 1.21，以可追蹤太陽的系統為平台，以增加發電和產熱的效率；Jebens[48]提出特別設計的環狀 Fresnel 透鏡，放置在透鏡焦點處的太陽能電池面板可以得到均勻的受光強度，以增加發電效率，如圖 1.22 所示；Olah[49]設計出利用環狀的 Fresnel 透鏡陣列產生聚光和聚熱的效果，如

圖 1.23 所示，環狀 Fresnel 透鏡的寬度隨著半徑增加而減小，其曲率隨著半徑增加而增大，此設計可以以陣列的方式排列提供家用的熱能和發電；Chen[50]利用環狀 Fresnel 透鏡搭配兩個拋物線反射面鏡如圖 1.24，以增加太陽能面板表面接受之光強度，比起不加拋物面鏡，強度約可增加 20 倍。另針對集光器之結構，Domingues 等[51]提出複合式的聚光結構，中央上表面為球面透鏡，下表面微非球面透鏡，外圍部分為 Fresnel 透鏡，並聲稱此設計之效率比現有的設計都好，如圖 1.25 所示。

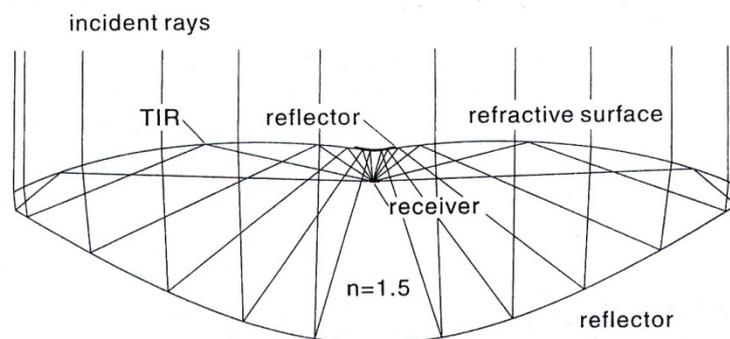


圖 1.12 複合式太陽能集光器設計

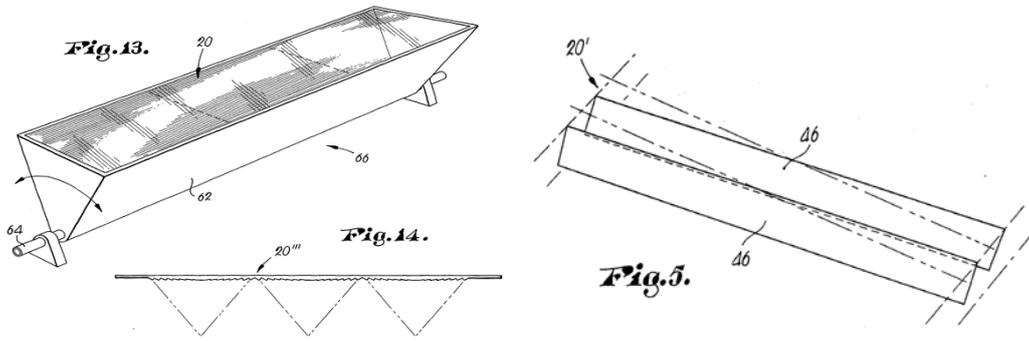


圖 1.13 Rice 之集光器設計

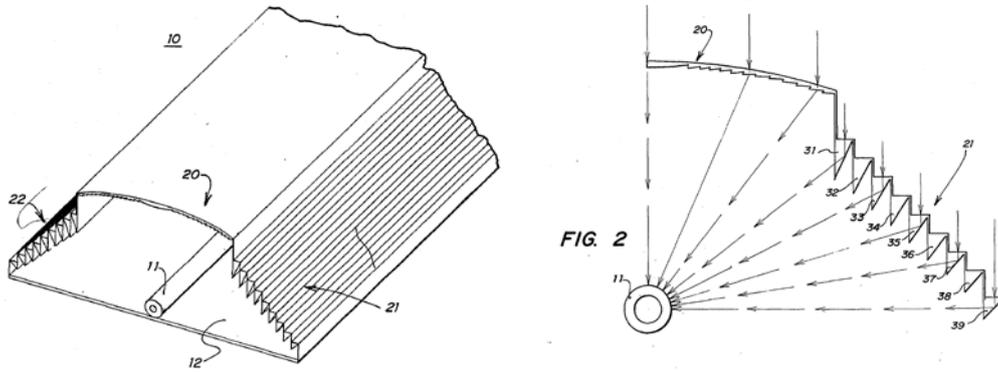


圖 1.14 Northrup Jr.之集光器設計

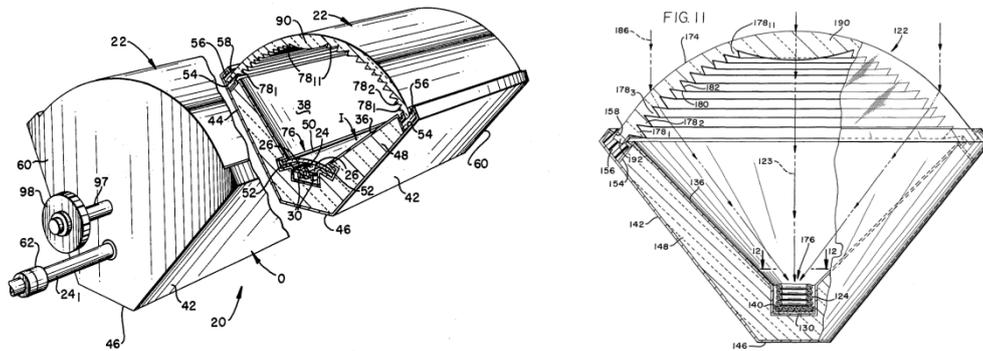


圖 1.15 O'Neill 之集光器設計

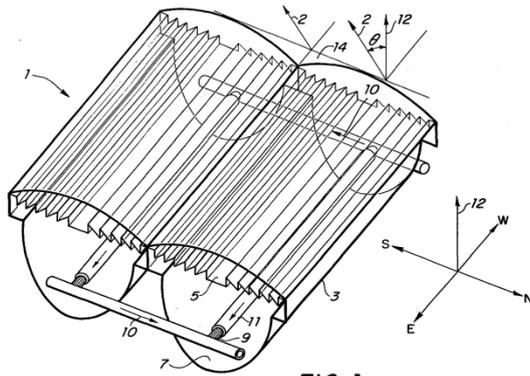


FIG. 1.

圖 1.16 Sletten 之集光器設計

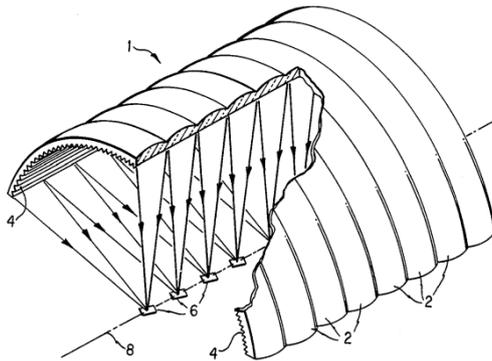


圖 1.17 O'Neill 之集光器設計

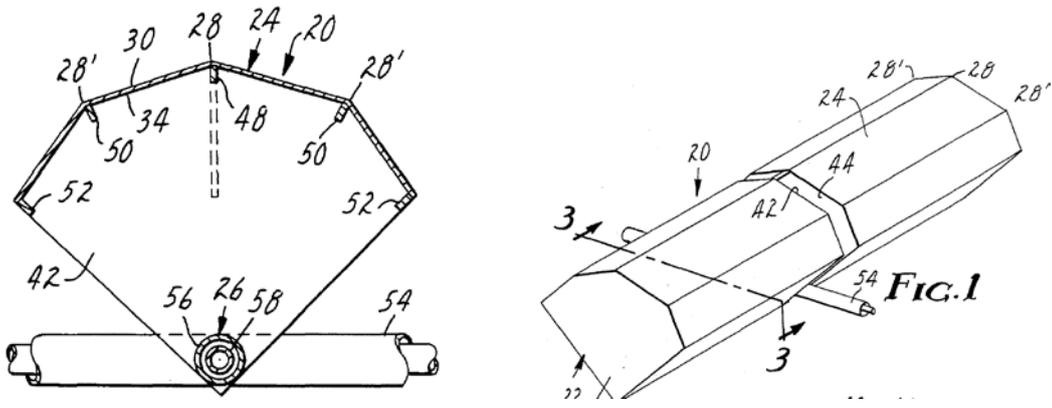


圖 1.18 Appeldorn 之集光器設計

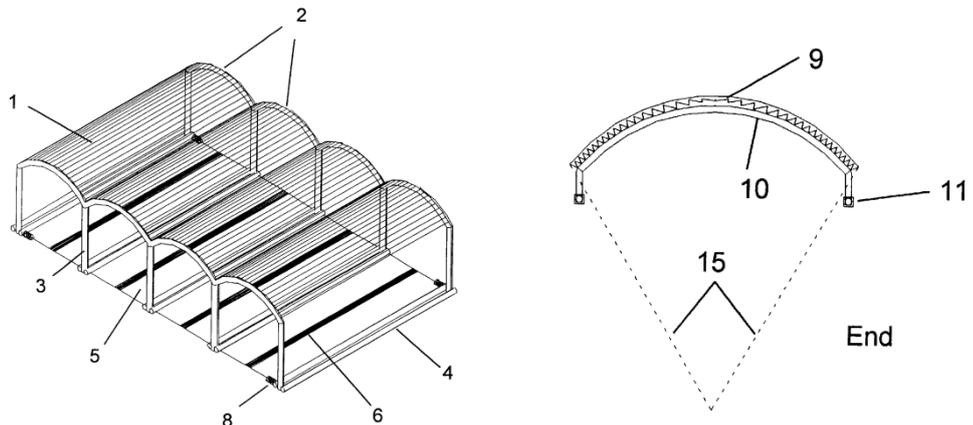


圖 1.19 O'Neill 之集光器設計

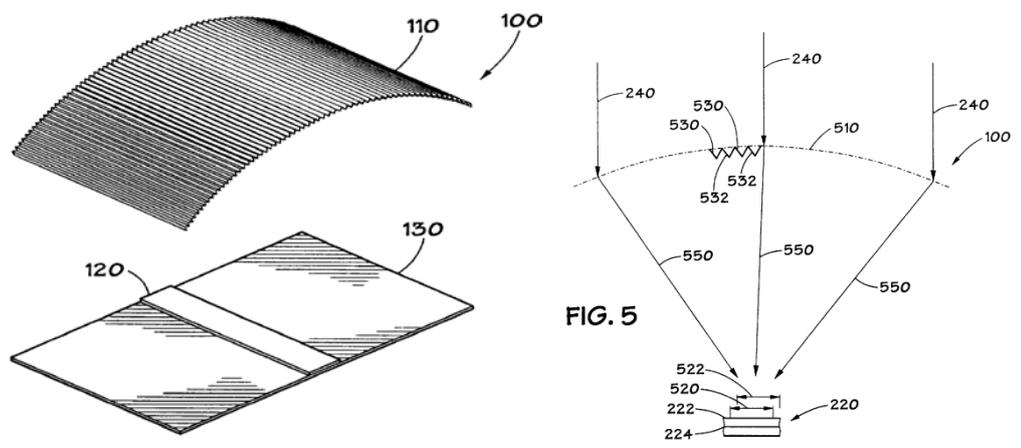


圖 1.20 O'Neill 之集光器設計

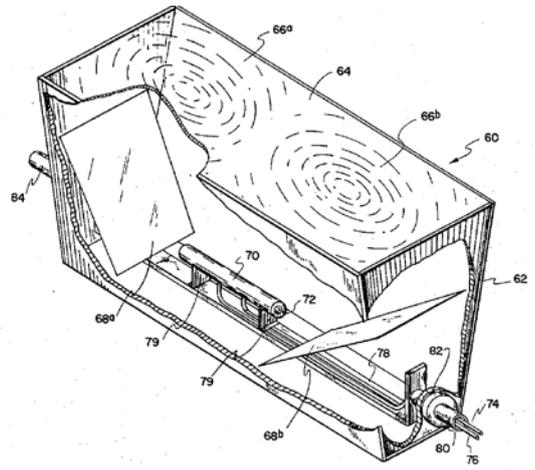


圖 1.21 Johnson 之集光器設計

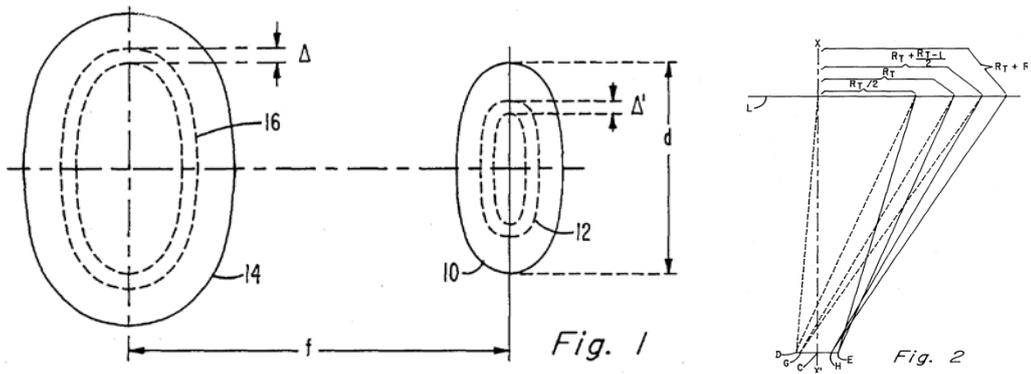


圖 1.22 Jebens 之集光器設計

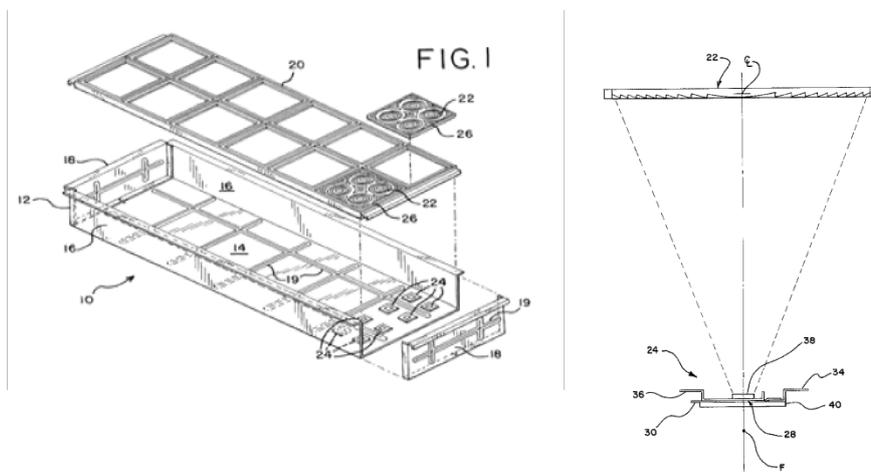


圖 1.23 Olah 之集光器設計

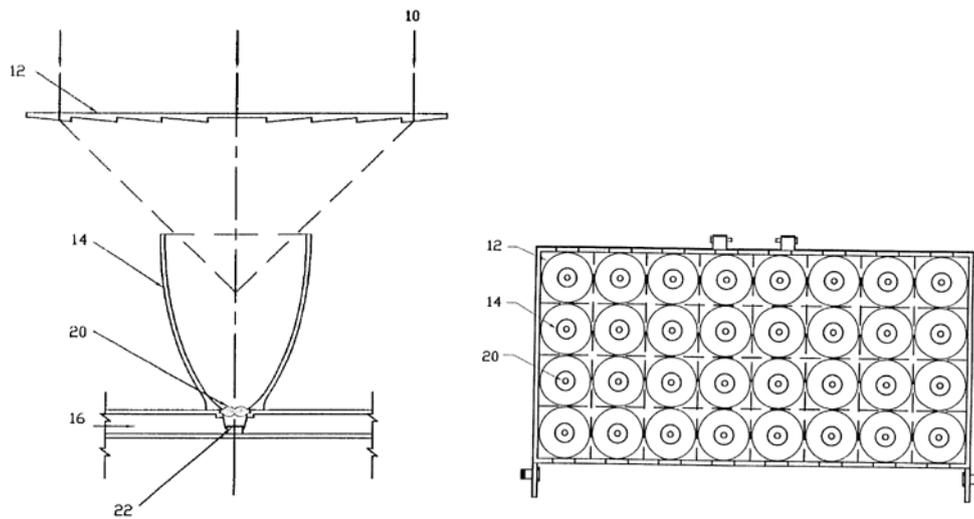


圖 1.24 Chen 之集光器設計

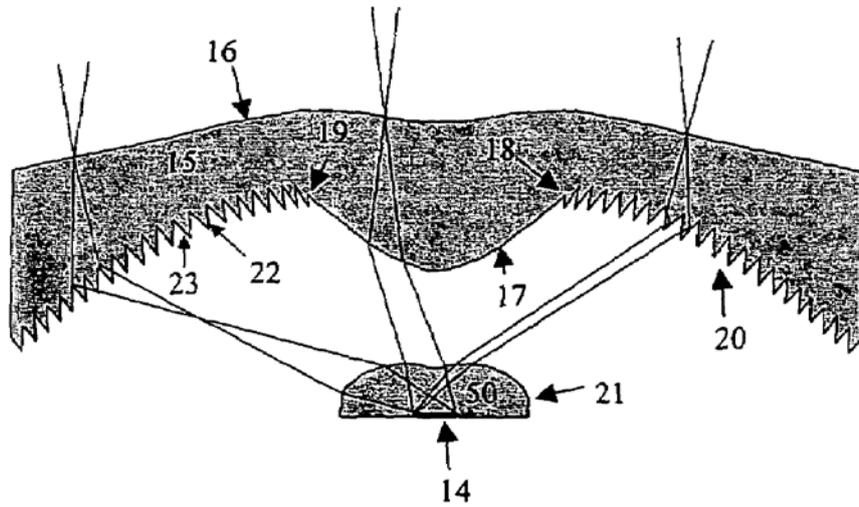


圖 1.25 Domingues 之集光器設計

2 研究目的

綜觀上述，玻璃熱壓成形製程為光學元件製造中用以降低成本，提高量產之關鍵技術。而應用超音波振動於塑性加工成形時會改變摩擦力、降低塑流應力及能有效達成傳統塑性加工無法達到之加工成形界限。本研究將結合這兩個技術，使用超音波施加於玻璃壓成形製程之模仁，使玻璃在熱壓成形過程中，能夠透過上述超音波輔助成形之優點，提升玻璃熱壓成形製程之品質及效能。並且建立一可應用熱壓成形技術製作太陽能集光器之設計流程，以期於未來應用玻璃之優良性質提升集光器之性能。

本計畫將利用超音波輔助玻璃熱壓成形，探討超音波的施加對於熱壓成形製程中溫度、壓印力等製程參數的影響，以及對玻璃成品的表面品質、微結構的轉印性之差異。最後再針對玻璃微結構熱壓成形之應用，設計太陽能集光器，以期利用玻璃材料製造具實用性之集光器。藉由以上的研究完成超音波輔助玻璃熱壓成形製程，以改善製程要求以及提升元件之成形性，並且證明熱壓成形用於微光學元件量產成形的可行性，開創玻璃材料更寬廣的應用層面，在學術研究以及工業應用上都具有相當的幫助。

3 研究方法

本研究首先改裝已有之玻璃熱壓成形設備，包括修改紅外線加熱方式以提升加熱效能，以及利用實驗及有限元素方法，針對可於高溫下使用的超音波系統進行設計，使之具備初步超音波輔助玻璃熱壓成形之能力。再針對已有機台之限制以及製程的需求，設計一新型超音波輔助玻璃熱壓成形機台。接著利用建立之機台實際進行超音波輔助玻璃熱成形實驗，討論超音波的施加對平面熱壓成形中參數以及玻璃材料性質的影響。再使用具有 V 溝結構、圓孔陣列與 Fresnel 結構之模仁，進行玻璃微結構成形，比較在製程中施加超音波，對製程參數以及成品品質的影響。最後再針對玻璃微結構熱壓成形之應用，設計太陽能集光器，以期於後續之研究中利用玻璃材料製造具有實用性之太陽能集光器。

4 結果與討論

為了進行超音波輔助玻璃熱壓成形製程，首先須具備執行製程能力之設備，因此本研究先對超音

波輔助玻璃熱壓成形設備之開發進行探討，再利用建立之設備進行超音波輔助玻璃熱壓成形實驗，最後再針對符合玻璃熱壓成形製程之太陽能集光器進行設計流程之建立。

4.1 超音波輔助玻璃熱壓成形設備之開發

本實驗室已具備玻璃熱壓成形設備開發之能力，為了進行超音波輔助成形，研究中對本實驗室已有之第二代玻璃熱壓成形設備進行改進，使其具備超音波輔助玻璃熱壓成形之初步能力。且為了提升製程效率並取得更精準之實驗參數，於後續研究中著手設計新型之設備，以建立研發製程設備之關鍵技術能力。

4.1.1 已有機台之改良

第二代玻璃熱壓成形設備由伺服馬達控制平台、紅外線加熱爐體、油壓系統以及真空與氣體環境系統所構成，如圖 4.1，規格如表 4.1。其中紅外線加熱爐體採用上下分離式爐體之設計，並利用油壓裝置，形成可調整加熱爐體空間之伸縮上爐體，同時完成真空密封之功能。因而紅外線加熱爐體可隨熱壓行程而調整，且保持加熱爐體真空狀態。為了適用於真空環境且達到快速升溫的目的，爐內使用高功率的環形紅外線加熱燈管作為加熱源，利用熱輻射對模具及玻璃試片加熱升溫，採用單一最大功率為 2200W 之燈管，以三支並聯連結，架設方法如圖 4.2。為了縮短製程時間，並加入超音波輔助成形之功能，於研究中修改紅外線加熱器之設計，且將上模改裝為超音波振動裝置。

經過修改設計之紅外線加熱器使用 USHIO 公司所生產工作電壓 220V、功率 500W 之紅外線燈管，架設方法如圖 4.3 所示，由前、後兩燈架為主體，可組合成六邊形之加熱燈組。紅外線加熱燈管利用銅片以及外接導線，以直立的方式並聯，銅片與導線利用耐熱且絕緣的陶瓷墊片裝設在燈架上。初步共使用 17 支燈管，由此預估加熱燈組之最大可輸出之功率可達 8500W。在溫度控制上，藉由熱電偶對模仁進行感測，將訊號傳送至溫度控制器，再由溫度控制器控制功率調整器(SCR)，來控制燈管的加熱功率。

超音波振動裝置包含訊號產生器、換能器、聚能器與放大器。為了使玻璃熱壓成形製程中導入超音波振動，研究中將超音波振動裝置設計為加熱爐體內之上模座。將產生機械振動之換能器、聚能器與放大器，由上方進入紅外線真空加熱爐之上爐體中，使放大器之輸出端面達到玻璃熱壓成形製程中上模仁之位置。且由於玻璃熱壓成形製程須對模仁加熱升溫，因此需設計一冷卻器以避免超音波換能器之損壞，紅外線加熱爐體內之上下模座、超音波冷卻器與紅外線加熱燈管之相對位置設計如圖 4.4。

4.1.2 高溫超音波放大器

第二代玻璃熱壓成形設備所使用之超音波設備由京華超音波公司生產，訊號產生器之頻率為 20k Hz，且具有自動追頻正負 500 Hz 之功能。目前產業界使用之超音波設備多用於常溫下。但在玻璃熱壓成形製程中，模具溫度將提升至玻璃材料之玻璃轉移點溫度以上。這將使得超音波設備的材料性質發生較大的改變，所以振動裝置的自然振動頻率將超出訊號產生器的追頻範圍，使超音波設備無法正常起振。因此，必須針對可在高溫下使用之超音波設備進行設計。考慮一維的振動體，介質的共振頻率可表示為：

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{\sqrt{E/\rho}}{\lambda}$$

其中 c 為波傳遞的速度， λ 為波長， E 和 ρ 為介質之楊氏係數和密度。在縱向振動下， λ 的倍數可作為振動體長度的設計參考。若振動體尺寸固定，當溫度升高時，將使得材料之楊氏係數降低[52]，導致自然振動頻率跟著下降，因而導致自然頻率超出訊號產生器的追頻範圍。然而，若考慮振動體尺寸可調，楊氏係數的降低將可透過較小的波長以維持相同的自然振動頻率；亦即縮短振動體的長度，可提高在高溫下之自然振動頻率。由於實際使用之超音波並非理想的一維結構，理論近似解以及實驗

試誤法對於較複雜與特殊形狀的放大器將無法獲得快速及有效的解決。因此，於研究中利用有限元素分析，模擬超音波放大器之共振模態，並考慮材料溫度升高後之特性，輔助設計用於玻璃熱壓成形之超音波放大器。

設計方法為利用常溫下已有之第二段放大器，修改其尺寸後達成高溫可順利起振之超音波放大器。第二段放大器的設計尺寸如圖 4.5，材料為不銹鋼 SUS304，利用 ABAQUS/Standard 建立有限元素分析模型，採用軸對稱之簡化模型。分析步首先為穩態熱傳分析(steady-state thermal analysis)，以取得放大器的溫度分布並計算結構之熱膨脹，再利用模態分析(modal analysis)取得縱向振動下的共振頻率。圖 4.6 為常溫第二段放大器的溫度分布，其中 A、B 及 C 點之模擬與實驗溫度比較如表 4.2，結果表示在五種升溫溫度(A 點溫度)下，模擬與實驗之溫度分布一致，驗證穩態熱傳分析之正確。圖 4.7 為共振頻率與升溫溫度關係，顯示共振頻率隨著溫度提高而下降，且模擬與實驗值一致，證明應用有限元素分析可準確預測高溫超音波放大器之振動頻率特性。接下來利用此有限元素分析模型，調整常溫第二段放大器的尺寸，使其符合高溫之使用。由模擬結果，將圖 4.5 中修改 H 為 48.5mm，升溫溫度為 450°C，可得出縱向模態的共振頻率為 20.013 Hz，並且藉由實際的實驗結果，超音波設備可順利於此高溫中產生振動。

4.1.3 新型超音波輔助玻璃熱壓成形設備

第二代光學玻璃熱壓成形機台雖已具有光學玻璃鏡片熱壓成形製程之能力，然而此階段的熱壓設備仍有部分缺陷，而造成成形製程中產生限制：(1)於真空條件下進行熱壓成形時，由於真空密封用之橡膠墊圈(O-Ring)會受力發生擠壓，且伸縮爐體中的油壓易不穩定，使得壓縮過程中壓力感測器無法真實量測玻璃試片所承受的壓力，導致製程參數的不準確；(2)紅外線燈管置於真空爐體內進行加熱，爐內高溫使紅外線燈管之壽命降低。因此，為了克服上述缺點並提升製程精度，於研究中設計了一新型光學玻璃熱壓成形機，可分為真空加熱爐體、真空與氣體系統、超音波系統及冷卻系統所組成。

4.1.3.1 真空加熱爐體

真空加熱爐體目的在於提供玻璃熱成形過程中之穩定真空環境，並可對此環境中之模仁及玻璃加熱升溫，且於此環境中進行熱壓成形。本研究設計之真空加熱爐體由真空腔體、心軸及紅外線加熱模組所組成，如圖 4.8，心軸可進入真空腔體，而紅外線加熱器則圍繞於真空腔體之外圍。

圖 4.9 中真空腔體為石英管所構成，上下夾座用以支撐石英管，並連接心軸，心軸可進入石英管中央並穩定進行壓縮之動作。石英管與夾座、夾座與心軸之間皆設置 O 型環，使心軸與石英管在熱壓的過程中維持氣體封閉之空間，達成環境真空以及氣體控制的目的。

心軸為可進出加熱爐內，並安裝模仁以執行壓縮玻璃試片動作之結構，同時須具有冷卻、量測模仁溫度及量測壓印力等功能。心軸包含一荷重元，以精確量測玻璃熱壓成形時之力量。荷重元採用 Interface Load cell，最大容量為 2000lbf，外形選用中空型，中央之通道用以容納冷卻水以及抽真空之氣體管路通過。組裝時以冷卻平板和心軸座夾住荷重元，相對位置如圖 4.10，使冷卻平板可於熱壓成形時保護荷重元免於受熱損壞。進行熱壓成形時，荷重元將進入真空腔體內，因此相較於電腦伺服壓床之荷重元，此內部荷重元可直接量測玻璃所受到的荷重，不受到其他外部力量之干擾。

為了達到快速升溫的目的，採用紅外線加熱燈管作為加熱源，且為了增加紅外線燈管的使用壽命，將燈管裝置於真空腔體之外部。利用紅外線可穿透石英管之特性，對真空腔體內的模仁、玻璃進行加熱。圖 4.11 為紅外線加熱模組之設計，可支撐紅外線燈管，且於靠近燈管側可反射紅外線，提升石英管中的加熱效能，與真空腔體組合後如圖 4.12 所示。使用額定功率為每支燈管 1300W 之半圓形燈管(圖 4.13)，採並聯的方式連接，最多可由六支燈管同時加熱。在溫度控制上，採用具有溫度回饋的閉迴路 PID 控制系統，利用溫度控制器，藉由熱電偶(圖 4.14)對模仁進行溫度感測，將量測

訊號送至溫度控制器（圖 4.15），再由溫度控制器以 PID 控制功率調整器（SCR）的輸出功率，來控制燈管的加熱功率。

4.1.3.2 真空與氣體環境系統

進行光學玻璃熱壓成形時，真空環境可避免模具氧化，或是在玻璃內部產生氣泡，並提升成品的品質；且當成形 Fresnel 等複雜結構時，可避免氣體充入模穴中，而降低了玻璃材料的填充性。熱壓結束後，於降溫階段可利用注入常溫氮氣之方式加快模具及玻璃材料之冷卻速度，提升整體製程效率，並且利用此惰性氣體保護模具及玻璃成品以避免氧化。新式機台設計將抽真空與氮氣的通道合併，由心軸進入腔體，藉由閥門的控制切換抽真空或是注入氮氣之功能。真空幫浦、氮氣鋼瓶之配置如圖 4.16、圖 4.17，且於通道中裝置真空度計以量測腔體內的氣壓如圖 4.18。為了在降溫階段有效地冷卻模仁，模仁之夾持具設計十字槽的氣體流道，如圖 4.19 所示，抽取真空時，加熱爐內的氣體不會被下模具擋住；而冷卻充入氮氣時，流道可導引氣體直接冷卻下模具，並由十字的底處垂直往上進入爐體，避免低溫氮氣直接衝擊石英管而造成可能的損壞。

4.1.3.3 超音波系統

此新型機台所使用的超音波設備的頻率為 35 kHz，最大功率為 2 kW。此頻率產生器(圖 4.20)具有自動追之功能，其調整範圍為 35k±500 Hz。研究中為設定於熱壓成形中之上模具產生超音波振動，因此將超音波系統裝置於真空加熱爐之上部，當超音波訊號藉由壓電陶瓷換能器(圖 4.21)產生機械振動，再藉由聚能器及放大器將振動傳遞進入高溫加熱爐內，並且可鎖附模仁後，達成上模仁產生振動之目的。由於玻璃熱壓成形時模具將處於高溫環境中，因此超音波系統須具備適當冷卻裝置以保護換能器。放大器之下方為受熱處，因此冷卻器裝置於放大器上部，如圖 4.22 所示，在放大器周圍導入循環冷卻水。冷卻器與放大器靠近處之上、下兩端皆利用橡膠環進行密封，除了避免冷卻水洩漏，另可降低冷卻器對超音波放大器在振動時產生的限制。

4.1.3.1 冷卻系統

在玻璃熱壓成形製程中玻璃需要在高溫之環境，熱量會傳至機器導致部分設備的不穩定。為避免量得資訊不正確與元件損壞的問題，且縮短機台的壽命，因此適當的冷卻系統為必要的設備。除了可進行冷卻以保護熱壓設備，在另一方面，熱壓完成後之降溫階段，可加快模具與玻璃的冷卻速度，提升製程的效率。本研究中之設計中，真空加熱爐體之上下夾座、上下心軸及紅外線加熱模組，均於內部設計冷卻水路系統將熱量帶離，再透過外部冰水機(圖 4.23)進行強制循環冷卻，達到降低並穩定機台溫度的功能。

4.1.3.2 機台測試實驗

圖 4.24 為建構完成之新型超音波玻璃熱壓成形設備，接下來實際運用此機台進行玻璃熱壓成形之測試。初步測試使用上下皆平面之模仁，以確認機台可達到預定功能以及驗證機台性能的穩定性。模仁材料為不銹鋼 SUS304，表面拋光處理。所選用的光學玻璃材料，以熱壓成形機之工作溫度範圍及參考一般模造用玻璃材料為主要考量，選用 SUMITA 公司製造的 K-PSK100 光學玻璃，其玻璃轉移點溫度為 398°C，外觀為直徑 7mm、高 6.5mm 之圓柱型，如圖 4.25 所示，其主要性質如表 4.3 所示。實驗壓縮量為 2mm，壓印速度 1.5mm/min，溫度參數如表 4.4。由實驗結果之荷重-位移關係(圖 4.26)，越高的熱壓成形溫度，整體荷重之曲線越低，表示玻璃材料受到不同程度之軟化。同時，相同溫度下的荷重-位移曲線均相當接近，所以本研究所開發的新式機台具有相當高的穩定性，可於相同的參數條件下重現一樣的實驗結果。



圖 4.1 第二代玻璃熱壓成形設備

表 4.1 超音波熱壓成形機之規格

最高溫度	600°C
真空度	2×10^{-1} Torr
位移精度	5 μ m
位移驅動源	伺服馬達
最大負荷	50kN
超音波振動頻率	20 k \pm 500 Hz
超音波功率	3.5W
超音波振幅(25°C, 聚能器輸出端)	2.5 μ m

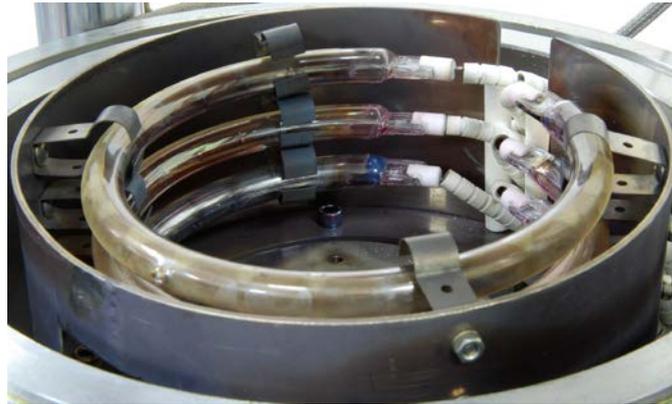


圖 4.2 環形紅外線加熱燈管之架設

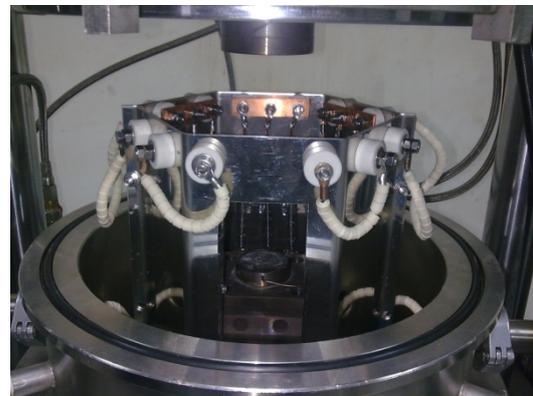
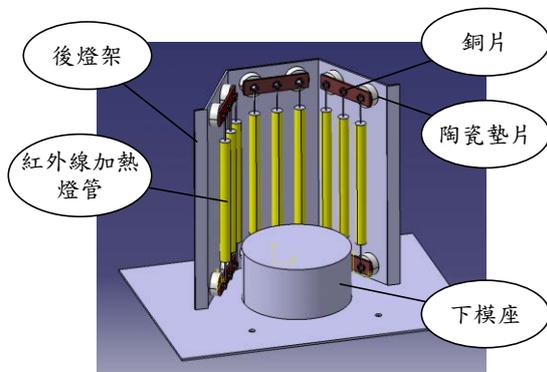


圖 4.3 紅外線燈管加熱裝置設計與實體

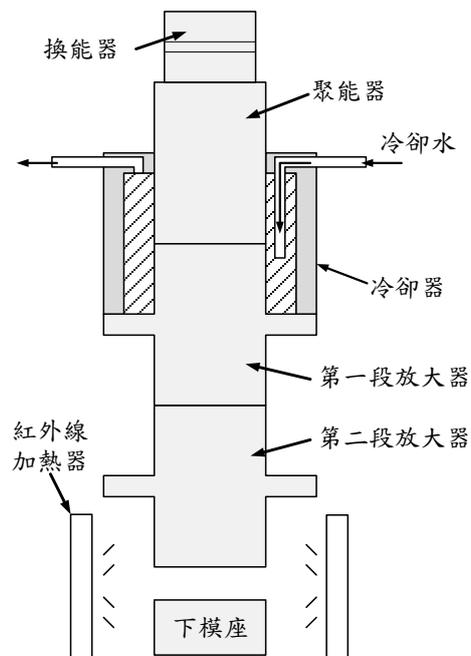


圖 4.4 上下模座之設計

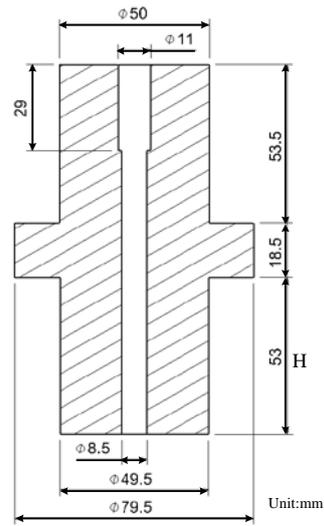


圖 4.5 第二段放大器之設計尺寸

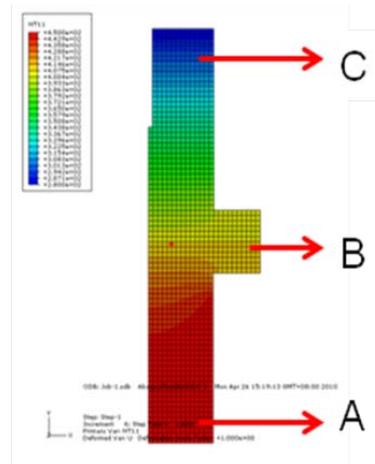


圖 4.6 常溫第二段放大器之溫度分布

表 4.2 A、B 與 C 點之模擬與溫度比較

	A	B	C
Exp.1	90	80	61
Sim.1	90	82.4	61.8
Exp.2	150	134	98
Sim.2	150	136.27	98.4
Exp.3	300	272	191
Sim.3	300	271.3	192.2
Exp.4	400	363	258
Sim.4	400	362.6	258.2
Exp.5	450	407	292
Sim.5	450	407.6	290.6

Unit: $^{\circ}\text{C}$

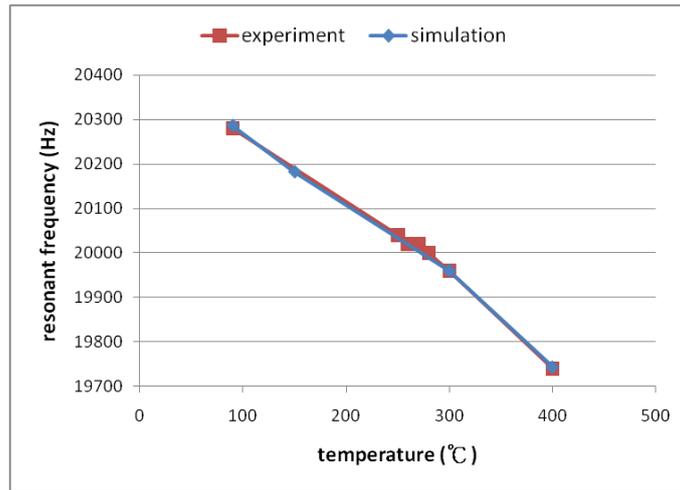


圖 4.7 共振頻率與溫度關係

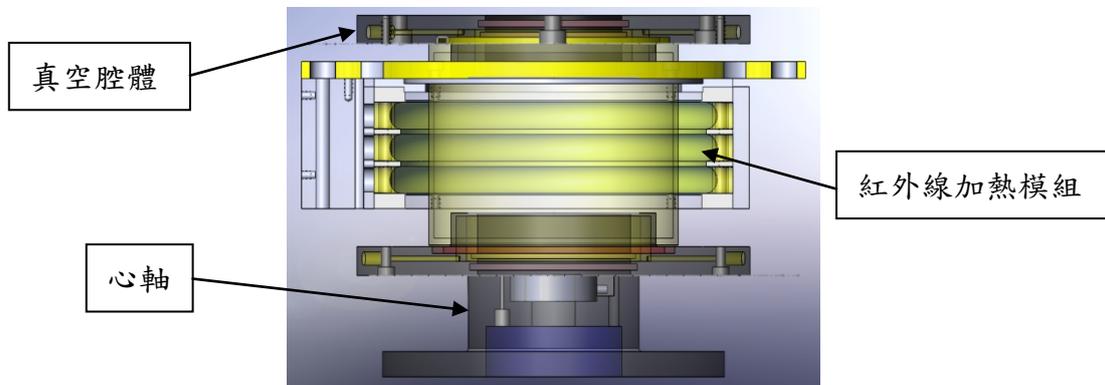


圖 4.8 真空加熱爐體之設計圖

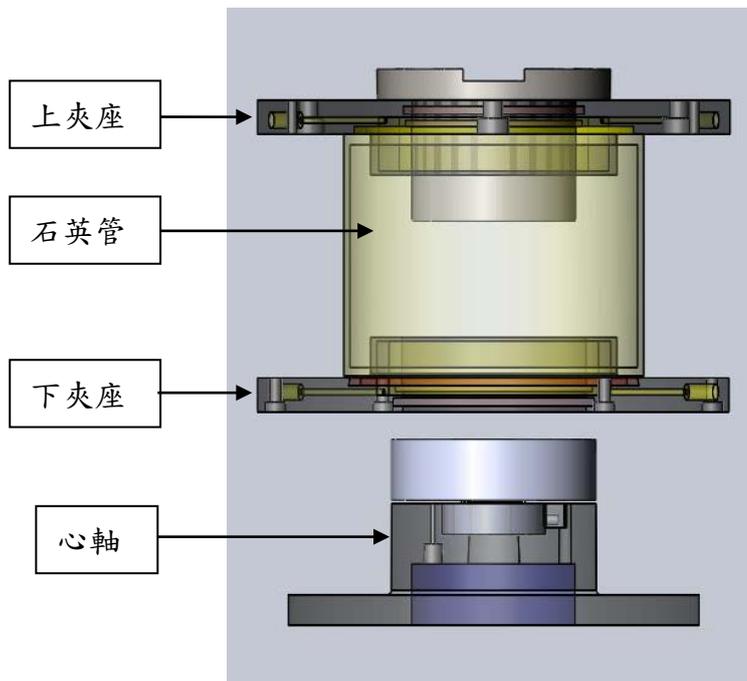


圖 4.9 真空腔體與心軸之設計圖

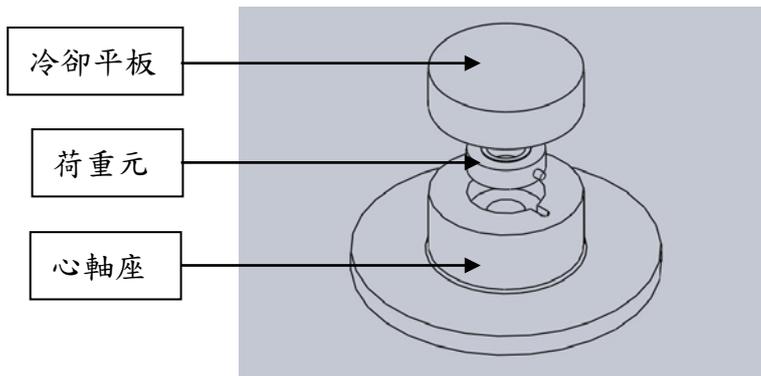


圖 4.10 荷重元裝配示意圖

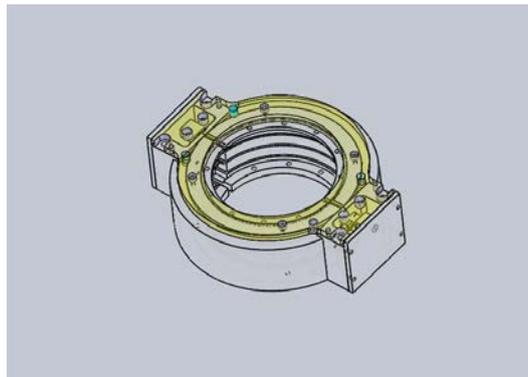


圖 4.11 紅外線加熱模組之設計圖

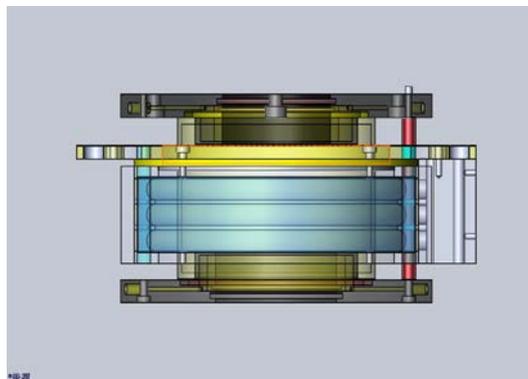


圖 4.12 紅外線與真空腔體組合圖



圖 4.13 紅外線加熱燈管



圖 4.14 熱電偶 (K-type)



圖 4.15 溫度控制器



圖 4.16 真空幫浦



圖 4.17 氮氣鋼瓶



圖 4.18 真空度計

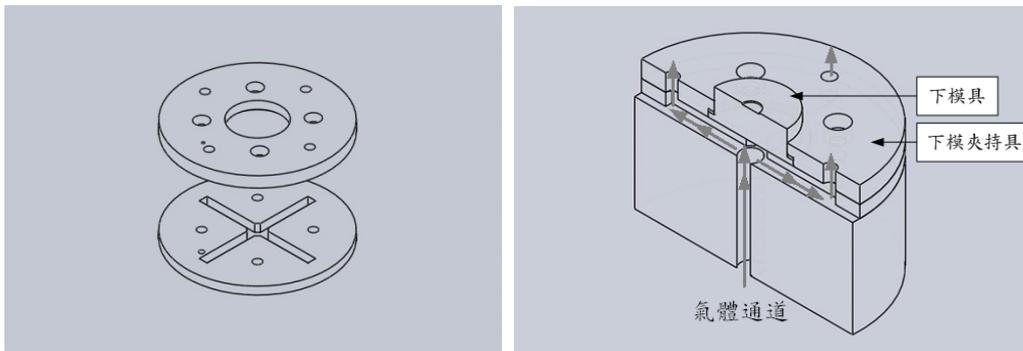


圖 4.19 模仁夾持具設計



圖 4.20 35 kHz 頻率產生器



圖 4.21 35 kHz 超音波換能器與聚能器

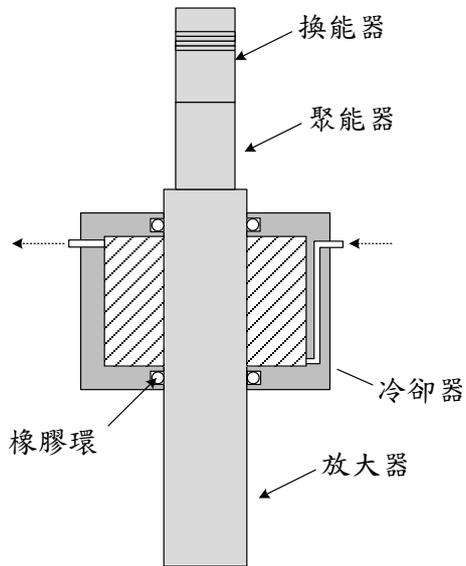


圖 4.22 冷卻器設計



圖 4.23 冰水機



圖 4.24 新型超音波玻璃熱壓成形設備



圖 4.25 K-PSK100 光學玻璃試片

表 4.3 K-PSK100 光學玻璃材料性質表

玻璃編號		K-PSK100
材料性質		
折射率 n_d	1.592	
色散率 v_d	60.54	
玻璃轉移點 T_g ($^{\circ}\text{C}$)	398	
線膨脹係數 $\alpha(10^{-7}/^{\circ}\text{C})$	-30~+70 $^{\circ}\text{C}$	95
	+100~+300 $^{\circ}\text{C}$	114
Knoop 硬度 (Hk)	384	

表 4.4 平面熱壓實驗溫度參數

編號	上模溫度(°C)	下模溫度(°C)
1	430	426
2	430	427
3	435	432
4	435	433
5	440	434
6	440	433
7	445	443

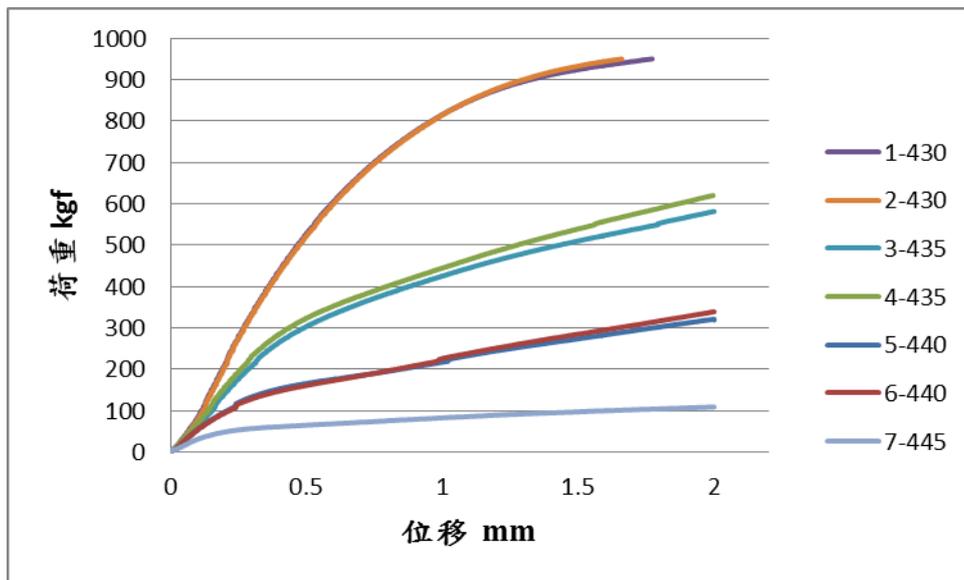


圖 4.26 平面壓縮實驗結果之荷重-位移關係

4.2 超音波輔助玻璃熱壓成形

為了說明超音波對玻璃熱壓成形的效用，於研究中使用建立之成形機台進行一系列的實驗。首先利用平面熱壓實驗，以證明超音波的輔助對玻璃材料性質的影響，再應用 V 溝、透鏡陣列、Fresnel 等不同結構進行成形實驗，說明應用超音波於實際玻璃熱壓成形時的效應。實驗流程如圖 4.27 與圖 4.28，首先(1)將玻璃試片及模具加熱至成形溫度，(2)開始進行壓印，(3)當達到設定之位移後，開啟施加超音波振動，並持續進行壓印，(4)當達到最終位移後，關閉超音波振動，保持壓縮位移並持續 30 秒，最後(5)上模仁離開玻璃試片，並降溫以取出成品。在上述的熱壓過程中，皆保持真空環境。而熱壓實驗用的模仁須具備之特性包括可加工成高形狀精度、在升降溫過程中不易產生破壞、在高溫工作範圍內具有高剛性與高硬度等，另在本研究中，模仁必須具有可承受超音波振動之重複衝擊的性質。因此，本研究中針對不同模仁結構，分別選擇了其適當之材料及

加工方式，以製作符合使用要求之模仁。玻璃材料皆採用 SUMITA 公司生產之 K-PSK100 光學玻璃，外觀為直徑 7mm、高 6.5mm 之圓柱型。

4.2.1 平面熱壓

為了證明超音波振動在玻璃熱壓成形製程對玻璃材料的效應，利用上、下平面之模仁進行材料性質測試。平面模仁為使用不銹鋼 SUS304 之 M8 六角螺絲，表面經過研磨拋光處理，成品如圖 4.29，安裝時可直接利用螺紋與上、下模座鎖附在一起。實驗採用新型超音波輔助玻璃熱壓成形設備，實驗參數如表 4.5，熱壓過程首先以較緩慢的位移速度 0.1mm/min 熱壓 0.1mm 的位移，藉此讓玻璃和模仁的表面溫度一致；接著以 0.5mm/min 的速度繼續熱壓；當位移達 1.5mm 時，啟動超音波振動，並持續熱壓直至位移達到 2mm；最後同時結束超音波振動以及熱壓行程。實驗結果如圖 4.30，可依據成形溫度區分為三個群組，P1、P4 與 P8 分別為三個不同成形溫度之傳統玻璃熱壓成形，顯示成形溫度越高，熱壓時所需的荷重越低。接著於同樣的成形溫度下，分別比較超音波造成的影響。結果表示當施加超音波後，所需要的荷重旋即隨著熱壓位移增加而快速降低，且此現象於同樣的實驗條件下，可重現一致的結果。並且於最終位移 2mm 時，顯示成形溫度越低，荷重被降低的程度越顯著。

所以藉由超音波的輔助，的確可以降低玻璃熱壓成形所需要的力量，證明施加超音波後，玻璃材料的表面溫度受到一定程度的提升，使玻璃材料進一步地軟化。於後續成形複雜微結構時，將可因玻璃材料流動性的增加，提高成品的成形性。並且，利用較低之熱壓成形溫度配合超音波振動，就可達成較高熱壓成形溫度之成形結果，進而縮短升溫時間，提高製程效率。再者，由於成形力量大幅降低，將可以減少模具損耗的情形。

4.2.2 V溝結構熱壓成形

V 溝結構模仁為使用放電加工法，直接在不銹鋼 SUS304 上加工結構，再於表面度貴金屬硬膜層 Pt-Ir 防止於熱壓過程中玻璃與模仁發生沾黏。結構設計尺寸如圖 4.31，製作之模仁成品如圖 4.32，結構量測結果如圖 4.33。V 溝結構之模仁裝置於下模座，上模座則裝置平面模仁。實驗採用第二代玻璃熱壓成形設備，表 4.6 為實驗參數。圖 4.34 至圖 4.36 為熱壓成形之成品，利用 3-D 雷射顯微鏡((KEYENCE 公司生產型號 VK-9700)量測結構輪廓(國家儀器科技中心提供)如圖 4.37 至圖 4.42，將深度量測結果整理於表 4.6，其中填充深度增加率定義為：

$$\text{填充深度增加率} = \frac{\text{施加超音波組深度} - \text{未施加超音波組深度}}{\text{未施加超音波組深度}} \times 100\%$$

由未施加超音波組實驗編號 V1、V2、V3 結果，可以發現壓縮量由 1.5mm 增加至 2.5mm 後，玻璃結構的填充深度由 38.9um 提昇至 89.6um。固定溫度參數、壓縮量以及壓縮速率，比較超音波對微結構填充性影響，可以發現各組在施加超音波後，皆有較好的填充性。且當壓縮量越大則

超音波輔助效果越顯著，使結構深度最大可提升 62.2%。

4.2.3 透鏡陣列熱壓成形

透鏡陣列熱壓成形為利用圓孔陣列結構，進行熱壓時，玻璃材料並非完全填入模穴中，而是利用玻璃軟化後表面張力自然形成之曲面，達成透鏡之功能。此方法之優點為成形時不會受到模具表面粗糙度的影響，曲面即可達成良好的表面品質，因此可大副降低模具的製造成本。陣列透鏡模仁為使用不鏽鋼 SUS034 之 M8 六角螺絲，以超高速鑽床加工於上表面加工出深度 0.5mm 之圓孔陣列。圓孔陣列設計尺寸如表 4.7，模仁成品如圖 4.43，利用光學顯微鏡拍攝加工之圓孔如圖 4.44 及圖 4.45。

實驗時圓孔陣列模仁裝置於上模座，下模座則使用平面模仁，採用新型超音波輔助玻璃熱壓成形設備，熱壓速度為 0.5mm/min，於位移達 1.7mm 時透過上模具施加超音波於玻璃表面上，至熱壓位移 1.9mm 停止施加超音波，再持續熱壓至位移 2mm 結束熱壓行程，其他實驗參數如表 4.8。圖 4.46 為透鏡陣列的成品，左右圖為分別利用 Array1 及 Array2 之模仁所製成。結構輪廓量測儀器採用非接觸式雷射位移感測器搭配單軸伺服控制平台，如圖 4.47 所示，雷射感測器為 KEYENCE 公司生產之 LK-H020，量測精度為 $0.02\mu\text{m}$ ，主要規格如表 4.9；單軸伺服控制平台為之馬達為 ANIMATICS 公司生產之 integrated servo system，搭配精密螺桿形成單軸運動，位移精度為 $3\mu\text{m}$ 。圖 4.48 及圖 4.49 為中央三個透鏡結構之輪廓量測結果，顯示超音波輔助成形並未明顯呈現於輪廓上，再將最高之高度並計算高度增加率後整理於表 4.10，其中高度增加率定義為：

$$\text{高度增加率} = \frac{\text{施加超音波組高度} - \text{未施加超音波組高度}}{\text{未施加超音波組高度}} \times 100\%$$

使用模具 Array1 時，以超音波輔助光學玻璃熱壓成形的成品，其高度增加率均為正值，亦即超音波增加了玻璃表面的材料流動性，使其能更容易填充進陣列結構模具的孔洞之中；但是使用模具 Array2 時，除了玻璃熱壓成品的成形高度均較使用模具 Array1 時來得低之外，再以超音波輔助成形之後，結構的高度卻無增加的趨勢。再由側面觀察玻璃成品的外型，可發現玻璃試片以超音波輔助熱壓後，試片側邊的直徑較無超音波輔助成形之試片為大，表 4.11 為量測後之結果，顯示超音波輔助增加了材料向外圍的流動性。由於圓孔陣列模仁裝置於上模座，在施加超音波後，促進了材料向外圍流動，且較難以向上填入模穴中，因此可能造成玻璃結構的填充性會相對地降低。

4.2.4 Fresnel結構熱壓成形

Fresnel 結構模仁則為使用電鑄翻模法所製作。鎳鈷合金(Ni-Co alloy)為一種新發展的塑膠射出模具材料，比起傳統鎳金屬塑膠射出模具有更高的硬度、耐熱性和耐磨性等優點；在微結構模仁

製作方面，可先使用超精密加工機加工出其他材料之母模後，再利用電鑄的技術快速生產精度良好之鎳鈷合金模仁。電鑄技術的優點在於能百分之百複製精度，如光學鏡面的複製、表面細紋複雜的複製、傳統加工方法製作不易或製作成本太高之模具，達成降低微結構模仁製作成本之目的。

本研究嘗試使用鎳鈷合金作為玻璃熱壓成形製程中之 Fresnel 結構模仁，製作方法首先於電鑄翻模之母模底材不銹鋼 STARVAX 表面鍍無電解鎳，使用超精密加工機於鎳層車削出 Fresnel 微結構，圖 4.50 為結構設計尺寸，其中齒高之定義如圖中所示，將用於比較後續熱壓成品之成形性，母模成品如圖 4.51。再利用鎳鈷合金電鑄於母模上進行翻模製作而成，厚度為 0.5mm。模仁成品如圖 4.52 所示，利用 3-D 雷射顯微鏡量測電鑄母模(圖 4.53 及圖 4.54)與鎳鈷電鑄模仁(圖 4.55 至圖 4.57)輪廓，量測之齒高整理於表 4.12，考慮非接觸式量測誤差，完成之 Fresnel 結構模仁可符合設計的尺寸，且證明電鑄翻模方法可準確複製母模之結構。最後在於結構表面鍍上貴金屬硬膜層 Pt-Ir，防止模仁與玻璃於熱壓過程中發生沾黏的情形。

為了了解鎳鈷合金的適用範圍，先進行耐熱實驗以測試溫度極限。實驗方法為將鎳鈷合金材料放進加熱爐中並抽真空進行升溫、保溫與降溫的過程，再從實驗結果觀察表面劣化情形，以推測其高溫耐熱的使用範圍，實驗結果圖如表 4.13 所示；由實驗結果可知，鎳鈷合金模仁在 460°C 內還可保持表面完整沒有劣化現象，超過此溫度後表面會變色且表面品質呈劣化現象，因此後續實驗將會設定溫度在 460°C 以下，以避免破壞鎳鈷合金模仁。

實驗為使用第二代玻璃熱壓成形設備，將 Fresnel 結構模仁裝置於下模座，上模座使用平面模仁。表 4.14 為本研究熱壓成形之實驗參數，其中熱壓速度皆為 0.5mm/min。熱壓成品如圖 4.58 至圖 4.60 所示。圖 4.61 至圖 4.63 為所有熱壓成品中，由中心算起前三齒高的量測結果。圖 4.61 中可知超音波振動輔助玻璃熱壓成品之齒高，皆高於未施加超音波振動熱壓之成品，且齒高相當接近模仁之尺寸。圖 4.62 中為利用較低的成形溫度進行實驗之結果，顯示熱壓後整體之齒高都下降了，但是透過超音波振動輔助成形之成品，仍然具有較高的高度。圖 4.63 則為再將熱壓之位移由 1.5mm 增加至 2mm 之實驗，結果表示整體齒高可較為提升，且同樣地，超音波振動輔助成形之成品，可達到較高的高度。由上述之實驗結果中，顯示較高的成形溫度，以及較大的熱壓位移，皆可提升成形性；且藉由超音波振動之輔助，可有效地提升成形結構之高度，增加整體之成形性。此現象推測是因為當施加超音波振動於玻璃試片後，由於振動使得玻璃表面的溫度提升，而增加了玻璃材料的流動性，因此，使得玻璃材料更易於填入模仁之結構中。

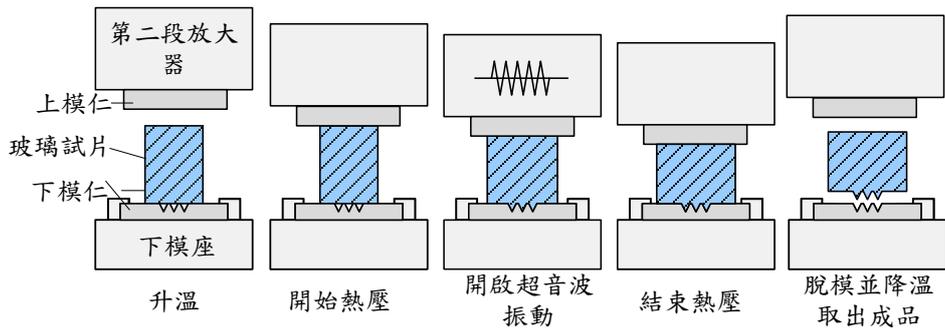


圖 4.27 超音波輔助玻璃熱壓成形實驗流程

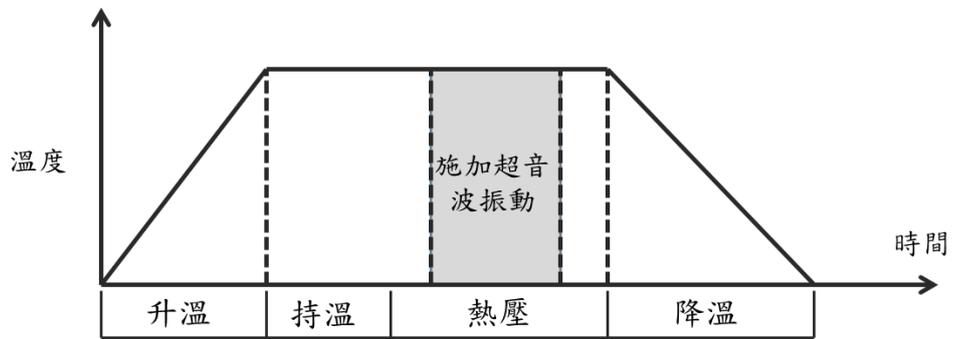


圖 4.28 超音波輔助玻璃熱壓成形實驗之歷程



圖 4.29 平面模仁

表 4.5 超音波輔助平面熱壓成形參數

實驗編號	施加超音波	下模溫度(°C)	上模溫度(°C)
P1	無	420	427
P2	有	420	428
P3	有	420	427
P4	無	425	432
P5	有	425	432
P6	有	425	433
P7	有	425	432
P8	無	430	435
P9	有	430	434
P10	有	430	434

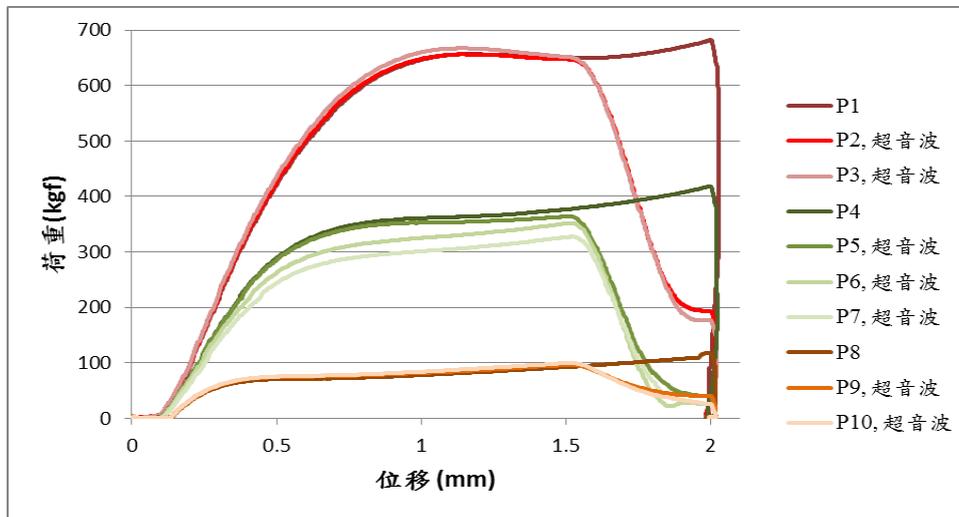


圖 4.30 超音波輔助平面熱壓成形之荷重-位移關係

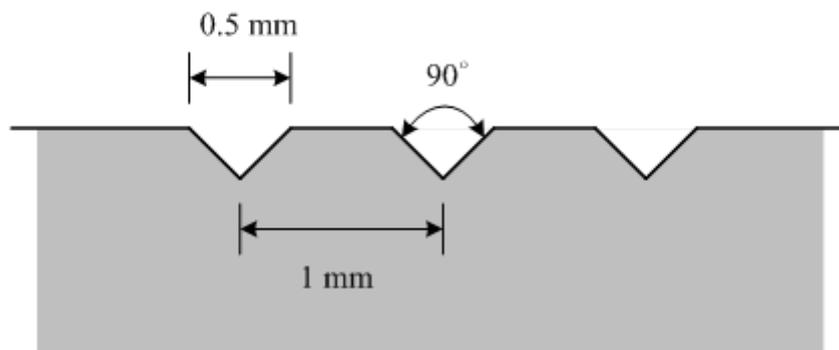
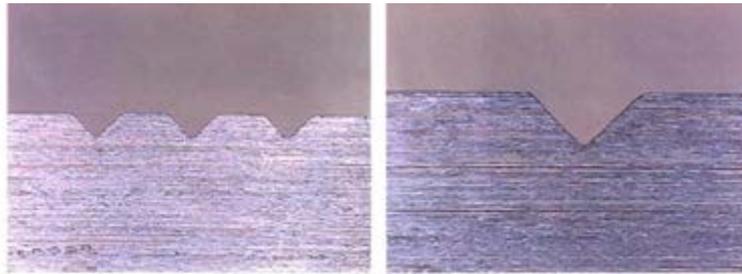


圖 4.31 V 溝結構模仁尺寸設計



圖 4.32 V 溝結構模仁成品



量測工具：2D 光學量測 校正精度： $\pm 1 \mu\text{m}$
 最小 R 角：0.0395mm
 角度：89.9300 度
 深度：0.2494mm
 開口：0.532mm

圖 4.33 V 溝結構模仁量測結果

表 4.6 V 溝結構熱壓成形實驗參數與量測結果

編號	超音波施加時機	壓縮量	壓縮速率	量測深度	填充深度增加率
上模 435°C、下模 405°C					
V1-ultra	1.2mm-1.5mm	1.5mm	0.5mm/min	50.6um	22.8%
V1	無	1.5mm	0.5mm/min	41.2um	
上模 435°C、下模 405°C					
V2-ultra	1.75mm-2mm	2mm	0.5mm/min	106.7um	42.1%
V2	無	2mm	0.5mm/min	75.1um	
上模 435°C、下模 405°C					
V3-ultra	2mm-2.25mm	2.5mm	0.5mm/min	144.4um	62.2%
V3	無	2.5mm	0.5mm/min	89.6um	

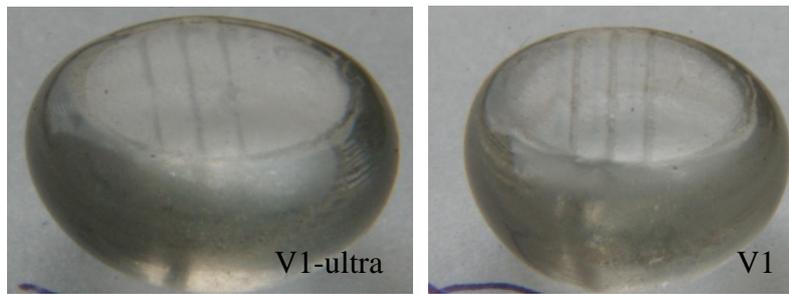


圖 4.34 V 溝結構熱壓成品 V1-ultra 及 V1



圖 4.35 V 溝結構熱壓成品 V2-ultra 及 V2

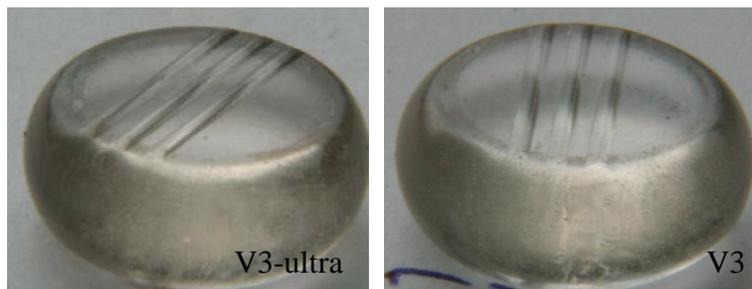


圖 4.36 V 溝結構熱壓成品 V3-ultra 及 V3

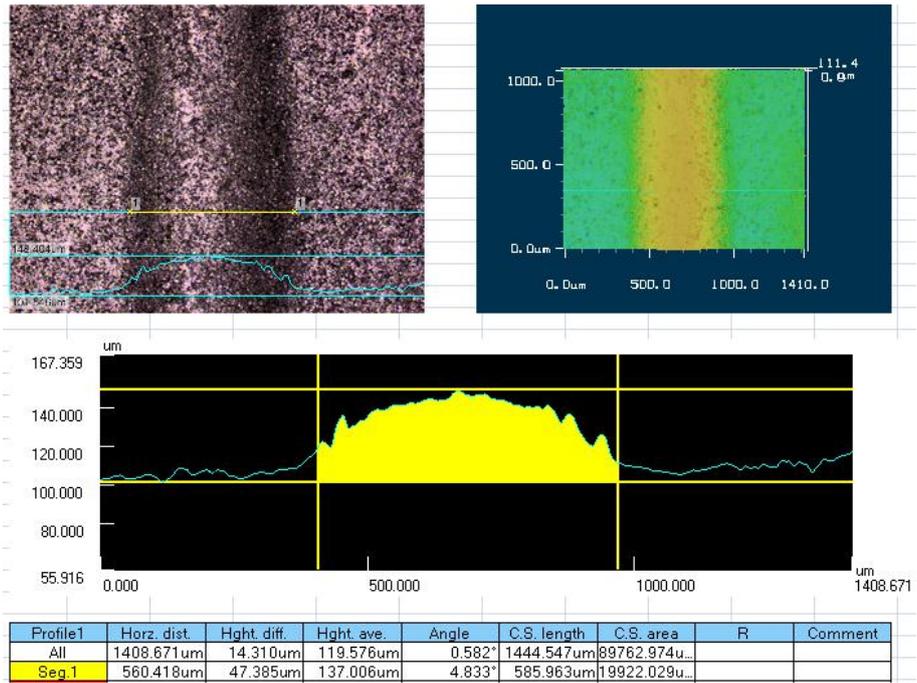


圖 4.37 V1-ultra 輪廓量測

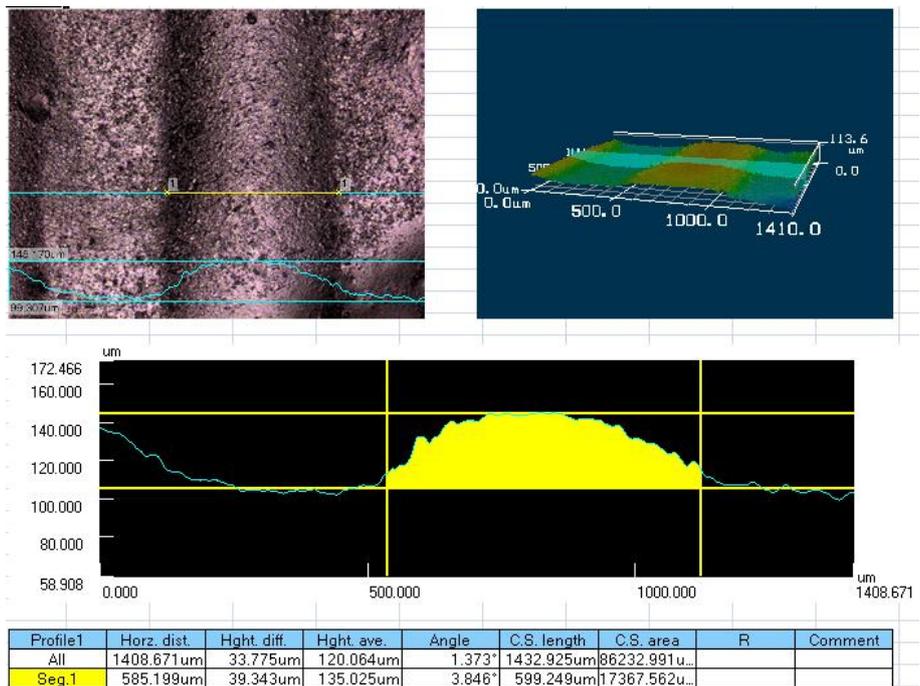


圖 4.38 V1 輪廓量測

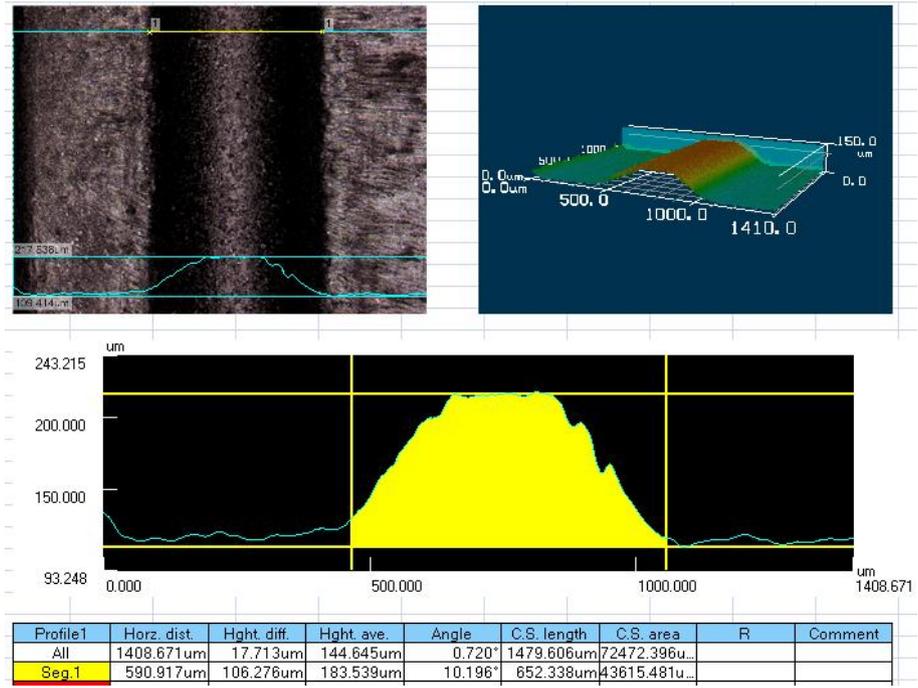


圖 4.39 V2-ultra 輪廓量測

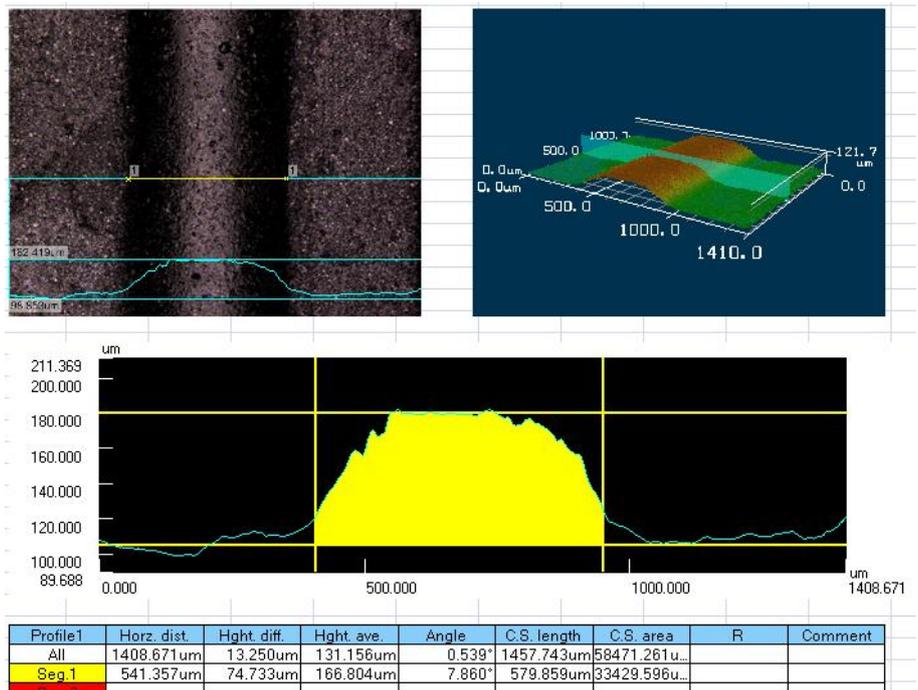


圖 4.40 V2 輪廓量測

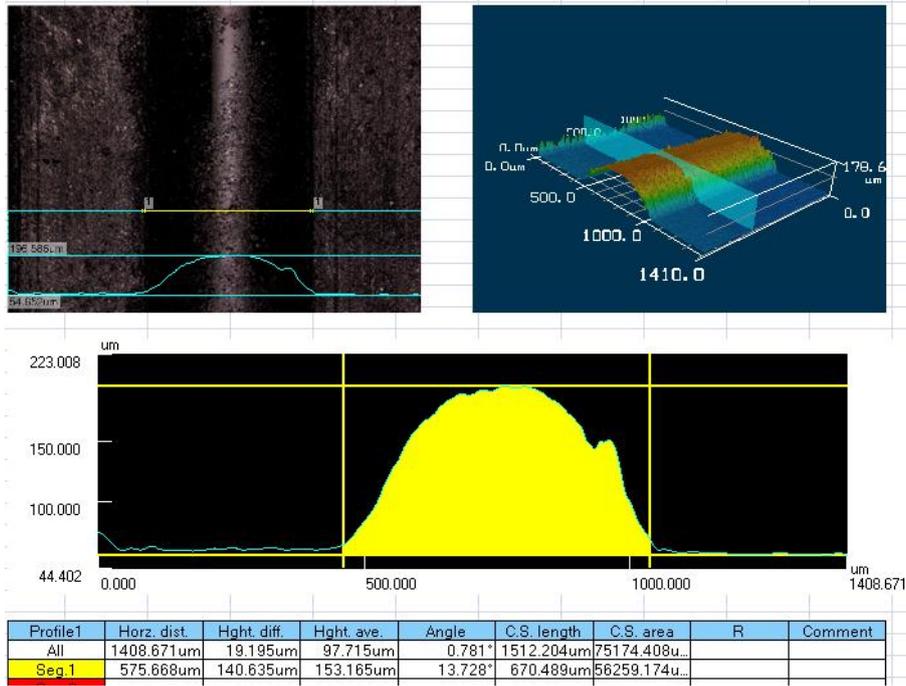


圖 4.41 V3-ultra 輪廓量測

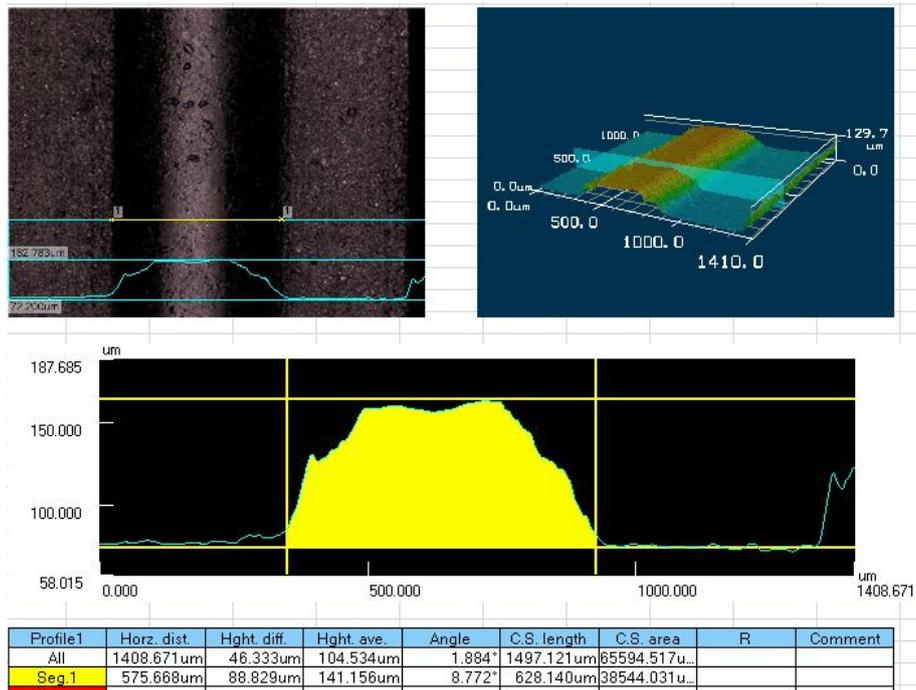


圖 4.42 V3 輪廓量測

表 4.7 圓孔陣列結構模具之設計尺寸

模具編號	陣列	孔徑 (mm)	間隔 (mm)	深度 (mm)
Array1	5×5	0.8	1.5	0.5
Array2	5×5	0.8	1	0.5

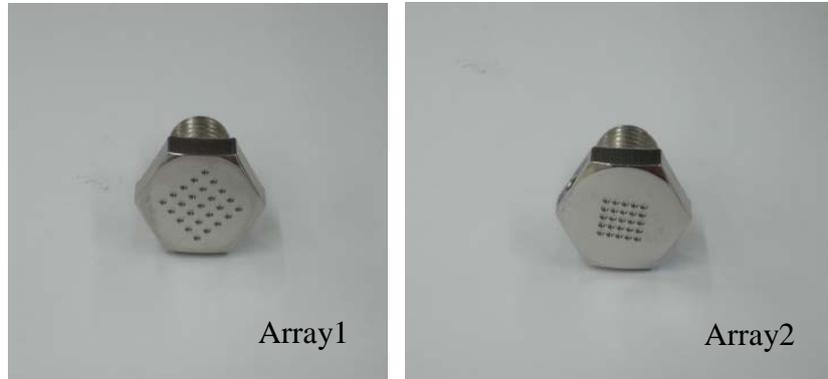


圖 4.43 圓孔陣列結構模具

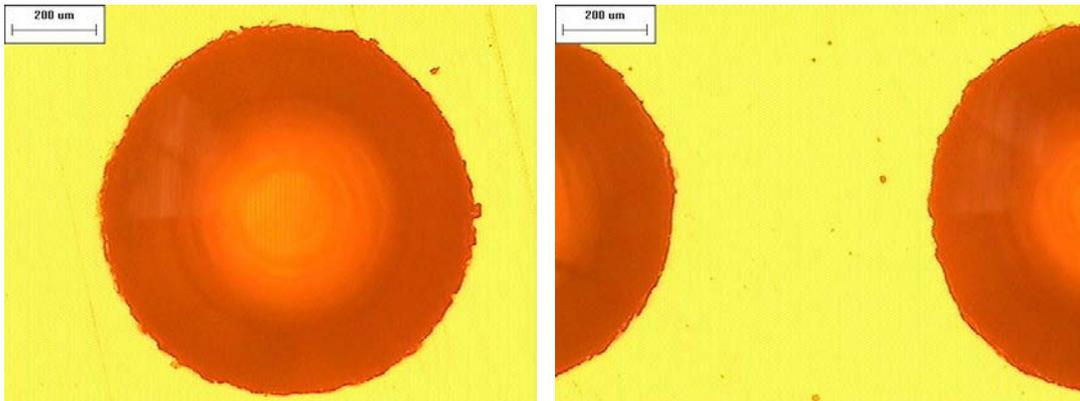


圖 4.44 Array1 圓孔量測

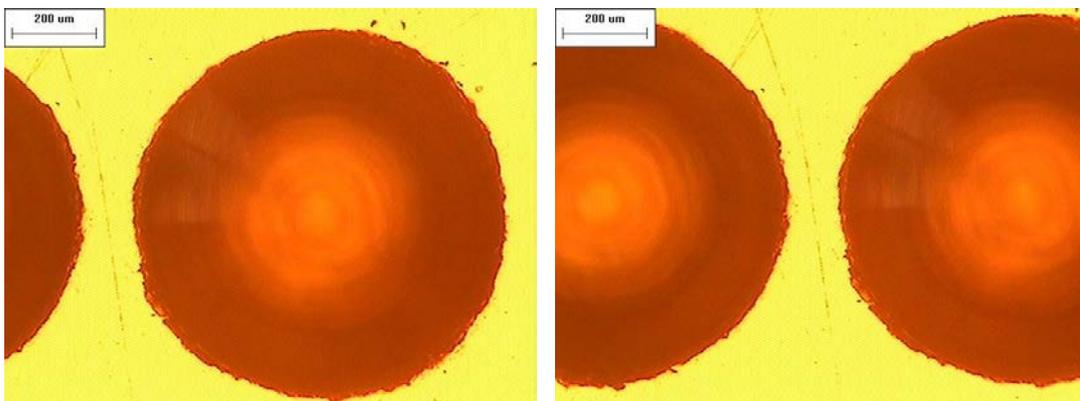


圖 4.45 Array2 圓孔量測

表 4.8 透鏡陣列熱壓成形實驗參數

實驗編號	施加超音波	模具	上模溫度(°C)	下模溫度(°C)
A1	無	Array1	425	420
A1-ultra	有	Array1	425	420
A2	無	Array2	422	420
A2-ultra	有	Array2	421	420

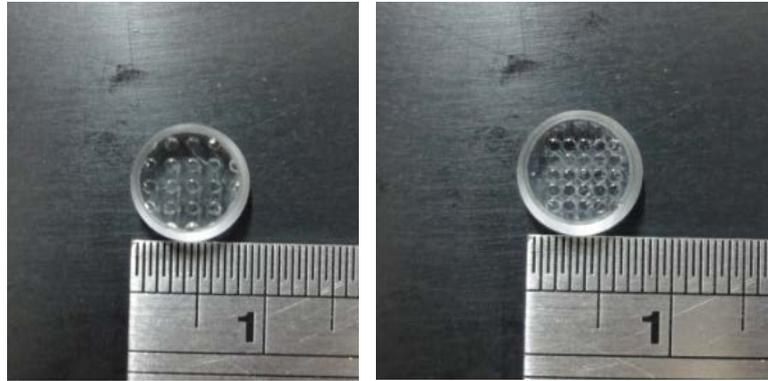


圖 4.46 透鏡陣列成品

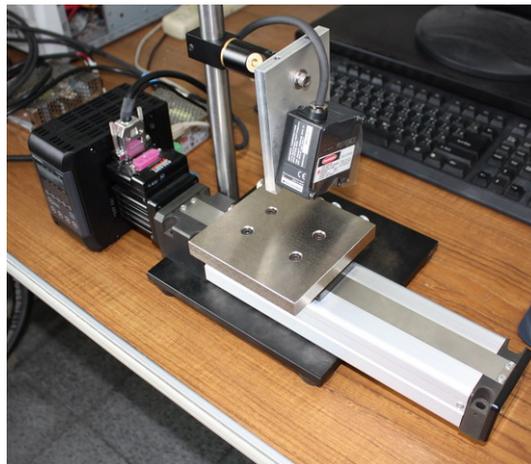


圖 4.47 雷射結構量測儀器

表 4.9 雷射位移感測器規格

型號	LK-H020
量測範圍	±3mm
雷射尺寸	φ25μm
線性精度	±0.02% FS
重複精度	0.02μm
最高取樣頻率	392k Hz

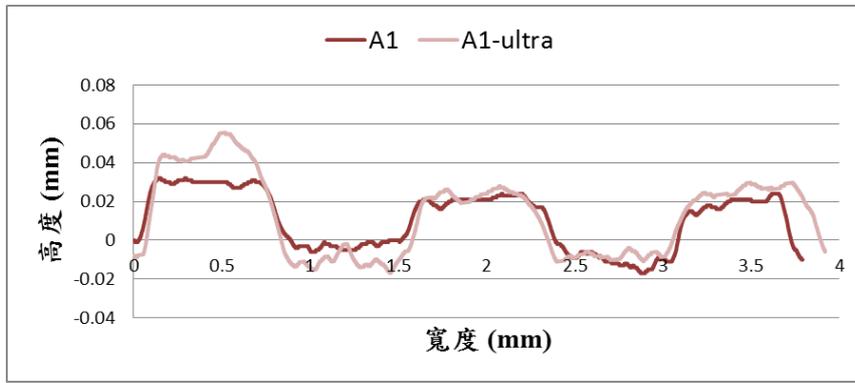


圖 4.48 透鏡陣列輪廓量測

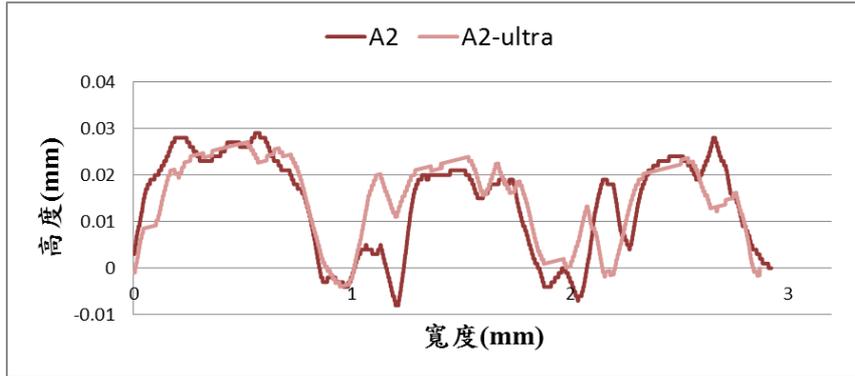
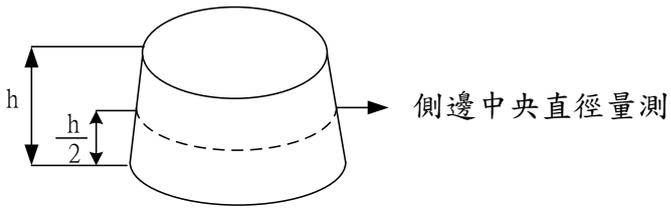


圖 4.49 透鏡陣列輪廓量測

表 4.10 透鏡陣列之高度

俯視圖		側視圖		
實驗編號		1	2	3
A1	高度(mm)	0.032	0.024	0.024
A1-ultra	高度(mm)	0.055	0.027	0.029
	高度增加率(%)	71.88	12.5	20.83
A2	高度(mm)	0.028	0.021	0.028
A2-ultra	高度(mm)	0.027	0.023	0.023
	高度增加率(%)	-3.57	9.52	-17.86

表 4.11 側邊中央直徑量測結果

				
實驗編號	A1	A1-ultra	A2	A2-ultra
寬度(mm)	8.30	8.51	8.08	8.24

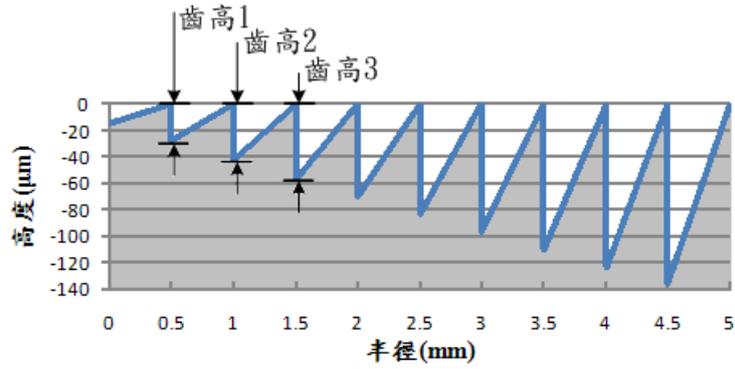


圖 4.50 Fresnel 結構模仁尺寸設計

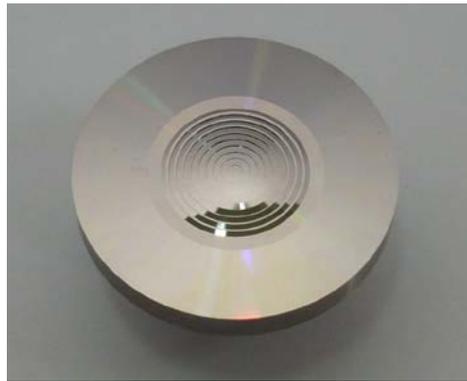


圖 4.51 鎳鈷電鑄之母模



圖 4.52 鎳鈷電鑄模仁

表 4.12 Fresnel 模仁齒高設計與量測值

	第一齒	第二齒	第三齒	第四齒
設計值	28	42	56	70
電鑄母模(um)	27.868	43.35	58.623	68.969
Fresnel 結構模仁(um)	26.543	35.802	51.455	65.802

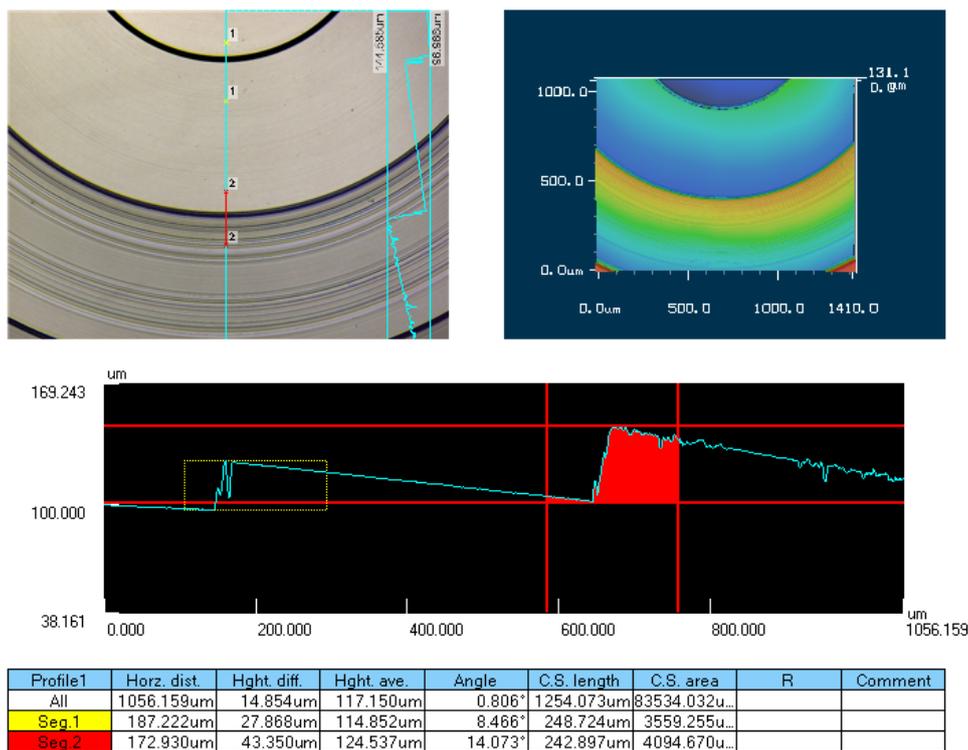


圖 4.53 電鑄母模量測結果(1)

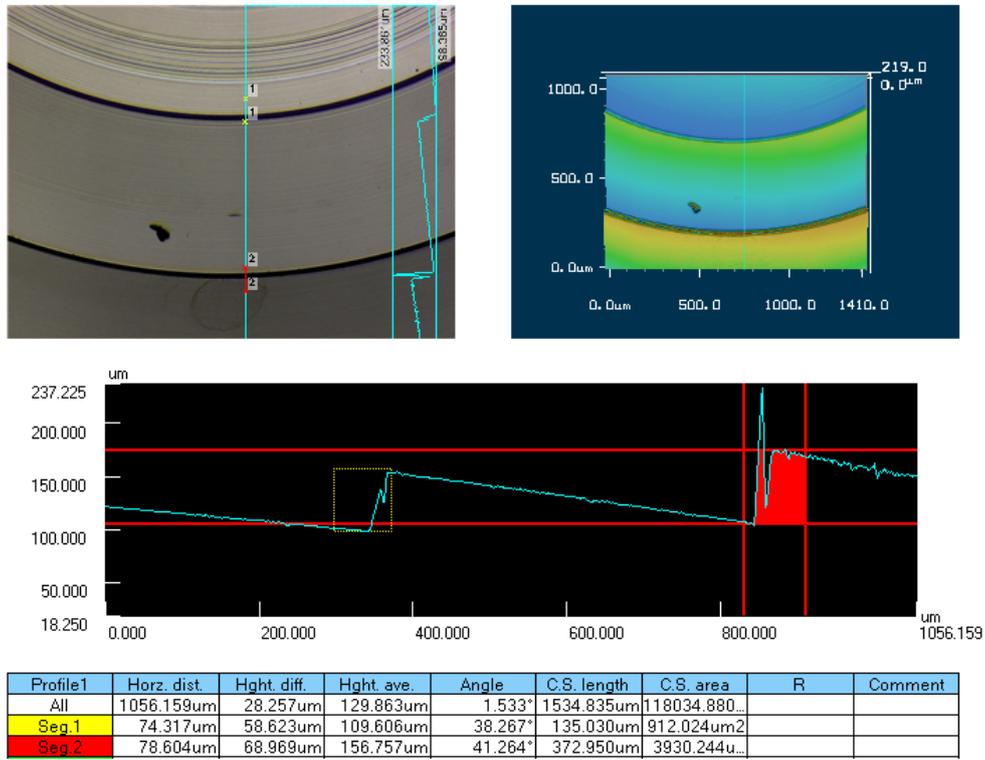


圖 4.54 電鑄母模量測結果(2)

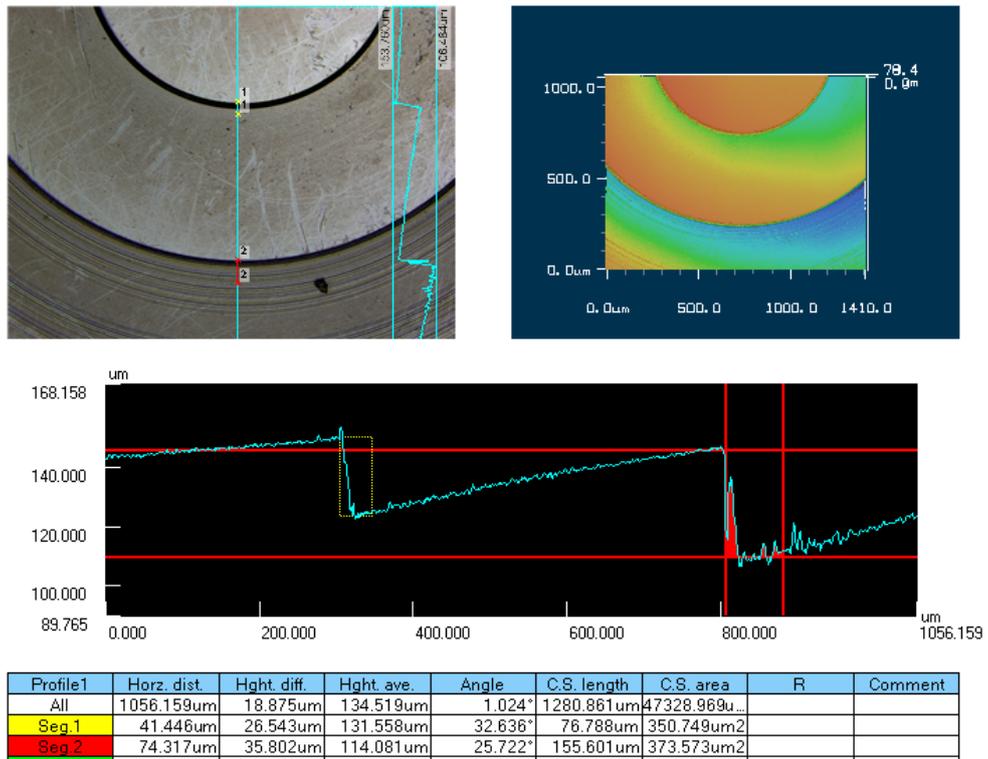


圖 4.55 Fresnel 結構模仁量測結果(1)

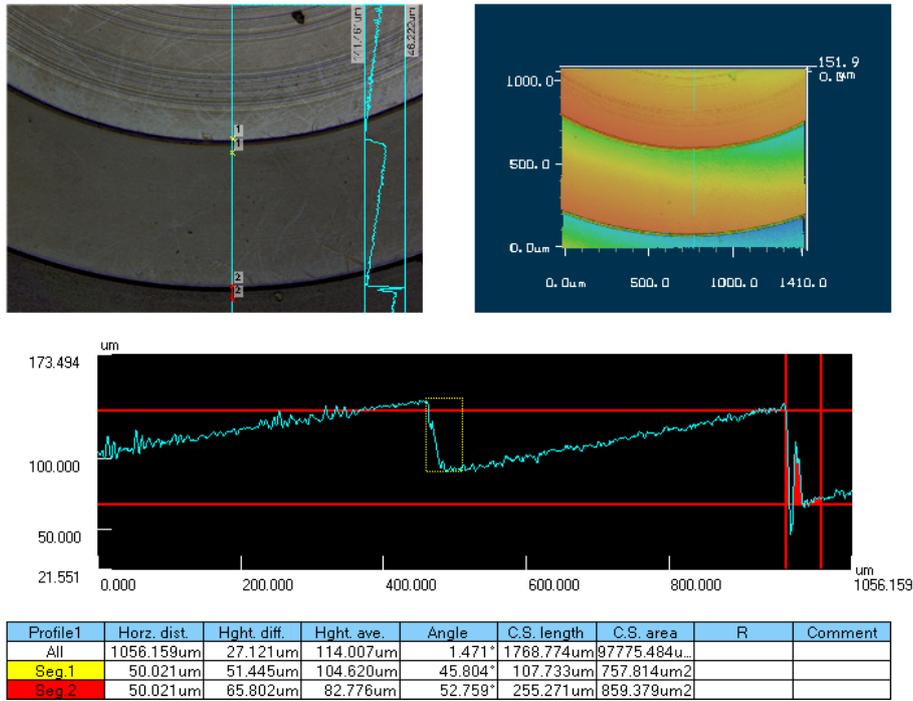


圖 4.56 Fresnel 結構模仁量測結果(2)

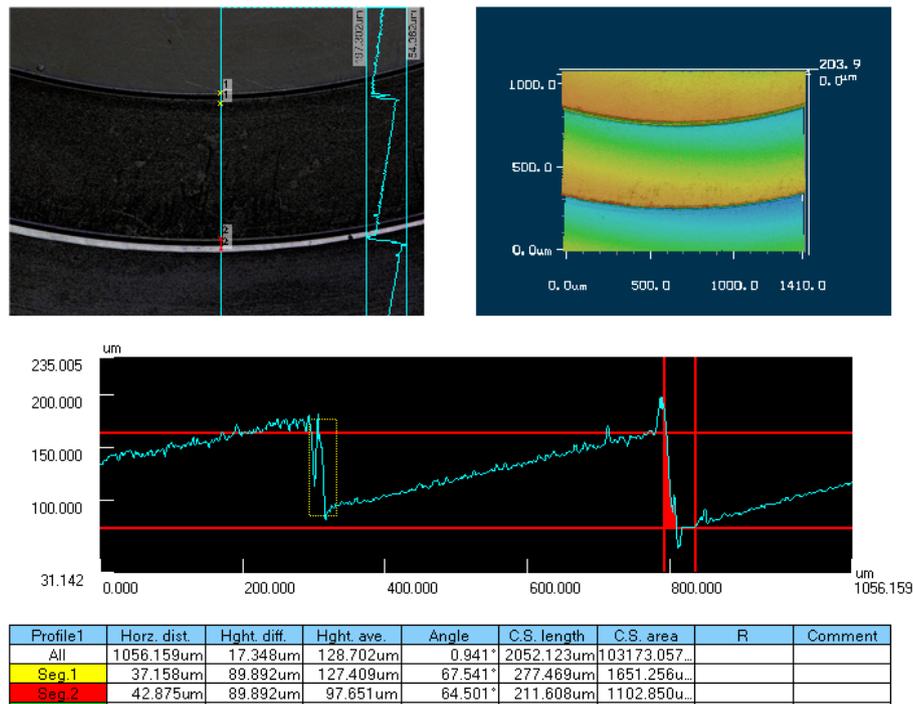


圖 4.57 Fresnel 結構模仁量測結果(3)

表 4.13 鎳鈷合金耐熱實驗結果

		測試前	測試後
加熱溫度	400°C		
	450°C		
	460°C		
	470°C		
	480°C		

表 4.14 Fresnel 結構熱壓成形參數

編號	上模溫度(°C)	下模溫度(°C)	位移(mm)	超音波振動區間(mm)
F1-ultra	435	415	1.5	1.25 ~ 1.5
F1	435	415	1.5	None
F2-ultra	430	398	1.5	1.25 ~ 1.5
F2	430	398	1.5	None
F3-ultra	430	398	2	1.75 ~ 2
F3	430	398	2	None

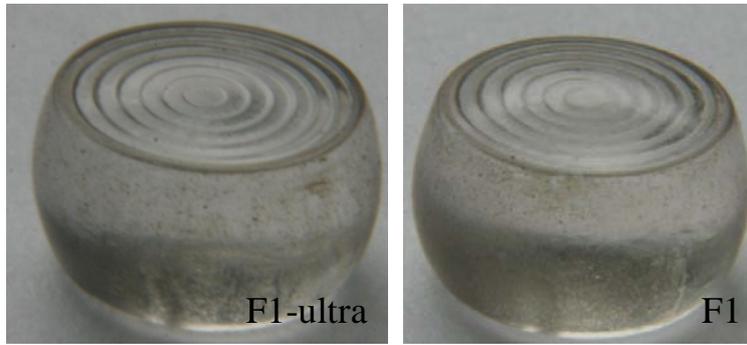


圖 4.58 Fresnel 溝結構熱壓成品 F1-ultra 及 F1

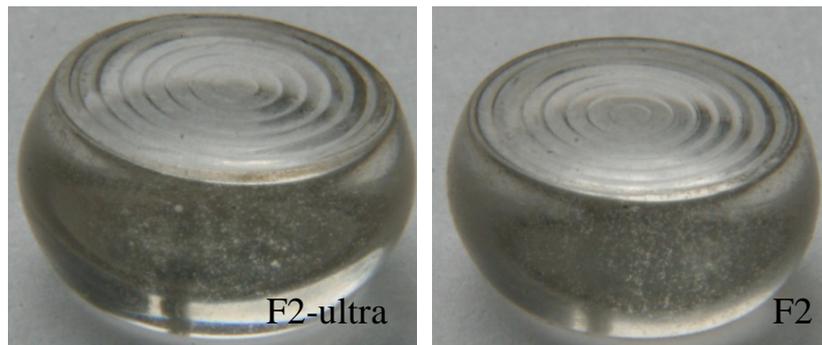


圖 4.59 Fresnel 溝結構熱壓成品 F2-ultra 及 F2

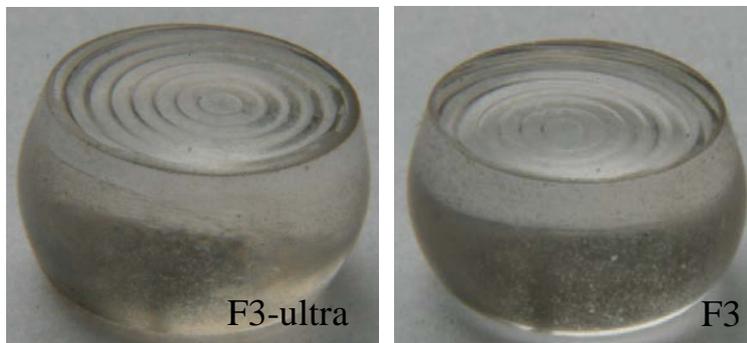


圖 4.60 Fresnel 溝結構熱壓成品 F3-ultra 及 F3

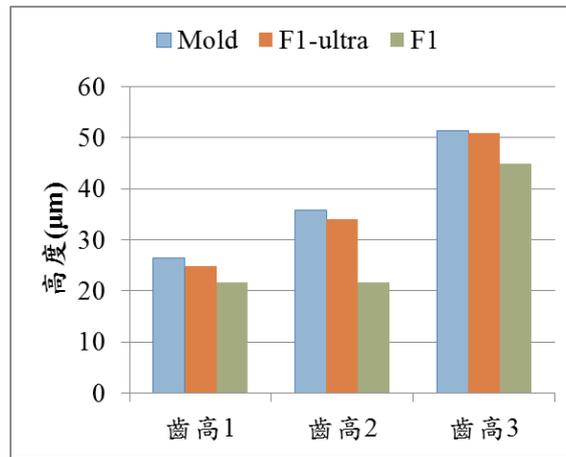


圖 4.61 齒高量測結果(1)

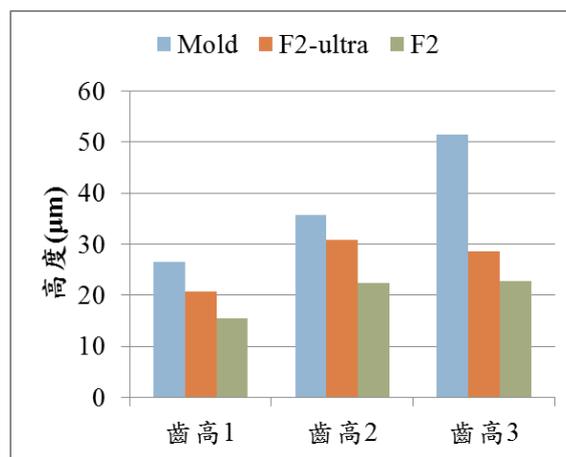


圖 4.62 齒高量測結果(2)

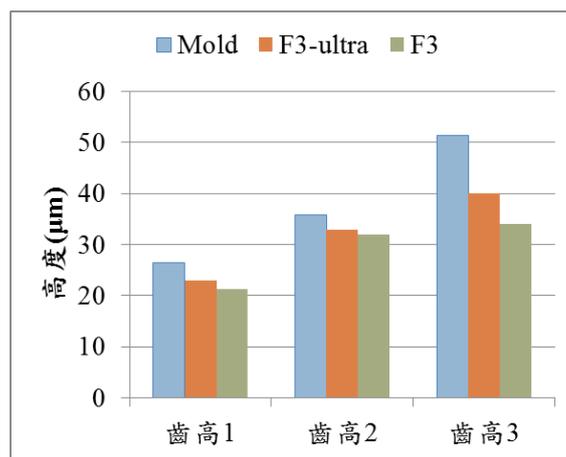


圖 4.63 齒高量測結果(3)

4.3 太陽能集光器之設計

由於 Fresnel 結構具有減重、縮小體積、功能多樣化等優點，可應用於相機、投影機、太陽能集光器等。且由本研究中利用玻璃材料作製作 Fresnel 結構，可藉由玻璃材料良好光學特性，以及優異的環境抵抗能力，將可使 Fresnel 結構有更佳的實用性。其中，對於太陽能集光器之應用，目前利用熱壓成形技術的製作方式在結構填充率、大面積製程以及成本的考量下，尚在研究階段。因此，雖然玻璃為太陽能集光器較佳的選擇，但考量 Fresnel 透鏡取得的難易性以及驗證設計時的便利性，將先使用 PMMA 作為設計 Fresnel 透鏡時的材料。在建立完整光學設計、最佳化與實驗方法後，可再將此流程運用到玻璃以及其他光學材料的設計中。

4.3.1 Fresnel結構太陽能集光器之設計

用於太陽能集光系統之集光元件最主要的目標為(1)在太陽能電池上聚集最大的能量，以及(2)使太陽能電池表面獲得均勻之輻射通量分佈。由於太陽光為連續光譜，如圖 4.64，為了使太陽能電池能夠接受到最大的能量，本研究將取能夠穿透 Fresnel 透鏡材料之最長波長做為設計波長，使菲涅耳透鏡聚光的範圍剛好涵蓋整個太陽能電池的邊緣。如此一來，其餘波長較短的太陽光，因折射率較大，將可以保證完全匯聚在太陽能電池之上，如圖 4.65。

而考慮到越短的波長折射率越大，會造成太陽能電池中央部分出現能量過於集中的現象，初始設計概念為將 Fresnel 透鏡之稜鏡由內而外分成 5 等份，最外圍 1/5 稜鏡匯聚光線到太陽能電池的最外圍，其餘四等份的稜鏡折射光線之目標區域依序往太陽能電池中心排列。如此的配置方法，可使能量分散到太陽能電池的外圍，太陽能電池中心輻射通量過於集中的情形可以獲得初步的舒緩。

將折射面簡化為直線且溝槽向內之 Fresnel 透鏡[54]，如圖 4.66，半徑為 r ，截面之稜鏡數為 $2N$ (總共有 N 環)，且稜鏡間為等間距(Pitch)，假設太陽光為一平行入射之光束，入射角為 α ，折射角為 β ，稜鏡與自訂太陽光之目標區域之水平距離為 R ，菲涅耳透鏡與太陽能電池之距離為 f ，菲涅耳透鏡材料之折射率為 n 。則稜鏡角為：

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{R}{n\sqrt{R^2 - f^2} - f}\right)$$

稜鏡寬度為：

$$prism_width = \frac{r}{N}$$

及各稜鏡的深度為：

$$prism_depth = prism_width \times \tan \alpha$$

藉由上述之設計方法計算出一具有 50 環稜鏡之 Fresnel 透鏡，半徑為 25mm，太陽能電池尺寸則為 10mm x 10mm，與透鏡距離為 100mm；再利用光學軟體 ZEMAX 建立 Fresnel 透鏡之幾何模

型如圖 4.67，在太陽能電池設定為偵測面；接下來依照 PMMA 的折射率、穿透率等性質輸入幾何模型中，再參考太陽光譜之分布建立分析之光源，接著進行光學模擬，如圖 4.68。經由 500 萬條光線進行光線追跡模擬後，太陽能電池表面的輻射通量分布如圖 4.69 及圖 4.70。模擬結果之數值顯示，由於介面反射損失與透鏡材料之穿透損失，造成匯聚至太陽能電池表面之輻射通量減為 1.753W，相較於入射之 1.903W 輻射通量，Fresnel 透鏡其光學效率為 92.1%。而透鏡匯聚能量的範圍為一直徑 10mm 的圓形，剛好在太陽能電池尺寸 10mm x 10mm 之內，符合初始設計的要求。太陽能電池的外圍部分輻射通量分佈已相當均勻，但中間的部分仍然有輻射通量分佈不均勻的情形，因此有必要對 Fresnel 透鏡之幾何外形進行最佳化以改善這個現象。

由初始設計的模擬結果可看出，太陽能電池表面輻射通量不均勻的區域主要在太陽能電池中央部分。深入分析模擬結果，可發現輻射通量分佈不均勻主要是中央 10 環稜鏡所導致，因此將針對此部分進行最佳化，改善輻射通量的分布。將最佳化變數設定為菲涅耳透鏡中央 10 環的稜鏡深度。為了使匯聚至太陽能電池表面之輻射照度均勻分佈，代表太陽能電池之偵測面上劃分成 200 x 200，共 40000 個像素，經過光線追跡之後，每個像素將記錄其接受到的能量資訊。目標函數如下：

$$f = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{40000} (E_i - \bar{E})^2}{40000}}$$

設定為偵檢面上 40000 個像素輻射照度值的標準差，此標準差越小，則每個像素之輻射照度值與平均輻射照度值越接近，輻射通量分佈也就較均勻，因此最佳化之目的則是讓目標函數趨近於零。限制條件方面，為了使菲涅耳透鏡接受到的能量可以完全匯聚至太陽能電池表面，依照每個稜鏡之位置不同，限制其最大稜鏡深度 h_{iMax} ，以保證其折射光線之目標區域在太陽能電池的範圍之內。另一方面，為避免產生不合理的稜鏡深度，將稜鏡深度限定為恆正，最小稜鏡深度必須大於 0.01mm。限制條件表示如下：

$$0.01 \leq h_i \leq h_{iMax}$$

最佳化後太陽能電池上之輻射通量分佈圖與截面輻射通量分佈如圖 4.71 及圖 4.72。從圖形可明顯的看出，相較於最佳化之前，其輻射通量之分佈已經相當均勻，未出現輻射通量過於集中的現象。從數值上來看，偵測面上的像素接受到的輻射照度標準差有明顯降低的趨勢，從 6907 W/m² 下降到 6072 W/m²。從太陽能電池接受到的總能量來看，最佳化後太陽能電池接受到的總能量為 1.753W，光學效率仍舊維持在 92.1%，可見最佳化前後之總能量並無變化，Fresnel 透鏡在最佳化之後仍舊能聚集最大的能量，並不會出現總能量減少的情況。有此可知，透過最佳化的系統，確實可以在聚集最大能量的前提之下，改善太陽能電池表面輻射通量分佈不均勻的情形。

4.3.2 實驗驗證

為了驗證本研究中 Fresnel 透鏡之設計，將進行太陽能集光實驗，比較實驗與模擬結果，驗證模擬之可信度。Fresnel 透鏡為在 PMMA 上，利用超精密加工機車削出初始設計以及最佳化後的 Fresnel 結構，成品如圖 4.73。太陽能電池為禧通科技所生產之雙界面 III-V 族太陽能電池，實體以及量子效率如圖 4.74，規格如表 4.15。設計一支架如圖 4.75，裝置透鏡、太陽能電池以及其他周邊量測電路，並可調整方向，確保實驗時太陽光可準直入射至太陽能電池。

實驗分為直接照射、初始設計之 Fresnel 透鏡聚光以及最佳化設計之 Fresnel 透鏡聚光。實驗時太陽能電池表面光形如圖 4.76，顯示藉由 Fresnel 透鏡知匯聚，太陽光確實可聚集在太陽能電池表面 10mm 的範圍內，符合模擬之輻射通量圖形。由於室外聚光實驗所使用的為手動追日系統，且太陽光之強度變化較大，入射光源之不穩定也會影響太陽能電池發電效能。因此後續採用太陽光模擬器(圖 4.77)作為穩定光源，量測太陽能電池的轉換效能，量測結果之 I-V 參數如表 4.16，並繪 I-V 曲線以及 P-V 曲線如圖 4.78 及圖 4.79，顯示加上最佳化後 Fresnel 透鏡之太陽能電池，其短路電流、開路電壓、以及最大輸出功率都較加上初始設計 Fresnel 透鏡之數值為佳，短路電流、開路電壓，以及最大輸出功率分別上升了 4.8%、1.2% 與 3.3%。轉換效率從 6.71% 上升到 6.94%，約增加了 3.4%。Fresnel 透鏡聚光時的轉換效率低於太陽光直接入射時之情形，推測是由於太陽光的匯聚使得太陽能電池的溫度上升，且集光器設計之集光倍率已接近雙界面 III-V 族太陽能電池能承受之最大幾何集光率，因而降低了轉換效率。但 Fresnel 透鏡聚光時其輸出總能量較高，表示加了集光元件的太陽能電池單位面積可輸出較多的能量，依然可達成節省太陽能電池成本的目的。

藉由實驗的驗證，確認設計之 Fresnel 結構可應用於太陽能集光發電，以及設計與實驗方法的可行性。但目前設計與驗證的便利性，集光器採用 PMMA 所製作，其光學性質較差，且耐刮，抗腐蝕等性質差，長時間陽光照射下容易變質，不利實際太陽能發電時惡劣的環境需求。因此將可於後續研究中改用玻璃材料，利用較優良的光學及機械性質，並採用本研究中發展的設計方法，以及玻璃熱壓成形製程，製作光學效率較佳且耐用的太陽能集光器。

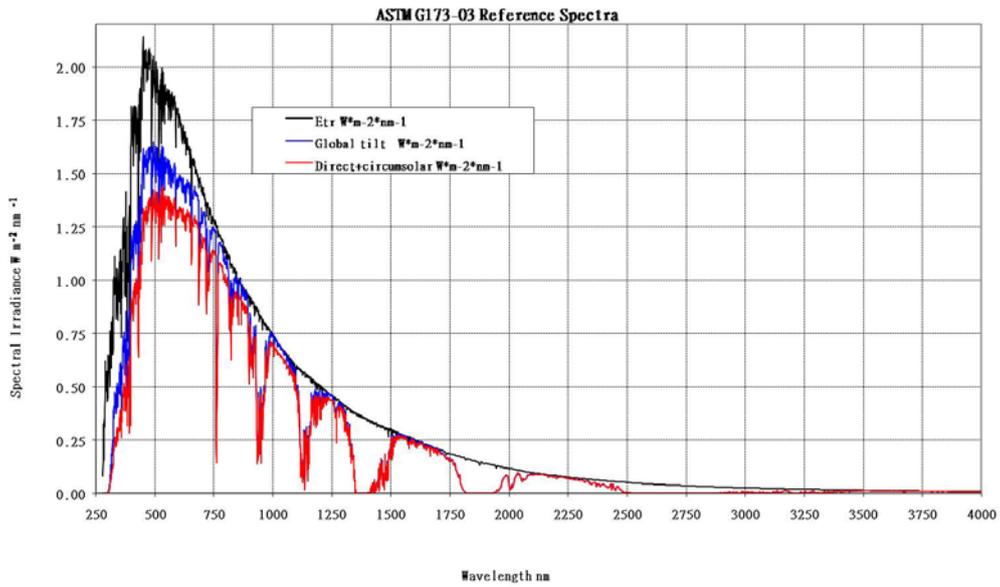


圖 4.64 ASTM G-173-03 太陽光譜[53]

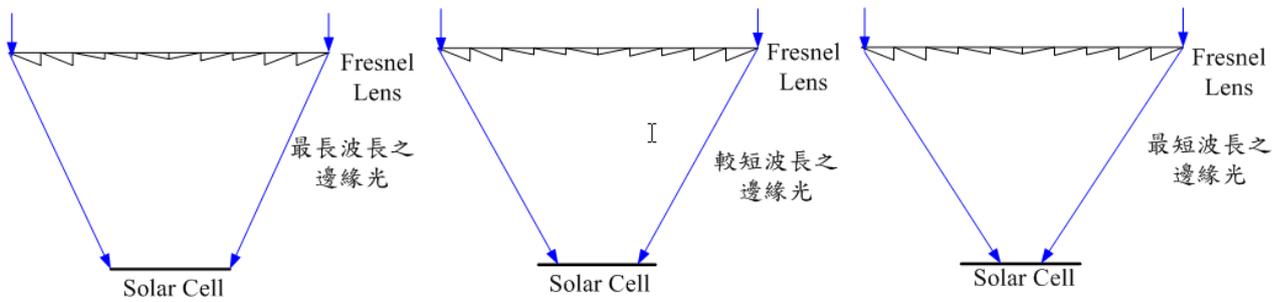


圖 4.65 最長波長之折射光線目標區域

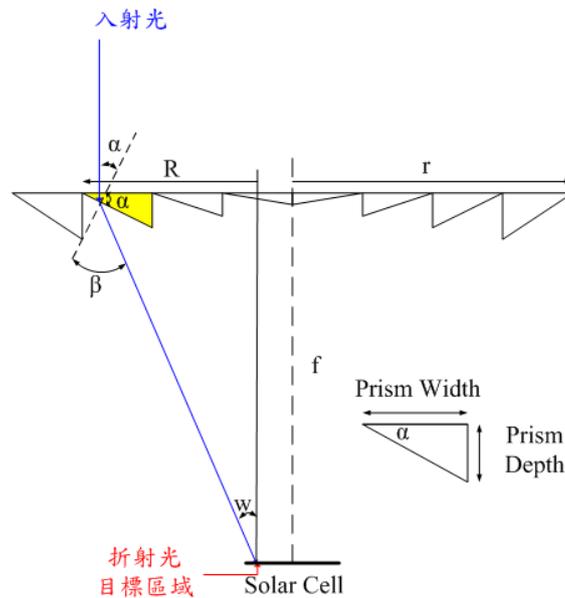


圖 4.66 Fresnel 透鏡之稜鏡設計

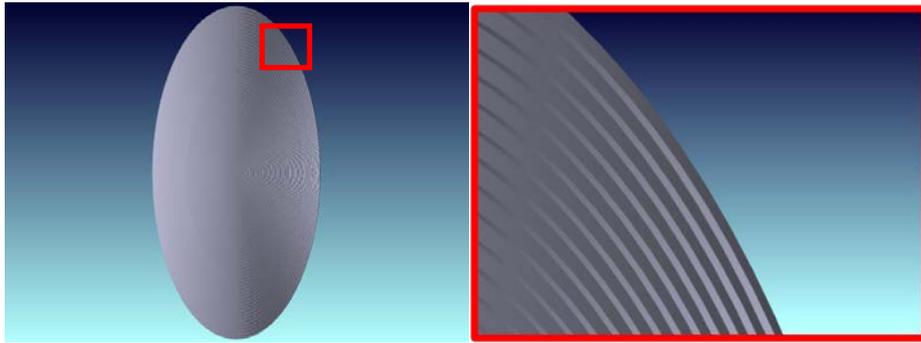


圖 4.67 Fresnel 透鏡之幾何模型

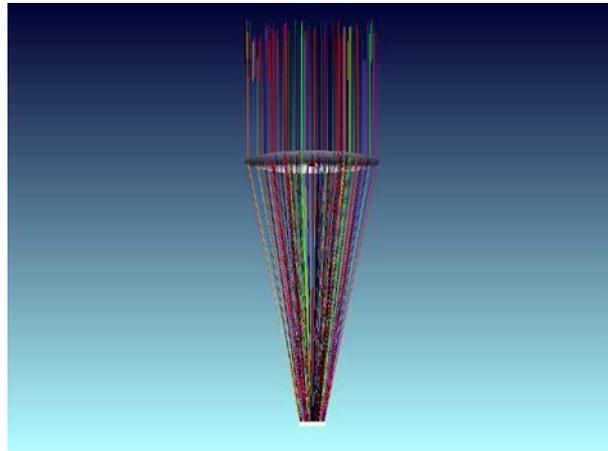


圖 4.68 太陽能集光器光學模擬之配置

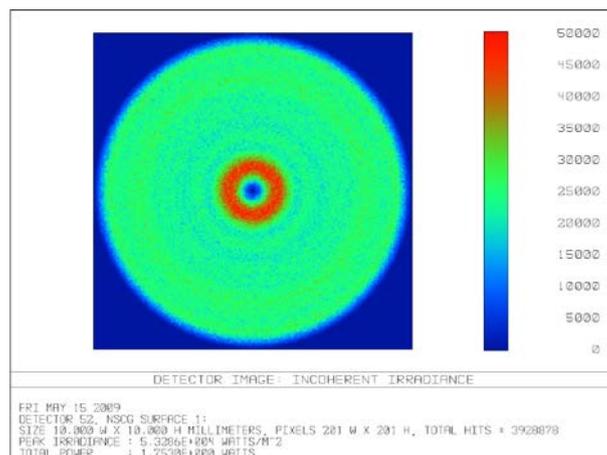


圖 4.69 輻射通量分布

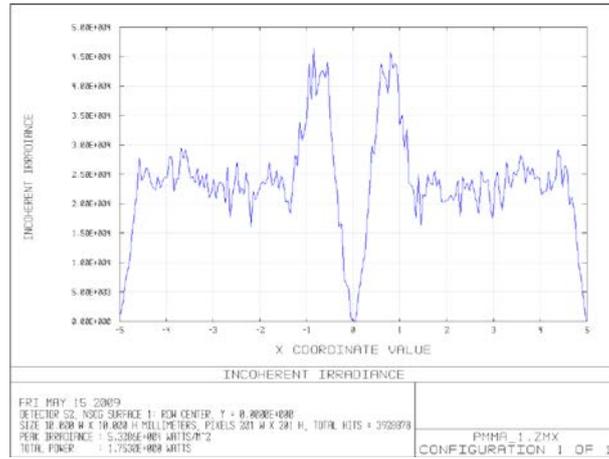


圖 4.70 截面輻射通量分布

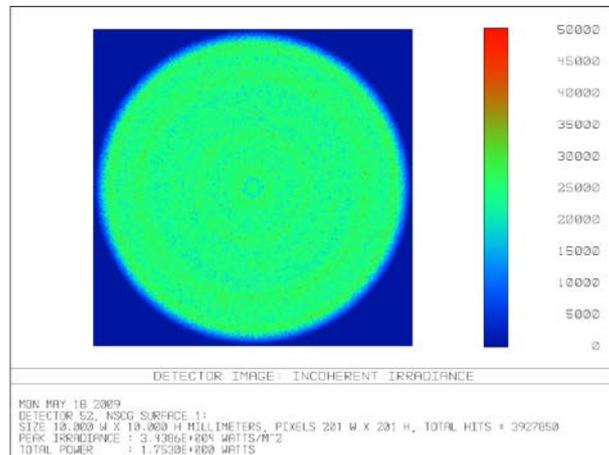


圖 4.71 最佳化後輻射通量分布

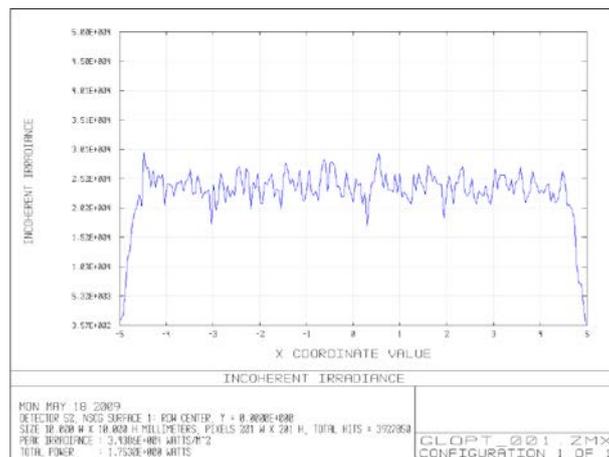


圖 4.72 最佳化後截面輻射通量分布

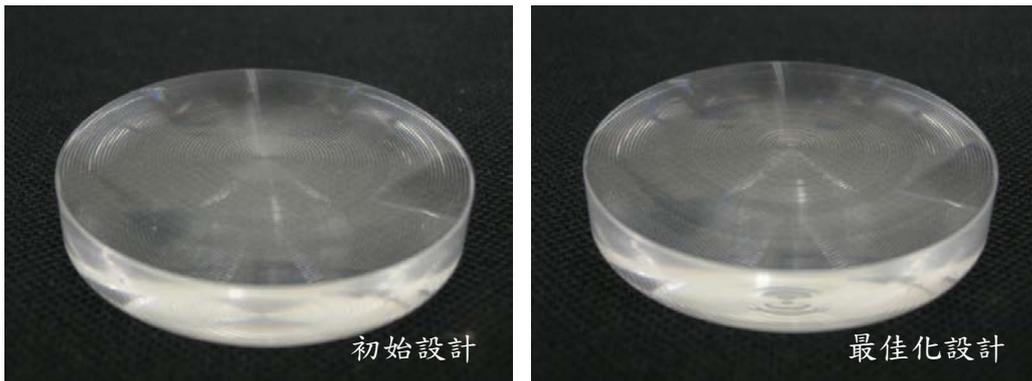


圖 4.73 初始設計與最佳化後之 Fresnel 透鏡

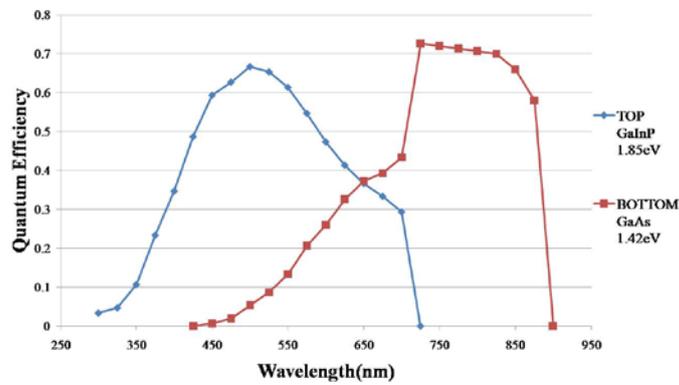


圖 4.74 雙接面 III-V 族太陽能電池及其量子效率

表 4.15 雙接面 III-V 族太陽能電池規格

材料	InGaP/GaAs
尺寸	10mm x 10mm
厚度	300±20μm
η	24±2 %
V_{OC}	2.4V
I_{SC}	12.5mA
V_{MP}	2.1V
I_{MP}	11.7mA
F.F.	0.82
測試環境	AM1.5G@25°C



圖 4.75 太陽能聚光實驗支架

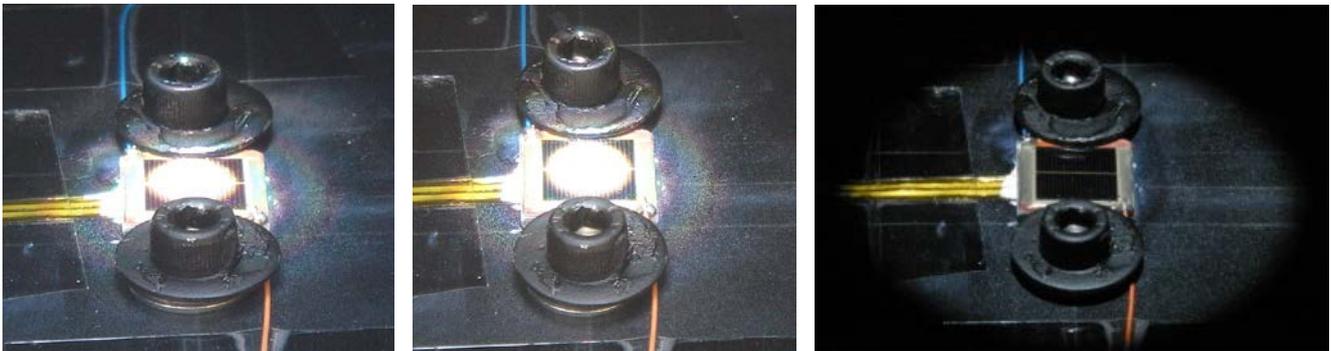


圖 4.76 太陽能電池表面光形 (a)初始設計之 Fresnel 透鏡聚光(b)最佳化設計之 Fresnel 透鏡聚光(c)直接入射



型號	三永 XES-502S
光源	500W 氬氣燈
模擬光譜	AM1.5G
模擬波長	400nm~1100nm
光譜合致度	75%~125%(Class A)
輻射照度不穩定性	$\leq 1\%$ (Class A)
輻射照度不均勻性	$\leq 2\%$ (Class A)
平行度	$\leq 5^\circ$
有效照射面積	10cm x 10cm

圖 4.77 太陽光模擬器

表 4.16 太陽能電池 I-V 參數

I-V 參數	初始設計 Fresnel 透鏡聚光	最佳化設計 Fresnel 透鏡聚光	直接入射
$P_{in}(mW)$	2160.473	2160.473	91
$I_{SC}(mA)$	78.849	82.639	8.713
$V_{OC}(V)$	2.539	2.542	2.40
$P_{MAX}(mW)$	145	149.84	17.35
$I_{MP}(mA)$	74.361	78.865	8.070
$V_{MP}(V)$	1.950	1.900	2.15
F.F.	0.724	0.713	0.830
$\eta(\%)$	6.71	6.94	19.1
單位面積 輸出能量 (mW/mm^2)	0.1735	1.45	1.4984

P_{in} ：輸入功率 I_{SC} ：短路電流 V_{OC} ：開路電壓 P_{MAX} ：最大輸出功率

I_{MP} ：最大功率電流 V_{MP} ：最大功率電壓 F.F.：填充係數 η ：轉換效率

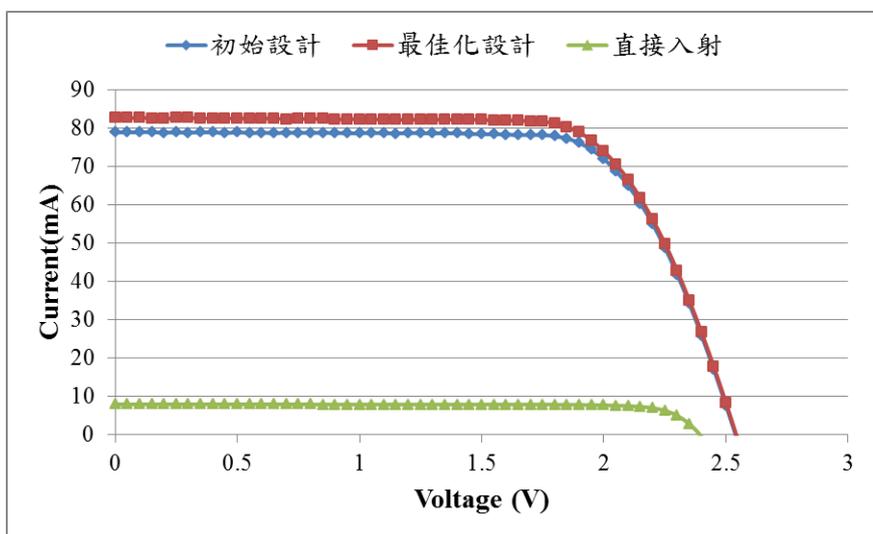


圖 4.78 太陽能電池 I-V 曲線

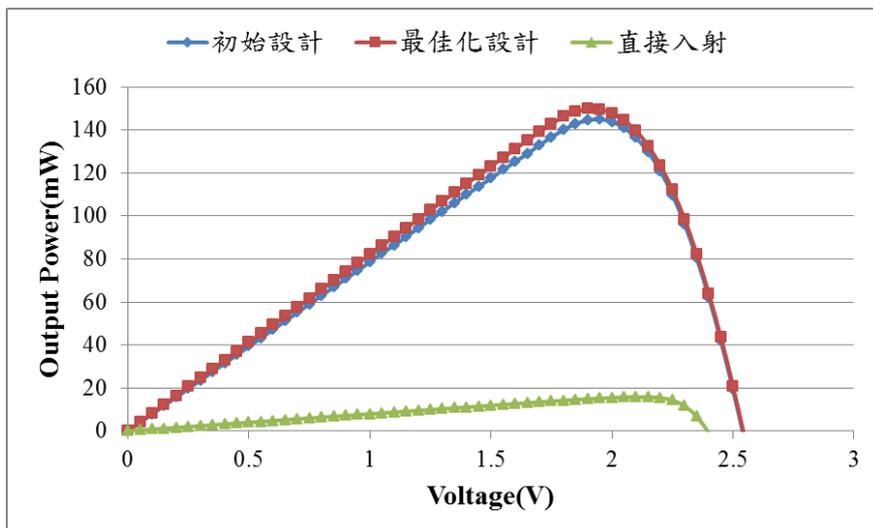


圖 4.79 太陽能電池 P-V 曲線

4.4 結論

本研究針對超音波輔助玻璃熱壓成形製程，首先對製程機台進行開發，使傳統玻璃熱成形技術中，可加入超音波振動之輔助成形。先將已有的玻璃熱壓成形設備，修改其紅外線加熱燈管之配置，增加升溫效能；並利用加熱實驗配合有限元素分析，建立升溫後超音波放大器之模態分析模型，可用於設計高溫下之超音波振動系統，使修改後之設備具有初步超音波輔助玻璃熱壓成形之能力。再針對上述機台之使用限制以及製程需求，改良設計一新型之超音波輔助玻璃熱壓成形機台，增加了紅外線加熱燈管的壽命，且具有準確量測真空加熱爐中玻璃成形力等功能，使新型機台可用於更高精度之實驗。接著利用建立之機台進行超音波輔助玻璃熱成形，首先利用上、下皆為平面之模仁，討論超音波的施加對玻璃材料性質的影響。再使用 V 溝、圓孔陣列與 Fresnel 結構之模仁，成形具複雜結構之玻璃元件，比較超音波的施加對製程參數及成品所產生的效應。最後針對利用 Fresnel 結構作為太陽能集光器之應用，建立設計、最佳化與實驗檢測流程，以期於後續研究中利用玻璃材料之優異性質，製作具有實用性之太陽能集光器。本研究可得到以下結論：

1. 結合玻璃熱壓成形技術與超音波技術，建立超音波輔助光學玻璃熱壓成形機台之開發能力，並實際建立一新型機台，除了可執行一般玻璃熱壓成形製程，也可於製程中在上模施加超音波振動之輔助成形。
2. 利用有限元素分析建立高溫超音波放大器之模態分析模型，可用於設計高溫中超音波系統，並增廣超音波之應用。
3. 模仁須具有良好的加工性，且可承受超音波振動時之衝擊。研究中利用不鏽鋼 SUS304，製作平面模仁、放電線切割製作 V 溝結構模仁、高速鑽床製作微陣列模仁，以及利用電鑄翻模鍍鈷合金等方式，製作本研究中使用之熱壓成形模仁。
4. 於平面熱壓成形實驗中，玻璃成形之力量，受到超音波振動後快速降低，證明超音波可使得玻璃材料因溫度受到提升而發生軟化。
5. V 溝與 Fresnel 結構之玻璃微結構成形實驗中，由於超音波的施加可軟化玻璃材料，流動性增加因此較易填入模穴中，可有效地提升結構的成形性。
6. 利用圓孔陣列模仁製作透鏡陣列之實驗中，成形性未因超音波而提升，而是加大成品之整體外徑。因結實驗採開模方式且結構模仁裝置於上方，在施加超音波後，玻璃雖軟化但未能順利增加結構

之成形性，而是向外圍流動。

7. 由光學設計、最佳化以及實驗驗證，建立了以 Fresnel 結構作為太陽能集光器之設計流程。

5 參考文獻

- [1] Y. Saotome, “Microformability of optical glasses for precision molding”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 140, pp. 379-384, Sep. 2003.
- [2] M. Hecke, “Hot embossing – The molding technique for plastic microstructures”, *Microsystem Technologies*, pp. 122–124, 1998.
- [3] K. Shishido, M. Sugiura, and T. Shoji, “Aspect of glass softening by master mold”, *Proceedings of SPIE*, Vol. 2536, pp. 421-433, 1995.
- [4] D. Zhong, G.G.W Mustoe, J.J. Moore, J. Disam, “Finite element analysis of a coating architecture for glass-molding dies”, *Surface and Coatings Technology*, Vol.146 –147 pp.312-317, 2001.
- [5] A. Jain, A. Y. Yi, “Numerical Simulation of Compression Molding of Aspherical Glass Lenses”, *AIP Conference Proceedings*, Vol. 712(1), pp. 239-244, 10 June 2004.
- [6] A. Y. Yi and A. Jain, “Compression molding of aspherical glass lenses-a combined experimental and numerical analysis” *Journal of the American Ceramic Society*, pp. 579-586, 2005.
- [7] A. Schubert, J. Edelmann, T. Burkhardt, “Micro structuring of borosilicate glass by high-temperature micro-forming”, *Microsystem Technologies*, Vol. 12, pp. 790-795, 10 January 2006.
- [8] A. Y. Yi, Y. Chen, F. Klocke, G. Pongs, A. Demmer, D. Grewell, A. Benatar, “A high volume precision compression molding process of glass diffractive optics by use of a micromachined fused silica wafer mold and low Tg optical glass”, *J. Micromech. Microeng.*, Vol. 16, pp. 2000-2005, 25 August 2006.
- [9] 邱志宏，玻璃鏡片壓製成形過程之傳熱分析，國立清華大學動力機械工程研究所碩士論文，1995年6月。
- [10] 游智勝，玻璃基材微流道之熱壓成形製程，2002 奈米工程暨微系統技術研討會/國科會微機電系統成果發表會。
- [11] 王興邦，玻璃微熱壓之成形特性研究，國立交通大學機械工程研究所碩士論文，2002年6月。
- [12] 黃建溢，光學玻璃球面透鏡熱壓成形研究，國立交通大學機械工程研究所碩士論文，2004年6月。
- [13] 王嘉偉，光學玻璃透鏡之熱壓成形研究，國立交通大學機械工程學系碩士論文，2006年6月。
- [14] Y. C. Tsai, C. Hung, and J. C. Hung, “Research on The Glass Material Model for the Forming Stage of the Glass Molding Process “, *Journal of Materials Processing Technology (SCI, EI)*, Vol. 201, pp. 751-754, 2007.
- [15] 精密光學技術-應用於數位成像系統，工研院機械與系統研究所委託案報告，2007年12月。
- [16] 林運賢，模造玻璃透鏡實驗設備改良與模造成形之研究，國立交通大學機械工程學系碩士論文，2008年6月。
- [17] 王麒翔，以鎳鈷合金電鑄模仁進行光學玻璃微結構熱壓成形研究，國立交通大學機械工程學系碩士論文，2009年6月。
- [18] F. Blaha, and B. Langenecker, *Naturwissenschaften*, Vol.42, pp. 556, 1955.
- [19] B. Langenecker, “Effects of ultrasound on deformation characteristics of metals”, *IEEE Transactions on*

- Sonics and Ultrasonics, Vol.13, pp. 1-8, 1966.
- [20] G. E. Nevill and F. R. Brotzen, "The effect of vibration on the static yield strength of low-carbon steel", Proc. Am. Soc. Testing Materials, Vol.57, pp. 751-755, 1957.
- [21] H. Dam, P. Qusit, M. P. Schreiber, "Productivity, surface quality and tolerances in ultrasonic machining of ceramics", Journal of Materials Processing Technology, 1995, v.51, pp.358-368.
- [22] Z. J. Pei, P. M. Ferreira, S. G. Kapoor and M. Haselkorn, "Rotary ultrasonic machining for face milling of ceramics", Int. J. Mach. Tools Manufacture, Vol.35, pp. 1033-1046, 1995.
- [23] Z. J. Pei, P. M. Ferreira, M. Haselkorn, "Plastic flow in rotary ultrasonic machining of ceramics", Journal of Materials Processing Technology, Vol.48, pp.771-777, 1995.
- [24] Z. J. Pei, P. M. Ferreira, "Modeling of ductile-mode material removal in rotary ultrasonic machining", Int. J. Mach. Tools Manufacture, Vol.38, pp. 1399-1418, 1998.
- [25] Z. J. Pei, P. M. Ferreira, "An experimental investigation of rotary ultrasonic face milling", Int. J. Mach. Tools Manufacture, Vol.39, pp. 1327-1344, 1999.
- [26] N. Sovetov, B. Y. Chernyak, A. I. Isaev, S. S. Volkov, and Y. N. Orlov, "Ultrasonic welding of rigid plastic articles with V-shaped edges", Russian Ultrasonics, Vol.9, 1976.
- [27] K. Siegert, "Wire drawing with ultrasonically oscillating dies", Journal of Materials Processing Technology, pp.657-660, 1997.
- [28] M. Murakawa, P. Kaewtatip, M. Jin, "Skin pass wire drawing of stainless steel with chlorine-free lubricant with the aid of ultrasonic vibration" Trans. NAMRI/SME, Vol.28, pp.75-80, 2000.
- [29] M. Murakawa, M. Jin, "The utility of radially and ultrasonically vibrated dies in the wire drawing process", Journal of Materials Processing Technology, pp.81-86, 2001.
- [30] J. Tsujion, "Ultrasonic vibration bending of metal plate specimens", Proc. IEEE 1989 Ultrasonic Symposium, pp.1099-1102, 1990.
- [31] J. Tsujion, "Characteristics of ultrasonic bending of metal plates using a longitudinal vibration die and punch", Proc. IEEE 1992 Ultrasonic Symposium, pp.863-866, 1992.
- [32] 羅金德，超音波加熱壓印微結構之研究，國立台灣大學機械工程研究所碩士論文，2002年六月。
- [33] J. Gen, X. Wang, M. Zhou, B. Ngoi and Z. Zhong, "Ultraprecision Diamond Turning of Glass with Ultrasonic Vibration", Int J Adv Manuf Technol, Vol.21, pp. 952-955, 2003.
- [34] K. Egashira, K. Mizutani and T. Nagao, "Ultrasonic Vibration Drilling of Microholes in Glass", CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 51, pp. 339-342, 2007.
- [35] 陳家旭，打線接合之實驗與有限元素研究，國立交通大學機械工程研究所碩士論文，2002年六月。
- [36] 何奇忠，超音波輔助薄殼射出成形之流動性研究，國立交通大學機械工程研究所碩士論文，2004年六月。
- [37] 洪榮崇，超音波振動於鋁合金成形加工的摩擦效應研究，國立交通大學機械工程研究所博士論文，2005年六月。
- [38] J. C. Hung and C. Hung, "The influence of ultrasonic-vibration n hot upsetting of aluminum alloy", Ultrasonic, Vol.43, pp. 692-698, August 2005.
- [39] Harold D. Rice, United States Patent, US4011857, 1977.
- [40] Leonard L. Northrup Jr., United States Patent, US4022186, 1977.

- [41] Mark J. O'Neill, United States Patent, US4096812, 1978.
- [42] Carlyle J. Sletten, United States Patent, US4171695, 1979.
- [43] Mark J. O'Neill, United States Patent, US4545366, 1985.
- [44] Roger H. Appeldorn, United States Patent, US4848319, 1989.
- [45] Mark Joseph O'Neill, United States Patent, US6075200, 2000.
- [46] Mark Joseph O'Neill, United States Patent, US6031179.
- [47] Steven A. Johnson, United States Patent, US4297521, 1981.
- [48] Robert W. Jebens, United States Patent, US4799778, 1989.
- [49] Stephen Olah, United States Patent, US6057505, 2002.
- [50] Leon L. C. Chen, United States Patent, US6717645, 2004.
- [51] Juan Carlos Minano Domingues, and Pablo Benitez Gimenez, United States Patent, US7160522, 2007.
- [52] British Stainless Steel Association: <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=139>.
- [53] NREL <http://www.nrel.gov/rredc>.
- [54] R. Leutz and A. Suzuki, Nonimaging Fresnel Lenses, Springer, 2001.

執行本研究相關之著作

期刊論文：

1. Y. C. Tsai, S. F. Tseng, J. C. Hung and C. Hung*, "Finite element prediction of the lens shape of molded optical glass lenses", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B, Journal of Engineering Manufacture (SCI, EI), Vol. 225, No. 2, pp. 224-234, 2010.
2. Y. P. Tsai, J. C. Hung, L. C. Yin and C. Hung, "Ultrasonic vibration-assisted optical glass hot embossing process" The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Online first, DOI: 10.1007/s00170-011-3669-8, 2011.

專利：

1. 蔡彥彬、洪榮崇、洪景華，用於光學玻璃之振動輔助熱壓成形設備，中華民國新型專利，2010年8月。

碩士論文：

1. 王麒翔，以鎳鈷合金電鑄模仁進行光學玻璃微結構熱壓成形研究，國立交通大學機械工程學系碩士論文，2009年6月。
2. 廖建榮，適用於大範圍波段之太陽能菲涅耳元件設計，國立交通大學機械工程學系碩士論文，2009年6月。
3. 陳聖平，複雜外型超音波放大器之有線元素分析與最佳化設計，國立交通大學機械工程學系碩士論文，2009年6月。
4. 殷立釗，超音波輔助玻璃微結構熱壓成形研究，國立交通大學機械工程學系碩士論文，2010年6月。
5. 鄭書麟，新式超音波輔助光學玻璃熱壓機台之研發，國立交通大學機械工程學系碩士論文，2011年8月。

6 國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

本研究結合超音波技術與光學玻璃熱壓成形技術，證明超音波可增加玻璃熱壓成形的製程效率，改善成形性且提升成品的品質。由於國內外尚無其他相關文獻研究，因此為創新之技術開發。研究中建立了開發製程機台的相關技術、執行製程的方法，以及複雜結構模仁的製作經驗，對於學術研究提供了相關研究及後續應用的先行基礎技術；於產業界，將可推廣於光電相關領域，生產高品質之玻璃光學元件，同時提升光電產品之效能與品質，並增加產品的附加價值。且可由熱壓技術加工具有更複雜結構的光學元件，拓展光電產品的應用。

7 國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期：100年10月28日

國科會補助計畫	計畫名稱：超音波輔助光學玻璃(微)熱壓成形之研究 計畫主持人：洪景華 計畫編號：NSC 97-2221-E-009-017-MY3 領域：機械製造		
研發成果名稱	(中文) 超音波輔助光學玻璃熱壓成形		
	(英文) Ultrasonic vibration- assisted optical glass hot embossing process		
成果歸屬機構	國立交通大學 機械工程學系	發明人 (創作人)	洪景華
技術說明	(中文) 光學玻璃較塑膠材料具有更佳的光學性質、耐磨耗、抗腐蝕等性質，為製作光學元件理想的材料。利用熱壓成形法可更製作非球面等複雜外形結構，具有特殊功能之光學元件，為製造玻璃光學元件的關鍵技術。本創新技術為結合超音波技術與光學玻璃熱壓成形技術，證明超音波可增加玻璃熱壓成形的製程效率，改善成形性且提升成品的品質。本研究中建立了開發製程機台的能力、執行製程的方法，以及V溝、透鏡陣列、Fresnel結構等複雜模仁的製作，具備執行超音波輔助光學玻璃熱壓成形製成之完整技術。 (200-500字)		
	(英文) Glass materials have better optical properties, wear and corrosion resistances than polymer, so glass is an ideal material to be optical elements. By hot embossing method, aspheric and complex structures can be formed on glass optical elements and special functions can be achieved. This novel technique combines ultrasonic vibration and optical glass hot embossing process, and proves that ultrasonic vibration can increase the efficiency of glass hot embossing process, improve the formability and upgrade the quality of the products. This research contains the developing ability for process apparatus, the execution procedure, and the mold fabrications of V-groove, lens array and Fresnel structure, so the technique to perform the ultrasonic vibration-assisted optical glass hot embossing process was established.		
產業別	光學及精密製造業 機械製造業		

<p>技術/產品應用範圍</p>	<p>本技術可應用於製造光電產品中之光學元件，如相機鏡頭、投影機、太陽能集光器等</p>
<p>技術移轉可行性及預期效益</p>	<p>本技術將可推廣於光電相關領域，生產高品質之玻璃光學元件，同時提升光電產品之效能與品質，並增加產品的附加價值。且可由熱壓技術加工具有更複雜結構的光學元件，拓展光電產品的應用。</p>

註：本項研發成果若尚未申請專利，請勿揭露可申請專利之主要內容。