

# 國立交通大學

## 機械工程學系

碩士論文

模造玻璃透鏡實驗設備改良  
與模造成形之研究

Design on experimental apparatus of optical glass  
lens molding and study on molding characteristics

研究生：林運賢

指導教授：洪景華 教授

中華民國九十七年七月

模造玻璃透鏡實驗設備改良與模造成形之研究

Design on experimental apparatus of optical glass lens molding  
and study on molding characteristics

研究生：林運賢

Student：Yun-Hsien Lin

指導教授：洪景華 教授

Advisor：Prof. Chinghua Hung

國立交通大學  
機械工程學系  
碩士論文



Submitted to Institute of Mechanical Engineering  
College of Engineering

National Chiao Tung University

In partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of

Master

in

Mechanical Engineering

July 2008

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十七年七月

# 模造玻璃透鏡實驗設備改良與模造成形之研究

研究生：林運賢

指導教授：洪景華 教授

## 國立交通大學機械工程學系

### 摘要

光學玻璃相較於光學塑膠具有較佳的光學、機械及化學性質，隨著光電產品品質與技術的提升，使用玻璃作為光學元件材料的機會也隨之提高；然而光學玻璃透鏡在模造成形上因其高硬度、高成形溫度、脫模困難等特性，使得高成本開發出來的模仁壽命降低而無法達成大量轉印的目標。



本研究藉由設計新的熱壓成形設備來改善已有實驗設備中僅能在大氣環境下進行實驗的缺點，使用新建置的設備在真空環境下進行模造成形實驗後，成功的解決了硬膜層易脫落、劣化失效及與玻璃產生沾黏、表面反應等情形；並在搭配玻璃編號 L-BAL42 球狀光學玻璃預形體下進行實驗，探討不同硬膜層在模造成形時的差別，找出適合多次重複模造成形實驗的理想硬膜層與實驗參數。

# **Design on experimental apparatus of optical glass lens molding and study on molding characteristics**

Student : Yun-Hsien Lin

Adviser : Dr. Chinghua Hung

## **Department of Mechanical Engineering National Chiao Tung University**

### **ABSTRACT**

Compared to optical plastics, optical glasses have better properties in optics, mechanics, and chemical resistances. As the quality and technique of photoelectric products are progressing, the chances of using glasses for optical element materials are rising. However, there exist some characteristics such as high hardness, high molding temperature, and mold sticking on optical glass lens molding. These characteristics lead to early break down of costly molds and therefore obstruct the use of glass lens molding in mass production.

In this research, a new apparatus for hot embossing forming has been designed to overcome the drawbacks of existing experimental apparatus which works in atmospheric condition only. The use this new apparatus for glass molding experiment in vacuum condition successfully solved forming problems such as coatings' peeling off, losing efficacy, sticking with glass, and mutual reactions between glass and mold. Also, The influences of different coatings on glass molding have been investigated using this apparatus, suitable molding parameters and coatings have been obtained for repeated glass molding process.

## 誌謝

在這兩年的研究生涯裡，首先要感謝的是指導教授洪景華老師，在學習、研究方面的指導與教誨，以及生活經驗的分享，讓學生得以順利完成碩士論文取得學位，並對未來的挑戰充滿信心。

研究的過程中，特別感謝財團法人國家實驗研究院儀器科技研究中心，黃國政博士、余宗儒學長與儀器工程組其他同仁的在協助，以及儀科中心真空技術組李昭德博士與中國砂輪公司邱亮錚學長等人在鍍膜技術方面的協助；也感謝口試委員向四海、徐瑞坤教授對於論文的指正與建議，使得本研究順利完成。

此外，感謝精密工程與模擬實驗室榮崇、宇中、政成、煌基、正展、麒禎、銘傑、嘉偉、彥彬、理強、宗駿、黃詠等多位學長，同學世璿、志嘉、俊羿，及學弟聖平、建榮、時恆、麒翔，在這段時間給予的陪伴與協助，使研究生生活更加豐富多采。

感謝爸爸、媽媽、姊姊以及家人在這一路上給予的支持與鼓勵，讓我在無後顧之憂的情況下順利完成學業。

感謝這一路上給予陪伴、鼓勵、協助與建議的所有人，謝謝你們。

## 目錄

摘要 .....	I
ABSTRACT .....	II
誌謝.....	III
目錄.....	IV
圖目錄.....	VII
表目錄.....	X
<b>第一章 緒論 .....</b>	<b>1</b>
1.1    前言 .....	1
1.2    光學鏡片簡介 .....	3
1.2.1    光學鏡片的功用 .....	3
1.2.2    光學玻璃鏡片的製造方式 .....	4
1.3    文獻回顧 .....	7
1.4    研究動機 .....	10
1.5    研究目的與方法 .....	10
1.6    論文內容介紹 .....	11
<b>第二章 流程規劃與實驗介紹 .....</b>	<b>12</b>
2.1    光學玻璃 .....	12
2.1.1    成分與種類 .....	12
2.1.2    光學性質 .....	14
2.1.2.1    折射率(refractive index).....	14

2.1.2.2	色散(dispersion).....	15
2.1.2.3	透明度(transmittance) .....	16
2.1.3	光學玻璃之其他性質 .....	16
2.1.4	玻璃轉移現象.....	17
2.1.5	本研究所採用之光學玻璃.....	18
2.2	模仁.....	19
2.2.1	材料.....	19
2.2.2	製作.....	20
2.2.3	硬膜層.....	25
2.3	實驗室已有之實驗裝置.....	27
2.4	初步實驗流程.....	30
2.5	實驗結果分析與後續規劃.....	32
<b>第三章 新型實驗裝置設計與建置 .....</b>		<b>40</b>
3.1	紅外線真空加熱設備.....	40
3.1.1	概念設計與製造.....	40
3.1.2	設備架設.....	41
3.1.2.1	加熱與溫控系統.....	42
3.1.2.2	油壓系統.....	44
3.1.2.3	真空與氣體環境系統.....	45

3.2	開模熱壓實驗.....	47
3.3	模仁夾具設計.....	48
<b>第四章 模造成形實驗.....</b>		<b>50</b>
4.1	實驗流程介紹.....	50
4.2	硬膜層實驗.....	51
4.2.1	氮化物硬膜層模仁實驗.....	52
4.2.2	貴金屬硬膜層模仁實驗.....	54
4.2.3	無硬膜層模仁實驗.....	56
4.3	閉模成形實驗.....	59
4.4	變形量成形實驗.....	61
4.5	實驗結果歸納與分析.....	63
<b>第五章 結論與未來展望.....</b>		<b>65</b>
5.1	結論.....	65
5.2	未來展望.....	67
<b>參考文獻.....</b>		<b>70</b>
<b>附錄 A 二代爐設計圖.....</b>		<b>72</b>
<b>附錄 B 模仁夾具設計圖.....</b>		<b>75</b>

## 圖目錄

圖 1-1 透鏡成形機外觀圖 .....	5
圖 1-2 成形原理示意圖 .....	6
圖 1-3 模造成形流程圖 .....	7
圖 2-1 OHARA 公司模造玻璃用光學玻璃[16] .....	14
圖 2-2 玻璃狀態固-液體關係圖[18] .....	17
圖 2-3 模仁尺寸圖 .....	21
圖 2-4 模仁-夾具組合圖 .....	21
圖 2-5 模仁放電加工成品圖 .....	22
圖 2-6 成形機作業圖 .....	22
圖 2-7 模仁成形成品圖 .....	23
圖 2-8 模仁研磨作業圖 .....	24
圖 2-9 模仁拋光完成圖 .....	24
圖 2-10 模仁加工成品圖 .....	25
圖 2-11 熱壓設備外觀圖 .....	28
圖 2-12 控制器外觀圖 .....	29
圖 2-13 溫控裝置外觀圖 .....	29
圖 2-14 一代爐內部構造示意圖 .....	30
圖 2-15 實驗編號 1 之透鏡成品圖 .....	33

圖 2-16 實驗編號 1 之實驗後上模仁圖 .....	34
圖 2-17 實驗編號 2 之透鏡成品圖 .....	34
圖 2-18 實驗編號 3 之透鏡成品圖 .....	35
圖 2-19 實驗編號 3 之實驗後上模仁圖 .....	35
圖 2-20 實驗編號 3 之實驗後下模仁圖 .....	35
圖 2-21 實驗編號 4 之透鏡成品圖 .....	36
圖 2-22 實驗編號 4 之實驗後下模仁干涉儀量測結果 .....	36
圖 2-23 實驗編號 5 之透鏡成品圖 .....	37
圖 2-24 實驗編號 5 之實驗後上模仁圖 .....	37
圖 2-25 模仁加熱實驗結果圖 .....	38
圖 3-1 二代爐概念設計示意圖 .....	41
圖 3-2 二代爐外觀圖 .....	42
圖 3-3 紅外線加熱燈管 .....	43
圖 3-4 熱電偶 .....	43
圖 3-5 溫度控制器 .....	43
圖 3-6 功率調整器 .....	44
圖 3-7 加熱與溫度控制示意圖 .....	44
圖 3-8 油壓系統示意圖 .....	45
圖 3-9 氮氣鋼瓶配置圖 .....	46

圖 3-10 真空幫浦 .....	46
圖 3-11 開模實驗透鏡成品圖 .....	48
圖 3-12 夾具外觀圖 .....	49
圖 3-13 模仁與夾具組合圖 .....	49
圖 4-1 模造成形實驗流程圖 .....	51
圖 4-8 模仁與 TiAlN #2 硬膜層外觀圖 .....	54
圖 4-9 TiAlN #2 硬膜層脫落情形 .....	54
圖 4-2 無硬膜層 UM 模仁實驗後外觀圖 .....	56
圖 4-3 無硬膜層 UM 模仁實驗透鏡成品圖 .....	57
圖 4-4 無硬膜層 UM 模仁實驗透鏡成品干涉儀量測結果 .....	57
圖 4-5 無硬膜層 M78 模仁實驗後外觀圖 .....	57
圖 4-6 無硬膜層 M78 模仁實驗透鏡成品圖 .....	58
圖 4-7 無硬膜層 M78 模仁實驗透鏡成品干涉儀量測結果 .....	58
圖 5-1 模穴導圓角示意圖 .....	67
圖 5-2 三代爐概念設計圖 .....	69
圖 A-1 二代爐外型尺寸圖 .....	72
圖 A-2 二代爐外觀說明圖 .....	73
圖 A-3 油壓缸構造尺寸圖 .....	74
圖 B-1 下模仁夾具設計圖 .....	75

圖 B-2 下模仁夾具設計圖.....76

圖 B-3 模座設計圖.....77

### 表目錄

表 1-1 玻璃鏡片與塑膠鏡片優缺點比較表[1] .....2

表 1-2 光學玻璃與光學高分子材料性質比較表[1] .....3

表 2-1 玻璃之用途與 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 容許限度 (%) 對照表[15] .....12

表 2-2 L-BAL42 光學玻璃材料性質表 .....19

表 2-3 模仁材料性質 .....20

表 2-4 模造玻璃用模具之硬膜特性比較[19] .....27

表 2-5 熱壓設備重要性能表 .....28

表 2-6 初步實驗參數 .....33

表 3-1 開模熱壓實驗參數表 .....47

表 4-1 硬膜層實驗參數 .....52

表 4-2 氮化物硬膜層模仁實驗透鏡成品外觀比較 .....53

表 4-3 貴金屬硬膜層模仁實驗透鏡成品比較 .....55

表 4-4 閉模成形實驗透鏡成品外觀比較 .....60

表 4-5 變形量成形實驗透鏡成品外觀比較 .....62

# 第一章 緒論

## 1.1 前言

光學元件為光電產品中不可或缺的部件；隨著科技產業的快速發展，光電技術的應用層面越來越廣，在光學元件的需求量日益增加的情形下，發展低成本量產的製程技術變成為當今光學產業中重要的一環。

許多科技產品中都需要搭配光學鏡片才能發揮功能；諸如數位相機、投影機、光碟機、掃描器等產品，光學鏡片均是必備的零組件，任何光電或影像產品，均藉由各種光學鏡片的組合與搭配，才能達到其功能與目的。除了數位產品之外，光學鏡片亦使用於攝影器材的鏡片組、天文及普通望遠鏡、顯微鏡、各式眼鏡與醫療用胃鏡或雷射刀及其他各類光學儀器或設備上光學系統的零組件；國防用途上如雷射測距儀、雷射光束武器、太空攝影機及潛望鏡；工業用途上如光學量測儀器、雷射、自動化設備、資訊系統與光纖通信；以及當今汽車產業快速發展的主被動式安全系統中的感測元件等。

光學鏡片的材質一般分為玻璃與塑膠等兩種材質，塑膠鏡片因可以由射出成形法大量製造，所以有材料與加工成本低的優勢，然而玻璃有高折射率、低色散等較佳的光學性質，以及耐高溫、高穩定性等

物理與化學性質，因此保有在高精度光學元件中無法被塑膠鏡片所完全取代的優勢，表 1-1、表 1-2 為玻璃鏡片與塑膠鏡片優缺點及其材料性質之比較。

隨著光學鏡片使用於嚴苛條件下的應用越來越多，以及光電產品對品質、解析度、耐候性、耐久性等條件的要求日漸提高，使用玻璃鏡片的必要性越來越高，低成本且可大量生產的玻璃鏡片製造技術便成為重要的發展目標，而經由已加工成形的模具，藉由熱壓成形的方式達到大量轉印光學玻璃元件的生產方式，稱為玻璃模造。

表 1-1 玻璃鏡片與塑膠鏡片優缺點比較表[1]

	優 點	缺 點
玻璃鏡片	良好的光學特性(透光率、波長穿透範圍寬)、光學玻璃種類眾多(300多種)、耐磨損、耐高溫、耐潮溼、抗靜電。	研磨費時、製程成本高、重量重、大尺寸製作較難、非球面玻璃鏡片製作困難。
塑膠鏡片	材料成本較低、重量輕、較高的耐衝擊性不易破裂、生產流程簡單快速可量產、非球面鏡較易製作。	表面硬度低不耐刮、折射率隨溫度改變、易因產生雙折射、具親水性、鍍膜不易。

表 1-2 光學玻璃與光學高分子材料性質比較表[1]

性質 \ 材料	光學玻璃	光學高分子材料
折射率	1.5~1.9 以上	1.3~1.7
色散率( $\nu_d$ )	20~65 以上	25~55
雙折射	不產生雙折射	會產生雙折射
全光線透過率(%)	85~95	90 以上
光譜範圍	370~1500nm 以上	400~1100nm
玻璃轉移溫度 ( $T_g$ )	500~700°C	70~130°C
線性膨脹係數( $10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ )	70~130 $\times 10^{-7}$	約為玻璃的 10 倍
比重	2.2~7.3	1.0~1.5

## 1.2 光學鏡片簡介

### 1.2.1 光學鏡片的功用

光學鏡片主要的功能為反射、折射、準直、聚焦及成像等，若依照用途來區分，大致可分為下列四種：

1. 透鏡 (lens)：用於光波前 (wavefront) 或聚焦，藉由透鏡本身之收斂與發散的特性，能使物體生成實像與虛像，加工時著重於外型尺寸與曲率的控制。
2. 反射鏡 (mirror)：用於改變光路的方向，由於反射鏡會產生兩

倍於其曲率角度的變化，故加工時精度會要求比透鏡還高。

3. 稜鏡 (prism)：透明角柱狀光學元件，至少具有兩面拋光面可提供光束之分光、集光或改變光路的方向，稜鏡的加工重點在於兩相鄰介面角度的精度。
4. 光柵 (grating)：在透明或不透明的光學元件上刻畫出均勻條狀間隔之繞射光柵結構，用於將不同波長的光束分離。

### 1.2.2 光學玻璃鏡片的製造方式

光學鏡片的製造方式因材質的不同而有所區別，由於本研究的範圍在於光學玻璃鏡片的成形上，以下將針對一般光學玻璃鏡片的製造方式做介紹。



玻璃材料相較於高分子材料由於具有較高的成形溫度與高硬度等特性，光學玻璃鏡片的製造成本與技術都比光學塑膠鏡片來的高出許多。一般光學玻璃透鏡成形的的方法大致可分研磨拋光法(surface generating method by grinding and polishing)及模造成形法(glass molding)兩種。

光學玻璃透鏡的研磨拋光製程依序可分為選料、切割、圓整、成形、研磨、拋光、定心、鍍膜。選料的目的是在於將原胚料中有缺陷的材料捨去，避免浪費後續加工手續的成本。切割是將原胚料外形在一定的預留量下，修整至欲加工完成的尺寸，而大多數的研磨拋光過程

中加工的皆是圓形鏡片，所以必須先經過圓整的手續，完成鏡片之後若外形非圓形，再做後續修整。成形的工作是利用透鏡成形機對欲加工之材料初步成形出所需之曲率，透鏡成形機外觀如圖 1-1 所示，成形原理示意如圖 1-2。鏡片完成外形初步成形之後，進行多道次的研磨與拋光手續，過程所使用的方法為濕式拉磨法。拋光完成之鏡片須經由定心的程序，使其幾何中心軸與光軸一致。鏡片經由適當的清洗之後在表面在表面做適當的鍍膜處理即完成光學玻璃透鏡的製作。



圖 1-1 透鏡成形機外觀圖

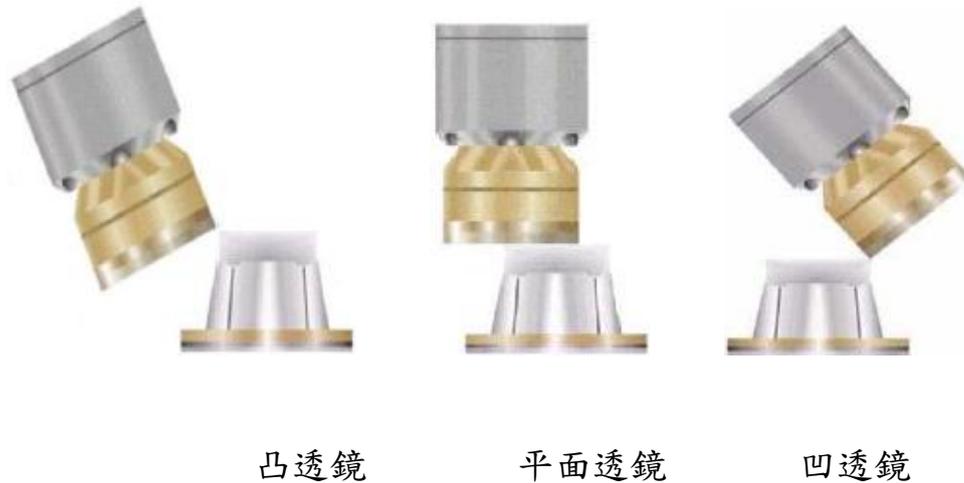


圖 1-2 成形原理示意圖

傳統的透鏡藉由研磨、拋光加工成形，無法很精準的控制鏡片尺寸的均一性，且難以對非球面透鏡進行加工；近年來亦有使用超精密加工取代研磨、拋光製程，如在成形機完成玻璃球面透鏡的初步成形之後，對玻璃材料進行鑽石車削(diamond turning)或精密研磨(precision grinding)等超精密加工，然而超精密成形機的設備費用昂貴，且刀具成本高，目前尚未被廣用於鏡片量產的加工。

玻璃模造成形法是將玻璃預形體加熱軟化，之後利用具有高精密表面的成形模具加壓轉寫製成所需外形之光學玻璃鏡片[2]；其成形過程是將模仁與玻璃預形體加熱至模造溫度<sup>1</sup>後由上下模仁加壓成形，經過保壓與降溫後取出鏡片成品，模造成形流程圖如圖 1-3 所示。玻璃模造成形技術具有材料流動距離短、成形精度高、形狀轉寫性

<sup>1</sup> 模造溫度通常為超過玻璃轉移溫度(transformation temperature)或降伏溫度(yield point)之某一特定溫度，在此溫度下玻璃具有流動性，為一黏性很大的流體。

佳、設備簡單等特性，且任何製程<sup>2</sup>所製作出來的模仁皆能經由模造成形的製程來達到批次化量產的目的，以降低鏡片生產成本及穩定品質。

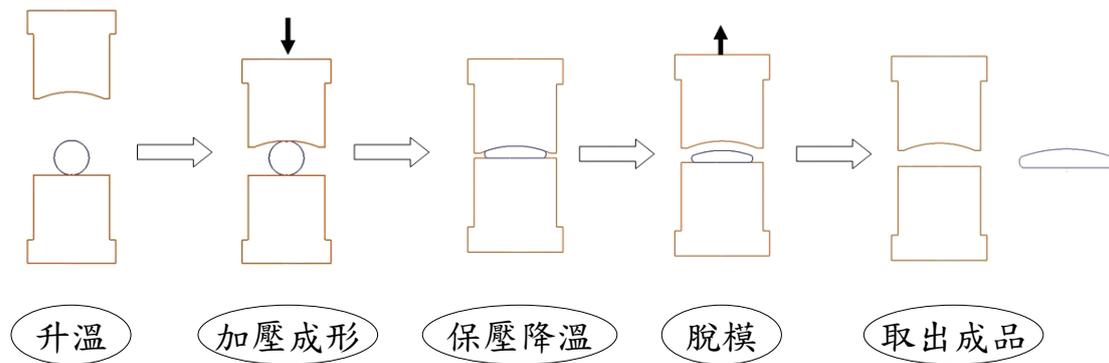


圖 1-3 模造成形流程圖

### 1.3 文獻回顧



M. Hecke[3]等人認為熱壓成形可製造出高精度與高品質兼具產品，適於成形光學元件微結構的理想技術，其優點是材料流動距離短與低剪切速率，可避免成品產生內應力；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。

Saotome[4]等人使用光學玻璃 K-PSK100 與 K-PG375 (Tg 點分別為 390°C 與 343°C)，在 Tg 點到 Tg 點+30°C 的溫度範圍條件下進行壓縮實驗，得到不同溫度下的真實應力(true stress)與應變率(strain rate)的關係，在應力與應變率的圖形上可得知應變率敏感性(strain rate

<sup>2</sup> 模仁的加工製程可為傳統的研磨拋光法、超精密加工法、電鑄法及蝕刻法…等

sensitivity) 等於 1，證實了在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;再以單晶矽為模仁進行 V 形溝槽的模造實驗，實驗結果發現由於 V 形溝槽的尖角與溝槽表面粗糙度的因素，導致玻璃無法完整的填充模穴。

Koro Shishido[5]等人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。

遊[6]等人以電鑄鎳金屬模仁，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[7]以陣列式 V 形槽結構，寬  $50\mu\text{m}$ ，深  $25\mu\text{m}$ ，分別對 FCD1 和 SF2 光學玻璃材料進行微熱壓成形實驗，並探討製程中的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進行原因及改進方法的探討。

黃[8]以 FCD1 光學玻璃做為熱壓實驗的材料，採用平面透鏡成形球面透鏡，依照實驗中所設定的壓印力與持壓時間等參數，對巨觀的幾何外形需求而言，以經過加工後之平面透鏡壓印球面透鏡確實可行，且在沒有施加保壓力的條件之下，其回彈狀況並不明顯，實驗所得到的玻璃球面透鏡成品，經由量測得知均符合 JIS B7433 曲率半徑

容差的規範。

Yi[9]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。

王[10]透過自行製作之 S-FPL53 光學玻璃材料預形體與 L-BAL42 商用預形體做為實驗材料，進行熱壓成形實驗，發現模仁在鍍硬膜前必須有良好的表面品質，才有利於鍍膜後表面品質以及產品精度的維持，且硬膜層技術將絕對影響成品的結果。

Kleer[11]等人認為 TiAlN-與 TiAl(C,N)-系的陶瓷硬膜層在高溫下有良好的穩定性與對玻璃的離形性，為適合應用於模造玻璃的理想硬膜層。



Hock[12]等人對於 TiAlN/ZrN 硬膜層進行研究，發現對玻璃有良好的穩定型與抗沾粘性，為適用於微結構玻璃模造之硬膜層。

Aono[13]等人藉由改進模造成形設備，搭配製程中程序控制及適當之玻璃預形體與材料，在 730°C 下熱壓成形，並經由退火處理後，成功的製作出相機鏡頭用 60.5mm 直徑之大尺寸非球面玻璃透鏡，且尺寸公差與形狀精度皆在預定容許範圍內。

Firestone[14]等人以製程程序控制與量測為目標，設計玻璃模造實驗設備，開發出可充氮氣環境的熱壓成形設備，可精確達到位移、荷

重、溫度等參數之控制，並可應用於微透鏡陣列的成形上。

## 1.4 研究動機

光學玻璃在光學特性、機械特性、物理及化學特性上，均較光學塑膠為佳，傳統光學透鏡的製造方式以研磨、拋光的方式進行生產為主，不僅花費較高的成本，在產品的均一性方面也較難控制。

模造技術之設備簡單且適合大量生產，在成本與精度的考量上均具有相當的優勢，產品均一性方面也較佳；而玻璃模造因為其成形溫度高，在高溫下模具會因強度降低、物質析出及表面反應等因素，造成模仁壽命降低，其中尤其以硬膜層脫落、沾黏、劣化失效為主，使得高成本開發出來的模仁無法達成大量轉印的目標。

## 1.5 研究目的與方法

本研究的主要目的在於改善本實驗室已有之實驗設備的缺點，設計新的加熱裝置，藉由改善模造成形環境與製程參數，克服製程中硬膜層易失效的問題，來提升模仁硬膜層的壽命，使模造玻璃製程技術有更大的發展空間；研究中藉由初步的實驗找出提升硬膜層壽命可行的方向，並設計新的熱壓成形設備來改善初期實驗設備的缺點與提升實驗的方便性。另一方面則是從硬膜層本身的特性來做比較，探討不同材質與比例的硬膜耐高溫的情形，以及搭配實驗中選用之玻璃編號

L-BAL42 球狀光學玻璃預形體間的脫模情形；並藉由新設計之設備來嘗試在真空與通氮氣等環境下進行熱壓成形實驗，比較模仁壽命與熱壓透鏡成品。

本文中所提到實驗室已有之實驗設備包含了材料壓縮試驗機、溫度控制器與加熱爐（以下統稱為一代爐），新設計的加熱設備以下將統稱為二代爐，另外研究中所使用的設備包含成形機、定心機、研磨與拋光設備、輪廓儀、干涉儀等設備，均由財團法人國家實驗研究院儀器科技研究中心（以下簡稱儀科中心）所提供，而硬膜技術則由儀科中心與中國砂輪公司提供。

## 1.6 論文內容介紹



本論文第一章為背景介紹、文獻回顧及研究動機與方法；第二章介紹光學玻璃、模仁加工與初步實驗結果及後續規劃；第三章為新型實驗裝置的設計與建構並介紹測試實驗與模仁夾具設計；第四章進行模造成形實驗以比較不同實驗參數的影響；第五章為結論與未來展望。

## 第二章 流程規劃與實驗介紹

### 2.1 光學玻璃

#### 2.1.1 成分與種類

玻璃為陶瓷材料(ceramic materials)中的非結晶陶瓷(amorphous ceramic)，其主要成分為二氧化矽( $\text{SiO}_2$ )及其他少量有機物如三氧化鋁( $\text{AlO}_3$ )、三氧化二鐵( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )、氧化鐵( $\text{FeO}$ )、氧化銅( $\text{CuO}$ )、氧化鎂( $\text{MgO}$ )、氧化鈦( $\text{TiO}$ )等，除了氧化鐵會使玻璃著色外，多數成分對玻璃的性質並沒有影響。如果使用於需考慮光學性質的用途上，則須考量到氧化鐵的含量。玻璃中所含氧化鐵之容許量，依其用途可區分如表 2-1 所示。

表 2-1 玻璃之用途與  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  容許限度 (%) 對照表[15]

玻璃之用途	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ 容許限度(%)	玻璃之用途	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ 容許限度(%)
光學玻璃	0.01	理化學用玻璃	0.1
良質結晶玻璃	0.015	鏡用玻璃	0.1
普通結晶玻璃	0.02	普通窗用玻璃	0.2
結晶鏡	0.03	半透明厚玻璃	0.3
一般玻璃	0.03	半透明薄玻璃	0.5
電器用玻璃	0.05	綠色、褐色玻璃	0.5 以上

目前國際上較知名的光學玻璃供應廠有日本小原光學 (OHARA)、日本保穀光學 (HOYA)、日本住田光學 (SUMITA)、美國康寧 (CORNING)、中國北方工業 (NORINCO)、德國首德 (SCHOTT) 等公司，其中歷史最久者為德國首德公司；國內則有聯一光學、一品光學等公司生產光學玻璃毛胚。

目前光學玻璃毛胚的種類約有三百多種，主要的分類方法為依據折射率 ( $n_d$ ) 與色散率 ( $\nu_d$ ) 來進行分類，大致可分為冠冕玻璃 (crown glass) 和火石玻璃 (flint glass) 兩大類；冠冕玻璃的折射率與色散率定義為  $n_d < 1.60$ ， $\nu_d > 50$ ，成分中含有氧化鋇 (BaO)，屬折射率較低，色散率較高之光學玻璃；火石玻璃的定義則相對於冠冕玻璃，為  $n_d > 1.60$ ， $\nu_d < 50$ ，成分中含有氧化鉛 (PbO)，屬於折射率較高，色散率較低之光學玻璃。

光學玻璃的命名會因不同光學廠的規則而有所不同，因此光學廠會依據玻璃本身的光學特性進行編號，目的在於能與他廠之光學玻璃相互對應。以 OHARA 公司之 L-BAL42 光學玻璃為例，其編號為 583594，其編號前三碼所代表的意義為折射率  $n_d = 1.583$ ，後三碼則為色散率  $\nu_d = 59.4$ 。圖 2-1 為 OHARA 公司模造玻璃用的光學玻璃品種，圖中縱座標為折射率  $n_d$ ，橫座標為色散率  $\nu_d$ 。

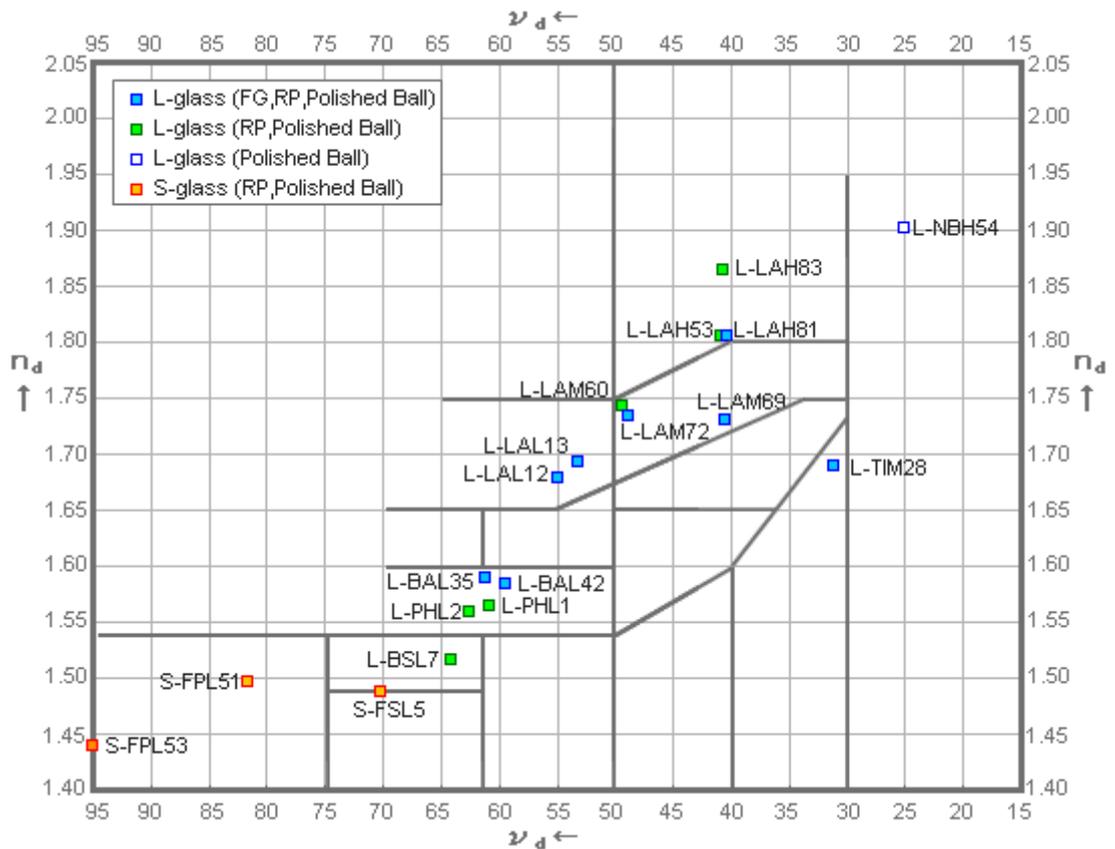


圖 2-1 OHARA 公司模造玻璃用光學玻璃[16]

## 2.1.2 光學性質

光學玻璃的各種性質中以光學性質最為重要。不同品種之光學玻璃具有不同之折射率、色散與透明度，且為光學玻璃中最重要之三項光學性質，關係著光學元件在設計時的重要參數。

### 2.1.2.1 折射率(refractive index)

光在不同介質中的傳播速度不同；當光在進入不同介質時，其行進方向會有所改變，即為光的折射。折射率一般分成絕對折射率 (absolute index of refraction) 與相對折射率 (relative index of

refraction)；絕對折射率  $n$  之定義為光在真空中的速度  $c$  ( $2.99 \times 10^8 \text{m/sec}$ ) 與光在介質中的速度  $v$  之比值。然而在工程上習慣以相對折射率來表示，如 2.1 式所示[17]。

$$n_{rel} = \frac{n_{glass}}{n_{air}} \quad (2.1)$$

$n_{rel}$ ：相對折射率

$n_{glass}$ ：玻璃的折射率

$n_{air}$ ：空氣的折射率

### 2.1.2.2 色散(dispersion)

真空中各波長的光其速度均相等，但在進入較密介質中後，不同波長之色光的速度便各有差異，因此介質對不同波長的光有不同的折射率，故有色散現象。色散率以 Abbe 數( $v_d$ )表示

$$v_d = \frac{n_d - 1}{n_F - n_c} \quad (2.2)$$

$n_d$ ：介質對光波長 587.56nm 的折射率

$n_F$ ：介質對光波長 486.10nm 的折射率

$n_c$ ：介質對光波長 656.27nm 的折射率

### 2.1.2.3 透明度(transmittance)

光進入物質後之行為與物質之性質有關；一般的情況下，光進入物質一小段距離後，會變為其他形式的能，如熱能或化學能等，而被物質所吸收，透明度為物質對光的吸收程度。

### 2.1.3 光學玻璃之其他性質

除了光學性質之外，光學玻璃的機械及化學性質也同樣關係到光學元件在光學系統上的表現。

一般光學玻璃的機械性質以硬度最為重要，硬度值以 Hk 表示，為 Knoop 硬度測試所得之值。光學玻璃的硬度與成分有關，一般而言鉛玻璃較鈣玻璃質軟，玻璃中若含氧化硼能增加玻璃的硬度。除了硬度之外，玻璃中的應力也會影響其光學特性，造成折射率等光學性質的改變，應力主要的成因為機械加工時升降溫的膨脹與收縮、壓力差以及接合劑的收縮等因素造成。

玻璃的化學性質係指玻璃對化學的耐久性，即玻璃對水、酸、鹼、鹽類等溶液與空氣中的水分及二氧化碳的抵抗能力，其中更以抵抗酸性為化學性質主要的指標。除了對化學的抵抗能力之外，光學元件的使用場合有時會有高低溫差的變化，或者會接受強光的照射，因此對於此類因素的穩定性亦相當重要，而光學玻璃比光學塑膠在此便具有較多的優勢。

## 2.1.4 玻璃轉移現象

多數液體在冷卻到一定溫度下後就會凝固變成晶體結構(crystal structure)，但玻璃並不在一定溫度下凝固，而是當冷卻到一定溫度後，便會逐漸增加其黏性，最後變成一極黏而硬的固體；由常溫加熱時就隨即軟化再變為凝體(condensation)，不像一般結晶物質具有一定的熔點。

玻璃在升溫過程中，溫度與體積大致上是呈線性的變化，當加熱至某一溫度時，體積變化率會稍加增大，該溫度則稱為玻璃轉移溫度(glass transition temperature ; $T_g$ )，如圖 2-2 所示。

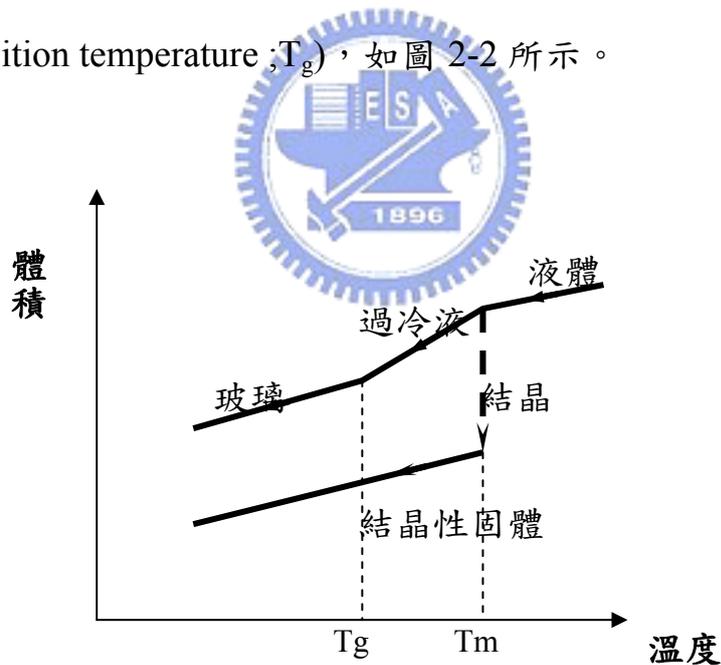


圖 2-2 玻璃狀態固-液體關係圖[18]

若將溫度再升高而超過玻璃轉移溫度後，玻璃就會逐漸失去其剛性，並且成為黏彈性的性質，若持續將溫度升高則玻璃隨即軟化，玻

玻璃軟化點(softening point)的定義為以直徑為 0.55~0.75mm，長度為 23.5 mm 的玻璃纖維(glass fiber)，在玻璃纖維上部 10mm 處，以 5°C /sec 的速率升溫，當玻璃由於自重產生的伸長速率達 1mm/min 時的溫度。由轉移溫度到軟化溫度之間的溫度範圍稱為轉移域(transformation range)，在此一溫度區間內與時間一起變化且其性質達到穩定之現象稱為轉移現象(transformation phenomenon)。

### 2.1.5 本研究所採用之光學玻璃

本實驗所選用的光學玻璃材料，以配合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，配合實驗模擬分析的規劃，以及材料取得之難易性，選用 OHARA 公司所生產之 L-BAL42 光學玻璃，並且採購已加工成直徑 5.8mm 之玻璃球作為實驗中所使用的光學玻璃預形體，其主要性質如表 2-2 所示。

表 2-2 L-BAL42 光學玻璃材料性質表

玻璃編號		L-BAL42
材料性質		
折射率 $n_d$		1.583
色散率 $v_d$		59.4
玻璃轉移點 $T_g$ (°C)		506
線膨脹係數 $\alpha(10^{-7}/^{\circ}\text{C})$	-30~+70°C	72
	+100~+300°C	88
熱傳導率 $k$ (W/m · K)		1.028
Knoop 硬度 (Hk)		590

## 2.2 模仁

### 2.2.1 材料

模造玻璃用之模仁材料有以下幾點性質之要求：

1. 模仁材料需可加工成高形狀精度。
2. 模仁需在重複急速升降溫過程中，表面不易產生變形、裂痕與氧化作用。
3. 模仁在高溫度工作範圍內，具有高剛性、耐衝壓強度與高硬度。

基於上述對模仁材料的要求，目前業界多採用碳化鎢作為模仁材

料，而本實驗亦採用碳化鎢作為模仁材料，其材料性質如表 2-3 所示。

表 2-3 模仁材料性質

材料名稱 性質	碳化鎢-鈷合金 (UM)	碳化鎢合金 (M78)
比重 (g/cm <sup>3</sup> )	13.9	15.4
硬度 (HV)	1600	2600
抗折力 (GPa)	2.5	1.47
壓縮強度 (GPa)	5.9	4.8
熱膨脹係數 (×10 <sup>-6</sup> /K)	6 (20~150°C)	3.6 (20~400°C)
熱傳導率 (W/m·K)	67	42
含鈷成份	5.5%	無

### 2.2.2 製作

由於碳化鎢為一種高硬度且具脆性的材料，在模仁設計上除了需考慮實驗試片尺寸、模仁夾治具及溫度感測（熱電偶）等因素外，更重要的是須考量加工上的難易度；模仁設計完成圖及模仁-夾具組合圖分別如圖 2-3、圖 2-4 所示。

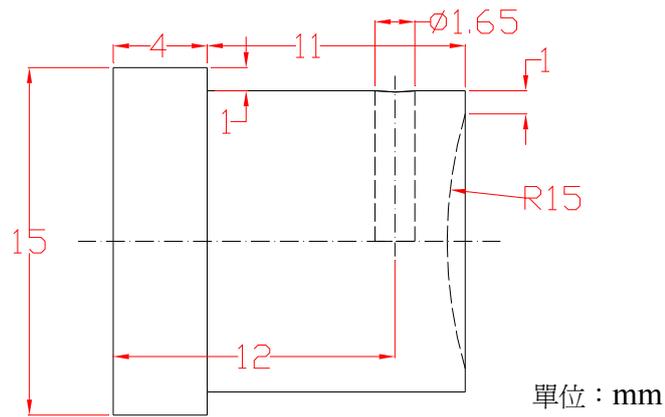


圖 2-3 模仁尺寸圖

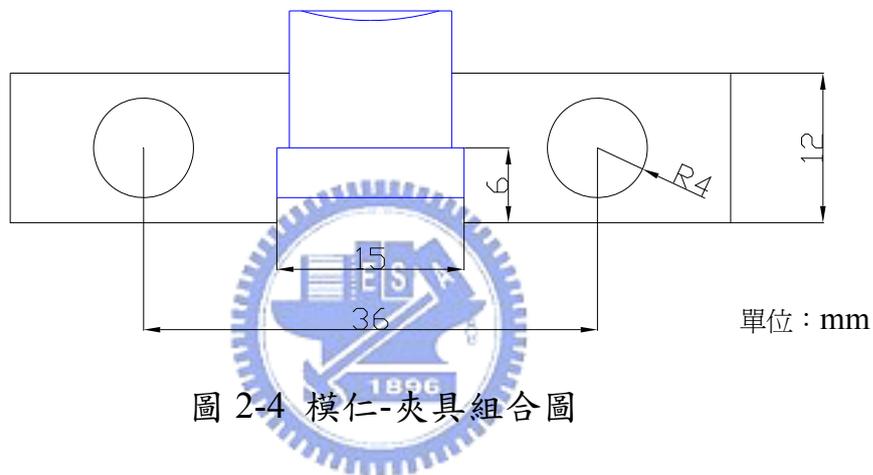


圖 2-4 模仁-夾具組合圖

本研究中模仁的加工方式，與傳統光學玻璃透鏡的研磨拋光製程相似，藉由濕式拉磨法製作出模仁在模造實驗中之壓印面。模仁製作的流程依序為放電加工、成形、研磨、拋光、定心等，各階段的目的與過程簡述如下：

1. 放電加工 (electrical discharge machining, EDM)：由於碳化鎢為高硬度材質，無法用一般鑽孔的方式在模仁材料上鑽出小孔，因此在加工熱電偶欲放置的小孔時，便藉由放電加工的方法來達成，如圖 2-5 所示。



圖 2-5 模仁放電加工成品圖

2. 成形 (curvature generation, CG)：其目的在於對模仁表面加工出欲壓印之曲面，即一預定曲率之曲面；使用之機器為成形機，成形原理為利用杯狀鑽石砂輪對工件表面進行輪磨，如圖 2-6 所示，成形成品如圖 2-7 所示。



圖 2-6 成形機作業圖



圖 2-7 模仁成形成品圖

3. 研磨 (lapping): 模仁成形完成後，在成形表面可清楚看見鑽石砂輪輪磨時所產生的刀痕，因此必須經由研磨的動作將刀痕除去，並使表面粗糙度降低，直到可以進行拋光的階段。過程中使用一相對曲率（曲率相同凹口相反）之公模與模仁進行對磨，使用磨料為碳化矽磨砂，粒度由 #280、#500、#800、#1200、#2000、#3000、#6000 循序漸進，研磨過程中，如圖 2-8 所示，磨料粒度、擺動幅度、擺動與旋轉速度、偏心程度、接觸壓力等皆為影響因素，除了理論的根據外，經驗亦相當重要。



圖 2-8 模仁研磨作業圖

4. 拋光 (polishing)：拋光的原理與研磨類似，目的在於使工件的表面粗糙度再次提升至鏡面程度，拋光模表面的料有絨布、羊毛氈、拋光皮（材質為 polyurethane）和拋光瀝青等，通常要達到高精度的拋光面，最常使用的材料為拋光瀝青，而拋光液則因工件的硬度而有所不同，在此所使用的拋光液為水性鑽石漿，拋光完成之模仁如圖 2-9 所示。



圖 2-9 模仁拋光完成圖

5. 定心：定心的動作在解決工件幾何中心軸與曲面（光學）中心軸不一致的問題，偏心可分為兩種誤差型式，一種是光軸與幾何中心軸平行，另一種則是光軸與幾何中心軸交叉，而實際上工件的偏心是這兩種誤差的綜合。除了使光軸與幾何中心軸對齊之外，經由定心的動作還可以成形出工件最後軸對稱的外形部分，本研究的模仁為一軸對稱外形，因此在經由定心的程式之後便完成模仁的加工製作，模仁成品如圖 2-10 所示。



圖 2-10 模仁加工成品圖

### 2.2.3 硬膜層

藉由對工件表面做超硬薄膜披覆處理後，工具鋼、模具鋼或超硬合金工具，可提升表面硬度 3~5 倍，減少工具的磨耗量，其次，可減少摩擦係數；藉由超硬薄膜披覆處理，可避免衝、剪以及模具表面溶

著、刮傷等問題，提高產品精度，降低模具耗損與延長模具壽命。

硬膜技術於玻璃模造成形中扮演重要的地位，其中硬膜層的適用性，必須考慮到以下幾點：

1. 離形性，以避免在模造過程中與玻璃產生反應、黏沾現象。
2. 足夠的硬度與機械強度，以免於模造過程中變形或受損。
3. 高溫穩定性，避免在模造氣氛中發生分解現象或與氣氛反應。
4. 耐熱衝擊性，以忍受模造過程中的熱循環。
5. 硬膜壽命，延長硬膜壽命可降低模仁成本。

硬膜層的成長方式，主要分為物理氣相沉積 (physical vapor deposition, PVD) 與化學氣相沉積 (chemical vapor deposition, CVD)；隨著激發方式不同，又可細分為蒸鍍、濺鍍、離子鍍、熱 CVD、電漿輔助 CVD (即 PECVD)、光誘發 CVD 等。簡單來說，PVD 以物理方式，而 CVD 以化學的方式對工件表面進行鍍膜。

表 2-4 為用於模造玻璃模具之硬膜特性比較，考慮硬膜層的特性與取得，本研究將採用的硬膜層包含陶瓷硬膜氮化鋁鈦 (TiAlN)、氮化鈦 (TiN)、氮化鋯 (CrN) 及貴金屬膜鉑銱 (Pt-Ir)，由儀科中心所提供，另外有貴金屬膜銻銱 (Re-Ir)，由中國砂輪公司提供。

表 2-4 模造玻璃用模具之硬膜特性比較[19]

種類 特性	Ni-P or Ni-W	TiN or CrN	DLC	Diamon d	Pt-Ir	B-N or C-B-N
低溫強度	○	◎	◎	◎	○	◎
高溫強度	×	◎	○	◎	△	◎
薄膜應力	○	△	△	×	○	×
抗沾黏性	×	△	○	◎	◎	○
高溫氧化	×	△	×	◎	◎	○
高溫與玻璃反應	×	×	×	○	◎	○
品質穩定性	◎	◎	○	○	◎	△
鍍膜成本	◎	○	○	△	△	△
模具壽命	×	△	△	○	◎	○
×：最差、不良、最嚴重，△：普通、尚可，○：較佳、較不嚴重，◎：最佳、最不嚴重						

## 2.3 實驗室已有之實驗裝置

初期模造實驗所使用之設備，為本實驗室自行設計再委外製作的實驗專用機，其外觀如圖 2-11 所示。此設備是由材料壓縮試驗機、加熱爐（一代爐）、溫度控制器等部分所組成，控制器如圖 2-12、圖 2-13 所示；位移控制是由伺服馬達驅動滾珠螺桿搭配減速機，驅使平臺往上移動達到壓印的效果，再搭配光學尺來控制位移量；壓力控制部分使用壓力感測器(load cell)控制，由壓力感測器測定出壓力值，將數值傳回電腦經由計算再進行補償；溫度控制則使用熱電偶配合溫控表進行檢測與補償；熱壓設備之重要性能如表 2-5 所示。

表 2-5 熱壓設備重要性能表

最高荷重 (Kg)	2000	最小位移精度 mm	0.005
動力系統	伺服馬達 搭配減速機	最高溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	600
控制精度 (mm/min)	0.5~500	控制迴路	閉迴路 控制



圖 2-11 熱壓設備外觀圖

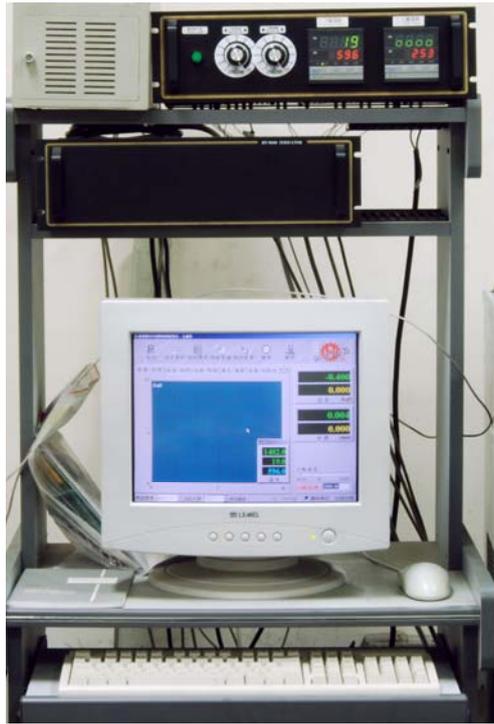


圖 2-12 控制器外觀圖



圖 2-13 溫控裝置外觀圖

一代爐內部構造如圖 2-14 所示，由三組電熱棒搭配熱電偶與溫控器作為加熱控制，分別控制上模、下模與爐內溫度。

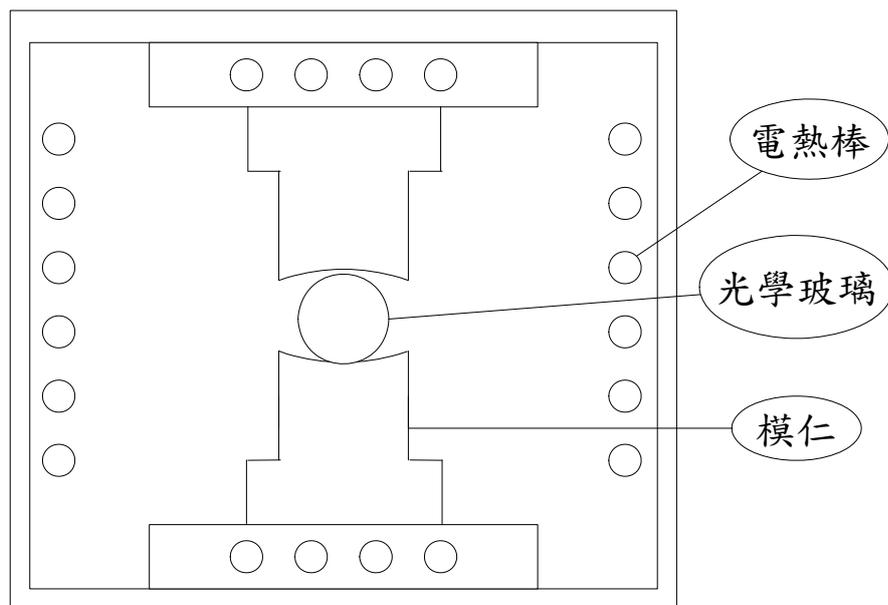


圖 2-14 一代爐內部構造示意圖

## 2.4 初步實驗流程

本階段實驗主要目的在於藉由參考現有之成形條件進行實驗，評估影響模造成形時模仁硬膜層壽命的可能因素，並從中獲取模造實驗之技巧與經驗，最後評估出現有一代爐之優缺點，並設法針對其缺點進行改進。模造玻璃實驗流程如下：

1. 準備動作：將模仁與夾具安裝於加熱爐中，並將熱電偶固定於上、下模仁內，利用酒精將上、下模仁表面清潔乾淨，並放上已清潔乾淨之玻璃預型體。
2. 升溫：將工作溫度設定完成後進行升溫動作；本實驗中所使用之光學玻璃為 L-BAL42，其轉移點溫度為  $506^{\circ}\text{C}$ ，在此將工作溫度設定為轉移點溫度以上  $50^{\circ}\text{C}$ 。

3. 持溫與壓印：當溫度到達工作溫度後予以持溫，其目的在於使模仁與玻璃預型體內外溫度均勻，然後再給定荷重之壓力進行壓印。
4. 保壓、降溫：壓印完成後隨即停止上下模的移動，並關閉電熱棒進行降溫，保壓可防止玻璃預型體在降溫過程中變形。
5. 脫模：當溫度降至脫模溫度後，予以脫模；在此設定脫模溫度為轉移點溫度以下  $50^{\circ}\text{C}$ ，即  $456^{\circ}\text{C}$
6. 取出成品：當溫度降至常溫後，則用夾子取出透鏡成品。

透過文獻回顧整理得知，熱壓成形過程中對成品的影響參數與模仁損耗的主要因素如下：

1. 成形溫度：溫度過低會造成材料流動性不足，使成形過程的充填性不足，更有可能造成玻璃預型體的損壞；但溫度過高不但影響成品品質，還會使模仁壽命降低，亦可能造成脫膜困難。
2. 壓印力：在密閉式模具熱壓成形時，壓印力愈大，充填效果愈好，但會縮短模仁的壽命；在開放式模具熱壓成形時，過大的壓印力，則會使玻璃預型體變形過度，反而無法達到所需的形狀精度。
3. 模仁的表面品質：模仁的表面品質決定了成品的表面品質；

此外，模仁過於粗糙會使充填效果差且在脫模時產生過大的摩擦力，不僅可能造成硬膜層的脫落，且會影響成品精度與其光學性質。

4. 脫模劑：脫模劑的添加有助於脫模時避免玻璃預型體與模仁的沾黏，但不當的脫模劑則會造成脫模劑在成品表面的殘留，會影響其表面品質。
5. 殘留應力 (residual stress)：在熱壓成形與降溫的過程中，常使成品內部產生應力，若在成品內部有過高的殘留應力，在稍受外力接觸時，成品表面或內部會形成龜裂，造成日後的損壞。

## 2.5 實驗結果分析與後續規劃

初步實驗參考本實驗室先前之研究，使用其中較佳的參數設定，在此設定下可成形出不破裂且外形轉印性高，具有高形狀精度的透鏡成品；共作有五組模造成形實驗以及一次的模仁加熱實驗，其中有兩次的實驗所使用的玻璃材料為 OHARA 公司所生產較低溫之模造成形用光學玻璃，玻璃編號為 S-FPL53 及 S-FPL52，玻璃轉移點溫度分別為 426°C 及 445°C，由於此兩種材料硬度較低，高溫流動性較佳，為避免壓印速度過快，壓印時荷重設為 980N；相關實驗參數如表 2-6 所示，而模仁加熱實驗僅針對模仁進行加熱而不作壓印玻璃的動作。

表 2-6 初步實驗參數

實驗編號	1	2	3	4	5
玻璃材料	L-BAL42	S-FPL53	S-FPL52	L-BAL42	L-BAL42
上模仁材質(硬膜)	UM(TiN)	UM(TiN)	UM(TiN)	UM(CrN)	UM(CrN)
下模仁材質(硬膜)	M78(無)	M78(無)	M78(無)	UM(Pt-Ir)	UM(無)
溫度設定 (°C)	556	476	503	556	556
升溫時間 (min)	12	18	71	25	60
持溫時間 (min)	15	15	5	20	0
荷重 (N)	1960	980	980	1960	1960
荷重速率 (N/min)	980	490	490	980	980
脫模溫度 (°C)	456	376	403	456	456

M78 為碳化鎢合金、UM 為碳化鎢-鈷合金，材料性質如表 2-3 所示。

實驗結果依實驗順序分述如下：

1. 第一次實驗的結果如圖 2-15、圖 2-16 所示，從圖中可看出透鏡成品表面沾有黃色析出物的現象，以及上模仁 TiN 硬膜層高溫氧化及脫落的現象。

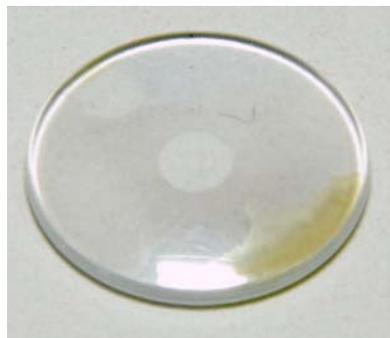


圖 2-15 實驗編號 1 之透鏡成品圖

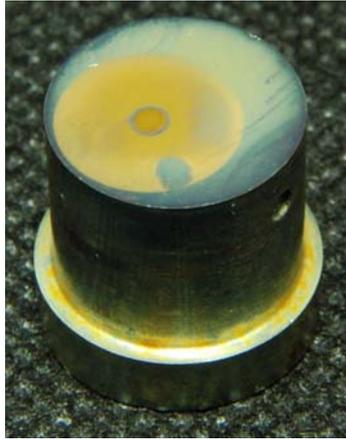


圖 2-16 實驗編號 1 之實驗後上模仁圖

2. S-FPL53 與 S-FPL52 的結果如圖 2-17、圖 2-18 所示，由於預形體尺寸較大，壓印完成後透鏡周圍留有餘料；由透鏡成品可看出表面並無沾附析出物的現象，且模仁在壓印完 S-FPL53 的材料試片後幾乎沒有變化的現象，但在之後 S-FPL52 的壓印實驗過後，由於實驗溫度較高，上模仁的 TiN 硬膜層可看出氧化現象，如圖 2-19 所示，而下模仁則因兩次的實驗之後開始產生沾黏的現象，如圖 2-20 所示。



圖 2-17 實驗編號 2 之透鏡成品圖



圖 2-18 實驗編號 3 之透鏡成品圖

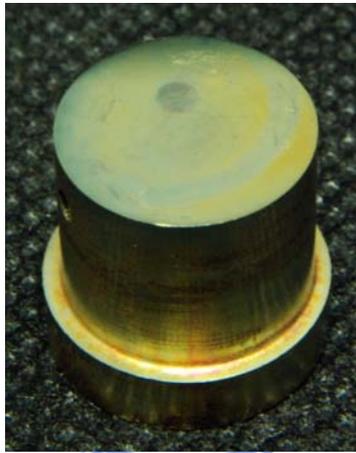


圖 2-19 實驗編號 3 之實驗後上模仁圖



圖 2-20 實驗編號 3 之實驗後下模仁圖

3. 第四次的實驗下模仁使用的是貴金屬 Pt-Ir 硬膜層，透鏡成品如圖 2-21 所示，可看出 Pt-Ir 硬膜層脫落的情形嚴重，沾黏於透鏡上，下模仁實驗後經由干涉儀量測結果如圖 2-22 所示。

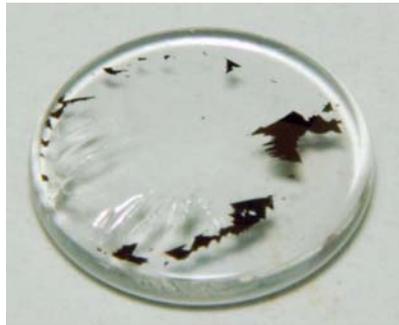


圖 2-21 實驗編號 4 之透鏡成品圖

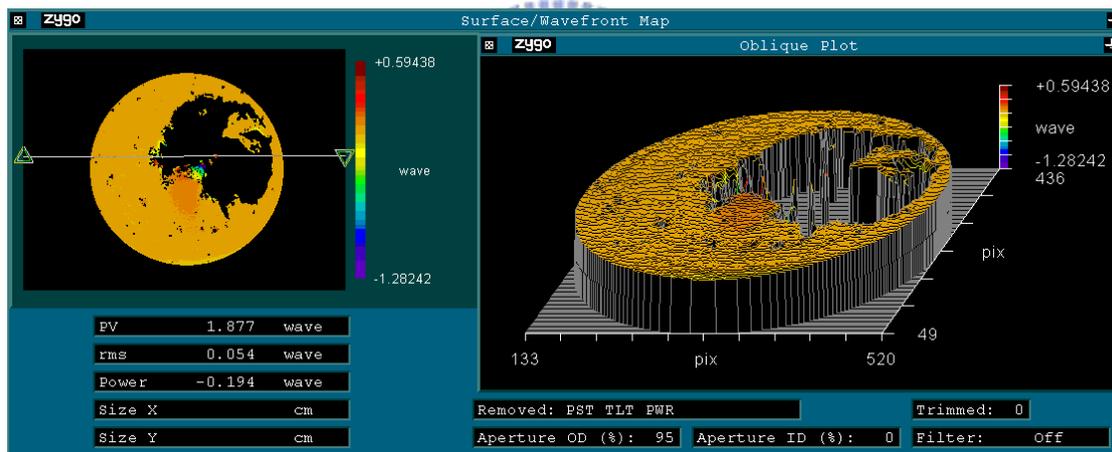


圖 2-22 實驗編號 4 之實驗後下模仁干涉儀量測結果

4. 先前實驗所用之無硬膜層下模仁的材料為不含鈷成分之碳化鎢，其特色為高溫穩定性佳，可在無硬膜層的情形下直接進行壓印；而第五次實驗使用的無硬膜層模仁則為含有鈷成分之碳化鎢材料，目的在於比較這兩種材料在對高溫反應的差

別。實驗結果如圖 2-23 所示，透鏡成品表面有大量的析出物沾附現象，而上模仁的 CrN 硬膜層也在兩次的實驗之後開始產生脫落現象，如圖 2-24。



圖 2-23 實驗編號 5 之透鏡成品圖



圖 2-24 實驗編號 5 之實驗後上模仁圖

5. 模仁加熱實驗之溫度設定為  $590^{\circ}\text{C}$ ，實驗結果如圖 2-25 所示，圖中左邊模仁為未經過實驗且未鍍硬膜的模仁，中間的模仁為 CrN 硬膜層模仁經加熱實驗後結果，右邊的模仁則為未鍍硬膜的模仁經加熱實驗後的結果。



圖 2-25 模仁加熱實驗結果圖

經由初步實驗結果分析歸納出下列重點：

1. TiN 硬膜層耐熱溫度低，高溫易氧化失效，以一次性實驗來看， $476^{\circ}\text{C}$  時尚無明顯變化，而  $503^{\circ}\text{C}$  與  $556^{\circ}\text{C}$  的實驗則是明顯出現氧化現象，如果是重複進行模造製程，則預估能耐之溫度將會更低。
2. 無硬膜層的無鈷成分碳化鎢模仁在幾次實驗之內會開始對玻璃產生沾黏的現象，且依實驗看來，壓印力越大、持壓時間越久的實驗越容易產生沾黏。
3. 貴金屬 Pt-Ir 硬膜雖在高溫下穩定性高，不易發生氧化現象，但是容易發生沾黏現象。
4. CrN 硬膜層可耐溫度較高，在初步實驗的工作溫度下不易氧化，但也在幾次實驗之內開始發生沾黏現象。
5. 含鈷成分之碳化鎢模仁若無鍍硬膜層時，在高溫下其表面會有析出或反應的現象。

經由實驗結果來看，模仁與硬膜層之壽命與氧化、沾黏、脫落等因素有很大的關係；氧化現象是由於模仁在高溫中的大氣環境下實驗所發生，可由改變加熱爐中的氣氛來使氧化現象減低；而沾黏與脫落的現象推測其原因為玻璃的溫度雖已到達轉移點，但其溫度下玻璃的黏性依然過大，簡而言之玻璃還太硬且太黏，壓印時下壓力過大造成玻璃與模仁間的正向力與剪切力過大；沾黏與脫落的問題可由提高模造溫度來解決，但也因而提高硬膜層氧化失效的機率，但這點可由改變模造氣氛來改善。

總結初步實驗，提高模仁與硬膜層壽命由改善模造氣氛與硬膜層材質為可行的方法；因此本研究後續將由改進一代爐等實驗設備方面著手，藉由自行設計並委外製造的方式來做出一具有可在真空與充填氣體環境下進行模造實驗的設備（二代爐）。另一方面，藉由嘗試不同的硬膜層來找出一可以重複進行多次模造實驗的理想硬膜層，其中將會以貴金屬類與氮化物等硬膜層為主作實驗研究。

## 第三章 新型實驗裝置設計與建置

二代爐主要的目的為取代本實驗室早期作熱壓實驗所使用的一代爐，其功能將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。本章將介紹二代爐的概念設計、設備架設以及優缺點分析，並進行熱壓實驗測試，最後介紹針對新實驗裝置所設計之模仁夾具。

### 3.1 紅外線真空加熱設備

#### 3.1.1 概念設計與製造



為使加熱爐能實現具有真空及通氣體的環境並能夠快速升溫加熱，且以不更動實驗設備中壓力與位移控制部份的情形下，僅針對加熱爐本體進行更換，需設計能裝設於壓力試驗機上之紅外線真空加熱設備。為滿足功能需求，進行設備之概念設計，並與委託廠商討論後確認尺寸規格，二代爐概念設計示意圖如圖 3-1 所示，設計圖見附錄 A。

二代爐可分為上爐與下爐兩部份，下爐主要包含有紅外線加熱燈管及可供真空幫浦抽氣之抽氣孔，該抽氣孔亦為充填氣體環境時的進排氣孔；上爐部份則主要包含的是一具單向推動的油壓缸，此油壓缸的目的在於可使加熱爐密封作真空抽氣的動作，並且可改變行程，使

模仁在密封環境下得以做壓印的動作。由於實驗時加熱爐內部為高溫環境，為避免熱影響壓力試驗機的感測元件，因此上下加熱爐外圍均需做好冷卻的動作，避免熱量傳出。

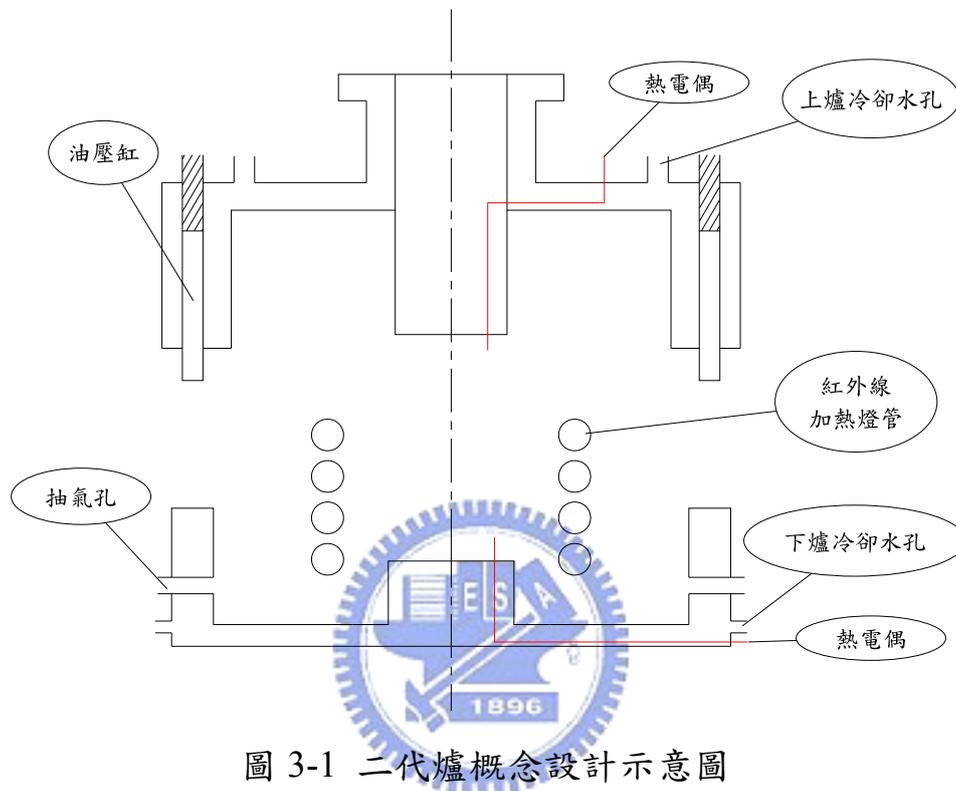


圖 3-1 二代爐概念設計示意圖

### 3.1.2 設備架設

二代爐完成加工後便進行組裝架設與功能測試，二代爐外觀如圖 3-2 所示，其獨立系統將分為加熱與溫控系統、油壓系統及真空與氣體環境系統等三部份，將分別敘述如下。



圖 3-2 二代爐外觀圖

### 3.1.2.1 加熱與溫控系統

本加熱爐的加熱器使用的是高功率的環形紅外線加熱燈管，其功率為每支燈管 2500W，在設計上可由並聯的方式最多一次同時使用四支燈管做加熱，圖 3-3 為同時並聯三支燈管之外觀圖，在溫度控制上，藉由熱電偶（圖 3-4）對模仁進行感測，將訊號送至溫度控制器（圖 3-5），再由溫度控制器控制功率調整器（SCR）如圖 3-6，來控制燈管的加熱功率；加熱與溫度控制示意圖如圖 3-7 所示。

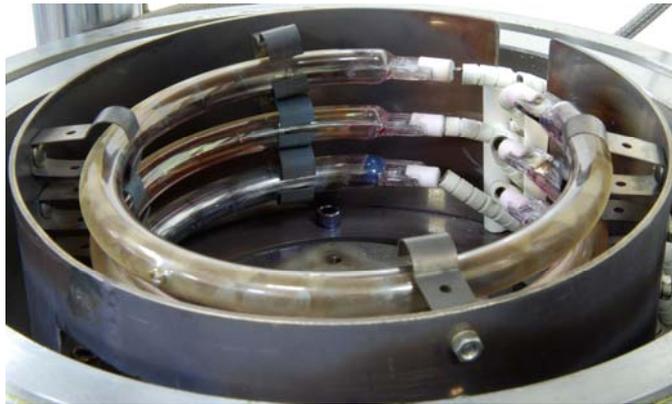


圖 3-3 紅外線加熱燈管



圖 3-4 熱電偶



圖 3-5 溫度控制器

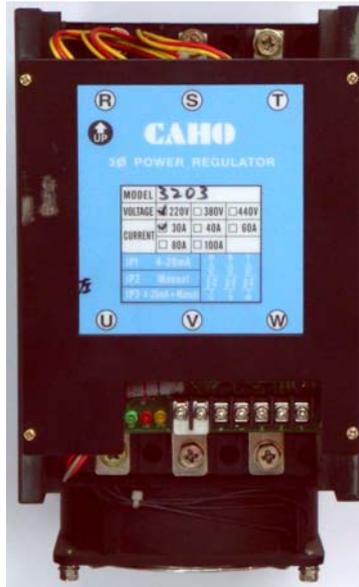


圖 3-6 功率調整器

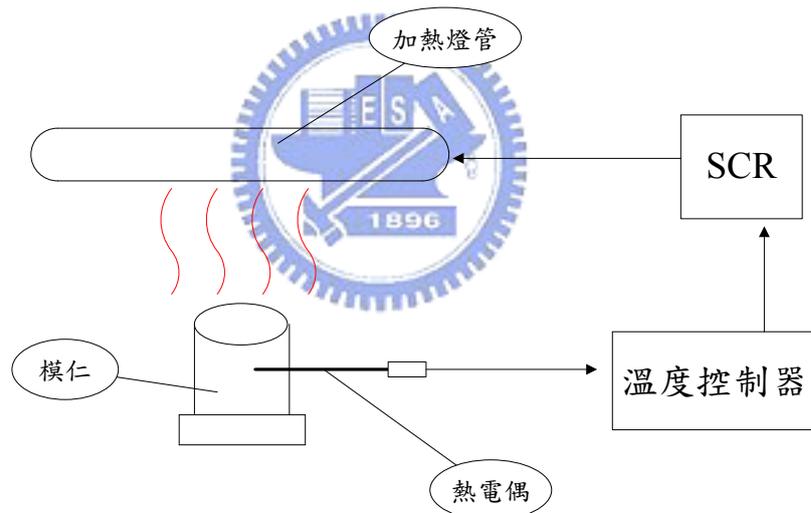


圖 3-7 加熱與溫度控制示意圖

### 3.1.2.2 油壓系統

二代爐之油壓缸為單向推動，由油壓作為動力推動油壓缸向下以封閉加熱爐進行實驗，而油壓缸向上的行程則由壓力試驗機推動下爐向上使之歸回上位，測試結果油壓缸最大行程約為 42mm。在實驗過

程中，如有進行真空實驗，則大氣壓力會推動下爐往上，故即使油壓缸已經降下，依然需要一循環的油路使缸內保持壓力，因此在實驗過程中，油壓系統將持續運轉；為避免油壓缸在降下時速度過快，因此設計一流量較低的迴路作為降下油壓缸時的迴路，而在完全封閉加熱爐後則切換至正常流量之迴路來保持缸內壓力。油壓系統示意圖如圖

3-8 所示

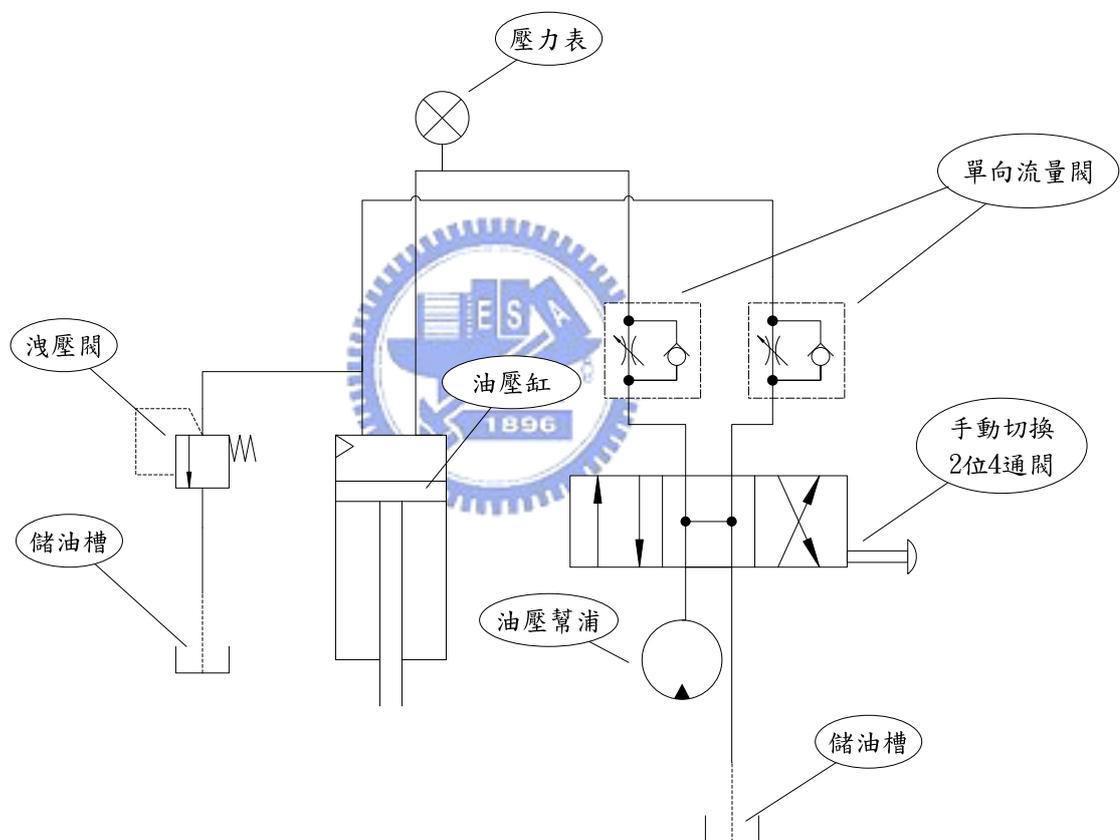


圖 3-8 油壓系統示意圖

### 3.1.2.3 真空與氣體環境系統

二代爐的下部所預留的兩個抽氣孔為抽氣與充氣用，如需進行真

空實驗時，只需將一端之抽氣孔關閉，另一端之抽氣孔接上真空幫浦即可進行真空抽氣的動作；如需充氣體環境時，以氮氣為例，將抽氣孔接上氮氣鋼瓶，打開真空幫浦端上的洩氣閥，即可通入氮氣。氮氣鋼瓶配置及真空幫浦如圖 3-9、圖 3-10 所示。



圖 3-9 氮氣鋼瓶配置圖



圖 3-10 真空幫浦

## 3.2 開模熱壓實驗

二代爐組裝測試完成後進行初次的模造成形實驗，本次的壓印實驗使用模仁為含鈷成分之碳化鎢模仁，且表面僅做拋光處理無硬膜層披覆，模仁夾具部份使用與初步實驗相同之夾具，熱電偶讀取下模仁溫度進行溫度控制，並於真空抽氣的動作下升溫、持溫、壓印，待溫度降至脫模溫度後以充入氮氣的方式破真空，並持續通入氮氣直至室溫。細部實驗參數如表 3-1 所示，在溫度設定、荷重、荷重速率、脫模溫度部分，使用的參數與第二章初步實驗中 L-BAL42 材料所使用的參數（表 2-6）相同。

表 3-1 開模熱壓實驗參數表

玻璃材料	L-BAL42	升溫時間 (min)	8
上模仁材質 (硬膜)	UM(無)	持溫時間 (min)	10
下模仁材質 (硬膜)	UM(無)	荷重 (N)	1960
溫度設定 (°C)	556	荷重速率 (N/min)	980
模造環境	真空	脫模溫度 (°C)	456

初次實驗除了測試設備功能外，主要的目的在於熟悉實驗流程的操作，故在模具的行程上並沒有給予太多的下壓距離，以避免撞模的情形發生；實驗結果如圖 3-11 所示，透鏡成品在無硬膜層的情形下，初次實驗並無析出物沾黏的現象，呈現出良好的表面品質。



圖 3-11 開模實驗透鏡成品圖

### 3.3 模仁夾具設計

由於原有之夾具有對心不易的缺點；且在真空中加熱時，玻璃預形體與模仁本身吸收紅外線加熱而升溫的速率不同，造成玻璃與模仁間的溫差須靠較長時間的持溫來克服。設計二代爐所用的模仁夾具，目的除了達到更精準的定位與對心，並且拆裝容易，方便實驗的需求外，更重要的是達到傳熱均勻，便於溫度上的控制及量測等目標。夾具以同軸套筒的方式設計，將模仁與玻璃預形體拘束於模座其中，以便於模仁對心，並且藉由精準的套筒高度來控制模仁的下壓位移量；預形體升溫由模具本身傳熱來完成，溫度上的量測由於熱電偶經由套筒旁伸入模仁中心，遠離紅外線源，防止紅外線對熱電偶加熱，將可得到更真實的模仁溫度，夾具外觀如模仁與夾具組合圖如圖 3-13 所示，設計圖見附錄 B。

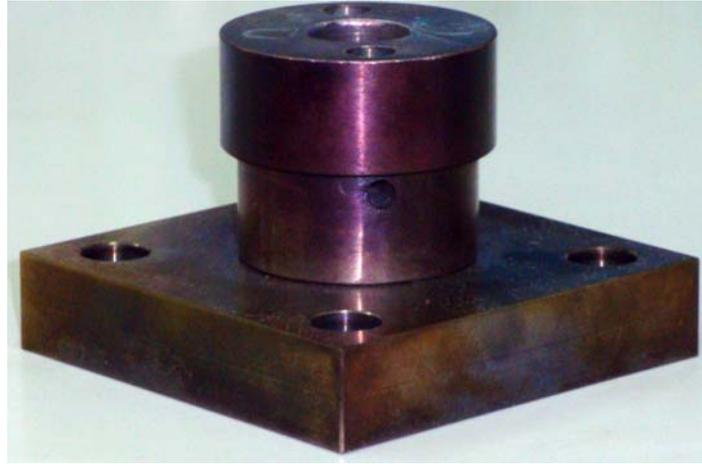


圖 3-12 夾具外觀圖

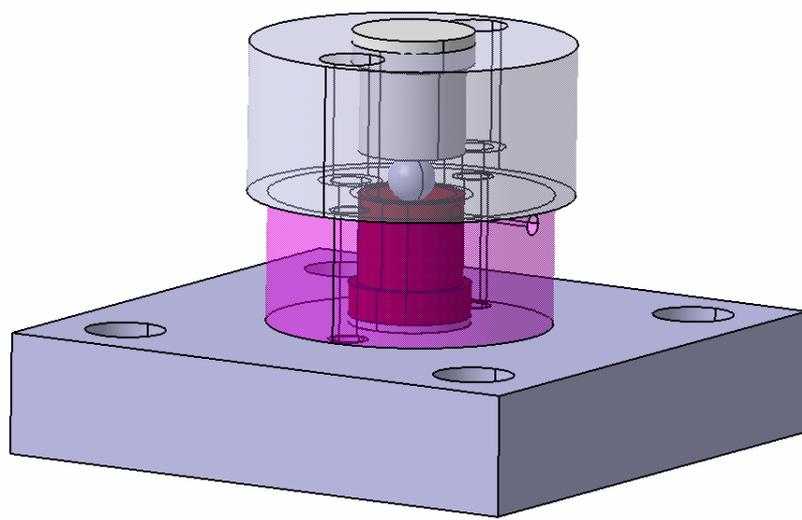


圖 3-13 模仁與夾具組合圖

## 第四章 模造成形實驗

二代爐經過設計與組裝測試之後，本章利用此設備進行模造成形實驗，以不同的實驗參數進行實驗，除了比較不同模仁硬膜層之間的差異外，在實驗的過程中發現，在閉模成形實驗時透鏡成品有部份出現邊緣崩裂的情形，另外下壓程度過大時會造成透鏡成品有內裂的情形；因此在硬膜層實驗後便以閉模成形實驗與變形量成形實驗，來探討不同的下壓程度對透鏡成品的影響。

### 4.1 實驗流程介紹

本章的模造成形實驗主要流程如圖 4-1 所示，圖中緩慢降溫的階段僅為關閉加熱器讓模具與鏡片在真空中緩慢降溫，而快速降溫的階段則利用通入室溫之氮氣以及將冷卻水通入模座底部等方式來達到快速降溫的目的；實驗過程中部份參數變動的部份將於該實驗中補充說明。

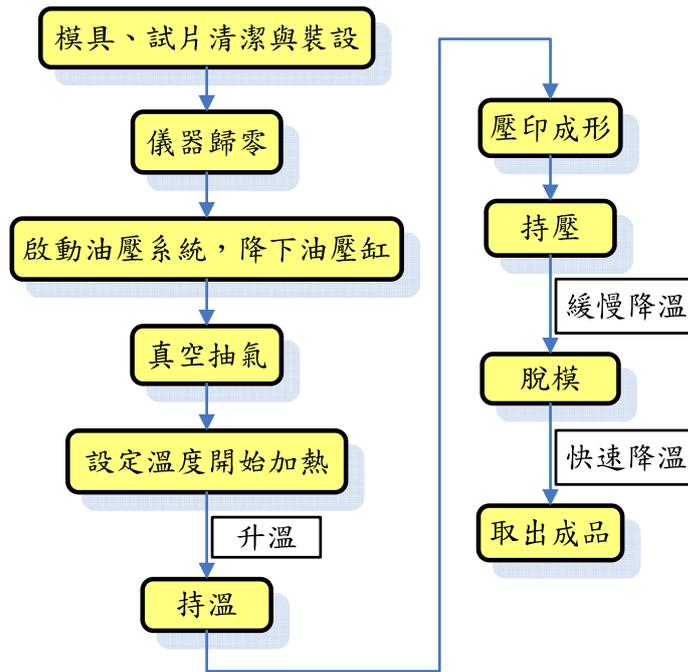


圖 4-1 模造成形實驗流程圖

## 4.2 硬膜層實驗

以前節所述的實驗流程經過幾次的測試之後，將採用其中最佳的實驗參數，進行不同模仁硬膜層的實驗，其目的在於比較不同材質的硬膜層對模造成形時的差別，比較的重點包含了硬膜層是否有脫落的情形、硬膜層在模造過程中是否會與玻璃材料反應、以及玻璃在脫模後是否會有沾黏在模仁表面的情形等，模仁硬膜層包括氮化物硬膜層 TiAlN、TiN、CrN，貴金屬硬膜層 PtIr 與 ReIr，其中 TiAlN、TiN、CrN、PtIr 硬膜層由儀科中心提供，ReIr 硬膜層由中國砂輪公司提供，由於不便公開硬膜層詳細的成分比例參數，本論文僅針對不同材質的硬膜層對於模造成形的結果進行比較，觀察不同比例之 TiAlN、TiN、PtIr 硬膜層在模造成形的差異，並不針對詳細的硬膜成分比例進行深

入探討。除了氮化物及貴金屬硬膜層之外，另外也比較 UM、M78 等兩種碳化鎢模仁在無硬膜層下直接進行模造成形實驗的反應，詳細實驗參數如表 4-1 所示。

表 4-1 硬膜層實驗參數

玻璃材料	L-BAL42	荷重 (N)	1960
溫度設定 (°C)	568	荷重速率 (N/min)	980
模造環境	真空	持壓時間 (sec)	90
升溫時間 (min)	10	脫模溫度 (°C)	506
持溫時間 (min)	20		

#### 4.2.1 氮化物硬膜層模仁實驗

氮化物硬膜層模仁模造實驗中共選用了 CrN、TiN 及 TiAlN 三種硬膜層，其中 TiN 及 TiAlN 包含了不同比例的硬膜層；實驗結果透鏡成品外觀照如表 4-2 所示；就以上三種硬膜層實驗結果來看，氮化物硬膜層中 CrN 與 TiN 硬膜層皆會與 L-BAL42 玻璃材料發生反應，使成品表面透明度降低甚至有霧化的情形，而 TiAlN 硬膜層與玻璃材料反應的情形則相對較少，然而由透鏡成品外觀可看出，不同比例的 TiAlN 硬膜層對於玻璃的反應情形有很大的不同，對成品的影響很大；而由實驗結果也可看出鍍膜技術對模仁壽命的影響，TiAlN 硬膜層在實驗後皆有脫落的情形，圖 4-2 與圖 4-3 分別為實驗編號 5 之 TiAlN #2 模仁硬膜層在實驗前與模造實驗之後硬膜脫落的情形。

表 4-2 氮化物硬膜層模仁實驗透鏡成品外觀比較

編號	硬膜層	透鏡成品外觀
1	CrN	
2	TiN #1	
3	TiN #2	
4	TiAlN #1	
5	TiAlN #2	
6	TiAlN #3	



圖 4-2 模仁與 TiAlN #2 硬膜層外觀圖

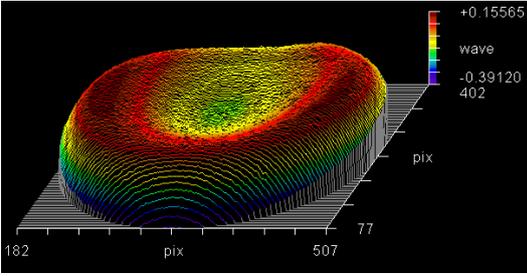
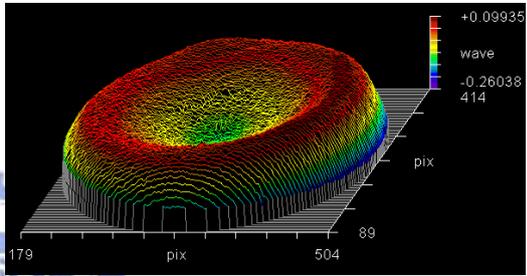
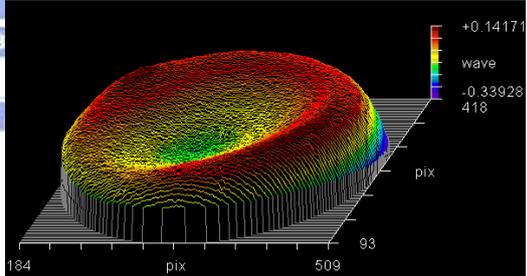
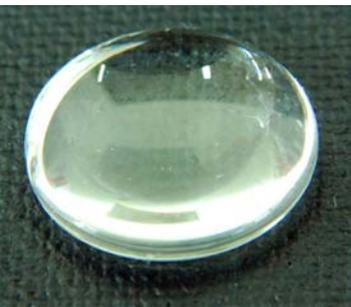
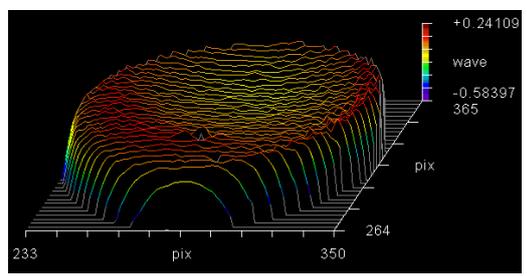


圖 4-3 TiAlN #2 硬膜層脫落情形

#### 4.2.2 貴金屬硬膜層模仁實驗

貴金屬硬膜層模仁模造實驗中使用 PtIr 及 ReIr 兩種硬膜層，其中 PtIr 硬膜層同樣包含了三種不同的比例；實驗結果透鏡成品外觀照如表 4-3 所示；實驗透鏡成品外觀良好，無沾黏及析出反應的現象，經由干涉儀量測亦有良好的表面品質；結果顯示貴金屬硬膜為適合 L-BAL42 玻璃材料模造用的理想硬膜層。

表 4-3 貴金屬硬膜層模仁實驗透鏡成品比較

編號	硬膜層	透鏡成品外觀	干涉儀量測圖
7	PtIr #1		
8	PtIr #2		
9	PtIr #3		
10	ReIr		

### 4.2.3 無硬膜層模仁實驗

在無硬膜層模仁實驗中使用了兩種不同材種的碳化鎢模仁，分別是碳化鎢-鈷合金（UM）以及碳化鎢合金（M78），詳細的材料性質如表 2-3 所示；實驗結果 UM 模仁表面有變色的現象，如圖 4-4 所示，透鏡成品（圖 4-5）外觀並無變色的現象，但由干涉儀量測透鏡表面則發現接近鏡心處有沾黏的情形，如圖 4-6 所示。M78 模仁實驗結果模仁表面與拋光完成的模仁相較並無明顯變化，如圖 4-7，透鏡成品（圖 4-8）外觀並無析出物沾附的情形，由干涉儀量測透鏡成品表面，如圖 4-9，轉印性良好並無沾黏的情形。



圖 4-4 無硬膜層 UM 模仁實驗後外觀圖



圖 4-5 無硬膜層 UM 模仁實驗透鏡成品圖

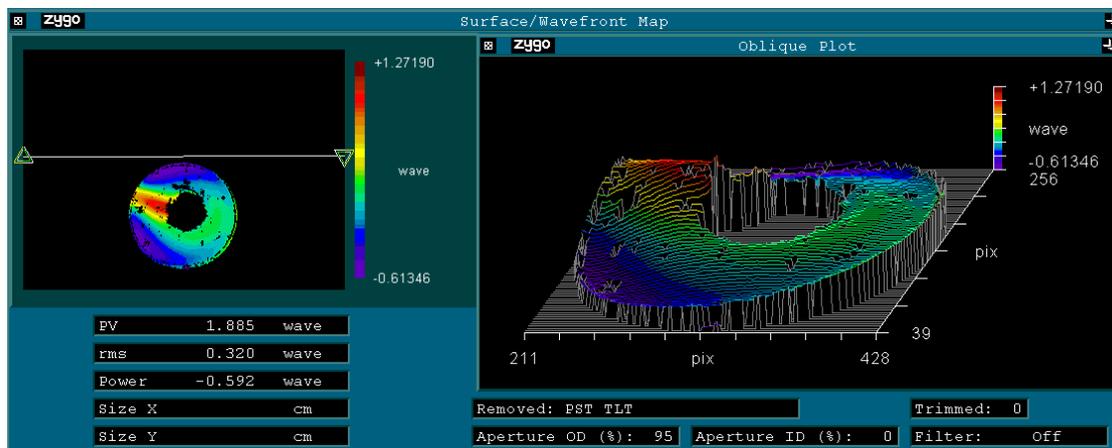


圖 4-6 無硬膜層 UM 模仁實驗透鏡成品干涉儀量測結果



圖 4-7 無硬膜層 M78 模仁實驗後外觀圖



圖 4-8 無硬膜層 M78 模仁實驗透鏡成品圖

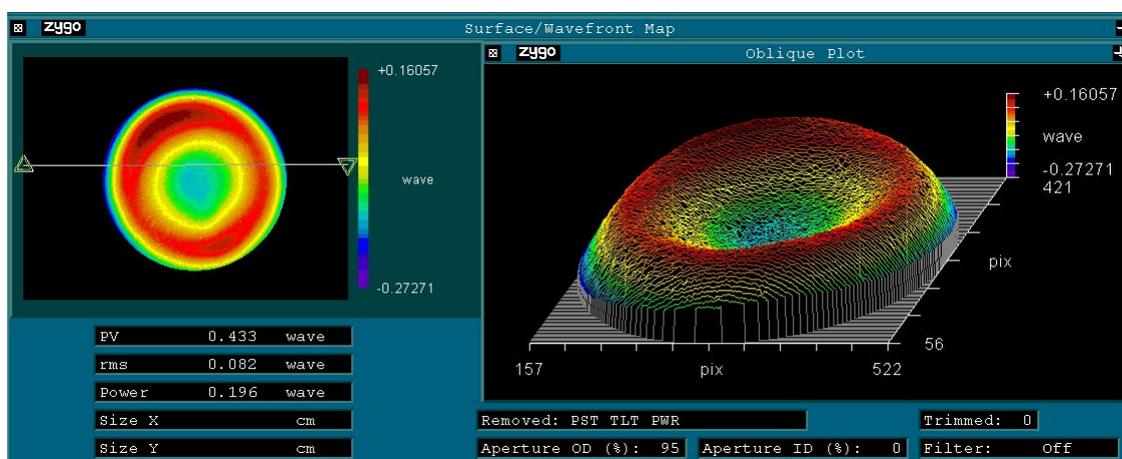


圖 4-9 無硬膜層 M78 模仁實驗透鏡成品干涉儀量測結果

### 4.3 閉模成形實驗

閉模成形的目的在於使成品的外形精度更高，形狀精度更佳。經由先前的實驗可看出貴金屬硬膜層相較於氮化物硬膜層在模造成形時有較佳的特性，因此研究中使用貴金屬硬膜作為閉模成形實驗中的模仁硬膜層，模仁的曲率半徑均為 15mm，利用不同的深度(sag)值來控制透鏡成品厚度，實驗參數同表 4-1。實驗結果如表 4-4 所示，由結果可看出，當鏡心厚度低於某一值之後，透鏡成品邊緣便出現崩裂的情形；經由鏡心厚度及曲率計算模穴容積，再與玻璃材料的體積做比較後發現，崩裂的情形為玻璃在模造成形時體積超出模穴容積，擠出模穴而發生，因此如要成形出完整的透鏡成品，在玻璃材料體積及模穴容積上需額外經過計算，不能有玻璃擠出模穴的情形發生。

表 4-4 閉模成形實驗透鏡成品外觀比較

編號	鏡心厚度 (mm)	透鏡成品外觀
11	3.05	
12	2.62	
13	2.27	
14	2.15	
15	2.11	
16	2.10	

## 4.4 變形量成形實驗

在先前的實驗中發現，當玻璃預形體在成形過程中下壓的位移量較大（即鏡心厚度較薄）時，透鏡成品內部會因應力過大而有內裂的情形，因而在此進行不同變形量的成形實驗；在編號 17 到 20 的實驗中，實驗參數同表 4-1，經由改變不同的變形量至鏡心厚度為 1.75mm 時，透鏡成品開始出現內裂的情形，因此將變形量固定為鏡心厚度 1.75mm，進行不同參數的實驗，而在以下整理出三組實驗結果作為代表進行比較。實驗透鏡成品外觀比較如表 4-5 所示。

1. 在編號 21 的實驗中，將成形溫度提升至 585°C，並藉由減低荷重至 1470N 及減緩冷卻速度的方式，來減少成型過程中所產生的應力；實驗結果發現內裂的情形依然存在。
2. 編號 22 的實驗中，將成形溫度設定在 568°C，改變原本下壓的力量控制，改由位移控制，設定位移速率 0.6mm/min，降溫過程同編號 17 到 20 的實驗，並無減緩冷卻速度；實驗結果可看出透鏡成品雖有改善，但依然有內裂的情形。
3. 編號 23 的實驗結合編號 21、22 兩組實驗參數，將溫度設定為 585°C，下壓由位移控制，設定位移速率 0.6mm/min，並且用 6°C/min 的冷卻速率冷卻至室溫；由透鏡成品照可看出並無內裂的情形。

表 4-5 變形量成形實驗透鏡成品外觀比較

編號	鏡心厚度 (mm)	透鏡成品外觀	成形溫度 (°C)
17	2.88		568
18	2.49		568
19	1.92		568
20	1.75		568
21	1.72		585
22	1.74		568
23	1.75		585

## 4.5 實驗結果歸納與分析

在改進實驗設備後，本章所做的一系列模造成形實驗部分將可歸納出以下幾點：

1. CrN、TiN、TiAlN 硬膜層在實驗中皆會與 L-BAL42 玻璃發生反應，使透鏡成品表面有析出物，產生霧化的情形，唯 TiAlN 的反應情形相對較少，甚至特定比例的 TiAlN 硬膜幾乎不與玻璃發生反應，可成形出良好的透鏡成品。
2. 鍍膜技術及中介層的選擇為硬膜層是否容易脫落的關鍵，也是模仁及硬膜層壽命的關鍵。
3. PtIr 及 ReIr 等貴金屬硬膜層為適合 L-BAL42 玻璃模造時的理想模仁硬膜層。
4. 在無硬膜層模仁的實驗部份，含鈷成分的碳化鎢模仁雖比起在大氣環境下實驗，並無析出物沾附於透鏡成品上，但是沾黏的情形仍會發生，因此含鈷成分的碳化鎢模仁並不適合在無硬膜層披覆的情形下進行模造成形。
5. 相較於在大氣中模造時有黃色析出物的現象（見圖 2-15），無鈷成分的碳化鎢模仁在真空實驗後透鏡成品表面並無沾黏及析出物的現象，且由於玻璃材料在高溫大氣中並不會有產生黃色析出物的情形，此可判斷黃色析出物為大氣與模仁發生

反應析出造成，並且 M78 材料在無硬膜層的情況之下即可進行模造，成形出良好的透鏡成品。

6. 由於玻璃胚料與模仁材料兩者間的熱膨脹係數（見表 2-2、表 2-3）差異甚大，在閉模模造成形時，需注意材料體積及模穴容積的關係，高溫下玻璃材料不可有餘料溢出模穴的情形，以免透鏡成品邊緣產生崩裂。
7. 玻璃透鏡在成形時如變形量過大時，材料內部累積應力過大，便會造成內裂的情形；因此需注意變形量的問題，避免使用與設計外形尺寸相差太多的玻璃預形體。以本研究中為例，L-BAL42 玻璃預形體為直徑 5.8mm 的玻璃球，成形出單邊曲率半徑為 R15mm 的平凸透鏡，則最大變形量約可成形至鏡心厚度 1.9mm 附近，低於此厚度便透鏡容易出現內裂的情形，在成形至鏡心厚度 1.75mm 時，需以較高的成形溫度，配合非常緩慢的下壓速率以及緩慢的降溫速率，才不至於有內裂的情形發生。

## 第五章 結論與未來展望

### 5.1 結論

光學玻璃在許多特性上均有較光學塑膠為佳的優勢，使得高品質及高精度需求的光學產品均需使用光學玻璃作為光學元件的材料；傳統光學玻璃透鏡在製作上有費時費工的缺點，而模造玻璃製程則有可低成本大量生產的優勢，然而模造玻璃製程因其成形溫度高的特性，使得模仁與硬膜層的壽命不高為其尚待克服的問題。本研究藉由改進模造實驗設備與比較不同模仁硬膜層的差異，以及實際在成形過程中所遇到閉模模造與變形應力等問題做一系列的研究後可得以下結論：

1. 經由改進模造實驗設備，由原本的大氣環境下提升至真空與氮氣環境中進行模造實驗，減去高溫下材料與大氣(氧)的反應，成功的提升了模仁硬膜層的壽命，成形出表面品質良好的透鏡成品。
2. 含鈷成分的碳化鎢 (UM) 模仁未經鍍膜並不適合進行模造成形，無鈷成分的碳化鎢 (M78) 模仁在無硬膜層下可直接進行模造；但硬膜層有增加表面硬度、減少摩擦係數等特性，可增加模仁壽命，故在實際進行量產時是否對模仁表面進行硬膜處理則需評估成本效益來決定。

3. 本研究中採用真空環境進行實驗，並在快速降溫的階段通入氮氣加速冷卻；在真空中或氮氣環境下，由於氧含量極低，故均可減少與氧發生反應的機會，而實際量產製程可依照其設備的特性做調整。
4. 氮化物硬膜層的成分與比例的不同對於成品的影響很大，以 TiAlN 硬膜層配上 L-BAL42 玻璃材料來說，需要嘗試改變許多不同的比例來找到最佳的硬膜層，且不同的玻璃材料與不同的成形溫度會有不同的結果。
5. 貴金屬硬膜層（例如 PtIr、ReIr）在本研究中為相當適合玻璃模造的理想硬膜層。
6. 由於貴金屬硬膜成本比起氮化物硬膜來說高很多，因此如能找到合適的氮化物硬膜，將能以更低的成本進行模造生產。
7. 硬膜層壽命除了取決於所搭配的玻璃材料是否產生反應與沾黏外，鍍膜技術與中介層的選擇也將是影響硬膜層是否容易脫落與失效的重要因素。
8. 在閉模模造成形時，高溫下玻璃材料不可溢出模穴，否則將造成冷卻收縮後透鏡成品邊緣崩裂的情形；在模仁外型設計上除精確配合胚料體積外，亦可藉由導圓角的方式（如圖 5-1），配合成形時玻璃材料邊緣填充至導角處，來避免邊緣崩裂的情

形。

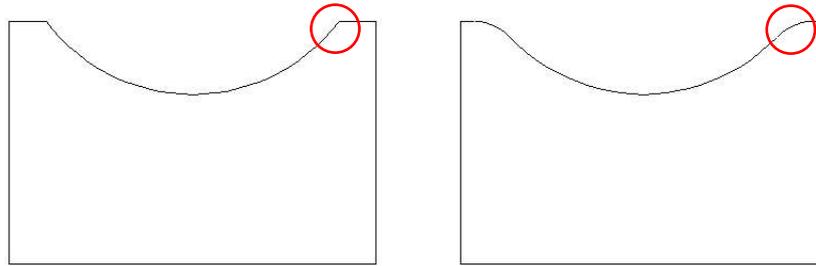


圖 5-1 模穴導圓角示意圖

9. 模造成形時玻璃材料下壓的變形量過大時，容易造成過高變形應力使透鏡成品產生內裂的情形。以本研究為例，L-BAL42 玻璃預形體為直徑 5.8mm 的玻璃球，成形出單邊曲率半徑為 R15mm 的平凸透鏡，在實驗中所使用的參數條件下，最大變形量約可成形至鏡心厚度 1.9mm 附近；過大的變形量需以更高的成形溫度、更慢的下壓速率及更慢的降溫速率來避免內裂的發生，此會造成製程成本與時間大量增加。因此在製程規劃時須選用適當玻璃預形體的尺寸，來避免變形量過大。內裂的情形是不可回復的缺陷，若能控制透鏡成品不產生內裂，則可再利用退火程序來減去透鏡內部的殘留應力。

## 5.2 未來展望

玻璃模造成形為低成本量產光學玻璃透鏡元件的重要技術，目前皆以小尺寸光學透鏡為主，未來可以發展至大尺寸的光學透鏡，如單

眼相機鏡頭用的透鏡元件上，以因應需求量日漸增加的消費市場；除了透鏡元件外，更可以發展透鏡陣列及微結構光學玻璃原件的模造技術，追求更高品質、更高性能、更低成本的技術目標。

本研究中設計並建置了二代爐，成功的克服了硬膜層易失效的問題，然而此設備仍有其尚待克服的缺點，例如油壓系統的不穩定易造成力量的量測不準確，降溫速度不夠快速等問題；在此經過整合本實驗室未來對於模造玻璃實驗研究之所需，提出目標需求如下：

1. 最大操作面積： $\Phi 80\text{mm}$
2. 最高溫度： $800^{\circ}\text{C}$
3. 最大行程： $40\text{mm}$
4. 真空度控制、氮氣流量控制
5. 獨立爐壁冷卻水路與模具降溫水路
6. 上模可施加超音波
7. 模具/試片溫度分佈量測
8. 預留觀察窗口

上述各點乃以改善二代爐的缺點及符合未來實驗需求為目標，在此再提出一實驗加熱設備的概念設計（三代爐）；同樣以既有的四柱式材料壓縮試驗機做為平台，將真空加熱爐裝置於其上，爐壁留有熱電偶及加熱電源孔位，加熱器可調整位置固定於紅外線反射罩上來調

整加熱源分佈，壓桿的部份則以精密油封維持真空時之氣密性同時不影響壓力的感測，三代爐概念設計圖如圖 5-2 所示。未來期藉由三代爐的建置，在實驗研究上能夠更加便利、精準。

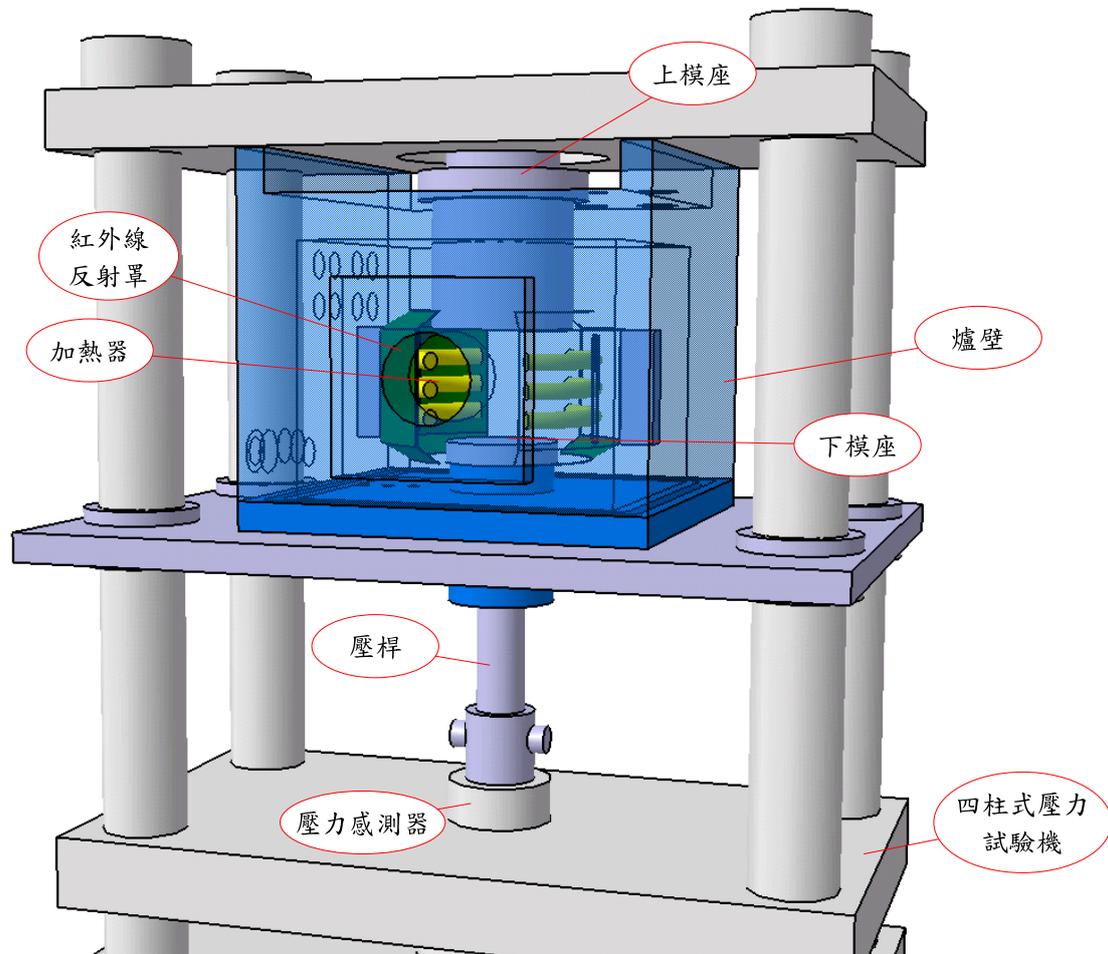


圖 5-2 三代爐概念設計圖

## 參考文獻

- [1] 財團法人光電科技工業協進會，1996 年光學元件與器材產業及技術動態調查報告，1997 年。
- [2] 王毅，光學鏡片模造技術特集（一），光電科技，頁 79-84，2004 年 5 月。
- [3] M. Hecke, “Hot embossing - The molding technique for plastic microstructures,” *Microsystem Technologies*, pp. 122–124, Apr 1998.
- [4] Yasunori Saotome, “Microformability of optical glasses for precision molding,” *Journal of Materials Processing Technology*, 140, pp. 379-384, Sep 2003.
- [5] Koro Shishido, Masao Sugiura, and Tetsuo Shoji, “Aspect of glass softening by master mold,” *Proceedings of SPIE*, v. 2536, pp. 421-433, 1995.
- [6] 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。
- [7] 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。
- [8] 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。
- [9] Allen Y. Yi and Anurag Jain “Compression molding of aspherical glass lenses-a combined experimental and numerical analysis” *Journal of the American Ceramic Society*, pp. 579-586, 2005.

- [10] 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。
- [11] Guenter Kleer and Walter Doell “Ceramic multilayer coatings for glass molding applications” *Surface and Coatings Technology*, pp.647-651, 1997.
- [12] M. Hock, E. Schäffer, W. Döll, and G. Kleer “Composite coating materials for the molding of diffractive and refractive optical components of inorganic glasses” *Surface and Coatings Technology*, pp.689-694, 2003.
- [13] Yasuhiro Aono, Mitsumasa Negishi, and Jun Takano “Development of large aperture aspherical lens with glass molding” *Advanced Optical Manufacturing and Testing Technology*, pp. 16-23, 2000.
- [14] Gregory C. Firestone, Anurag Jain, and Y. Yi “Precision laboratory apparatus for high temperature compression molding of glass lenses” *Rev. Sci. Instrum.*, 76, 063101, 2005.
- [15] 精密光學製造技術應用研討會講義，財團法人國家實驗研究院儀器科技研究中心，2005年。
- [16] <http://www.oharacorp.com/html/catalog.html>
- [17] Hans Bach, Norbert Neuroth, editors, *The Properties of optical glass*.
- [18] William F. Smith, *Foundation Of Material Science and Engineering*, 2nd ed.
- [19] [http://www.staff.chu.edu.tw/rdoff/2006rd\\_result/pdf/post-1.pdf](http://www.staff.chu.edu.tw/rdoff/2006rd_result/pdf/post-1.pdf)

# 附錄 A 二代爐設計圖

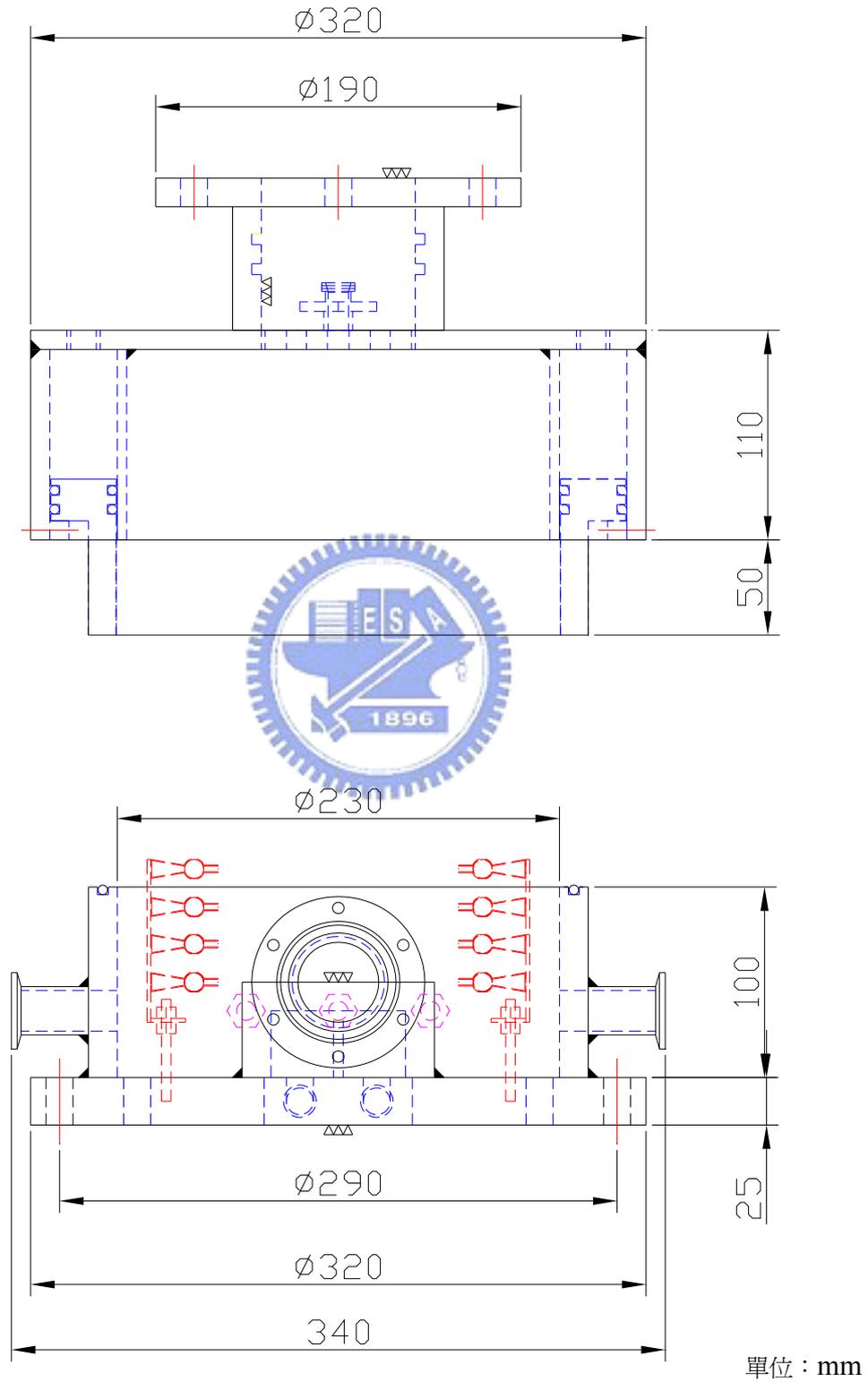


圖 A-1 二代爐外型尺寸圖

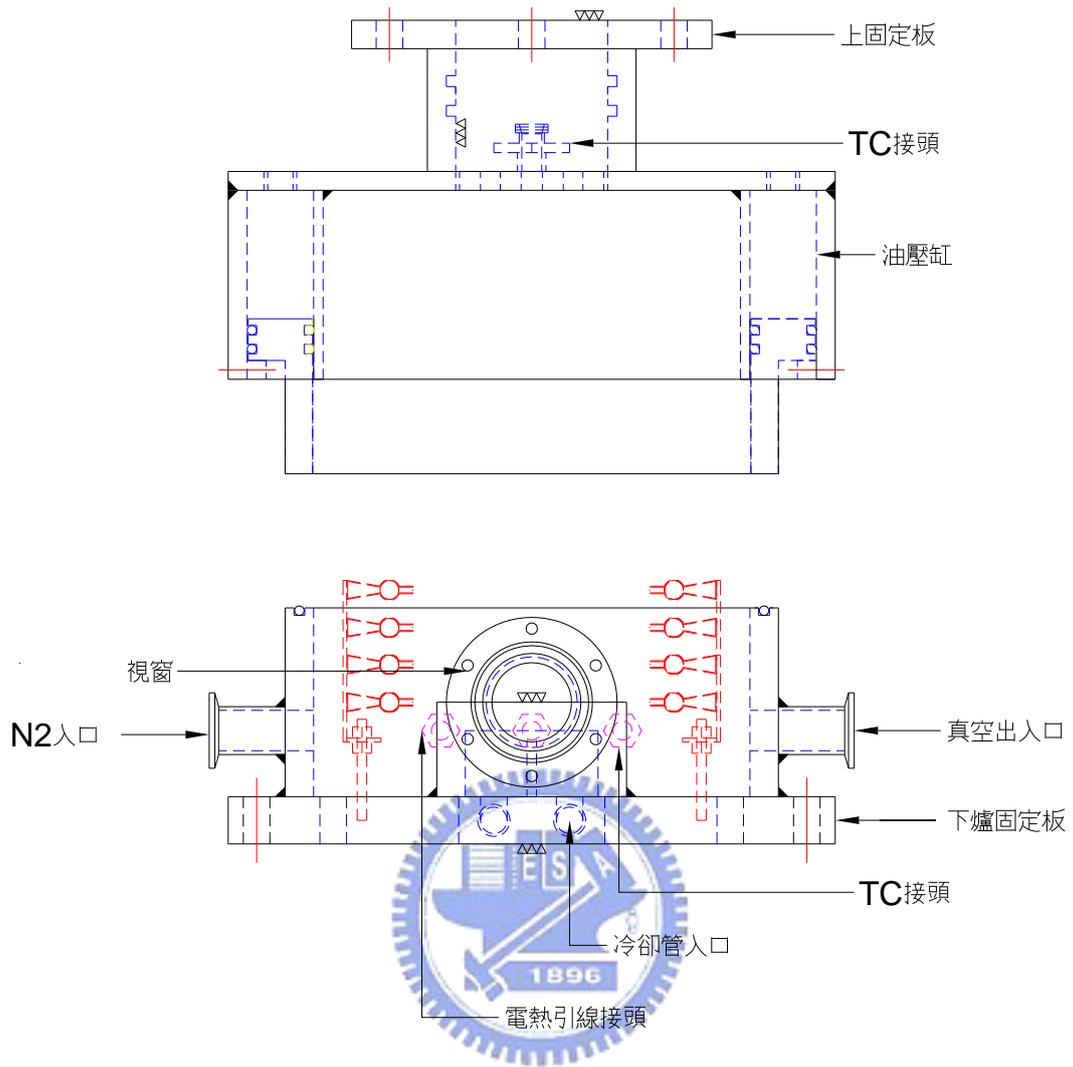
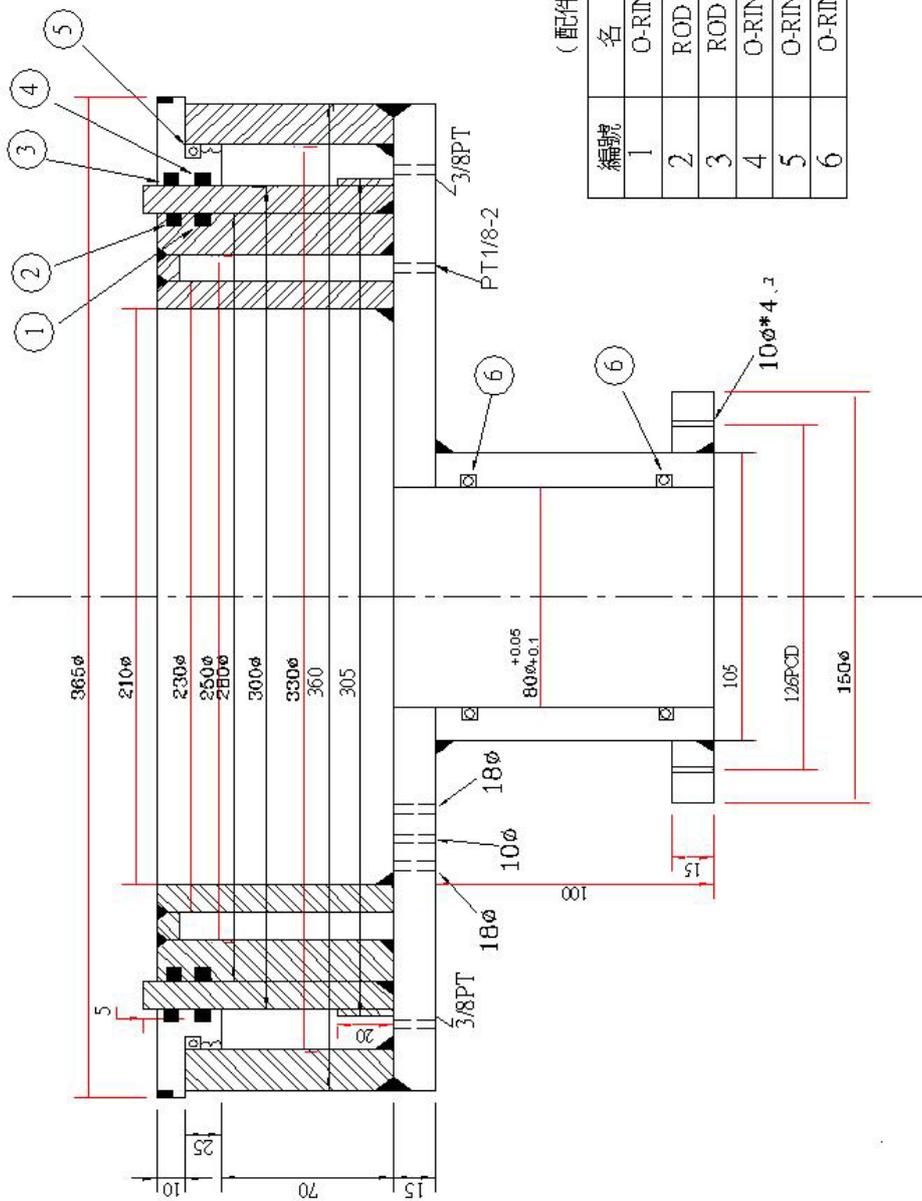


圖 A-2 二代爐外觀說明圖



單位：mm

(配件表)

編號	名稱	規格	用量
1	O-RING (NOK)	O-BG-270+背托環	1
2	ROD PACKING	USH-260	1
3	ROD PACKING	SKY-300	1
4	O-RING (NOK)	O-BG-300+背托環	1
5	O-RING (NOK)	O-BG-330	1
6	O-RING (NOK)	O-BP-80	2

圖 A-3 油壓缸構造尺寸圖

## 附錄 B 模仁夾具設計圖

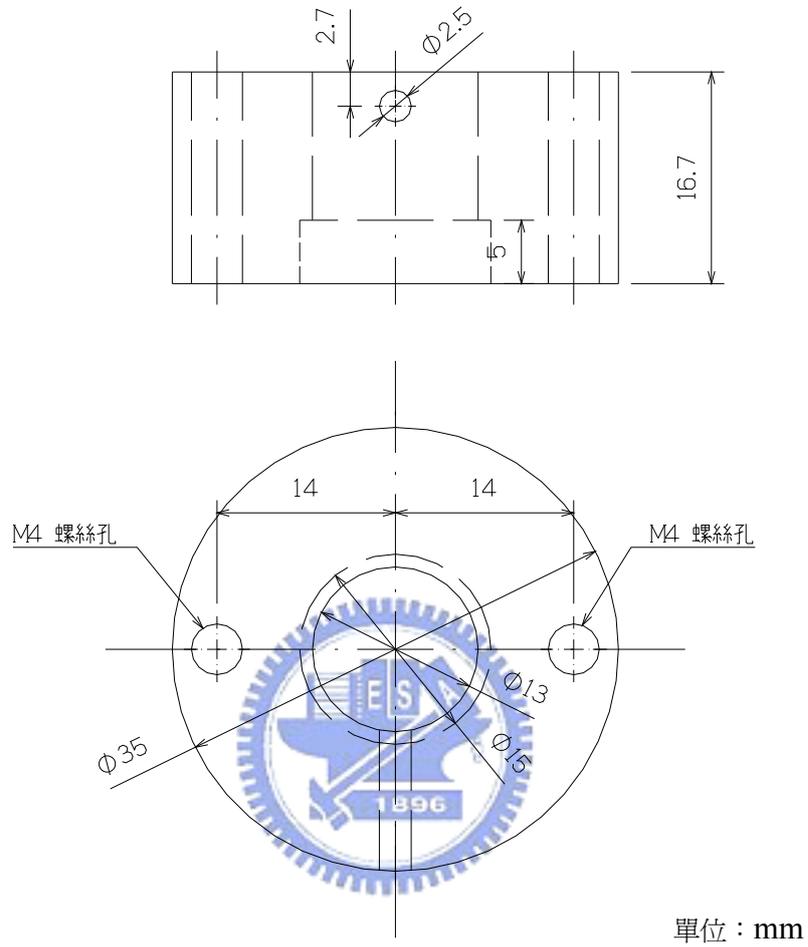
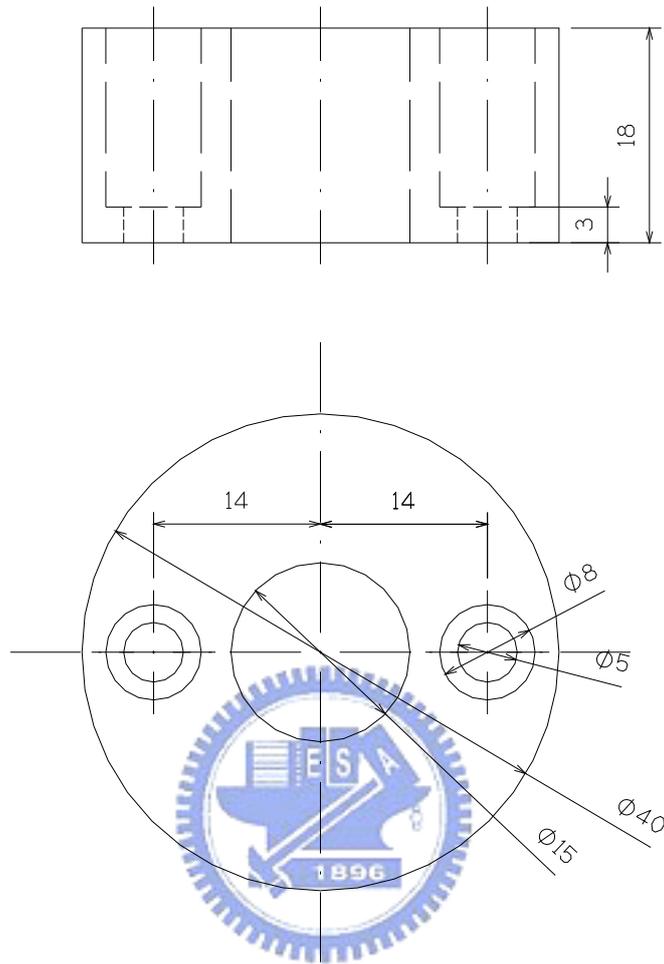
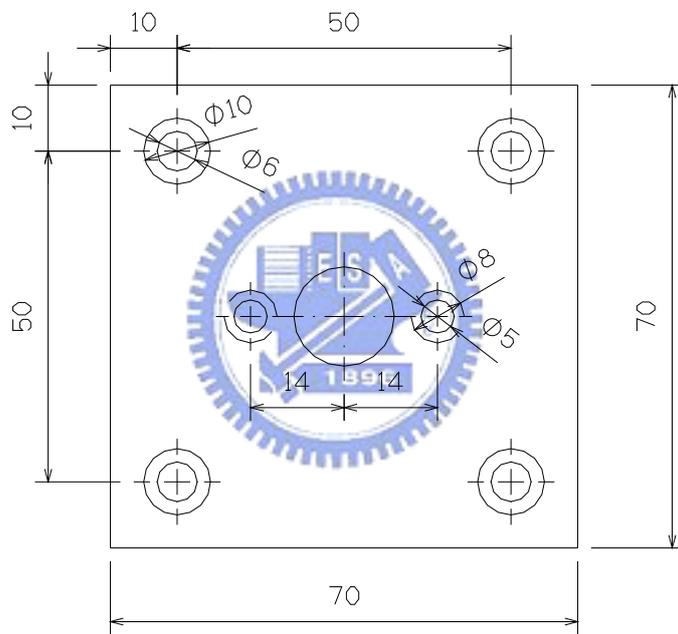
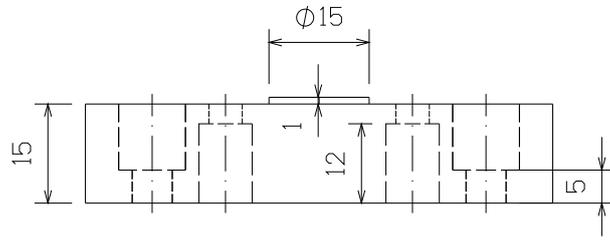


圖 B-1 下模仁夾具設計圖



單位：mm

圖 B-2 下模仁夾具設計圖



單位：mm

圖 B-3 模座設計圖