

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

以氣體壓力輔助成形方法製作陣列玻璃透鏡 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 98-2221-E-216-010-
執行期間：98年08月01日至99年07月31日
執行單位：中華大學機械工程學系

計畫主持人：馬廣仁
共同主持人：趙崇禮
計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：傅文彥
 博士班研究生-兼任助理人員：黃書瑋

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 99 年 10 月 30 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

以氣體壓力輔助成形方法製作陣列玻璃透鏡

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 98-2221-E-216-01

執行期間：98年08月01日至99年07月31日

執行機構及系所：中華大學機械系

計畫主持人：馬廣仁

共同主持人：簡錫新

計畫參與人員：黃書瑋、傅文彥

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 99 年 10 月 26 日

摘要

微陣列透鏡在光電領域有許多的應用。傳統精密玻璃製程太過昂貴，對於微陣列透鏡製作時，模具表面沾黏和玻璃成型體內殘留氣泡的問題不容易被克服。本研究發展新的製程，利用輔助氣體施壓成型製作陣列玻璃透鏡，藉此達到低成本，無表面缺陷且容易製造的優點。

本研究採用玻璃轉移溫度為 560°C 的硼矽酸鹽玻璃平板為實驗材料，先在碳化鎢和不鏽鋼平板模具上製作陣列穿孔結構，將玻璃置於模具上同時通入氮氣在腔體內造成 5 kg/cm² 的壓力，利用紅外線加熱至軟化點利用氣壓強迫玻璃藉黏彈性變形往穿孔模穴流動，形成陣列玻璃透鏡。

本研究探討成形溫度、壓力與製程時間對微陣列透鏡曲率與表面形貌及模具孔洞結構與大小對於透鏡厚度的影響。

關鍵字：陣列玻璃透鏡、氣壓輔助成型。

Abstract

Arrayed glass micro-lenses have numerous applications in the field of opto-electronics. Traditional precision glass molding process is too expensive and molding for arrayed glass lenses is difficult to avoid glass sticking and gas bubbles trapped into glass material. This study developed a new process to produce an arrayed glass micro-lenses by gas pressure assisted forming process, which is considered to have a great potential for the mass production of arrayed glass lenses with low cost, ease of manufacture and free of surface defects.

Pyrex glass plates with Transition temperature (T_g) of 560°C will be used in this study. The WC/Co and stainless steel plates with arrayed through holes can be employed as the molds. Glass plate was put on the mold and N₂ was introduced into the closed chamber to allow gas pressure up to 5kg/cm². IR heating allows the glass plate to approach the soft point, and forces glass flows into the arrayed through holes to form the arrayed glass lenses by viscoelastic deformation.

The effects of forming temperature, pressure and time duration on the curvature and morphologies of the arrayed lenses will be investigated. The influence of holes structures and size on the thickness of arrayed lenses will be discussed.

Key words: arrayed glass lenses, gas assisted forming.

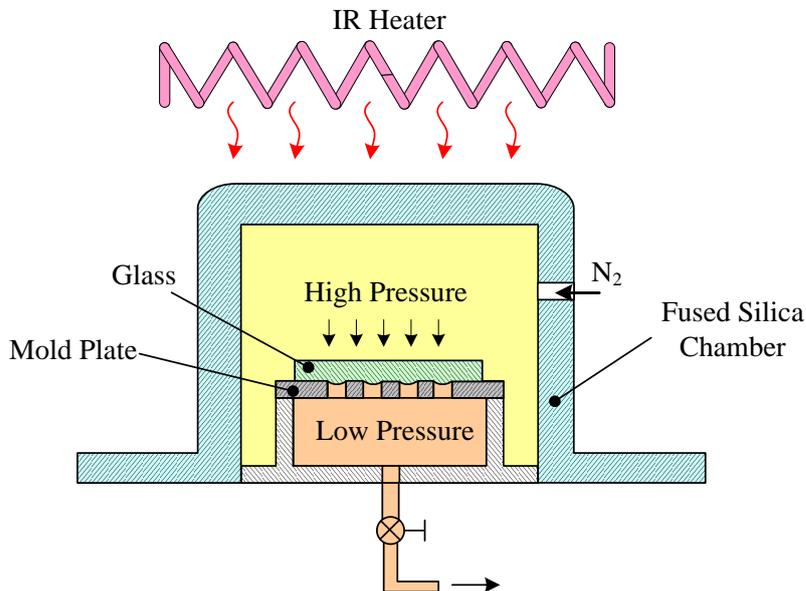
一、前言

陣列透鏡能提供良好的均光及特殊的導光效果，已被廣泛的應用在諸如顯示器的導光版的均光架構、投影機上的均光器、感光元件 CCD 上的陣列透鏡及 LED 均光照明等。為提升光學品質及使光學元件具有更佳的耐高溫及抗紫外線特性，近來已有趨勢使用玻璃以取代塑膠做為陣列透鏡光學元件。

玻璃軟化點高，無法像塑膠以射出成形方式量產出陣列透鏡。玻璃陣列透鏡的製作方法仍有許多選擇，包括傳統超精密加工，高溫玻璃模造法 (Glass Molding)、溶膠凝膠法 (Sol-Gel)、微影製程 (Lithographic) 等等…。傳統超精密加工法可製造出高精度的陣列玻璃透鏡，但製作成本太高且不易量產。玻璃模造製程雖然可以大量生產高精度的陣列玻璃透鏡[1~3]，但其陶瓷模具製作不易，且在高溫模造時，很難避免模具表面上的沾粘和氣泡殘留等等現象，使其產品良率無法提升。溶膠凝膠為低溫製程，但無法控制透鏡形狀精度，且透鏡填充率及材料選擇受到限制。微影製程雖然製

作出來的陣列透鏡品質良好，但是製造程序複雜，並不適合量產且生產成本也過於昂貴。

為解決上述陣列玻璃透鏡製造上的問題，本研究發展出氣壓輔助成型法製造陣列玻璃透鏡，其工作原理如圖一所示。先製作陣列穿孔模具並將玻璃平板置於模具上，接著在密閉腔體內通入氮氣使玻璃平板上方壓力達 5 Kg/cm^2 ，穿孔模具下方可抽真空形成負壓，在高溫下以氣體壓力強迫軟化之玻璃往穿孔模穴流動而形成陣列玻璃透鏡。



圖十九 氣壓/真空陣列玻璃透鏡成形法系統架構示意圖。

這種結合氣壓/真空成型陣列玻璃透鏡具有下述之優點[4]：

1. 傳統的熱壓法模造法常因為上下模平面或平行度不佳而造成形的陣列玻璃透鏡厚度不均勻，或因合模時因上下模具配合公差不佳，發生模具崩裂或鏡片應力不均勻而破裂之現象；面積越大時此問題愈嚴重，因而影響量產時的良率。無論是單純的氣壓或真空法都可成形陣列玻璃透鏡，因為氣體壓力分佈均勻，不受玻璃基板面積之限制，因此可發展為大面積均勻的陣列玻璃透鏡成形技術。目前以熱壓法或模造法製作陣列玻璃透鏡都是以平板玻璃為對象，由於上下模具配合公差要求度高，非常困難在曲面玻璃預形體上製作出陣列玻璃透鏡。氣體壓力成形法沒有合模問題，可輕易在三維或曲面玻璃基板上成形陣列透鏡。
2. 模造玻璃方式雖可量產精密的玻璃透鏡，但對有反曲點或陣列玻璃透鏡成形時，溫度升高玻璃開始軟化，由於玻璃平板會密貼模具平面區域，使得模具陣列凹穴內的氣體不易排出，隨著時間增長，這些殘留的氣體會聚集在模具微結構的表面聚集成氣泡，使得透鏡的品質變差，或是影響透鏡形狀精度。真空壓差法製作陣列玻璃透鏡，氣體自然的經由穿孔模具釋出，並藉由真空負壓吸引玻璃材料流入孔穴內及藉著表面張力成形鏡片，因此不會發生氣泡殘留問題。
3. 模造玻璃方式製作玻璃透鏡，玻璃材料及模具長時間接觸，極易發生玻璃沾黏，因而影響鏡片表面品質。玻璃沾黏也造成玻璃鏡片脫膜困難。即使模具表面施以保護膜層，模具表面仍會因為高溫高壓多道次的模造加工而逐漸磨損劣化，模具使用壽命仍舊受到很大限制。微結構陣列鏡片因具有較大的深寬比結構且頂端的 R 值小，玻璃流動時因摩擦力過大，模具於受壓時變形或崩壞。氣壓/真空成型法製造陣列玻璃透鏡，由於玻璃透鏡成形面不接觸模具，透鏡表面品質完美，沒有刮傷及顆粒問題。模具非孔洞區域面積很少，即使與玻璃發生沾黏反應，也不會影響透鏡有效面的品質，陣列玻璃透鏡脫膜也較容易。
4. 傳統連續式模造玻璃方式製作玻璃透鏡，大都採以熱阻或感應加熱方式加熱模具，藉熱傳方式

間接加熱玻璃。這種加熱方式不僅耗時，也增加了玻璃與模具表面接觸時間，較易加速玻璃與模具間的沾黏反應。由於玻璃導熱傳係數低，玻璃內外溫差大，極易產生熱應力導致的玻璃破裂問題；玻璃體積或尺寸愈大，熱應力問題亦愈嚴重。氣壓/真空成型法製造陣列玻璃透鏡直接以紅外線透過石英罩加熱玻璃平板，不僅可縮短製程時間，效率較高；由於縮短玻璃與模具表面接觸時間，因此沾黏反應十分輕微。由於紅外線對玻璃吸收能力佳，玻璃平板被直接均勻加熱，可有效改善熱應力導致的玻璃破裂問題，對大面積或較厚的玻璃平板上製作陣列透鏡也較不成問題。

5. 傳統玻璃模造機及模具加工機價格皆十分昂貴，因此製造出的陣列玻璃透鏡成本無法降低，也因而無法普及用於低價之照明產品。以氣壓/真空成型法製造之陣列玻璃透鏡不需超精密的模具成形機具及加工技術，僅需利用放電加工在平板模具上製作出方形或圓形孔洞，即可製作方形或圓形陣列透鏡，製造上有很大的彈性。氣壓/真空成型法設備成本低廉(造價僅為傳統玻璃模造機十五分之一)，模具製作簡單，應可發展成低成本之玻璃陣列透鏡量產機台。
6. 精密玻璃模造機較有機會量產出精密的玻璃透鏡，模造製程參數如壓力、模造時間、模造溫度、加熱時間、取出時間等都會影響玻璃鏡片之精度，製程工程師需較長時瞭解機台工作原理及限制。精密玻璃模造機因長期使用常有定位及荷重不穩定之情形，因而影響產品良率。氣壓/真空成型法製造之陣列玻璃透鏡較無法精密控制非球面精度，但可經由製程參數及模具內孔表面處理技術控制玻璃黏流阻力，及成形出所需曲率玻璃透鏡，對聚光、均光非成像用途已可充份滿足需求。

二、 研究方法

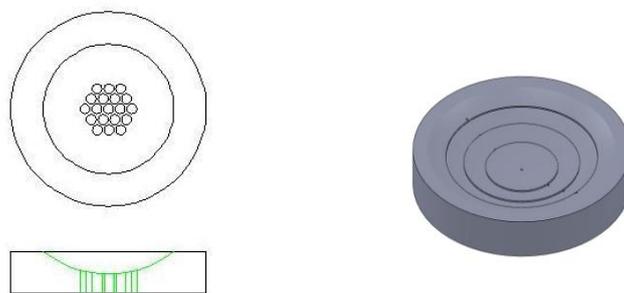
2.1 實驗材料

2.1.1 光學玻璃平板

用 SCHOTT 玻璃製造的蓋玻片 D 236 M 為無色硼矽酸鹽玻璃蓋玻片，其中折射率為 1.5，轉換溫度 580°C，軟化溫度 650°C，膨脹係數 6.145×10^{-6} 熔點 1380°C，玻璃的組成成份含有 Na₂O 6.9%、SiO₂ 67.4%、B₂O₃ 25.7 (wt)，為符合實驗需求經裁切後尺寸為直徑 30mm 厚 1mm 的圓形試片、。

2.1.2 模具及鍍膜材料

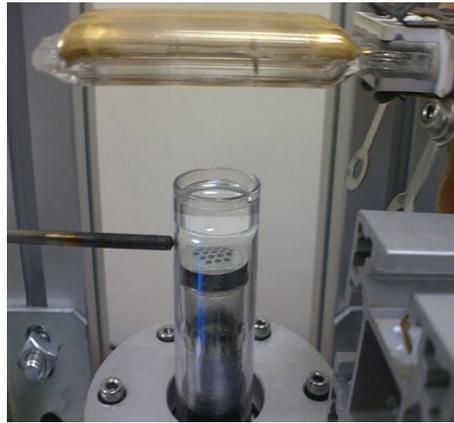
實驗所使用的模具材料微放電加工穿孔或槽之有碳化鎢 (WC) 及 304 不鏽鋼，實驗前使用丙酮或酒精清潔表面，使表面沒有任何落塵，避免在高溫時影響與玻璃材料的介面反應。模具之設計如圖二所示。



圖二 穿孔之模具設計示意圖。

2.2 實驗設備

實驗系統架構如圖三所示。



圖三 氣壓/真空成型法製造系統外觀。

本實驗使用的紅外線加熱器工作電壓為 100 伏特，功率 55W 紅外線燈管，均溫區為直徑三公分。紅外線加熱器之優點：1. 具有穿透力可以直接穿過石英罩加熱腔體內部。2. 使用紅外線較傳統電阻加熱效率高。3. 加熱的同時可以確保環境不因加熱污染。紅外線加熱控制系統具有 12 段程式可調、自動控溫，氣流控制等整合型控制系統。

耐高溫高壓石英腔體為兩件式（上罩、下管）組立所構成，如圖四(a,b)所示，石英上罩能承受 15 kg/cm 壓力，上罩頂端為光學級石英透鏡以利紅外線加熱光線穿透，下管壁厚 1mm 能承受 10^{-4} Torr 之真空壓力而不崩裂，金屬基座使用鋁合金製成，如圖四(c)所示。



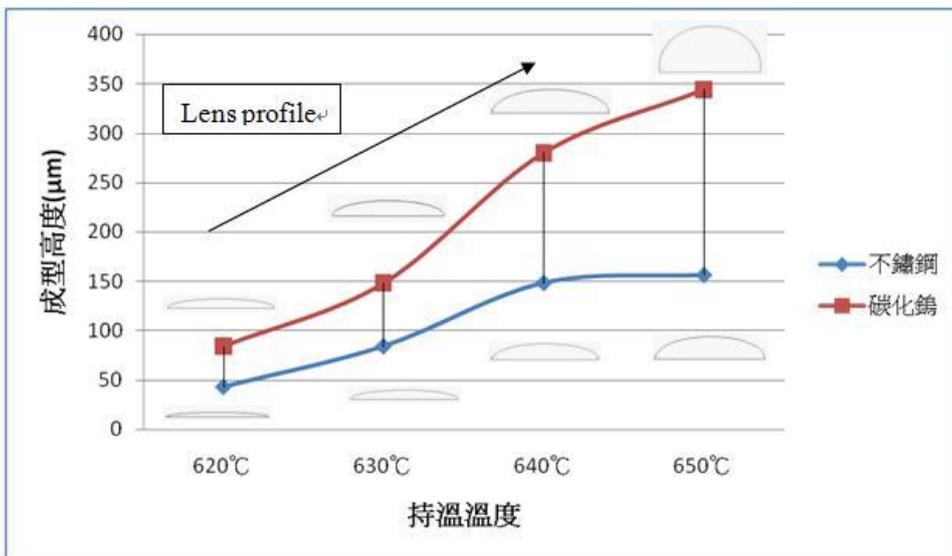
圖四 兩件式石英耐高壓高溫腔體 (a)石英上罩及(b)下管(c)組合後外觀。

三、結果與討論

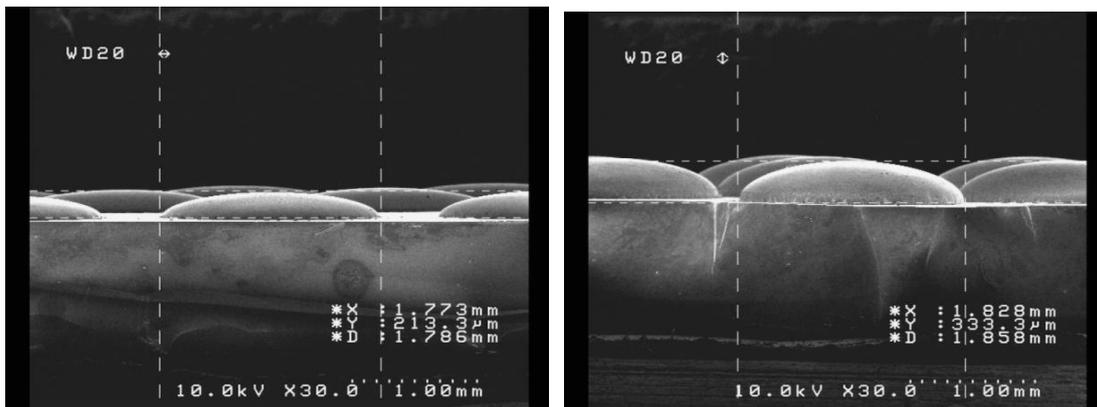
3.1 溫度對玻璃成形之影響

成形溫度越高，尤其溫度達到玻璃軟化點之上，玻璃鏡片成形亦愈容易。當溫度設定至 610°C 並持溫兩分鐘，氣體壓力達 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ ，由於玻璃黏性仍太高，無法透過模具孔穴成形陣列透鏡。但當溫度超過 660°C 時，玻璃已經達到軟化點，由於黏性過低，不利控制流動特性，因此也不適於成

型玻璃透鏡。固定持溫時間下溫度對成形之陣列透鏡高度之影響如圖五及圖六所示。結果顯示碳化鎢模具在比較短的持溫時間內，即能產生最大成型高度，後續再延長持溫時間對透鏡的成型高度亦無明顯的變化，而不鏽鋼則需要較長的持溫時間才能達到最大的鏡片成型高度。



圖五 溫度對鏡片成型高度之影響。



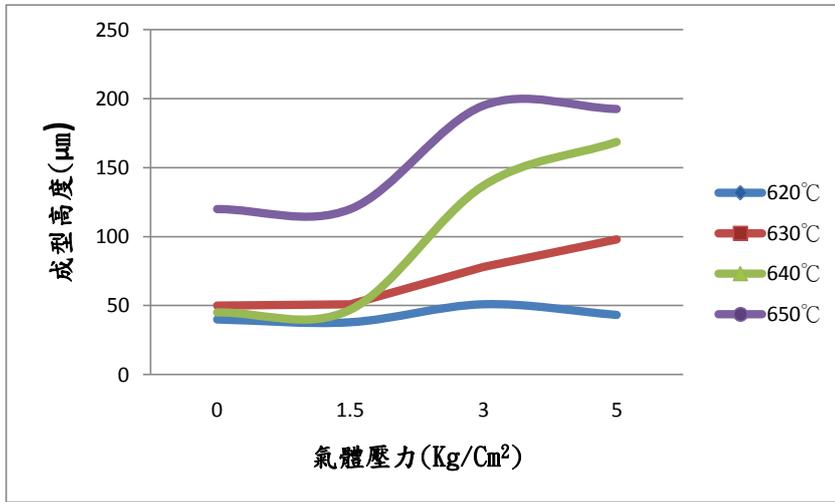
(a)

(b)

圖六 (a)不鏽鋼基材與(b)碳化鎢基材於 650°C 之成型高度比較，於不鏽鋼基材之玻璃成長高度為 213μm，於碳化鎢基材上之玻璃成長高度為 333μm。

3.2 氣體壓力對玻璃成形之影響

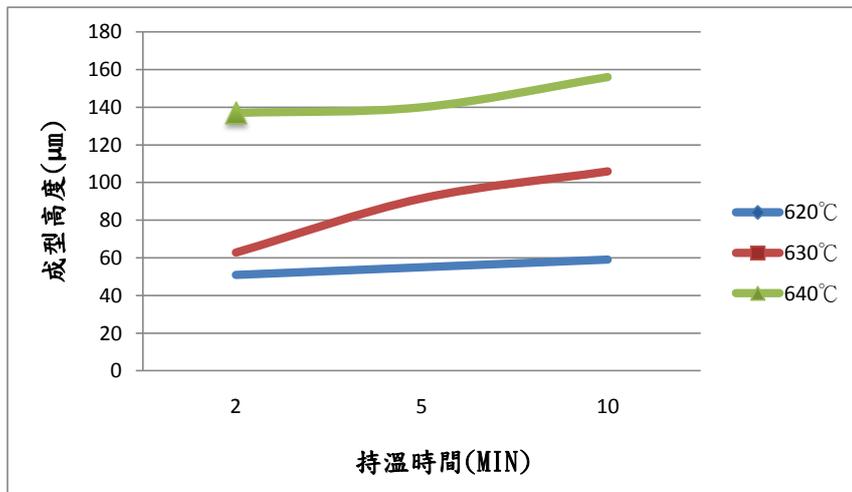
在溫度 620°C，玻璃受限於軟化溫度不夠，不易完全密貼於模具上，因此在其上施加壓力反而產生高壓氣體洩漏之情形，因此對玻璃成形之高度成長有所限制。但在 640°C 或 650°C 之成形溫度，施加氮氣壓力 1.5 Kg/cm² 與施加 3 Kg/cm²，透鏡成形幅度差異甚大，因玻璃加熱超過 630°C，其黏滯係數為 10¹⁰dPas，650 度時更下降為 10^{7.5} dPas，此時增加壓力配合更低的黏滯係數能顯著增加玻璃透鏡成形之高度，如圖七所示。



圖七 氣體壓力對陣列透鏡高度之影響。

3.3 持溫時間對玻璃成形之影響

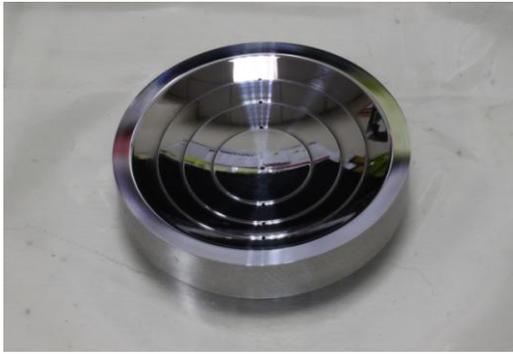
輔助氣體壓力為 3 Kg/Cm^2 ，使用不鏽鋼模具經不同溫度經過持溫 2 分鐘、5 分鐘、10 分鐘後的玻璃透鏡成形高度之影響，如圖八 所示。過長的持溫時間對於微透鏡的成形幫助不大，過長的持溫時間不但增加製程時間，亦容易造成陣列透鏡的沾黏與破裂。



圖八 溫度與持溫時間對陣列玻璃透鏡成型高度之影響。

3.4 氣壓成形 Fresnel 聚光透鏡

利用相同之氣壓成形系統，製作透氣之不鏽鋼模具，(圖九(a))以 B270 玻璃進行試驗，溫度設定為 595°C ，氮氣壓力固定為 2 kg/cm^2 ，真空度為 $1.9 \times 10^{-1} \text{ Torr}$ ，持溫時間定在 25 分鐘的條件壓製出來之 Fresnel Lens 如圖九(b)所示。



(a)



(b)

圖九 (a) Fresnel結構之不鏽鋼模具及(b)熱壓成形之Fresnel聚光透鏡

四、結論

本研究中以實驗室自行開發之高溫氣壓成型設備方式，成功的壓製出陣列玻璃透鏡及Fresnel聚光透鏡，透鏡之曲率及外形可由製程參數調控，在國內應屬開創性之研究。由於製程設備低廉，製程彈性大，且可改善沾黏及氣泡等問題，未來應用在光電相關產品之市場具有極大競爭力。

五、參考資料

1. Y. Guimond¹, Y. Bellec, and Z.A. du Boulais : Proceedings of SPIE Vol. 5074 (2003), p. 807.
2. N.S. Ong, Y.H. Koh and Y.Q. Fu, Microelectronic Engineering, Vol. 60 (2002), p.365.
3. <http://www.toshiba.co.jp/index.htm>
4. K. J. Ma, H. H. Chien¹, S. W. Huang, W. Y. Fu and C. L Chao, J. Noncrystalline Solids (Accepted)

行政院國家科學委員會補助國內專家學者出席國際學術會議報告

99年10月25日

附件三

報告人姓名	馬廣仁	服務機構及職稱	中華大學機械系副教授
時間 會議 地點	自98年09月07日至98年09月10日 Glasgow, United Kingdom	本會核定 補助文號	98-2221-E-216-01
會議名稱	(中文) 2009 歐洲尖端材料與製程研討會 (英文) European Congress on Advanced Materials and Processes (EUROMAT) 2009		
發表演文題目	(中文) 1 以電漿改質技術調控 ePTFE 表面超疏水-親水特性 2 單晶鑽石車削電漿氮化不鏽鋼材料 (英文) 1. Manipulation of Super-hydrophobic/hydrophilic Properties for ePTFE Materials by Plasma Modification Technologies (Oral) 2. Single-Point Diamond Turning of Plasma-Nitrided Stainless Steel (Oral)		
<p>一、參加會議經過</p> <p>歐洲材料學會(EUROMAT)主辦之研討會每兩年舉辦一次，為國際上研究尖端奈米材料、功能材料、光電材料、材料製造技術、及材料分析模擬等課題極重要的國際會議，廣受業界及學術界之重視。參與該會議可了解各國最新研究方向、交換研究結果及建立未來合作研究之管道。今年該會議對太陽能電池及 LED 發光材料等相關課題特別重視，也吸引了較多的業者參與此次會議。</p> <p>此次研討會會期是由97年09月07日至09月10日。來自各國之五百餘位研究人員，於此會中宣讀二百餘篇論文，Poster論文則有近百篇，會議內容包含下列主題：</p> <p>Topic Area A: Functional Materials</p> <p>Topic Area B: Structural Materials</p> <p>Topic Area C: Processing</p> <p>Topic Area D: Characterisation and Modelling</p> <p>Topic Area E: Application</p> <p>Topic Area F: Education</p>			

二. 與會心得

第一天第一場Plenary Speakers首先由- 劍橋大學Professor Derek Fray 博士報告了材料創新等相關的問題，第二場 Plenary Speakers 則由Professor Dr Ludwig Schultz 博士報告了神奇的超導材料，第三場 Plenary Speakers由Professor José Serafin Moya 博士報告金屬陶瓷複合材料之進展；另外還有許多場keynote主題和太陽能電池、LED發光材料及奈米材料及技術有關。由於課題太多，作者主要參加的場次都和光電材料及材料製程等課題有關。材料製程主題中其中一個子項目為 Coatings and Surface Engineering，再細分為

1. Tribology 2. Nanostructured Thin Films and Nanodispersion Strengthened Coatings
3. Protective Coatings produced by Thermal Spraying and PVD processes 4. Surface Treatments and Mechanical Characteristics 5. Plasma Electrolytic Oxidation (Micro-Arc Oxidation) Surface Coatings。作者論文在 Surface Treatments and Mechanical Characteristics子題中發表，題目和電漿改質ePTFE及電漿氮化不鏽鋼材料有關，由於論文探討表面處理對模具壽命之影響，具有商業價值，會後有不少廠商洽詢相關技術。

由於光電產業近年來發展十分迅速，所以相關的光電材料製程問題亦備受矚目；由於某些製程參數涉及商業秘密，報告中許多關鍵處語多保留。材料次表面的解析是確保高品質材料加工必要的工作，在本次研討會中也受到高度重視。許多著名的公司報告了最新發展的燃料電池材料技術，受到許多關注。光子晶體製造技術趨於成熟，將對未來光電產品發展產生革命性的影響。另外，對於奈米材料在增進太陽能轉換效率及新型螢光材料等議題也有數篇論文提出報告，但並無特別令人興奮的結果。

由於場次有限，還有百餘篇論文安排以壁報方式展出，大會也空出了兩個下午供大家互相討論。大會為了增進與會者的情誼，特別在第二天的晚上安排共進晚餐。作者也藉此機會認識了來自中國大陸的學者，並瞭解對岸發展材料及奈米技術的現況。此次研討會不僅對尖端材料的最新發展有了更新的認識，也結識了許多學者，收獲豐盛。

三、攜回資料名稱及內容

攜回資料有此次大會論文集一冊及與會人員名冊。

四、建議國內學術單位及廠商參加此類會議。

無衍生研發成果推廣資料

98 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：馬廣仁		計畫編號：98-2221-E-216-010-					
計畫名稱：以氣體壓力輔助成形方法製作陣列玻璃透鏡							
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數（含實際已達成數）	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	3	3	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（本國籍）	碩士生	1	1	40%	人次	
		博士生	1	1	30%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	2	2	100%	篇	
		研究報告/技術報告	1	1	100%		
		研討會論文	3	3	100%		
		專書	0	0	100%	章/本	
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（外國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		

<p>其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	<p>無</p>
--	----------

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

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）

本計畫之相關成果已發表兩篇 SCI 論文及三篇 EI 論文，已申請一個專利正審查中，也爭取到一個學界委託計畫，相關設備未來也將支援光機電及材料學位學程「光學玻璃」及「材料工程實驗」等課程之教學。光機電及材料學位學程三年級學生李龍星等同學以此設備製作聚光透鏡榮獲校內專題實作競賽第二名之殊榮。

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）

研發玻璃材質的陣列均光透鏡及 Fresnel 聚光透鏡，不但具有較佳之太陽光的穿透率，可提高系統的轉換效率，也一併解決了上述之耐溫、濕氣及紫外線劣化等問題；這也是未來 LED 照明及高效率聚光太陽能電池極為關鍵的技術。本實驗室已累積多年之光學玻璃高溫成形之研發經驗，尤其在近幾年自行發展出高溫氣壓成型機台，在本計畫中以該設備成功製作出陣列均光透鏡及 Fresnel 聚光透鏡，但在國內外已屬開創性之研究，未來利用此技術可成形各式自由曲面光學玻璃元件，製程彈性大，生產成本低廉，很適合量產製程。目前已開始設計大尺寸之氣壓成型機台，以延伸此技術之應用範圍。