

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 精密玻璃模造及光學模仁鍍膜技術之研究 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型  
計畫編號：NSC 96-2221-E-216-030-  
執行期間：96年08月01日至97年10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：簡錫新、趙崇禮

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：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，1年後可公開查詢

中華民國 98年01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

精密玻璃模造及光學模仁鍍膜技術之研究

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫

計畫編號：NSC-96-2211-E-216-030

執行期間：96年08月01日至97年07月31日

計畫主持人：馬廣仁副教授(中華大學機械系)

共同主持人：簡錫新副教授(中華大學機械系) 趙崇禮教授(淡江大學機電系)

計畫參與人員：黃書瑋研究生(中華大學機械系)、曹鈞泓研究生(中華大學機械系)

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

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、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

執行單位：中華大學機械系

中華民國 98 年 01 月 28 日

# 精密玻璃模造及光學模仁鍍膜技術之研究

## The Study of Precision Glass Molding and Coating Technology for Optical Dies

計畫編號：NSC-96-2211-E-216-030

執行期間：96年08月01日至97年07月31日

主持人：馬廣仁副教授(中華大學機械系)

共同主持人：簡錫新副教授(中華大學機械系)

趙崇禮教授(淡江大學機電系)

參與人員：黃書瑋、曹鈞泓

### 一、中文摘要

玻璃模造製程最有潛力量產低成本且高精度的非球面或自由曲面的光學玻璃鏡片。模造玻璃鏡片的品質與模具的精度以及最佳化的模造製程參數有關。通常模造出來的玻璃鏡片具有次微米等級範圍的形狀精度，且模造過後不需再經過任何的後續處理。然而，玻璃模造有嚴重的玻璃與模具之間的沾粘問題必須解決。本研究的目的是希望找到適當的模造玻璃鏡片參數，並設計抗高溫玻璃沾黏的保護鍍膜。實驗時選用低轉移點的玻璃球做為預形體，在 Toshiba 的模造機台上進行玻璃鏡片熱壓成形。

結果證明 Pt-Ir 貴金屬多層膜奈米具有緻密的奈米層狀結構，其硬度可達 Hv 780，遠高於單一的 Pt 或 Ir 膜層。硬度之增加主要是藉由界面強化機制所致。Pt-Ir 貴金屬多層膜提供了滿意的抗高溫玻璃沾黏效果。經過約八次之模造參數修正，非球面玻璃鏡片之形狀精度可達到 PV 值 0.3。

**關鍵詞：**玻璃模造、奈米多層鍍膜

### Abstract

The glass molding process is considered to have a great potential for the mass production of aspherical or free form glass lenses with high precision and lower cost. The quality of molded products is depending on the mold quality and optimization of molding process. Normally, the optical glass lenses with precisions in the sub-micrometer range can be manufactured by molding process without any further treatment. The glass molding has another serious problem of mold sticking with glass which needs to be resolved. The purposes of this research are to find suitable

molding conditions and design the high temperature anti-stick coating for molding dies. The glass gobs with low Tg will be used as the performs in this study. The glass molding was carried out with Toshiba glass mold press machine.

The results show Pt-Ir multilayer films with dense nano-laminate structure. The measured hardness value of the Pt-Ir multilayer films is Hv 780, which is higher than that of pure Ir and Ta films. The increase in hardness is thought to be caused by the interface strengthening mechanism. The Pt-Ir protective coating can provide satisfied anti-sticking effect for molding glass optical components. The molded aspherical glass lenses can reach the shape accuracy PV value of 0.3 after eight times molding tests.

**Key words:** glass molding, nano-laminate coating

### 二、緣由與目的

發展低成本、高精度的非球面光學元件成型技術已成為光電產品市場上勝敗關鍵。非球面光學元件成型技術可概分四大類：(一)塑膠射出成型 (二)高溫玻璃模造 (三)精密研削 (四)複合式加工。其中玻璃模造技術被視為最有機會製作出高解析度、穩定性佳，且成本較低廉的非球面玻璃透鏡。目前玻璃模造技術中最關鍵的問題就是如何延長模具的使用壽命，使玻璃透鏡的生產成本降低。

日本的早期專利中建議母模及模仁材料使用能夠耐熱衝擊且在高溫中仍具有有高強度的材料，如碳化鎢或碳化矽材料等；先以超精密加工製作出模仁，然後在模具表面再鍍

上一層 Pt 系貴金屬保護膜以避免高溫模造時和玻璃材料起反應。這種模具雖較傳統未鍍貴金屬保護膜的模具壽命高，但製作模仁的時間太長（因碳化鎢材料極硬且韌性高，須經鑽石磨輪做粗研磨及鑽石刀具精拋光，不但刀具耗損快且加工速度受限），並不經濟。

為縮短模具製作時程，日本公司接著又提出新的專利[4]；先在碳化鎢模具上施以粗加工後，再鍍上較厚的 Ni-P(或 Ni-B)合金(約 15  $\mu\text{m}$ )當作精密切削層，由於 Ni-P 合金較易切削加工製作出精密的模仁，可大為縮短模具加工的時間，最後再於拋光後的 Ni-P 合金模仁上鍍上 Pt-Ir 系列的合金當保護層[4]。經過實驗證明，在模造溫度 520°C 的操作下，這種模具的使用壽命可達 5000 道次以上。實驗中使用的玻璃成份主要為 70wt% PbO, 27wt% SiO<sub>2</sub>，玻璃球預型體先加溫到 520°C，再加壓 2 分鐘進行模造，使用壓力為 40kg/cm<sup>2</sup>。值得重視的是這種設計縮短了模具製作時程，並達到量產及低價的目標，使玻璃模造的應用邁向新的里程。

當然，玻璃模造的模具表面鍍膜也還有別的選擇，如使用鑽石薄膜雖然性質十分穩定，高溫強度高，模造時亦不會變形或和玻璃發生反應而失去表面精度，但是高純度結晶鑽石薄膜表面粗糙，須先經過拋光處理。鑽石薄膜極為硬脆，殘留應力大，極難拋光，成本亦太高，目前應用在模具玻璃模造的表面鍍膜應不具競爭力。奈米晶粒鑽石薄膜或類鑽膜雖然較易進行精加工，但由於內部含有不穩定的碳，高溫時易和玻璃發生反應，碳會迅速的還原玻璃內的氧化物造成模具表面急遽磨損，因此也無法長期有效的保護模具[5]。另外，歐洲廠商為了避開日本專利，開發出 Al-N, B-N, Si-C-N, Si-C-B-N 等薄膜做為玻璃模造時模具表面的保護膜[6, 7]，但僅有零星的論文報導高溫抗玻璃沾黏成果，並無量化的模具壽命等數據。這類薄膜由於靶材較便宜，薄膜的製作成本較低，但是單層保護膜抗玻璃沾粘設計並無法縮短模具加工製程，就整體模具製作成本而言，仍較不具競爭力。

目前專利報導使用壽命最久的模具表面的保護膜是使用 Pt-Ir 合金，厚度約 2~3  $\mu\text{m}$ 。當然除了保護膜抗沾粘外，在中間結合

層及切削層也須特別設計，才能確保保護膜不致因模造時剪應力過大及熱疲勞等因素而過早剝離。中間結合層及切削層的強度及厚度亦須特別要求，以免高溫模造時因軟化變形而影響模造玻璃的形狀精度[8]。

本計畫採用奈米多層合金膜設計理念，利用介面強化機制使貴金屬多層合金膜同時具備高溫強度及抗沾黏效果，以提高模具使用壽命。

### 三、研究方法

#### 3.1 材料

SCHOTT 公司所生產之 P-SK57 及 N-PK51 光學玻璃球做為預形體。

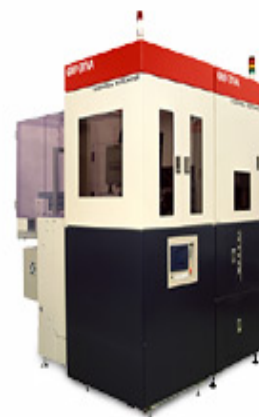
#### 3.2 實驗設備

##### 3.2.1 模具鍍膜

本計畫使用具有三個靶槍的磁控濺鍍設備製作保護膜。WC 基材與保護膜層之間先以 W 為中間結合層或緩衝層，接續再鍍以 Pt/Ir 多層膜增加膜層硬度同時達到抗沾效果。

##### 3.2.2 熱壓或模造玻璃透鏡機台

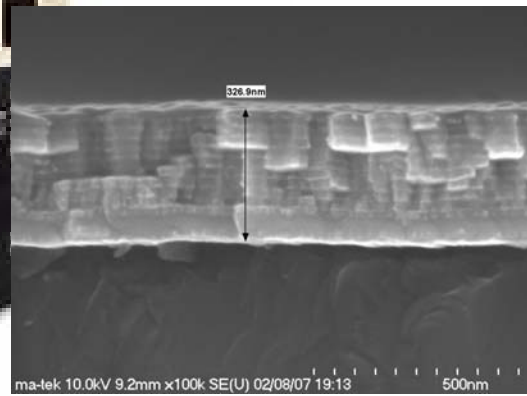
日本 Toshiba 公司發展之一模多穴單站式玻璃模造機是目前市場較佳的選擇，其外觀及結構示意圖如圖一及圖二所示。主要可分為四大部分：(1)伺服馬達驅動及定位系統 (2)模具組 (3)加熱裝置 (4)自動化裝置。目前日本 Toshiba 玻璃模造機已可做到全自動化電腦控制玻璃模造製程，可以位置或荷重來控制加壓行程，系統操控彈性大。



圖一 Toshiba 公司發展之一模多穴單站式玻璃模造機外觀。



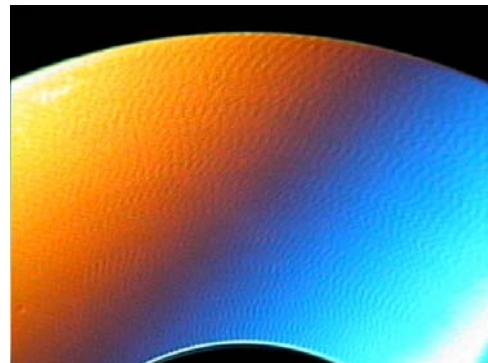
圖二 Toshiba 公司發展之一模多穴單站式玻璃模造機結構示意圖。



圖三、漸層/多層膜之顯微組織。

### 3.3 熱壓透鏡流程

模造流程簡述如下：(1)首先將玻璃預形體放入模穴 (2)通入氮氣以避免高溫模造時模具表面氧化 (3)快速升溫至所須之溫度並維持約 20~60 sec 以確保模具及玻璃預形體達到均溫 (4)進行高壓玻璃模造 (5)釋壓並通入氮氣降溫 (6)取出鏡片並進行後續的應力消除退火。整個流程所須之時間約五分鐘，透鏡材料或形狀厚薄不同，製程參數亦須隨之調整以獲得最佳之鏡片精度。



圖四、模具表面鍍漸層/多層膜後之外觀。

## 四、結果與討論

### 4.1 模具鍍膜

本計畫使用具有三個靶槍的磁控濺鍍設備製作保護膜。WC 基材與保護膜層之間先以 W 為中間結合層或緩衝層，接續再鍍以 Pt/Ir 多層膜增加膜層硬度同時達到抗沾效果。圖三為漸層/多層膜之顯微組織。

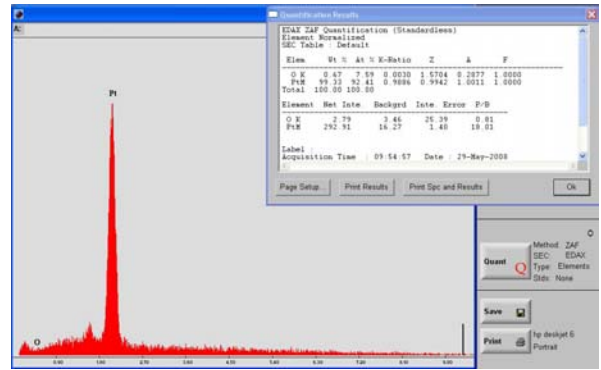
鍍膜後模具表面檢測結果如下：

- 1 模具表面無顆粒或不純物殘留(圖四)
- 2 膜厚及成份誤差小於 5%
3. 表面粗糙度小於 Ra 5 nm
4. 薄膜硬度：負荷 25g Hv >780
5. 薄膜附著強度：刮痕試驗，黏著強度大於 40N

先將表面反應區域沾黏特別嚴重之矽晶圓材料，在其表面沉積 Pt/Ir 貴金屬多層膜，在氮氣環境下於 P-SK57 及 N-PK51 玻璃球軟化點上方 20°C 溫度下進行持溫一小時的高溫沾黏實驗，以測試貴金屬膜層之抗沾黏效果。經實驗過後，貴金屬膜層表現出良好的化學穩定性與抗高溫氧化特性，表面與玻璃球接觸區域並沒有沾黏情形發生(圖五及圖六)，利用 EDX 對表面進行成分分析，除了 Pt 外並無其他元素存在，如圖七及圖八所示。由此可見，貴金屬膜層具十分優異的抗沾黏效果。

由於實際模造玻璃鏡片時持壓時間約 15~20 sec，因此本系統將恆溫維持 1 min 視為進行三次模造。在氮氣環境下於 P-SK57 及 N-PK51 玻璃球在 600°C 經長時間(30 hrs or 5400 shots)與鍍 Pt/Ir 貴金屬多層膜之基板接觸試驗後，玻璃鏡片及基板表面均未出現霧化或玻璃沾黏現象，如圖九及圖十。由高解析掃描電子顯微鏡觀察其劈斷面介面(圖十一)，可看出在 SiC 和 W 介面已發生反應，生成很薄的反應層，該反應層有效的阻隔了

WC 或 SiC 基板材料和 Pt/Ir 貴金屬層的相互擴散反應，Pt/Ir 貴金屬多層膜長時間仍維持其緻密之結構，並且不會和玻璃發生明顯之反應，因此表面看起來十分潔淨。若使用含 3% Co 之基板，即使經過 5 hrs(900 shots) 已發生嚴重之玻璃霧化現象，如圖十二所示。實驗證明純的 WC 或 SiC 基板鍍貴金屬多層膜可提供長時間相當於 600°C x 5400 道次以上的抗玻璃沾黏效果。



圖八、N-PK51 玻璃球與貴金屬膜層反應區域 EDX 分析。



圖五、鍍貴金屬膜層之 Si 晶片與 P-SK57 玻璃球沾黏情形。



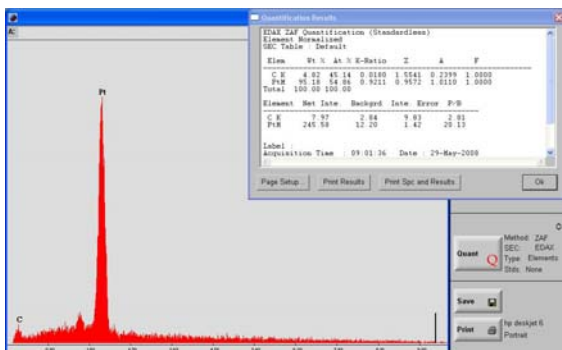
圖九、在氮氣環境下 P-SK57 玻璃球經長時間(30 hrs or 5400 shots)與鍍 Pt/Ir 貴金屬多層膜之基板接觸試驗後之外觀。



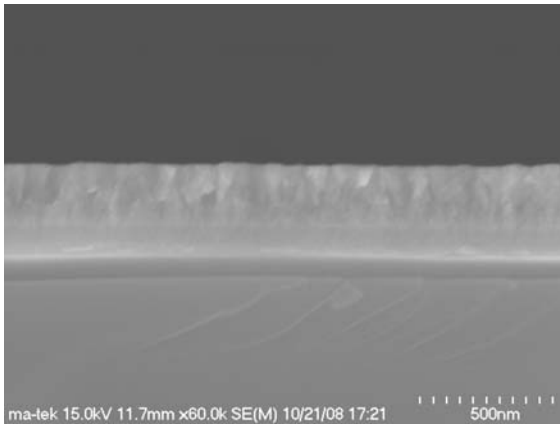
圖六、鍍貴金屬膜層之 Si 晶片與 N-PK51 玻璃球沾黏情形。



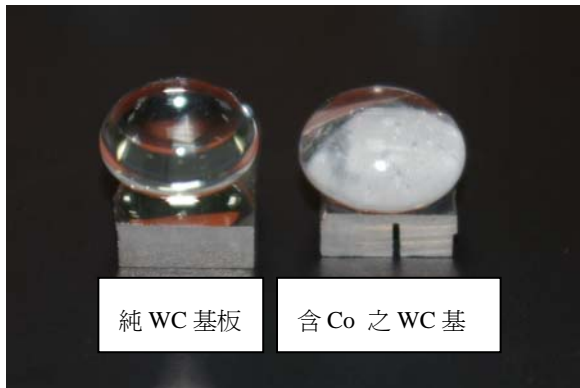
圖十、在氮氣環境下 N-PK51 玻璃球經長時間(30 hrs or 5400 shots)與鍍 Pt/Ir 貴金屬多層膜之基板接觸試驗後之外觀。



圖七、P-SK57 玻璃球與貴金屬膜層反應區域 EDX 分析。



圖十一、 鍍 Pt/Ir 貴金屬多層膜之基板經 600°C 長時間(30 hrs)與 N-PK51 玻璃接觸試驗後之顯微組織。



圖十二、 比較含 3% Co 之 WC 基板，經過 600°C x 5 hrs 與 N-PK51 玻璃接觸試驗後之外觀。

本研究以 SCHOTT 公司所生產之 P-SK57 及 N-PK51 光學玻璃球為研究對象，探討高溫及不同氣氛環境下，玻璃球與不同基底材料間的介面反應及擴散現象，目前歸納以下幾點結論：

1. 在高溫大氣環境下，碳化鎢、碳化矽、不鏽鋼、矽晶圓材料皆會發生氧化現象，但表面生成之氧化層厚度及氧化情形則因材料特性有所不同，其中以碳化鎢試片表面氧化情形最為嚴重。
2. 當底材表面因氧化形成氧化層時，容易與玻璃球中的氧化物相互擴散結合造成沾粘，但隨著玻璃球中所含化學組成不同，沾粘情形也不盡相同。
3. 通入氮氣可有效降低基材表面氧化情形以及抑制玻璃球內易揮發元素擴散沉積至基材表面，並有效降低沾粘狀況。
4. 玻璃球與基材間的介面反應是否嚴重，主要受玻璃球中的組成成份所影響，倘若玻璃球中含有大量修飾氧化物，則容易破壞

玻璃網目構造，造成較嚴重沾粘現象。

5. 基材中如含有碳元素如碳化鎢燒結體，其中不穩定的碳元素在高溫時容易還原玻璃球中較不穩定的氧化物，產生沾粘現象。
6. 在 WC 或 SiC 基材上沉積貴金屬薄膜如 Pt/Ir，可降低高溫時玻璃球與基底材料間介面反應，有效改善玻璃沾粘的情形。Pt/Ir 貴金屬多層膜並無法有效抑制 Co 的擴散，造成保護膜層過早失效及玻璃失透。

#### 4.2 高溫模造玻璃測試

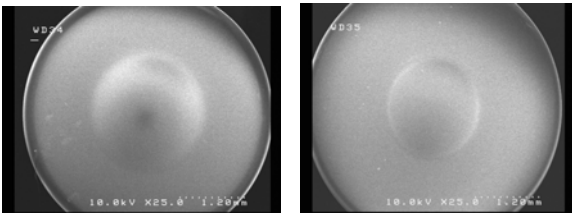
模造過程中，需注意降溫時玻璃透鏡的收縮，尺寸愈大則收縮的曲度就愈大，尺寸愈大的透鏡其形狀精度愈難控制。目前模造溫度大約設在玻璃 At 點上方 10~30°C 之間，模造荷重及時間和鏡片大小有關。以目前計畫合作之業者設計及製作模具水準，以及模造之經驗大約經過兩次之修模及約八次之玻璃鏡片模造參數修正，已可產出形狀精度 PV 值在 0.3 以內之高精度非球面鏡片。

以目前製作之鍍貴金屬模仁對 P-SK57 及 N-PK51 光學玻璃進行模造，模造 800 道次後鏡片取出觀察外觀，玻璃表面並無缺陷(圖十三)。以 SEM 分析表面形貌結果如圖十四，表面光滑完美，有時候表面出現的黑色斑點為碳汙染，主要係因環境因素所致，將表面清潔後可繼續進行鏡片模造。

線上進行鏡片模造模仁失效大都源自模仁的崩裂造成的刮痕，或玻璃不潔(C-H)造成成的沾黏。若使用內含高揮發元素的玻璃進行模壓，高揮發元素的釋出與再沉積會造成嚴重的玻璃沾黏。基板若選用含金屬黏結劑 Co 的材料，無法抑制其擴散至貴金屬膜層內部及表面，將導致貴金屬膜層過早失效極嚴重的玻璃沾黏。



圖十三、對 P-SK57 及 N-PK51 光學玻璃進行模造，模造 800 道次後鏡片取出觀察外觀。



圖十四、鍍貴金屬模仁對 N-PK51 光學玻璃進行模造後鏡片取出觀察表面形貌：(a)凹面(b)凸面。

## 五、結論

1. 當底材表面因氧化形成氧化層時，容易與玻璃球中的氧化物相互擴散結合造成沾粘，但隨著玻璃球中所含化學組成不同，沾粘情形也不盡相同。
2. 在 WC 或 SiC 基材上沉積貴金屬薄膜如 Pt/Ir 奈米多層膜，可有效改善玻璃沾粘的情形。Pt/Ir 貴金屬多層膜並無法有效抑制 Co 的擴散，造成保護膜層過早失效及玻璃失透。
3. Pt-Ir 貴金屬多層膜奈米具有緻密的奈米層狀結構，藉由界面強化機制使其硬度可達 Hv 780，因而達成耐高溫磨損效果。
3. 以目前之模造之經驗，大約經過兩次修模及約八次之玻璃鏡片模造參數修正，已可產出形狀精度 PV 值在 0.3 以內之高精度非球面鏡片。

## 六、計畫成果自評

實驗證明純的 WC 或 SiC 基板鍍貴金屬多層膜可提供高硬度及長時間的抗玻璃沾黏效果。藉由此計畫之經費補助，我們發展出簡

單之玻璃模造機台，高溫下壓製出 LED 聚光用平凸透鏡。部份之研究成果已發表一篇期刊論文及兩篇國際會議論文。累積之經驗及研究成果將會積極推廣至業界相關廠商，同時將規劃將此熱壓設備之元機械系及光機電學生之實驗教學。

## 七、參考資料

1. US patent 3833347, "Method for Molding Glass Lenses", Eastman Kodak Company, Sep.3, 1974.
2. US patent 3844755, "Method and Apparatus for Transfer Molding Glass Lenses", Kodak Company, Oct. 29, 1974.
3. US patent 4915720, "Method of and Apparatus for Molding Glass Articles", Hoya Corporation, Apr. 10, 1990.
4. US patent 4139677, "Method of Molding Glass Elements and Element Made", Kodak Company, Feb. 13, 1979.
5. K. J. Ma, "Design and Characterization of Tribological Coatings", PhD thesis, Birmingham University, 1997.
6. D. Zhong, E. Mateeva, I. Dahan, J.J. Moore, G.G.W. Mustoe, T. Ohno, J. Disam, and S. Thiel, "Wettability of NiAl, Ni-Al-N, Ti-B-C, and Ti-B-C-N Films by Glass at High Temperatures", *Surface and Coatings Technology*, Vol. 133-134, pp.8-14, 2000.
7. Nishiyama Satoshi, Takahashi Eiji, Iwamoto Yasuo, Ebe Akinori, Kuratani Naoto, Ogata Kiyoshi, "Boron Nitride Hard Coatings by Ion Beam and Vapor Deposition", *Thin Solid Films*, Elsevier, Vol. 281-282, pp.327-330, 1996.
8. 馬廣仁"玻璃光學元件模造技術"，光學元件精密製造與檢測，國家實驗研究院儀器科技研究中心，pp. 224，2006，.



## 出席國際學術會議心得報告

計畫編號	NSC-96-2211-E-216-030
計畫名稱	精密玻璃模造及光學模仁鍍膜技術之研究
出國人員姓名 服務機關及職稱	馬廣仁 (中華大學機械系副教授)
會議時間地點	21-24 October 2008 西班牙-巴塞隆納
會議名稱	NanoMat2008
發表論文題目	<b>Nano-laminate Precious Metal Coatings for Optical Mold</b>

### 一、參加會議經過

此會議名稱為奈米材料會議，涵蓋的主題很廣包括奈米材料的合成、奈米材料的物理化學性質及應用等，共計 235 篇論文發表，參加人數逾 300 人。會議安排在一個國際旅館分三個場地進行，並在會前安排了三個半天的課程。由發表的論文及聽眾看出來大家對奈米材料及技術在能源的應用如太陽能電池、燃料電池等課題，最受矚目。新的 LED 相關奈米材料也受到許多重視。大會還安排了廠商產品展示，奈米表面分析設備商參展最積極。當然少不了大會安排的晚宴及西班牙著名的舞蹈，由晚宴節目安排可感受到西班牙人的熱情。

### 二、與會心得

大會安排了 keynote 講者及題目都是目前相關領域的一時之選，因此提問及討論都十分踴躍，由 keynote 演講內容很快的可以掌握目前奈米材料技術發展方向及困境。個人較有興趣的題目是奈米薄膜材料及技術在能源產業的應用，也很幸運的聽到許多新的課題，對個人以後研發方向有許多啟發。此次會議我們發表之文章奈米貴金屬薄膜主要是應用在光學模具，在玻璃鏡片模造具關鍵性。此技術當然可應用在太陽能電池的聚光透鏡，因此有許多國外廠商也主動和我們接觸了解該技術之優勢及瓶頸。

西班牙這個國家奈米材料科技整體發展並不突出，但在奈米材料及技術在太陽能電池之應用上有許多新的觀念提出來。西班牙政府對太陽能電池產業也十分支持，產學合作密切，相信西班牙在此領域會有較佳的表現。台灣對奈米科技的推廣不餘遺力，目前在學界已見成效，但在和產業結合部分仍有許多落差，仍待學界主動跨出以促使產業更具競爭力。

大會安排的觀光景點令人印象深刻，感受到西班牙文化多元及豐富的一面，相信這也或多或少的影響了整個西班牙民族的思維模式及科技發展。