

# 「矽」說玻璃之美·談玻璃工藝中的科技演進

Silicon Beauty: On Glass Art in Relation to Technological Advancements

文·圖／蕭銘菴 Ming-Tun Hsiao ( 國立臺灣藝術大學工藝設計學系教授 )

玻璃做為一種人工合成材料，因原料與加工方式與技術的不同而具有不同性質，對藝術創作而言為可塑性極高的媒材。本文以「科技為藝術所用」為前提，歷述近年來玻璃材料、設備與技術上的革新為玻璃工藝帶來的新表現，為玻璃工藝中的科技演進進行了呈示。

Glass is an artificial material whose characteristics vary with different combination of raw materials and procedures, which makes it a highly flexible medium for art creation. Taking 'technology in the service of art' as its premise, the article enumerates the new performances of glass art brought by innovations in materials, equipments, and techniques, exemplifying the relationship between art and technology.

## 「矽」說玻璃的藝術特質

玻璃是一種不可思議的「神奇之物」，它是人類智慧與技術的結晶，主要的原料為不透明的「矽砂」，但經過高溫熔融後就成為透明的石英玻璃，因其膨脹係數低，具有超耐熱特性，可直接放置於爐火上加熱烹調料理後，放入冷水中急冷也不會破裂；但也由於它超耐熱與堅固而不易加工，因此必須添加碳酸鈉、碳酸鉀、氧化硼、氧化鉛等，以降低熔點並符合材料的需求，並且加入碳酸鈣以獲得性質的穩定。最常用的玻璃材料為鈉玻璃，主要由矽砂、碳酸鈉、碳酸鈣等熔融而成，其軟質特性易於加工，最大宗的是用於平板玻璃，其次是瓶罐，以及吹製玻璃等的藝術創作。若需要提高其耐熱度而添加氧化硼，則可製造出硼玻璃，硼玻璃的耐熱特性可

由水常雄 耐熱耀變玻璃茶杯組

用於試管、燒杯等理化實驗儀器，以及咖啡壺、咖啡杯、鍋子等直接加熱的器具，也用於玻璃工藝的拉絲玻璃等燈炬作業的藝術創作；若添加碳酸鉀，則可製造出接近硼玻璃特性的鉀玻璃，鉀玻璃是硼玻璃還沒出現前的理化實驗儀器用的硬質玻璃，因為穩定性高，也是製作瓶罐的良好材料；而在鈉玻璃原料中加入氧化鉛，就會成為晶瑩剔透的「人造水晶」，更因其光鮮亮麗而有「琉璃」之稱，且鉛玻璃的流動性佳，適合細緻的脫蠟鑄造，多用於燈具及藝術品的脫蠟鑄造。



玻璃在材質上具有透光、堅硬、色美、折射率高、清脆、易碎等特性，有別於其他材料，在成形的過程中尤其有無限的可能性。玻璃工藝的創作，可因製作技術、裝飾技法的不同而產生多樣化的表情，例如光滑、霧面、浮雕、冰裂等表面肌理，提供了不同的視覺與觸覺的效果。正因為玻璃具有堅硬易損性、易碎清脆性、表面光滑性、透光反光性、形態多樣性、素材包容性、高溫流動性、瞬間成形性、呈色鮮亮性，以及技法表現性等的藝術特質，所以在藝術家的眼裡，玻璃不僅僅是一般的玻璃，而是深具魅力的藝術創作媒材。

### 玻璃的材料與科技

玻璃的物理與化學特性，取決於玻璃的原料與加工，玻璃材料無論是色彩或質地，都可以透過科學的技術分析成分並改變原料的成分與製程，以產出符合需求的玻璃材料。正因為玻璃是人工合成的材料，所以有無限的可能性，它在形態上可以是粉末狀、纖維狀、棒狀、管狀、薄片狀、板狀，以及塊狀；在色彩上可以是各種透明色或不透明色；在質地上可以是反光與不反光、穿透與折射、導電與不導電、強化與否。其用途甚廣，舉凡航太、醫學、光學、理化實驗、建築、家具與家飾、電子產品，以及藝術品等，都會使用玻璃，可謂擴及人類的食、衣、住、行、育、樂等各個領域。目前的特殊玻璃材料已經有很多種類，例如強化玻璃、隔音玻璃、防火玻璃、防彈玻璃、耐熱玻璃、色彩多變的霞光玻璃、反眩光白板玻璃、安全防爆玻璃、電控液晶調光玻璃、太陽能光電結構玻璃、熱浸強化玻璃、低輻射複層節能玻璃、綠建築結構玻璃、無痕易潔透明玻璃、網印玻璃、雷射藝術玻璃、彎曲膠合玻璃、彎曲強化玻璃、壓克力模具玻

璃、防火玻璃、隔音玻璃、高性能塗漆玻璃等等。

### 玻璃的加工與科技

玻璃的加工可分為原料的加工與材料的加工。前者是將玻璃的原料經過高溫熔融後製成材料，從原料的篩選、配料、熔融、澄清、消泡，製作成膏狀的材料，其過程非常複雜；後者則是把膏狀的材料製作成顆粒、線材、管材、板材、塊材等固體的材料，或是將這些材料加工成製品。由於科技的進步所開發的玻璃加工設備，以及科技的產品，除了改變了玻璃的加工技術之外，也增加了許多的可能性；例如透過電腦友善的使用者介面、快速運算與高階的圖形處理能力，以及高記憶容量與大量的儲存能力，能夠解決在生產過程中所面臨的各種問題。因此電腦輔助設計（CAD）、電腦輔助工程分析（CAE），以及電腦輔助製程（CAM）都是提高工作效率與精準度的最佳利器。以玻璃工藝的創作而言，可謂是「科技為藝術所用」，因為科技所研發出來的玻璃材料與玻璃加工設備，直接影響到玻璃的表現形式。例如玻璃線鋸、玻璃圓鋸、玻璃磨刻、玻璃研磨、玻璃拋光、水刀切割、CNC加工、雷射雕刻、噴砂、超音波鑽孔、粉碎加工、玻璃電鍍、UV（紫外光）膠合、奈米加工、霓虹加工、電漿加工、強化加工、導電加工、鍍膜加工、釉藥貼紙轉印、立體平板直噴、UV噴印、玻璃烤漆、玻璃彩繪等等。

### 玻璃工藝與科技

玻璃工藝屬於工藝領域的一環，雖然在創作上因其材質本身的質地與加工特性而有別於其他工藝領域的創作理論，不過基本上任何領域的工藝，都與形、色、材質、表面肌

理，以及空間架構有關，其實就是與「造形」有關。然而決定「造形」的關鍵因素，是藝術家的創意、創作的材料，以及加工的設備與技術。以下分別介紹藝術家如何善用科技所帶來的材料、設備與技術的創作實例。

### 一、耐熱燭變玻璃

耐熱燭變玻璃是由日本最早推動玻璃工藝教育（創設東京玻璃工藝研究所、能登島玻璃美術館與玻璃工房）的由水常雄教授在2006年所開發出來的，也已獲得了石川縣長的優良新商品認證。他有感於一般「鈉玻璃」的晶瑩剔透與亮麗色彩，僅能用於藝術創作，且經常因為作業的方便與節省能源，添加了過多的碳酸鈉（ $Na_2CO_3$ ），而造成「不耐急冷急熱」與「容易受潮（吐鹼：鹼因離子交換而溶出）」，同時理化實驗等耐熱的「硼玻璃」縱然用於餐具，也因其透明無色或依靠釉藥彩繪等限制了藝術創作的表現，所以透過一般鈉玻璃的改良配方，而獲得了兼具生活實用與美觀的「耐熱燭變玻璃」。

耐熱燭變玻璃的特色是透過鈉玻璃原料的調整（減少碳酸鈉的量、增加硼砂的量），使降低膨脹係數，以達到耐熱的目的，並避免「吐鹼」現象的發生。簡單地說，耐熱燭變玻璃是具有理化實驗用玻璃（硼玻璃）特性的鈉玻璃。目前的耐熱燭變玻璃可耐急熱150°C，且其配方中含有在製作過程中會因溫度的急冷、急熱而變色的金屬氧化物成分，尤其是玻璃在加工過程中由透明變成乳白色的部分是最大的特色，因此可以製作出具漸層效果且色彩繽紛的作品。

### 二、雷射內雕

雷射內雕亦稱之為激光內雕，其原理是雷射激光的干涉現象。將兩束雷射激光從不同

角度射入透明的玻璃體，準確地交匯在一個座標點上，此時由於兩束雷射光在交點上產生了相互干涉與抵消的作用，而使其原來具有的能量由光能轉換為熱能，同時釋放出大量的熱量，將該點瞬間融化形成極微小的空洞，使視覺上形成一個白點。此種透過雷射內雕機準確地控制兩束雷射激光陸續在不同的座標位置上交匯，產生大量微小的空洞，而構成了所需要的圖案。乍看之下有如繪畫的點描作品，或是版畫的網點單色套印的作品，由於成像的部分是在玻璃塊的內部，無法透過觸覺感受，因此在觀賞時會有不可思議的感覺。另外一個特色就是圖像的顏色，因其成像的原理就如同切削與研磨時所產生的「白」，若經由投射光線，可以產生色彩的變化。

### 三、雷射雕刻與導光

雷射雕刻與雷射內雕不同之處，在於其以雷射激光在物體表面做雕刻的動作，依照雷射激光之功率的強弱，以及雷射激光光束密度之不同，可以產生各種不同的效果，其以電腦程式控制之精密程度，可以雕刻出如黑白相片般的影像效果，也可以直接切斷材料切割出造形，但效果的呈現也會因雕刻的材質而異。例如在木材表面雕刻圖案或文字，會呈現出焦黑的效果，在壓克力板與玻璃表面上雕刻會出現泛白的效果，但玻璃表面會呈現細微的碎裂狀，因此若先在玻璃表面貼一層卡典西德（切割薄片）或膠帶做為保護層，施以雷射雕刻後，再進行噴砂，待去除卡典西德後就會出現工整而泛白的效果，若在底部的斷面安裝具有點滅程式控制的LED燈，則能利用導光原理，使雷射雕刻之泛白處產生發光的效果。

### 四、雷射雕刻與釉藥彩繪



王銘顯 享動 雷射雕刻與釉藥彩繪



陳明璋電腦繪圖、蕭銘范製作 山水方盤 電腦繪圖與釉藥輸出貼紙轉印



黑住庸子 套色噴砂玻璃碗 玻璃粉末套色與噴砂



樊俞均 旋動 釉藥貼紙轉印

經過雷射雕刻以及噴砂處理過的玻璃表面，圖案或文字的部分會凹陷，此時若在凹陷處施以黑色的低溫釉藥，而在平面的部分施以彩色的低溫釉藥，再經過窯爐燒成後，就成為有別於陶瓷彩繪的玻璃釉藥彩繪，這種在具有厚度的玻璃表面進行釉藥彩繪的裝飾技法，會由於玻璃的透光而產生光影效果，帶來一般陶瓷彩繪所看不到的透明感與空間感。

## 五、電腦繪圖與釉藥輸出貼紙轉印

隨著電腦軟硬體功能的增強與電腦繪圖應用程式的開發，無論是2D或3D、向量或點陣，應用層面已是相當寬廣；電腦繪圖應用程式除了定型的主程式之外，亦可透過外掛

程式以增加主程式所欠缺的功能。交通大學教授陳明璋就自行開發了簡報軟體（powerpoint）的外掛程式，在此程式中進行非工程圖學的山水畫，其理論是以「數學」的計算方式作畫，是理性的，但其結果彷彿畫家的感性作畫。筆者將其數位繪畫的圖檔透過雷射釉藥輸出設備製作成貼紙，經過轉印於平板玻璃後，以電窯燒製成盤子。

## 六、玻璃粉末套色與噴砂

高溫狀態的玻璃塊或高溫熔融狀態的玻璃膏，若遇水急冷就會碎裂成不規則的熔塊，再經過粉碎機的粉碎作業、球磨機的球磨作業，可以產生極細的玻璃粉末，提供做為釉上彩的釉藥，以及雷射輸出釉藥

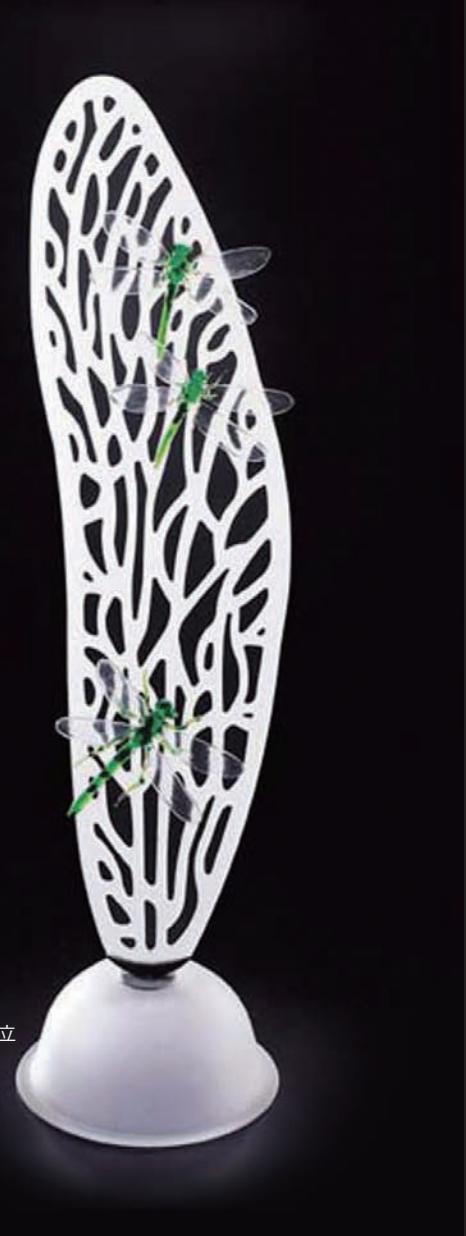
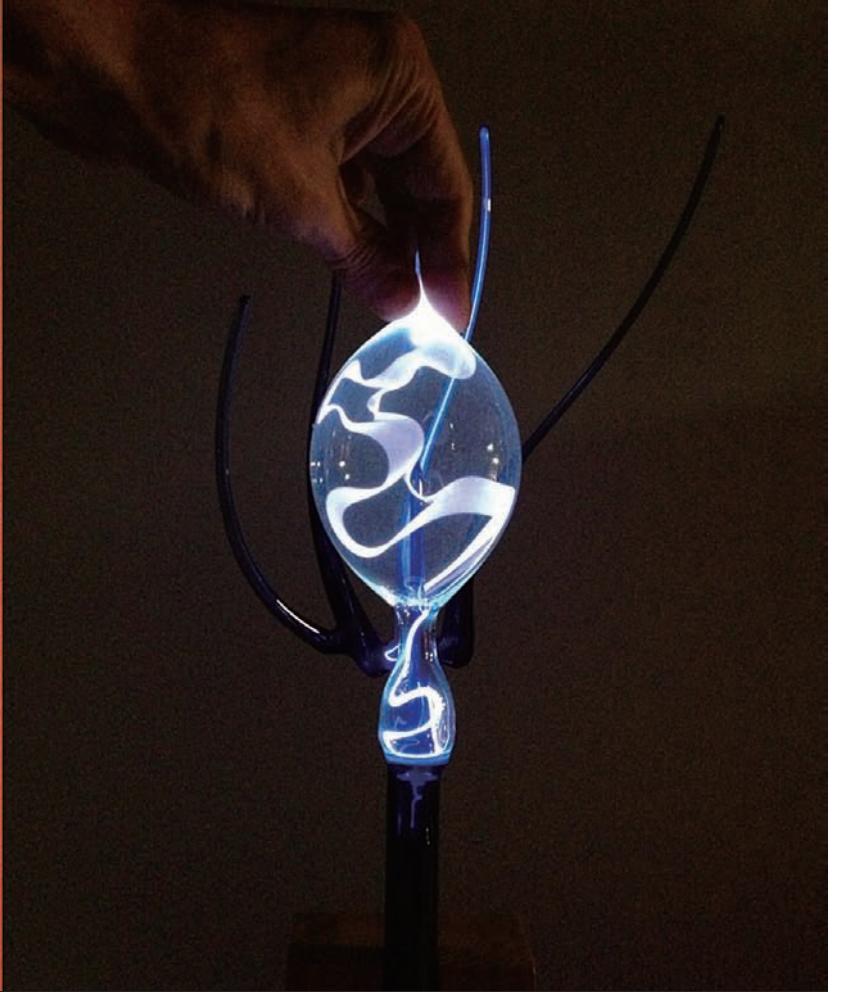
貼紙使用。噴砂則是以空氣壓縮機產生的高壓氣體，夾帶著金剛砂噴向工作物以破壞其表面造成侵蝕現象的作業。玻璃粉末除了做為釉藥之外，也提供做為燒製琺瑯以及吹製玻璃的粉末套色使用，在玻璃體的表面形成多個色層，再經過噴砂雕刻後，就可以產生豐富的表情。

## 七、釉藥貼紙轉印

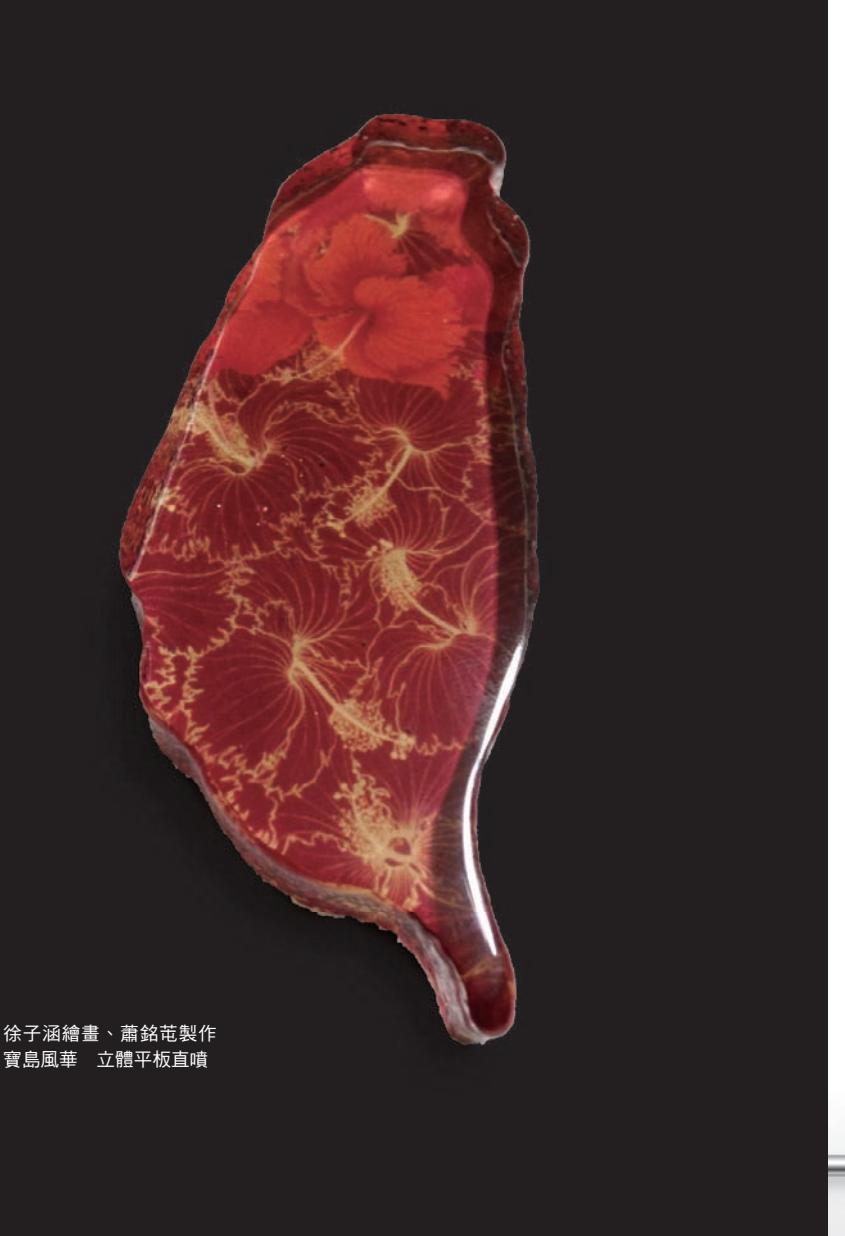
傳統的燒窯技術，無論是陶瓷或是玻璃的燒成，是以燒窯者的經驗判斷燒成的溫度與火候，而隨著科技的進步與窯爐的改良，今日的窯溫控制已是由電腦的溫度控制程式所職掌，而且相當穩定。因此可以透過升溫速度、燒成溫度，以及持溫時間的燒成溫度曲線，以掌握燒



光合玻璃 電漿藝術（上二圖）



蕭銘菴 庭蜓欲立  
水刀切割



徐子涵繪畫、蕭銘菴製作  
寶島風華 立體平板直噴

成效果。例如相同顏色的釉藥貼紙，經過先燒高溫後燒低溫的數次燒成，再加上色與色的重疊而獲得不同的顯色效果。

### 八、空心製作與電漿

電漿（plasma）的應用常見於日常生活中的日光燈以及五顏六色的霓虹燈，其發光原理是在真空的玻璃管或容器（多為理化儀器用硼玻璃的空心製作）中注入惰性氣體氖及氬或水銀蒸氣，當加入高電壓之後，會產生電漿粒子，使氣體產生電漿效應，電漿粒子會激發螢光物質或水銀蒸氣而產生可見光，因此可以利用惰性氣體的成分比，以及激發時間的長短使之產生不同的顏色與亮度，這種可以與人產生互動的現象，正是電漿藝術的最大特色。

### 九、水刀切割

平板玻璃的直線與曲線切割，可透過鑽石刀、鎢鋼滾輪刀、水切割台、玻璃線鋸機、圓形切割器、異形切割器為之，但精細的圖案或文字則有賴超高壓水刀切割機的使用；其原理是利用超高壓水刀混合少量的砂，以產生加砂水，射流通過特製的噴嘴小孔以形成超高壓水刀。此水刀可針對玻璃、陶瓷、金屬、石材、複合材料等硬質材料進行切割，且因透過電腦的程式控制，能夠執行精細的切割。

### 十、立體平板直噴

常用的玻璃表面裝飾技法有噴砂、磨刻、彩繪、印刷、烤漆、釉上彩、釉藥貼紙轉印等，但隨著科技的進步所研發的立體平板直噴機，以及特殊的墨水，可以直接在較厚的玻璃面上噴印而不需經過製版、印刷與轉印的過程。目前使用的墨水有兩種，其一是UV（紫外光）型墨水，噴印後經UV照射而

固化，其二是免塗布直印型墨水，可直接噴印在加熱過的工作物表面，附著力佳，遇水不脫落。

### 展望未來的玻璃工藝與科技

由於科技不斷進步，玻璃工藝所能應用的材料與技術也隨著增加，使得藝術家的巧思與巧藝更能有所發揮。例如「太陽能光伏」玻璃、液晶電視玻璃、各種顯示玻璃、電子可用玻璃、彈性玻璃、3D電視玻璃、彩色霓光玻璃、反眩光白板玻璃，防爆玻璃、電控液晶調光玻璃、太陽能光電結構玻璃、熱浸強化玻璃、低輻射複層節能玻璃、網印玻璃、雷射藝術玻璃、彎曲膠合玻璃、彎曲強化玻璃、防火玻璃、隔音玻璃、烤漆玻璃等等，這些科技的玻璃都可能變成藝術的玻璃。

玻璃不僅僅是一種「無中生有」的材料，也是一種可以無限回收再利用的「環保素材」，它隨著人類智慧與科技的發達，而有新的產出與新的功能，以符合新生活的需求。因此，當我們高喊「科技始終來自人性」時，思考的主體是「人」，而人的需求與人的作為決定了「物」的呈現方式。當材料與技術尚不能滿足人的創意時，相關的實驗研究會隨著展開，而當實驗研究有結果時，人對物的處理獲得了掌握，接著又會產生新的需求，此種循環造就了永無止境地追求材料與技術的創新，以滿足創意的需求。以玻璃工藝與科技而言，玻璃的熱端加工與冷端加工決定了加工的過程與結果，而新的加工設備與技術也影響了造形的可能性。因此，「科技為藝術所用」仍為今後玻璃工藝的創作方向，相信人類在追求真善美的過程中，這種晶瑩剔透、光鮮亮麗，以及具有無限可能性的玻璃的藝術特質，將會透過玻璃工藝的呈現，「矽」說玻璃之美。¶