

科學圖書大庫

玻璃吹工製作

譯者 莊汝澄

徐氏基金會出版

美國徐氏基金會科學圖書編譯委員會

科學圖書大庫

監修人 徐銘信 科學圖書編譯委員會主任委員
編輯人 林碧鏗 科學圖書編譯委員會編譯委員

版權所有

不許翻印

中華民國六十三年 六 月 五 日再版

玻璃吹工製作

基本定價 二元六角

譯者 莊汝澄 中國玻璃工業研究所研究師

內政部內版臺業字第1347號登記證

出版者 財團法人臺北市徐氏基金會出版部 臺北郵政信箱3261號 電話783686號
發行人 財團法人臺北市徐氏基金會出版部 林碧鏗 郵政劃撥帳戶第15795號
印刷者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號 電話979739號

我們的工作目標

文明的進步，因素很多，而科學居其首。科學知識與技術的傳播，是提高工業生產、改善生活環境的主動力，在整個社會長期發展上，乃人類對未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同把人類的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之成就，已超越既往之累積，昔之認為絕難若幻想者，今多已成為事實。人類一再親履月球，是各種科學綜合建樹與科學家精誠合作的貢獻，誠令人有無限興奮！時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就科學人才，促進科學研究與發展，允為社會、國家的基本任務。培養人才，起自中學階段，學生對普通科學，如物理、數學、生物、化學，漸作接觸，及至大專院校，便開始專科教育，均仰賴師資與圖書的啓發指導，不斷進行訓練。從事科學研究與科學教育的學者，志在貢獻研究成果與啓導後學。旨趣崇高，至足欽佩！

科學圖書是學人們研究、實驗、教學的精華，明確提供科學知識與技術經驗，本具互相啓發作用，富有國際合作性質，歷經長久的交互影響與演變，遂產生可喜的收穫。我國民中學一年級，便以英語作主科之一，然欲其直接閱讀外文圖書，而能深切瞭解，並非數年所可苛求者。因此，本部編譯出版科學圖書，引進世界科技新知，加速國家建設，實深具積極意義。

本基金會由徐銘信氏捐資創辦，旨在協助國家發展科學知識與技術，促進民生樂利。民國四十五年四月成立於美國紐約。初由旅美學人胡適博士、程其保博士等，甄選國內大學理工科優秀畢業生出國深造，前後達四十人，返國服務者十不得一。另贈國內大學儀器設備，輔助教學頗收成效；然審度衡量，仍嫌未能普及，乃再遠承國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。主任委員徐銘信氏為監修人，編譯委員林碧銓氏為編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱。「科學圖書大庫」首期擬定二千冊，凡四億言，叢書百種，門分類別，細大不捐；分為叢書，合則大庫。從事翻譯之學者五百位，於英、德、法、日文中精選最新基本或實

II.

用科技名著，譯成中文，編譯校訂，不憚三復。嚴求深入淺出，務期文圖並茂，供給各級學校在校學生及社會大眾閱讀，有教無類，效果宏大。賢明學人同鑑及此，毅然自公私兩忙中，撥冗贊助，譯校圖書，心誠言善，悉付履行，感人至深。其旅居國外者，亦有感於爲國人譯著，助益青年求知，遠勝於短期返國講學，遂不計稿酬菲薄，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，報國熱忱，思源固本，僑居特切，至足欽慰！

今科學圖書大庫已出版七百餘冊，都一億八千餘萬言；排印中者，二百餘冊，四千餘萬字。依循編譯、校訂、印刷、發行一貫作業方式進行。就全部複雜過程，精密分析，設計進階，各有工時標準。排版印製之衛星工廠十餘家，直接督導，逐月考評。以專業負責，切求進步。校對人員既重素質，審慎從事，復經譯者最後反覆精校，力求正確無訛。封面設計，納入規範，裝訂注意技術改善。藉技術與分工合作，建立高效率系統，縮短印製期限。節節緊扣，擴大譯校複核機會，不斷改進，日新又新。在翻譯中，亦三百餘冊，七千餘萬字。譯校方式分爲：(1)個別者：譯者具有豐富專門知識，外文能力強，國文造詣深厚，所譯圖書，以較具專門性而可從容出書者屬之。(2)集體分工者：再分爲譯、校二階次，或譯、編、校三階次，譯者各具該科豐富專門之知識，編者除有外文及專門知識外，尚需編輯學驗與我國文字高度修養，校訂者當爲該學門權威學者，因人、時、地諸因素而定。所譯圖書，較大部頭、叢書、或較有時間性者，人事譯務，適切配合，各得其宜。除重質量外，並爭取速度，凡美、德科學名著初版發行半年內，本會譯印之中文本，廣即出書，欲實現此目標，端賴譯校者之大力贊助也。

謹特掬誠呼籲：

自由中國大專院校教授，研究機構專家、學者，與從事科學建設之工程師；

旅居海外從事教育與研究學人、留學生；

大專院校及研究機構退休教授、專家、學者。

主動地精選最新、最佳外文科學名著，或個別參與譯校，或聯袂而來譯校叢書，或就多年研究成果，撰著成書，公之於世。本基金會樂於運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。祈學人們，共襄盛舉是禱！

原 序

玻璃加工和許多其他基本材料的加工一樣，包含了遠超過單一本書甚至單獨個人所能包涵的藝術和科學範圍。因此，本書內容不僅不能兼顧整個玻璃加工領域，甚至僅祇某一重要部份也無法全部容納。著者主要目的是着重在對學習如何用普通一般玻璃管和棒來製造實驗室器皿或小物件如衣飾物，袖珍的鳥，動物等有興趣的讀者。這種藝術在商業上稱為“燈工（lamp Work）”，早在發現在煤氣燈（Wick lamp）火焰中吹入空氣可產生軟化玻璃棒和管的高熱的時代，就已產生了這個名詞。

實際上，著者們已盡力為想要學習基本燈工而又不知如何開始著手的讀者們編寫了一本初級課本。這本書說明最基本的加工方法和原理使初學者經過不太多的練習之後，就能熟習所有的基本操作，有了這種基礎之後，讀者將可發現製造複雜的形狀，不僅輕而易舉，而且趣味無窮。除此之外一套徹底瞭解方法和原理的知識將可防止初學者在自己摸索學習中所養成的不可避免的種種惡習。沒有這種觀念的話，錯誤和正確的工作方法同樣地容易在練習中養成。

任何書籍都有正確和錯誤的利用方法，本書也不例外。這本初級課本的材料是按照先後次序排列的。著者建議，先要讀完全書以後再去嘗試接觸玻璃。決定深入研究的程度，然後徹底精讀第二章中所討論的工具和設備。準備好計劃要做的工作中所需的整套工具，不要在工具上吝嗇，工具的好壞往往會決定初學者的成敗。最後，在進一步深入之前，要做完第三和第四章中所討論的每一個基本練習。在實習的時候，要把這本書放在容易拿到的地方，以便在操作失去控制時，立刻取出參考。

許多世紀以來，吹製玻璃的知識都嚴格地保守秘密，由父傳子或朋友之間互相傳授，本書中這些得來不易的技術，都是由世世代代無名的，未受禮讚的技工們辛苦累積而成，著者在這裡對他們表示由衷的敬意。

著者對一些現代的工業組織，公開了它們的寶貴檔案紀錄，也同樣地感激——特別是康寧玻璃廠，通用電子公司，西屋電子股份有限公司，杜瑞瓦一

IV

哈里士 (Driver-Heris) 公司, B. F. 杜拉飛德公司和美國瓦斯爐公司等, 對於應允引用他們出版文獻中的資料在此也一併表示最大謝意。

著者對科學的美國人 (Scientific American) 的編者們, 允許引用原載在這本極受推崇的期刊上的某些資料和許多寶貴的建議以及編輯上的幫助也要致最高謝忱。

我們也樂於特別說明韋恩蓋洛普 (Wayne Gallup) 先生的卓越插圖使本書生色不少。他在幫助著者們解釋玻璃加工技術程序的供獻更遠超過其動人的插圖技巧。

特別要提到的是我們從查理·H. 格倫教授 (Professor Charles H. Greene) 所受到的慷慨幫助, 格倫教授是紐約州立大學玻璃科學系, 系主任並執教於阿弗雷大學陶瓷學院 (College of Ceramics at Alfred University), 不僅校閱原稿和提出許多寶貴的意見, 並在整個計劃中毫不吝嗇地給予我們時間, 知識和熱情的鼓勵。

此外, 著者們並應感謝紐約市名律師約翰·E. 帕奇歐李 (John E. Paggioli) 促成彼此的合作並經常給予策勵。

最後, 著者們極願藉此機會向多才多藝的作家和藝術家伊蓮舒蜜 (Irene Schmitt) 的優異協助表達謝意, 她不僅改正了本書文字上的錯誤和給予英語辭藻的修飾, 並打成全部稿件, 我們願再申最誠摯的感激之忱。

詹姆士 E. 哈姆士法 (James E. Hammesfahr)

卡來爾 L. 史同 (Clair L. Stong)

前言

無論是爲了樂趣或者職業上的需要能吹製玻璃的人爲數不多。在工業進步如美國的國家中，現代工藝學和它的成果——舒適的生活——對吹製玻璃依賴如此之重，而即使將霓虹燈技工等用手工使熔融玻璃成型的人都計算在內，也難超過萬分之一的人數，實在是件值得令人驚異的事。

當然，目前市場上大多數玻璃製品是用機器製造的。各種大小的玻璃球、管、容器、棒和平板，以至於成套的實驗室儀器等都能用很低廉的價錢買到現成品。但如果需要玻璃吹製技工的組合配件，或修理一套儀器，而員工裡面又沒有玻璃吹製技工的話，問題就會相當不容易解決，這種工作雖可委託專門的廠家去做，但等候的時間，少則幾天，多則數週，要看工廠的情況而定。另外一種解決的辦法是從別處挖角，這是一種很普通而最容易得罪同業的方法。假如更有辦法的話，也可從國外聘請一位吹玻璃的技工來在西德、義大利和日本等國手藝高超的工匠，仍受大家的尊重。因此年輕人對於拜師學藝，莫不爭先恐後。但最好的辦法可能還是學成這種手藝而由自己來動手。

美國國內所訓練出來的吹玻璃技工非常之少。原因之一是在高中和職業學校裡，雖然講授基本木工和金工，但卻沒有吹製玻璃的課程。當然，有關玻璃吹製技術的書籍，出版太少也是事實。有些小冊子說明玻璃如何吹製，但都嫌不夠詳盡徹底。

本書即爲配合這種需要而作。本人原修化學，發現本書對化學研究課程有莫大的幫助。書中所敘述說明的許多技巧原先都要下許多苦功和嘗試許多苦痛的經驗才能學會。此外，書中所包含的許多前所未見的提示和建議，經在實驗室試驗結果，也都證實效果著注。我認爲本書是主修化學和物理的研究生必修的課程，因爲這些人經常遭遇到自製或修理玻璃儀器的問題。

本書讀者並不限於科學工作人員，它介紹一種新的嗜好，娛樂性的玻璃吹製。這種手藝的具有普遍的吸引力一事，可由娛樂中心的巡迴吹製玻璃工匠表演製造帆船，小鳥和類似的小巧精緻器物時，經常吸引大批觀衆，可以看出。多數表演看起來固然有趣，若能親身體會的話，就會更加津津有味，玻

璃吹製也不例外，尤有進者，玻璃對創造表現所供給的領域，至少也和擁有大量熱衷人士的陶瓷及類似行業相等。

作者們對業餘者非常注意，他們不厭其詳地解釋如何製造多彩多姿的精巧玩物的技術，簡單得連不到十二歲的兒童也能僅靠閱讀文字說明，就一次做成玻璃衣飾。他們敘述如何製造，調整及使用廉價手工具，並提供一套各種物料供應廠商名錄。

本書實際對象是初學者，其說明範圍也限於僅需要熱忱合理的耐心，一些玻璃管和瓦斯火就能完成的操作。致於需要機械或較複雜的工具才能製造的玻璃物品如大量的實驗室器皿等則並未涉及。用四呎長的鐵管吹製熔融玻璃的古老方法也未論及。作者們認為這些操作應在初學者對小件玻璃獲得若干實際手工經驗之後再來討論。

因此本人熱誠推薦本書，因它必能使許多學生和業餘者因精通一種手藝而獲得滿足，一種溫和的副業能解除現代生活所引起的緊張壓力。用手工處理熔融玻璃，是有效方法之一，希望讀者能享受其中情趣。

查理 .H. 格倫 (Charles H. Greene)
1969 年 12 月於阿弗雷 (Alfred) 紐約

目 錄

原 序

前 言

第一章	玻璃的起源：用途和特性	1
第二章	玻璃吹工的工具	20
第三章	實心玻璃：各種基本操作	53
第四章	玻璃管：基本操作	99
第五章	玻璃珍飾物製造	151
第六章	玻璃科學器皿	173
索 引		209

第一章 玻璃的起源、用途和特性

任何人都能學會吹製玻璃。不瞭解這種物質有關知識的人，雖然也可以熟能生巧，但玻璃如何產生？它的各種性質對其存在狀態有何關係？它的適用範圍如何？它對加工有何種反應？玻璃吹製技工對這些問題如果不通曉的話，就有點像傢俱技工不能分辨橡木和松木一樣，缺少了足以代表他的技巧的基本知識。因此本書要從頭開始先談誰發明了玻璃？

玻璃製造的歷史和冶金術同樣古老，早在有史以前就存在了。用天然產火山玻璃碎屑製成的原始工具的使用年代可上溯至五萬年左右。玻璃製造的器物已可確定早於3,000年以前。發明玻璃當時的情況如何現在已不易考證。有一學說係羅馬學者蒲林尼（Pliny）在2,000年前所創。

蒲林尼在他所著的《自然史》第三十六卷中，描述一隊販賣礦物的商人有一次如何在腓尼基（Phoenicia）境內比拉司河（Belus River）砂岸紮營的故事。當時因為附近找不到石塊搭灶，所以商人們就從貨物中取出碱塊堆成圓圈，升火煮晚膳。第二天一早起身時，他們發現灰燼中有裂成鋒利碎片的透明物質。根據蒲林尼的說法，人類就此偶然發現了製造玻璃的配方。

歷史學家們大都認為蒲林尼在編造故事時，常喜運用其機智的想像力。但在這個例子上，他却獲得許多現代玻璃工學的印證。雖然砂能抵抗得住營火，但碱塊却連蠟炬也能使之熔融，而砂可以像塩在水裡一樣地溶解在熔融的碱中。碱是砂的一種良好的助熔劑（flux）或溶劑（Dissolving agent）。但這兩種原料必須攪拌均勻才能產生較大的玻璃塊。這一點似乎被蒲林尼所忽略了。同時他又遺漏了玻璃中另一種重要的基本成份，一種石灰之類能增加成品化學抗蝕力的原料。不含石灰的砂和碱的熔融混合物可溶於水，實際上如果碱對砂的比例很高的話，其生成物就成為“水玻璃”，一種大家所熟知的黏結劑和很好的蛋類防腐劑。加入少量比例的石灰可以徹底改變這種熔融混合體的性質，使它不僅可以不受水的侵蝕，同時也能抵抗包括酸類的許多其他的液體和氣體。腓尼基商人的晚餐中或許也有海鮮，魚骨和介殼投入火堆中，供應了不可缺少的石灰而使整個事件功德圓滿，加入石

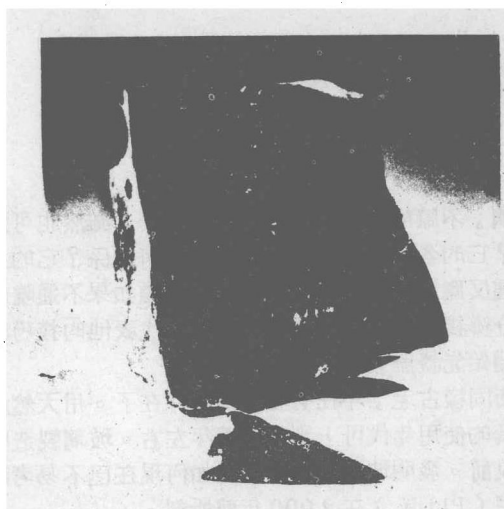


圖1.1 黑曜石塊(一種天然玻璃)及黑曜石碎片製成箭頭。這類玻璃器具的時代遠在有史以前〔康寧玻璃工廠圖片部惠允登載。〕

灰之後，蒲林尼所報導的配方就可以和今天所使用的大多數玻璃相比了。良好的秘方必然是古人在無意中偶然發現的，但本書作者仍不願無端地破壞了蒲林尼美妙動人的故事。

不論玻璃發明時的環境如何，3,000年來這種材料在工藝上並未引起重大影響，考古學家掘出的早期玻璃器皿大多祇有粗製的瓶子，甕，和杯子等。古往今來的陶工始終不肯捨棄黏土，而建築師也繼續設計和建造沒有玻璃窗的建築物。

約在蒲林尼著書立說的同時，一位名不見經傳的人把一支鐵管的一端插進砂，碱和石灰的熱熔體中，並將粘性物吹成一個玻璃泡。這件看似平淡無奇，微不足道的小事，對人類生活方式影響之大，却遠非許多特出天才的偉大成就所能望其背項。

那隻閃爍的圓球裡包含了許多奇蹟的種子。在它各種不同的形態中可以解答種種謎題如疾病的本質，宇宙的構造，原子的特性，活細胞的動力等。假如沒有吹製的玻璃容器，化學家就無法合成神奇的藥劑，若無玻璃圓球則環球的電話網，無線電和電視等均將銷聲息影。沒有玻璃球體人類將不能翱翔雲端，也無法深入太空。就目前看玻璃幾乎包辦了科學和工藝的每一方面它照亮了人類的居室，道路和光輝的未來。

玻璃對我們愛美的天性也有同樣特出的供獻。歷代的藝術家和工匠們發

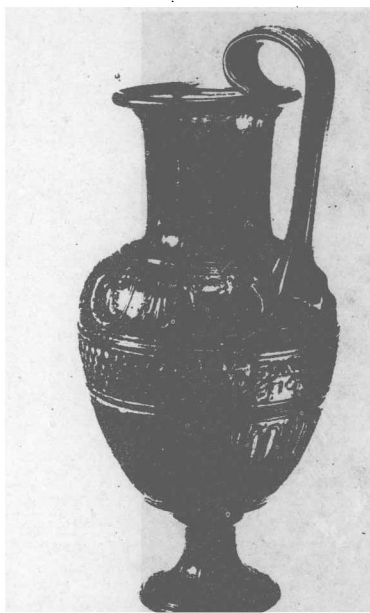


圖 1.2 羅馬帝國時代的水罐，可能是敘利亞或義大利在公元一世紀時的產品，琥珀玻璃吹製，有Eanioen簽名。
〔康寧玻璃工廠圖片部惠允登載。〕

透過玻璃可發揮其創造力而產生許多傑作，其範圍包括中世紀大教堂的彩色玻璃窗，盛宴中的水晶餐具以及貴婦們珠光寶氣的飾物等。

已經發現的各種玻璃的用途，實在可以說是對人類創造力的一種禮讚。在許多工業化的先進國家中，我們和玻璃製品，不論是鼻樑上的眼鏡，汽車的擋風玻璃或手錶的錶面，更是近在咫尺，無法須臾分離。尤其奇妙的是儘管我們如何自誇聰明和專心努力，但卻無法找到這種古代萬能產品的適當代替物。

直到十七世紀末葉玻璃一辭仍是指蒲林尼所描述的物質，對玻璃改進的努力主要集中於純粹原料的找尋及熔製透明無色成品的方法。大多數砂含有若干鐵份，而即使是極微量的這種元素，就能使玻璃稍帶綠色。

玻璃製造者懂得用一定量的錳來抵銷這種顏色，它對玻璃膏有漂白的效果。相反的，工匠們也學會了在本質配料中加入選用的金屬氧化物可熔出各種強烈着色的玻璃，如鐵在某種化學狀態下使玻璃呈綠色，而在另一種狀態下則有淡黃色出現；鉍染成藍色；銅有深紅，藍，甚或綠色；木炭，黃褐色；二氧化錳，紫色。錫酸和亞砷酸（arsenious Acid）的混合物產生白色。增加氟化鈣的比例，可以製成乳白色玻璃。

熔融體中加入金屬或金屬化合物的微粒也能呈現顏色。浮懸的顆粒能有選擇地反射，或分散（Scatter）某種有色光線。硒化物和硫化鎢加入配料中所產生的粒子能分散除紅色以外所有的波長。這樣熔出的成品就是早先要用純金加入配料的紅玉玻璃（Ruby Glass）。

這樣着色或褪色的玻璃，從古至今基本上仍舊沒有改變。玻璃製造的首次大改革是英國最大玻璃推銷商尊貴公司（Worshipful Company of Glass Sellers）對威尼斯（Venice）進口的鈣鈉玻璃漸感不滿，於是委任英國籍試驗家喬治·拉文福（George Ravenscroft）用國產原料配製玻



圖1.3 鉛質水晶玻璃花瓶〔司迪本 (Stenben) 玻璃廠
惠允登載。〕

璃以圖減除英國對國外資源的依賴，拉文福用氧化鉛（密陀僧 litharge）代替蘇打並改變別種成份的比例，在三年之中獲得了驚人的成功。

“鉛玻璃”不僅和鈣玻璃同樣清澈，由於它的折射率（index of refraction.）比舊式玻璃要高，所以對光線的屈折也要強烈得多。尤有進者，它又具有較高的色散力（dispersion）的特色。所謂色散力是指透明物質對不同顏色的光線具有不同的屈折程度。結果，鉛玻璃的光耀奪目壓倒了無色水晶玻璃（Rock Crystal）。因此鉛玻璃立即被廣泛地用在高級餐具和工藝品製造上，這種用途至今歷久不衰。

兩個世紀之後玻璃製造有了第二次重大進展。德國物理學家恩司特·阿

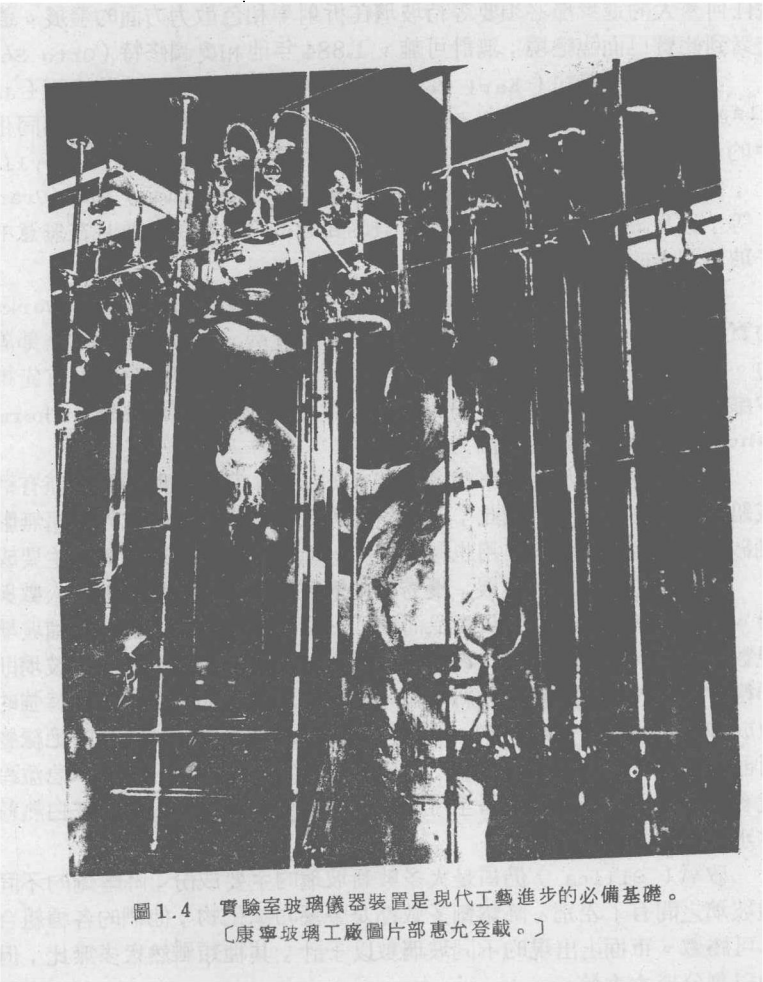


圖 1.4 實驗室玻璃儀器裝置是現代工藝進步的必備基礎。
〔康寧玻璃工廠圖片部惠允登載。〕

貝 (Ernst Abbe) 對改善顯微鏡發生極大的興趣，他在 1876 年發表結論說任何重大的進步都必須要等待玻璃在折射率和色散力方面的發展。透鏡製造者到此實已面臨絕境，無計可施。1884 年他和奧圖修特 (Otto Schott) 與卡爾·蔡司 (Karl Zeiss) 合組修特父子耶拿玻璃工廠 (Jena glass works of Schott and Sons)。該廠在兩年內利用 28 種不同化合物中的一種或多種熔製各種新玻璃，其中包括奇特的元素如 鈹 (Beryllium)，鈾 (Cerium)，鈮 (Niobium)，鐳 (erbium) 和鈾 (Uranium) 等，以及硼，鎢和錫。不但使阿貝的問題獲得了解決，並且在無意中開啟了玻璃製造的新紀元。

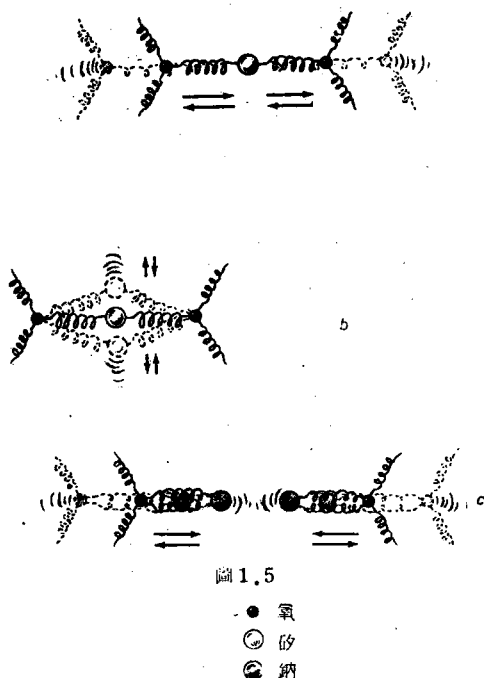
本世紀初位於美國紐約的康寧玻璃工廠 (Corning Glass Works) 的實驗室人員參與了一項有組織的科學研究計劃，來探索玻璃的全部潛在能力。這種作法隨即擴展到整個玻璃工業。1912 年康寧在這方面首先推出硼矽酸玻璃 (Borosilicate Glasses)。這一類物質對熱擊 (Thermal shock) 具有不尋常的抵抗力。

硼矽酸玻璃製品由康寧命名為 "pyrex"。它受熱時的膨脹僅有鈉、鈣或鉛玻璃的三分之一。因此，能夠粉碎舊式玻璃的溫度變化對它毫無影響。硼矽酸玻璃同時對化學作用也較為遲頓。氧化硼是它的助熔劑的主要成份。

隨著硼矽酸玻璃的發展，優秀的化學家加入玻璃製造園地的人數與日俱增。玻璃一辭所指已非往日產品而成了一個壟新的普通名詞。新種玻璃的出現數以百計。有些近代泡沫玻璃輕如鴻毛，而另一些特殊成份的玻璃則重似頑鐵，有的拉成纖維其軟如綿，有的則硬如玉石。而且有彎曲性特強的更可做成彈簧，也有的強韌似鋼。通常玻璃在室溫可視為一種優良的絕緣物，但目前已有極好的玻璃質導體，大多數玻璃加熱至赤熱時，如果急激冷卻，就會粉碎。但有些新玻璃甚至可做成坩堝熔化金屬，而且即使在白熱時投進冰水裡也不致發生損壞。

矽氧 (Silica) 仍舊是大多數新玻璃的主要成份，降熔劑的不同使各種玻璃之間有了差別。降熔劑多數都是金屬的氧化物，他們的各種組合似乎不可勝數。市面上出現的不同玻璃數以千計，其種類雖然衆多無比，但亦可加以劃分成六大類。

目前所有玻璃中最重要的一種仍舊是古代的產物鈉鈣玻璃，各種配方雖略有不同，但基本上則沒有什麼改變。同樣變動不大的拉文福時代的鉛玻璃屬於第二類。鉛玻璃在較低溫度軟化，而且在較大溫度範圍之中保持可塑性。因此鉛玻璃易於加工，而霓虹燈通常也就用這種材料製造。鉛玻璃因降熔



劑密度甚大，所以具有很高的折射值（Refractive index）。鉛玻璃又能強烈地吸收紫外線和X射線；這種性質用於製造特殊觀察窗可以防止輻射線照射的危險。

所有各種玻璃對熱擊（Thermal shock）的抵抗力隨着其中所含二氧化矽的比例增加而變強，這是因為矽氧在加熱時有保持體積穩定的傾向的緣故。此外，矽氧並具有高度的化學安定性。矽氧在溫度升高時膨脹極少的原因，在理論上的解釋雖然已大有進展，但全部真象至今還是未能澈底了解。

任何化合物當加熱時其構成原子的振動強度都隨之增加，因此原子需要較大的振動空間而彼此散開到剛好能適應所增加的動能為止。物質因而發生膨脹。振動的兩種形態可以用螺旋彈簧圖解說明，(1)交替地伸張及收縮或(2)交替地向兩旁彎屈。原子團由所謂化學鍵（Chemical bond）的電的吸引力連接在分子構造中，矽氧分子由一個氧原子連接在兩個矽原子之間構成。這種構造可以用螺旋彈簧來代表（見圖1-5，a）。受熱的矽氧的熱振動大

部份限於氧原子的兩旁彎曲運動。(1-5, b)。(矽氧的鄰接分子之間天然具有適應做兩旁微動的空間)。因此矽氧加熱時矽原子之間的距離增加非常有限。

矽氧中加入助熔劑時會將強力的矽—氧—矽這種向兩旁振動的橋樑破壞。助熔劑的原子如鈉原子就連接到這種構造之中。振動形態於是以第一種為主：分子交替地伸張及收縮(1-5, c)。物質在這種狀態之下必須膨脹以容許縱向的運動。膨脹率隨助熔劑的加入比率而增加。因此熱的鈣和鉛玻璃投進冰水時就會破裂，而含有較高比率的矽氧的玻璃則能安然無恙。在硼矽酸玻璃例如Pyrex一類的玻璃中，硼原子以矽—氧—硼鍵進入矽氧結構，它的振動方向也是兩旁的，所以這些玻璃，對熱擊具有很大的抵抗力，僅次於高矽玻璃而已。

為什麼不製造純矽氧玻璃呢？一般而論，這種玻璃生產上非常困難，純矽氧要到大約華氏3,000度(1,650°C)才能達到極密般的可塑性態。矽粒間所帶進的空氣泡，無法從這種粘性體中逸出。假如溫度升高到華氏4,000度(2,310°C)時，不但不能變成像水一樣的稀薄，反而要蒸發而去。為了驅除帶進的氣泡，矽子須要在真空中用高溫熔融，這是一種成本極高的製造方法。熔融矽氧又可以用電融磨碎的石英結晶或用氯化矽和水在氧氣焰(Oxygen gas flame)中反應製成，這兩種方法也都非常昂貴。目前純矽氧玻璃通常用真空法熔製，產品是一些價格很高而用途特殊的新玻璃。熔融矽氧對熱擊和化學侵蝕有極大的抵抗力。它能對從輻射能的紫外線端到深入紅外線部份透明，而能的損失比其他任何玻璃為低。由於這些緣故它的用途祇限於天文望遠鏡的光學部份品，紫外線燈泡，光學Massers的保護窗，以及有關的各種科學應用。

矽氧是一種幾乎完全理想的彈性體，當受力變形時，除非彎屈太甚而破裂之外，可以極快地恢復原來的形狀，因為這種性質，纖維狀矽氧是彈簧秤(Suspending Balance)，靜電計(Electrometer)的移動部份以及類似儀器的理想材料。熔融矽氧在白熱時仍可保持其形狀不變，因此實驗室用坩堝和灼燒管(ignition tube)對它的需要最切。化學分析時，物質在灼燒管中燒成灰燼而不致受到污染。

其餘的玻璃，大部份可以歸納到另外兩類之中，就是所謂96%矽氧玻璃和鋁矽酸鹽(aluminosilicate)。康寧玻璃工廠實驗室科學家們在幾年前偶然觀察到含氧化硼特別高的硼矽酸玻璃(Boro-silicate glass)會受到稀酸的強烈侵蝕。他們同時也注意到在製品成形後冷速越低，這種