

科學圖書大庫

玻 璃 學

譯者 程道腴 鄭武輝

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會
監修人 徐銘信 發行人 王洪鎧

科學圖書大庫

版權所有



不許翻印

中華民國六十八年二月二十八日三版

玻 璃 學

基本定價 1.40

譯者 程道腴 工業技術研究院聯合工業研究所正研究員
鄭武輝 工業技術研究院聯合工業研究所工程師

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(67)局版臺業字第1810號

出版者 財團法人 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686 號
發行者 財團法人 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第 1 5 7 9 5 號
承印者 大原彩色印製企業有限公司 台北市西園路2段396巷19號
電話：3611986・3813998

序 言

以天然的矽酸爲原料，具有充分的機械強度，並耐磨及耐熱的玻璃，用人工的方法來製作，這是人類之祖先老早就發見的，爾後由於人類文明的進步，而擴展到生活的領域中來。

學習玻璃時必需要具有礦物化學的知識，做爲基礎學問。同時玻璃的種類及用途甚多，其製造過程也複雜，並且在學術上還有許多尙待研究的問題存在。

本書適合於高工窯業科使用。介紹原料、製造方法，玻璃狀態的物質、玻璃物質的生成，玻璃的諸性質與試驗方法以及特殊玻璃等。

本書盡量蒐集科學技術上的最近資料編集而成。

1. 爲高工學習指導之準繩。
2. 避免爐、燃料等其他科目重複的部份。
3. 各章選擇標準的內容，重點在於介紹基本知識。
4. 避免講義與實習分開，也可做爲實習之指導。
5. 各章可分別學習，但仍有其相互之關連。

採用本書時應考慮以下之事項：

1. 本書具有 2 ~ 6 學分的內容。
2. 與窯業科的其他科目，諸如窯業原料、耐火物、爐、燃料應關連學習，以提高學習效果。
3. 依據本書選取適當之實習課題，以指導學生。

Handwritten signature/initials: Hndbbt/12

目 錄

序 言

第一章 總 論

- 1.1 玻璃的語源..... 1
- 1.2 玻璃的歷史..... 1
- 1.3 玻璃工業的現狀..... 3
- 1.4 玻璃的分類..... 4
 - 1.4.1 按組成的分類... 5
 - 1.4.2 從玻璃的形狀、用途的分類..... 6

第二章 原 料

- 2.1 主原料..... 7
 - 2.1.1 矽酸原料..... 7
 - 2.1.2 鋁氧原料..... 9
 - 2.1.3 硼酸原料..... 10
 - 2.1.4 磷酸原料..... 11
 - 2.1.5 碱原料..... 11
 - 2.1.6 石灰原料..... 12
 - 2.1.7 鎂氧原料..... 13
 - 2.1.8 鋇氧原料..... 13
 - 2.1.9 氧化鋅..... 14
 - 2.1.10 氧化鉛..... 14
 - 2.1.11 玻璃屑..... 14
- 2.2 副原料..... 14
 - 2.2.1 熔劑..... 14
 - 2.2.2 氧化劑、還原劑..... 15
 - 2.2.3 澄清劑..... 15

- 2.2.4 着色劑、消色劑..... 16
- 2.2.5 不透明劑..... 17
- 2.2.6 其他的成份..... 18

第三章 原料配合

- 3.1 玻璃的配合計算法..... 20
 - 3.1.1 從批料計算玻璃的組成..... 20
 - 3.1.2 從玻璃組成計算批料..... 23
- 3.2 批料的調整..... 25
 - 3.2.1 原料管理..... 25
 - 3.2.2 稱量及混合..... 25
 - 3.2.3 批料的均質度..... 26

第四章 玻璃熔窯

- 4.1 坩堝窯..... 30
 - 4.1.1 橫口式坩堝窯..... 30
 - 4.1.2 開口式坩堝窯..... 31
- 4.2 槽窯..... 31
 - 4.2.1 間歇式及連續式槽窯..... 31
 - 4.2.2 電熔融窯..... 38
- 4.3 熔融窯用的耐火材料..... 40
 - 4.3.1 坩堝..... 40
 - 4.3.2 槽窯用建材..... 41

第五章 熔融與熔融坯體

IV

5.1 批料加料法	45
5.2 熔融與澄清	46
5.2.1 玻璃化反應	47
5.2.2 澄清理論	48
5.3 玻璃的失透	49
5.3.1 失透現象	50
5.3.2 防止失透	51
5.4 玻璃坯體所出現的缺陷	52
5.4.1 結石、節疤、起筋	53
5.4.2 氣泡	54

第六章 玻璃成形法

6.1 人工成形法	56
6.1.1 徒手吹製法	56
6.1.2 加壓成形法	57
6.2 機械成形法	58
6.2.1 壓形機械	58
6.2.2 拉管機械	58
6.2.3 平板玻璃成形法	59
6.2.4 製瓶機	62
6.2.5 燈泡玻璃機	67

第七章 玻璃的退火

7.1 熱的應變	70
7.1.1 應變的發生	70
7.1.2 應變檢驗	71
7.1.3 應力的消除	72
7.1.4 強化玻璃	72
7.2 退火操作	74
7.2.1 退火溫度	74
7.2.2 退火窯爐	75

第八章 光學玻璃

8.1 光學玻璃的特性	77
8.2 原料及調配	78
8.2.1 原料	78
8.2.2 調合	79
8.3 熔融坩堝	79
8.3.1 原料土的配合	79
8.3.2 成形	80
8.3.3 乾燥	80
8.4 熔融、攪拌、冷卻	82
8.5 粗選、裝模、精密檢查	83
8.6 精密退火	84
8.7 成形、研磨	84

第九章 玻璃性質及試驗法

9.1 玻璃構造	86
9.2 比重	88
9.2.1 玻璃的組成與比重	88
9.2.2 比重的測定	89
9.3 黏性與表面張力	91
9.3.1 玻璃的黏性與特性溫度	91
9.3.2 玻璃黏度測定法	93
9.3.3 玻璃的表面張力	94
9.4 機械性質	95
9.4.1 彈性	95
9.4.2 機械強度	96
9.4.3 硬度	98
9.5 熱的性質	99
9.5.1 熱膨脹	99
9.5.2 比熱與熱傳導率	99

9.5.3	耐熱性.....	101	10.4	紅外線吸收與透過的玻 璃.....	123
9.5.4	玻璃與金屬的熔 封.....	102	10.4.1	紅外線(熱線) 吸收玻璃、護眼 玻璃.....	123
9.6	化學的耐久性.....	103	10.4.2	僅通過紅外線的 玻璃.....	124
9.6.1	玻璃組成與化學 的耐久性.....	103	10.5	無鹼玻璃.....	124
9.6.2	化學耐久性試驗 法.....	104	10.6	感光玻璃.....	125
9.6.3	玻璃侵蝕機構.....	106	10.6.1	透明着色玻璃.....	125
9.7	光學性質.....	106	10.6.2	乳白感光玻璃.....	125
9.7.1	折射率.....	106	10.6.3	測量放射線玻璃	125
9.7.2	光的透射、吸收 和反射.....	108	10.7	放射線防護玻璃.....	126
9.7.3	色玻璃.....	109	10.8	玻璃陶瓷.....	126
9.8	電氣性質.....	111	10.8.1	組成對玻璃結晶 化的影響.....	127
9.8.1	電導度.....	111	10.8.2	晶粒的大小與強 度.....	128
9.8.2	介電特性.....	111	10.8.3	性質及用途.....	129
第十章 其他玻璃					
10.1	玻璃纖維.....	115			
10.1.1	玻璃纖維的製造	115			
10.1.2	玻璃纖維的特性 及用途.....	116			
10.2	泡沫玻璃.....	120			
10.3	透過及遮斷紫外線玻璃	121			
10.3.1	透過紫外線玻璃	121			
10.3.2	同時透過紫外線 、可視光及紅外 線的玻璃.....	122			
10.3.3	遮斷紫外線玻璃	122			

第一章 總 論

1.1 玻璃的語源

玻璃〔Glass (英語), Glas (德語), 日本則將英德語直接發音的〕。從古代的希臘語, 可以關連到玻璃及晶體 (Crystal) 即 Hyals 及 Krystal 二字, 古代的拉丁語, 也有由 Hyalus 及 Crystollus 而來的語字。

紀元前一世紀左右, 拉丁語出現 Vitrum 一詞, 用於今日之玻璃。這就轉變成法語的 Uerre, 意大利語的 Vetro, 西班牙語的 Vidro (日本古語中稱玻璃的發音就是由此西班牙語而來) 等。

德國因為從羅馬所進口的 Vitrum, 與裝飾用的琥珀類似, 遂由拉丁語的琥珀之 Glasum 一詞而轉注成 Glass。

1.2 玻璃的歷史

在玻璃語源的記載中, 古羅馬時代的科學家白林尼氏 (Pliny, A.D. 23 ~ 73), 在其著作中有關玻璃者, 做如下之記述: 「古時腓尼基商人在地中海的東海岸 (敘利亞的培留斯河口附近的海岸) 炊事時, 發現用做爐灶壁的碳酸鈉 (或記載為硝石) 固塊, 由於火熱遂與砂結合, 而成為玻璃。」這是特別著名的記載。因此遂公認為是創造玻璃的開端。但此腓尼基商人活躍着前數百年, 古代的埃及所用的裝飾品, 擬似寶石等, 現經發掘而認這才是世界最古的玻璃, 推測年代將是 BC 7,000 ~ 3,000 年。這些玻璃, 是自陶瓷器的釉藥發展而來的, 所以都是些有色玻璃。

無色透明玻璃是本有的特色, 這種玻璃, 大約在 BC 200 年左右才出現的。同時在這個時代, 才開始發現吹桿, 用鐵管的先端, 蘸取玻璃熔物以製作玻璃瓶等, 這步革新的操作, 是玻璃工業上的一次成功的生產革命。其結果使玻璃從奢侈品轉而成為日用品。

玻璃成為工業材料, 那又是在紀元後的事。約在十二世紀左右, 製造出窓用玻璃, 十六世紀才考慮到光學玻璃。十七世紀因望遠鏡的研究而使鉛玻

2 玻璃學

璃發達，十八世紀初期發明消色透鏡。

1873 年，在比利時製造了平板玻璃，到了二十世紀，窓玻璃的圓筒機械吹製法，是美國人魯伯氏 (Lubbers) 發明。接着美國人古拜氏 (Colburn) 在 1906 年完成平板玻璃引上式製造法。1916 年比利時人浮戈德 (Fourcoul) 也完成平板玻璃的引上式製造法。1920 年玻璃管 (Danner 機)，燈泡 (Westlake 機) 等的玻璃製造機先後完成設計製造，如是各種玻璃的製造法，到了二十世紀以後，就急速地進步而發達。製瓶機是在十九世紀末由英國發明，其後美國在 1925 年左右由 Owens 及 Libbey 等的研究，發明性能良好的自動瓶機。並可製造各種玻璃容器。

玻璃的種類，近年來也逐漸增多，光學玻璃、電氣用玻璃等，其品質的提高，產量的增加，極為突出。接着玻璃的新性質新用途，也接二連三的發現與進展，殺菌燈用玻璃及利用玻璃纖維的各種材料，尤其是強化塑膠，泡沫玻璃的製造，以及近來的感光玻璃的研究及 γ 線或中子等遮蔽用玻璃的製造研究，更有 1957 年美國發明的結晶化玻璃，又給玻璃在工業材料中，展出新的境地。

玻璃工業的歷史前後經過 3,400 年，察考各國的製品及資料時，就可以瞭解玻璃是如何地在世界各國的廣大區域內傳播着。

埃及的古時王朝時代，亞歷山大及敘利亞的西頓為中心之玻璃產地，到了羅馬時代就擴展到歐洲各地，羅馬的玻璃還經過中央亞細亞千里迢迢地傳到了中國，其技術也逐漸從西方移向東方，古代日本的玻璃，也來自中國。

中世紀，在伊斯坦



第 1 - 1 圖 腓尼基人從爐灶中
發見玻璃的生成



第 1 - 2 圖 古代的玻璃製品

堡的玻璃技術分爲東和西，而產生了回教寺院的建築玻璃（Saracenic glass），與基督教寺院的着色玻璃（Stained glass）。奠定近世玻璃工業的基礎之威尼斯的玻璃技術，傳到德國、英國、荷蘭等地。這些玻璃的傳統，促成了現在兩個極端的玻璃工業：美國的工業與芬蘭的工藝，而且世界各國的玻璃工業的進步，亦蒙受影響。

約在 2000 年前日本的爾生式文化時代的遺跡，玻璃璧和銅鏡一同出土同時又從靜岡的登呂出現鈷色的玻璃小珠，這些可能是當時由中國所輸入者。到了三～六世紀古墓時代掘出的遺物，證明日本此時已經可以製作珠類及手鐲。

日本的玻璃製造，由於佛教的傳播，自飛鳥時代至奈良時代（6～8 世紀）盛極一時，到了平安時代，因風俗的變化並受到中國瓷器發達的餘波而衰退，以致於完全忘掉該項技術。到了 1549 年葡萄牙人訪問日本，將學問分爲文藝與科學而傳播。玻璃的製法也輸入（1570 年），元和年間又開始在長崎製造，再經大阪，於天保年間又傳到江戶（現在之東京）。當時將玻璃叫做 Vidro. diamant（荷語）非常受人們的珍惜。

玻璃工業所以能成爲廿世紀的近代工業，主要是由於德國的西門氏（Siemens）兄弟發明的槽窯（Tank furnace）。各國的玻璃工業才有可能成爲近代的大量生產的形態。同時後來對於玻璃工業的量發展，主要還是靠美國的機械工業的發達，以及十九～二十世紀間持續的種種發明。例如平板玻璃引上機、自動製瓶機、燈泡自動成形機等等的先後發明問世。

再者將日本的玻璃工業的發展經過，單用時期年代來分時，可以大別爲以下的五個時期（按日本玻璃工業史）。

第 1 期	古墓遺跡時代	唐式（中國）	紀元前 600 年
第 2 期	正倉院小珠時代	唐式（中國）	600～950 年（約 350 年）
第 3 期	Vidro-diamant 時代	荷蘭式	1500～1880 年（約 330 年）
第 4 期	導入歐洲技術時代	英式德式	1880～1915 年（35 年）
第 5 期	自動形成機時代	美式	1915 年以後

從其玻璃工業發展的經過看來，並非漸進的，而有躍進的感覺。

1.3 玻璃工業的現狀

玻璃可以說與人類的起源相同，也是跟着文化的進展而成長的。現在已成爲物質文明的要素之一，並非誇大之詞。玻璃工業的製造技術，從父子相傳的秘法開始，在其工業上的價值，自極爲微小。近代的玻璃工業能產業化

4 玻璃學

地進展，要算在第一次大戰所給與的技術、設備、經營組織等方面，做了有劃時代的改革，方成為近代的形態。但是玻璃製品，形形色色，除了平板玻璃、瓶玻璃、燈泡等單一製品，另外還有很多依賴人工或半自動機械生產的。同時有些國家的低工資的關係，使機械化的進度顯著地遲緩，因此也可以小的規模經營，這也是玻璃工業的特質。

玻璃工業按其製品的種類，企業的形態及工廠管理的樣式等差別很大。生產規模最大，其企業形態也與其他者不同的，是平板玻璃工業。這是具有典型的近代的量產方式，需要大資本的大企業，否則無法經營。

玻璃瓶有用大型槽窯與全自動成形機製造廠，亦有中小槽窯與半自動機製造者，二者企業的形態，自有不同。全自動機製瓶是計量法的，其容量及重量有精密地規定，嚴格地控制生產為主，因此企業規模也大。但製品的種類因固定而範圍較狹。半自動機的計量的精確度要求不太嚴格，適合於生產個數比較少而種類雜多者，同時製品品種的選擇，自由度較大。

燈泡、日光燈、真空管及其他電氣機械的零件之玻璃製品，與玻璃以外的其他零件的精密組合作業有密切的關係，雖是玻璃工廠，但經營者很多都是電氣機械公司，或有資金來往之關係公司。最近電子儀器的顯著發達，與各種電子材料同樣地對於玻璃材料也有種種新的特性的要求，這方面的玻璃的研究將是一很大的課題。

光學玻璃具有完全特異的性質。是以品質極端精巧以精密為要務的工業。玻璃纖維、溫度計及理化學用玻璃等都按各別的目的對品質的精度各有其要求。可以說玻璃工業中有其精密性格的工業。

一般由多數的中小企業經營的玻璃工業，在日用品中，有各種容器玻璃（杯、餐具）、裝飾品、化粧品、熱水瓶、藥瓶等，多數使用坩堝或小型槽窯。其在玻璃生產中，也佔有很大的部份。

1.4 玻璃的分類

何謂玻璃，欲研究其正體是極為困難的問題。對於玻璃本質上的概念尚無一定的說法。這是因玻璃不像固體結晶，具有規則的原子排列，故無法簡單地究明該物質構造。到1932年左右才重視玻璃的構造、組織，從而開始研究，促進了大戰以後的基礎研究，並且對於構造方面的理論研究也有所進展，不過對於玻璃的本質還是沒有完全明白。

多數的液體在冷卻時，到達一定溫度後，遂有凝固生成結晶的特性，但某種液體冷卻時，却遂漸增加黏性而不會凝固，最後也不產生結晶而成堅硬

的固體。這種物質若再自常溫加熱時，又會逐漸軟化而再度成為液體，但又不像結晶物質顯示出一定的熔點。這種非結晶的凝固物系為玻璃之狀態（glassy state）物，而具有此狀態的物質，叫做玻璃。但是以此做為玻璃的定義時，有機物中很多物質也具有同樣的狀態，因此與無機物質之玻璃在本質上就無法區別。玻璃應該是指熔融體在冷卻的過程中不會析出結晶，而可以固化的無機物質。

按照 ASTM（1941 年）的解釋，玻璃是將熔融體冷卻，其間不會析出結晶而固化的無機物。有些玻璃會含有非玻璃物質，這些必需包含在玻璃質的內部。同時有適當的物質在玻璃中溶解呈分散狀態時，該玻璃遂被着色。按此定義時，玻璃應是不包括有機物在內的。同時乳白玻璃及有色玻璃是表示有非玻璃質分散其中的。

玻璃的名稱，自古以來，因立場很多，因此種類名稱也很多，欲從理論上做一貫的分類，是不可能，因此沒有一完整的分類法。

玻璃的分類係根據玻璃的組織、製法、用途、色、形狀等去從事，欲就其中之一，則無法做全領域的完全分類，通常都是採用按構成玻璃之組成來分類的。

1.4.1 按組成的分類：

1. 矽酸鹽玻璃

- a. 矽酸玻璃（以 SiO_2 為主成份）：熔融石英玻璃
- b. 矽酸鹼玻璃：水玻璃
- c. 鉛鹼玻璃：鉛玻璃（Flint glass）、水晶玻璃
- d. 鈉玻璃：平板玻璃、瓶玻璃
- e. 鉀玻璃：Bohemian glass，水晶玻璃
- f. 鋇玻璃：Barium-Flint glass，無碱鋇玻璃

2. 硼矽酸玻璃：

酸性成份是含有 B_2O_3 及 SiO_2 的玻璃。碱性成份通常是含有碱及 Al_2O_3 。另外有以 RO 代替碱而成為低碱或無碱玻璃。

3. 磷酸鹽玻璃：

與 B_2O_3 或 SiO_2 中，另含多量的 P_2O_5 為酸性成份的玻璃，並導入適當量的碱及碱土類氧化物之特殊玻璃。現已實用化。其大部份由 R_2O ， RO ， R_2O_3 等所修飾的硼磷酸玻璃，被應用於光學玻璃，過濾器及特殊管玻璃等。

6 玻璃學

1.4.2 從玻璃的形狀，用途的分類：

1. 平板玻璃：

- a. 薄板玻璃：透明及不透明窗玻璃
- b. 厚板玻璃：普通厚板、花板（有花紋）嵌網板玻璃
- c. 安全玻璃：粘合玻璃、強化玻璃
- d. 鏡玻璃

2. 容器玻璃：

- a. 家庭用器具玻璃：鈉玻璃、水晶玻璃
- b. 照明用玻璃：壓形玻璃（信號燈、玻璃蓋），吹成玻璃（燈罩，日光燈管、燈泡）
- c. 電子管玻璃：真空管、X線管、映像管
- d. 理化學用玻璃：化學抵抗性玻璃、耐熱性玻璃
- e. 醫療用玻璃：注射筒、安培瓶
- f. 瓶玻璃：無色、着色玻璃

3. 纖維玻璃：長纖維、短纖維

- 4. 光學玻璃：無鉛玻璃（Crown glass），鉛玻璃（Flint glass）、濾器玻璃、人造寶石。

習 題

- 1. 試比較各國玻璃工業的發展過程。
- 2. 試述玻璃工業現狀中，大企業與中小企業所屬的品種。
- 3. 何謂玻璃。
- 4. 試從組織上將玻璃分類之。

第二章 原料

2.1 主原料

玻璃的原料很多，其中有為玻璃之主成分者，叫做主原料。相對地，為了賦與玻璃某特殊性質，並為製造操作容易而加入者，稱為副原料。

2.1.1 矽酸原料 矽酸成分是玻璃主要成分中最為重要者。工業上所製造的玻璃，其中含矽酸量佔 $\frac{1}{2}$ 至 $\frac{3}{4}$ 左右。用為玻璃原料之矽酸原料，天然出產雖豐，但可以用做玻璃原料者，則屬有限。通常是使用矽酸的結晶細粒之天然矽砂，及經細碎之矽石。

1. 矽砂的化學成分 天然的矽砂，在地質學上分為殘留矽砂與沉積矽砂二類。都是火成岩經崩壞作用而瓷土化所生成者，主要的石英粒殘留於原位置者叫做殘留矽砂，因雨水的作用而流動，受到水簸作用而沉積者稱為沉積矽砂。

矽砂的化學成份，因其生成條件而有所差異，並含有 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 K_2O 、 Na_2O 、 CaO 、 MgO 、 TiO_2 等的不純物。其中，除 Fe_2O_3 以外，如果少量時，對於玻璃並不會有太大的壞的影響。第2-1表是表示矽砂的分析例。

第2-1表 玻璃原料用矽砂的分析表

產地	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	TiO_2	灼熱減量
德國矽砂	99.88	0.18	0.02	—	—	—	0.21
英國矽砂	99.80	0.32	0.03	0.04	—	—	0.22
Cam Ranh矽砂 (越南)	99.59	0.16	0.04	0.02	0.02	—	0.13
九味浦矽砂 (韓國)	98.04	0.58	0.23	0.27	0.09	—	0.34
伊豆矽砂 (日本靜岡)	98.02	0.81	0.12	0.06	0.04	0.35	0.48

3 玻璃學

瀨戶砂砂 (日本愛知)	98.31	0.86	0.08	0.08	0.08	0.06	0.93
土岐津砂砂 (日本岐阜)	95.65	2.18	0.033	Na ₂ O 0.14	K ₂ O 1.75	—	0.29
台灣砂砂 (台灣北埔)	97.07	1.56	0.060	—	—	—	0.20
台灣砂砂 (台灣苗栗)	96.29	1.88	0.081	0.03	tr.	0.08	0.23
台灣砂砂 (台灣南勢角)	99.10	0.07	0.029	Na ₂ O 0.061	K ₂ O 0.007		

砂砂的不純物中的 Fe_2O_3 會使玻璃呈青綠色，但有些玻璃雖有 Fe_2O_3 着色也不妨者。但一般是盡量要求無色透明的玻璃。所以盡可能使用鐵份少的砂砂及砂石。例如光學玻璃以其透明性非常重要者，故其 Fe_2O_3 的最高容許量，就要求在 0.02%，所以使用的砂砂，其氧化鐵的含有量必需低於此值。

同時殺菌燈用玻璃是要求在 2,500Å 附近的波長的紫外線能充分通過，所以砂石必需選擇 Fe_2O_3 的含有量在 0.001% 以下。進入於玻璃中的 Fe_2O_3 不僅來自砂砂、砂石，其他的原料也會進入，玻璃熔融時坩堝及窯爐的爐材中的鐵份也會溶出，所以必需充分注意這些的鐵份含有量。

砂砂、砂石中的 Fe_2O_3 所容許含量的限度，因玻璃的種類、品質的程度而不同，但可按下表選擇。

第 2 - 2 表 砂砂原料的鐵份容許量

玻璃的種類	Fe_2O_3 含有量的容許限度(%)
殺菌燈及紫外線透過玻璃	0.001
光學玻璃、水晶玻璃	0.02
餐桌用玻璃	0.04
鏡玻璃、厚板磨光玻璃	0.06
窗玻璃、一般玻璃器具、理化學用玻璃	0.1
青綠色瓶	0.3
綠色瓶、琥珀 (Amber) 色	1.0

2. 砂砂的精製 採出後的砂砂，通常混有粘土份及其他的氧化物、碳酸鹽或有機物。這些可以用篩分或水洗等簡單的方法除去，並能提高砂砂的品質，氧化鐵等常常成為矽酸鹽而混入時，除去時就比較困難，此時只有使用磁石分離器，或用硫酸及鹽酸酸洗。

3. 砂砂的粒度 玻璃用的砂砂、砂石，其粒度要在適當的範圍內。粒度過大時，不但熔融時間過長，且玻璃會成不均質，並容易出現結石 (Stone) 等缺陷。過細時則在調合中容易飛散，及因潮氣而會有固結等缺點。

同時坩堝窯的熔融與槽窯的熔融，對於其粒度的要求也不同。坩堝窯的熔融比槽窯的熔融時間短，熔融玻璃面上的氣流較為緩和，所以使用粒度較細者其熔融速度比較快。相反的，槽窯因火焰及燃燒氣體在玻璃面上會急激流動，微細粒子在熔融以前容易被氣流吹走。因此無法得到所期望的玻璃組成，同時飛散的原料，會侵蝕窯爐的上部構造及蓄熱或換熱室的爐材，並且顯著地妨害熱交換的機能。因此槽窯熔融用者應選擇比較粗粒 ($0.25 \sim 0.50$ mm) 者，尤其是有微粒混在時，會引起延後熔融、脈理、結石等缺點的原因。第 2 - 3 表是表示砂砂的適當粒度範圍。

第 2 - 3 表 玻璃用砂砂的粒度範圍

最 高	最 適 當 粒 度 範 圍	最 低
坩堝窯用 $200\mu(70\text{mesh})$	$180 \sim 150\mu(80 \sim 100\text{mesh})$	—
槽 窯 用 $600\mu(30\text{mesh})$	$500 \sim 250\mu(35 \sim 60\text{mesh})$	$100\mu(140\text{mesh})$

將軟質的砂石或砂岩粉碎後，可以製作人造砂砂。此種原料美國極為豐腴。日本則利用伊豆砂砂做為平板玻璃的原料，最近則使用瀨戶地區的砂砂。下圖是表示砂砂的砂粒。



第 2 - 1 圖 伊豆砂砂的碎粒， $\times 20$
 $20 \sim 60\text{mesh} (37.09 \%)$



第 2 - 2 圖 Cam Ranh (越南)
砂砂的砂粒， $\times 15$

2.1.2 鋁氧原料 幾乎所有的實用玻璃除主成份之 SiO_2 外，還含有 Al_2O_3 與 Fe_2O_3 。玻璃的鋁氧 (Al_2O_3) 原料是長石，也是供給 SiO_2 的原料，和碱成份的補給原料。依長石中所含有的碱的種類而有正長石 ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$)

10 玻璃學

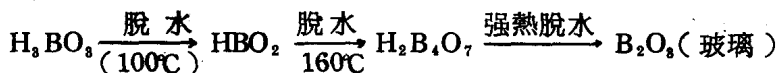
)、鈉長石 ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$)、鈣長石 ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) 等。日本所產出的很多是正長石中混有鈉長石者。用做玻璃原料之鐵份比較少者，易於獲得，玻璃化也容易，所以只要品質安定，長石用做玻璃原料是非常適當的。但是長石中所含有的碱的種類與含有量有所差異，用做玻璃原料時，必需充分了解其化學成份，以便於調整玻璃的組成。

第 2 - 4 表 鋁氧原料的分析表

產地	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	灼熱減量
金丸長石 (日本新潟)	68.52	17.31	0.29	0.14	0.13	2.61	10.42	0.58
益田長石 (日本島根)	67.23	18.01	0.18	0.13	0.03	3.10	10.60	0.66
田上長石 (日本滋賀)	64.42	21.00	0.34	0.20	0.10	12.22	2.41	
丹生長石 (日本三重)	76.45	13.75	0.49	0.53	0.26	4.06	2.34	
歐洲長石	65.50	19.65	0.104	0.52	—	10.50	3.40	0.25

鋁氧原料除長石外，還有化學處理而製成的氫氧化鋁 $\text{Al}(\text{OH})_3$ ，及氧化鋁。這些是由鋁礬土 (Bauxite, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 及其他的高鋁質粘土等所製造者，純度高，多用在不希望有不純物的高級玻璃中。其他補給的鋁氧，則用天然原料如水鋁石 (Gibbsite) 及高嶺土，因含有不純物及鐵份，所以使用時必需特別注意。

2.1.3 硼酸原料 玻璃成份中要加 B_2O_3 時，使用的原料有硼酸 (H_3BO_3) 或硼砂 ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) 二種。硼酸都是工業製品，是由南美及加州產的硬硼酸鈣石 (Colemanite, $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 為原料，供給世界大部份的需要。硼酸加熱時會分解，經過偏硼酸、焦硼酸，最後變成 B_2O_3 的單成份的玻璃。



將 B_2O_3 玻璃在空氣中放置時，則吸收潮氣而生上式的逆反應。

硼砂加熱時，也會在 50°C 左右失去 $5\text{H}_2\text{O}$ 而成 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ，到 80°C 時再失去 $3\text{H}_2\text{O}$ ， 200°C 時成為 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 。再加熱至 $350^\circ \sim 400^\circ\text{C}$ 時就成為 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 。而 747°C 時就熔融而成為玻璃的狀態。

玻璃成份之 B_2O_3 具有低膨脹性、化學的耐久性、耐熱性等，使玻璃能發

揮其優秀性能，故為硼矽酸玻璃的主要成份。原料中，硼砂比硼酸價廉，所以在許可的範圍內應使用硼砂。但硼砂除 B_2O_3 外，同時還含有 $\frac{1}{2}$ 的 Na_2O ，所以如果玻璃組成的 Na_2O / B_2O_3 分子比在 $\frac{1}{2}$ 以下時，則硼酸原料就無法完全由硼砂充當。因此高硼酸低碱玻璃，或無碱硼酸玻璃就需要使用硼酸。

2.1.4 磷酸原料 以前 P_2O_5 並非玻璃的主成份，而只能賦與玻璃乳濁色之副原料，即一直被用做乳濁原料，但因磷酸玻璃的特性，尤其是具有優秀的紫外線透過率，所以近年逐漸進行研究，使 P_2O_5 成為玻璃的主體。磷酸的原料有磷酸鈣 $[Ca_3(PO_4)_2]$ ，磷酸鈉 $(Na_4P_2O_7)$ ，磷酸鋁 $(AlPO_4)$ 等，另外也有使用 $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$ 等酸性磷酸鹽者。尤其在磷酸玻璃中，常與鋁氧成份同時使用的情形很多，故磷酸鋁亦可做為原料。

2.1.5 碱原料 碱與 SiO_2 、 CaO 同樣地是玻璃的重要成份。玻璃中能供給 Na_2O 的原料是碱鹽類，其中有 Na_2CO_3 、 Na_2SO_4 、 $NaNO_3$ 、 $Na_2B_4O_7$ 等。

1. 蘇打灰 (碳酸鈉, Na_2CO_3) 最主要的 Na_2O 的供給來源是使用碱灰 (Na_2CO_3)。近年來都是使用氨蘇法 (Ammonia-soda Process) 所製造之蘇打灰，但此物又可分為輕灰 (light ash)、重灰 (dense ash)、粒灰 (granular ash) 三類。輕灰的外觀比重約 0.7 ~ 1.0 的輕粉末，將其加入適當量的水，製成含水碳酸鈉 ($Na_2CO_3 \cdot 3H_2O$) 的結晶，若將其煅燒時，則可得重灰 (比重 1.2 ~ 1.5)。將輕灰在 850 °C 以上熔融，使熔融物流出時，用空氣吹，使其成為粉末狀者就是粒灰 (比重 1.5)。

做為一個玻璃的原料時，和矽砂一樣的比重大者較佳。所以玻璃中以重灰或粒灰較為適當。又蘇打灰是化學工業藥品，與天然原料不同，關於不純物的問題，在玻璃的製造上並不會有什麼妨礙。

2. 芒硝 (硫酸鈉, Na_2SO_4) 硫酸鈉又稱芒硝，是化學工業的副產品，以人造絲的紡紗製造中，此種副產品最多。另外在硫酸製造及製鹽中，芒硝產量也不少。

用做玻璃原料的芒硝，以脫水芒硝較好。芒硝中不純物有 $NaCl$ 、 SO_3 、 Fe_2O_3 等。用做玻璃原料者純度在 95 ~ 97 % 左右。 Na_2SO_4 與 SiO_2 的反應從 1,200 ~ 1,220 °C 開始，到了高溫時其反應也進行緩慢。相反的，亞硫酸鈉 (Na_2SO_3) 與 SiO_2 的反應就容易進行，所以要促進 SiO_2 與 Na_2SO_4 的反應，只要將硫酸鈉還原成亞硫酸鈉即可。因此在原料的配料中添加無煙煤、焦炭等的碳素物質做為還原劑時，就可以將 Na_2O 成份導入於玻璃成份