

科學圖書大庫

——超精密材料——

新玻璃的世界

校閱者 劉東昇 鄭武輝
譯者 曾煥華

徐氏基金會出版
世界圖書出版公司 重印

科學圖書大庫

——超精密材料——

新玻璃的世界

校閱者 劉東昇 鄭武輝
譯者 曾煥華

徐氏基金會出版
世界圖書出版公司 重印

新的玻璃世界

曾焕华 译

徐氏基金会 出版

世界图书出版公司 重印

(北京朝内大街 137 号)

北京中西印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1991年10月第1版 开本: $850 \times 1168 \frac{1}{2}$

1991年10月第1次印刷 印张: 4.25

印数: 001—900

ISBN 7-5062-1035-1/TS·16

定价: 3.20元

本书经徐氏基金会特许世界图书出版公司重印

限国内发行 1991

前 言

在使用雷射的光通信不可缺少之光纖維問世以來，玻璃的確成為近代的超精密機能材料。在必須提防十億分之一單位不純物之混入的製造過程，以往的玻璃製造技術根本無用武之地，而有賴於開發精湛的新技術。

而且，就其物性來說，玻璃長達一〇〇公里的透明度，是身為機能材料始祖的光學玻璃根本想像不到的事。現在，除了玻璃以外，尚無法製造出在固體狀態下透明度到達一〇〇公里的物質。

在三千年以前就與人類生活發生關係的玻璃，由於電子學或光電子學的需要而有了很大的變化，玻璃開始成為超精密機能材料。

但是，「玻璃是什麼？」這個問題，不易給予正確的回答。對於像我們被視為專家的人來說，這尤其困難。雖然乍見之下這種說法與常識相反，但的確如此。

在半世紀以上，坦曼（Gustav Tammann, 1861 ~ 1938）把玻璃定義為「被過份冷卻而處於固體狀態的液體」。但是，輪廓愈明確的定義，往往愈缺乏所包含的資訊。如果愈深究玻璃，

則愈不易把握其內容。有些地方，無論X射線或電子射線或中子射線或SOR（同步加速器放射光）都不能到達，我們也無能爲力了。

另一方面，當做超精密材料的玻璃，在各方面有了令人驚異的發展。雖然其最尖端經常動搖而難以捉摸，但在本書已經盡量介紹其整個概要。因此，雖然承蒙各界提供寶貴的資料，可惜無法介紹其細節。除了衷心感謝提供資料的各位先生之外，尚祈讀者諒解此點。

目 錄

前言.....	I
第一章 透明度與玻璃.....	1
摩周湖與玻璃.....	1
透明度的追求.....	3
玻璃爲什麼透明？.....	4
損害透明度的是什麼？.....	7
第二章 透明度的最後目標.....	9
包圍地球的光纖維.....	9
光通信用玻璃纖維.....	12
光纖維改變了世界.....	22
映像纖維.....	24
纖維透鏡.....	27
第三章 光與玻璃.....	34
窺視宇宙的大型望遠鏡.....	34

向核融合反應挑戰的雷射玻璃.....	37
反覆無常的玻璃.....	40
機能材料的始祖—光學玻璃.....	43
GRIN 透鏡	47
板型透鏡.....	50
防止光反射的玻璃.....	51
光的玻璃閥.....	54
光儲存器.....	55
明暗自如的玻璃.....	58
柔軟的水晶體.....	60
音響光學元件玻璃.....	64

第四章 玻璃是硬的液體..... 66

玻璃是什麼？.....	66
玻璃狀態的特徵.....	71
穩定的溶液及不穩定的玻璃.....	74
穩定的溶液及不穩定的溶液.....	78
可以成為玻璃的物質.....	82

第五章 玻璃與顏色..... 86

哈佛大學的玻璃工藝品.....	86
容易顯出的顏色及不易顯出的顏色.....	88
玻璃的著色.....	92

	玻璃會感光.....	97
第六章	玻璃的製造.....	100
	最初的玻璃—黑曜石.....	100
	玻璃製造法的變遷.....	102
	不溶化也可以製造玻璃.....	102
	用電腦製造玻璃.....	106
第七章	稍微特殊的玻璃.....	110
	放射性廢棄物固定用玻璃.....	110
	超音波延遲玻璃元件.....	112
	生物玻璃.....	113
	二次電子倍增管用玻璃.....	116
	空心玻璃微小球.....	116
	玻璃圓盤及光罩.....	119
	氧族玻璃.....	121
	玻璃的陶瓷器—結晶化玻璃.....	124

第一章

透明度與玻璃

摩周湖與玻璃

日本北海道的摩周湖曾經誇耀是世界上透明度最高的湖。事實上，它在一九三一年測定時，曾創造了透明度四一·六公尺的記錄，超過蘇俄貝加爾湖的透明度有一公尺。在測定透明度時，是把直徑約三〇公分的全白圓盤沉入水中，以最後看不見圓盤的深度當做透明度。從水面進入的光，在被圓盤反射再回到水面以前，有的被浮游的塵埃或泡沫散射，另有一部份被水的分子吸收。

若詳細說，被吸收者是波長比肉眼可以感覺的可視光線之紅色稍長的近紅外部光線，而紅色光的末端之一部分也順便被吸掉。因此，若水的深度增加，則視界逐漸變成青一色，到了約二百公尺深處後，就成為整天黑暗的世界。大冰山的影子呈青色；以及填滿於白色浴槽的水略帶青色，也都是同樣的道理。

那麼，密度比水高很多並被視為典型的透明固體——玻璃，其透明度如何？晴天從新幹線列車窗口眺望出去富士山顯得格外燦爛，

2 新玻璃的世界

不會有人懷疑玻璃窗的透明度。但是，假定有厚得出人意外的玻璃窗，而仿照摩周湖測定其透明度則會怎樣？玻璃窗因含有約0.1%的氧化鐵而呈淡綠色，故即使厚度只有二公尺也會變成暗綠色而失光。

從前，最透明的玻璃，是在透鏡或稜鏡使用的光學玻璃。在製造光學玻璃時，選擇純度高的原料，以控制混入的氧化鐵在0.001%（10 ppm）以內，若厚度二公尺還好，但如果厚度（也可以說是長度）達到一〇〇公尺，則光線恐怕無法穿過。於是，透明度冠軍的寶座，終於被擅長於長距離傳輸的光通信用玻璃纖維奪走了。

現在，就超高純度玻璃纖維來說，光可以通過的距離在實用品為二萬公尺，至於特殊的則有超過二〇萬公尺的。如果在水深一萬公尺的日本海溝填滿此種玻璃，則在天氣晴朗時用肉眼也可以看到海底。

但是，人類求進步的慾望永無止境。如果從日本至美國，透過太平洋的海底鋪設沒有接縫的光纖維，則即使在日本投入的光在經過一萬公里長玻璃內之間減衰之餘，其大部分也應該可到達美國。由於現有的矽酸鹽系玻璃無法充分滿足這個需要，故已經在世界各地研究鹵化物玻璃之實用化，並且於一九八八年在東京舉辦鹵化物玻璃的國際性研究會。

儘管話題是突然從地球上最透明的光通信用玻璃纖維開始，但是從前的玻璃並不見得怎麼透明，而是經過了幾千年悠久歷史之後，玻璃才獲得了現在這樣的透明度。

透明度的追求

在奈良正倉院的國寶之中，有種叫做白琉璃碗的華麗彫花玻璃器具。在其厚而透明的表面，依龜甲型排列了八〇個圓形凹處，由每一個凹處反射及曲折的光線映像所交織成的複雜幾何學花樣非常引人注目。由於從裏海南岸挖出了許多同一類的東西，故這可能是七世紀左右在其附近製作的。

在歐洲的博物館常可看到一些西元前一五〇〇年左右埃及製作的玻璃壺，雖然把手的部分是半透明的，但壺體不透明，其所施的花樣顯然係依賴玻璃工藝特有的技法所製成的。（並非依據透明性。）

追溯玻璃的歷史，其起源並不明確。但回顧到西元前二五〇〇年左右的建築用磁磚已使用釉子，即可以推測與釉子同質的玻璃發源於此時期。

上述的埃及製玻璃壺，係把黏土及砂塊安置於橋的尖端，在其表面一點一點地塗上高溫的軟玻璃造形，冷卻後，掏出裏面的砂變成空心玻璃壺。這種砂粒心型（sand core）技法實在不易造出透明的玻璃器具。

到了西元前二〇年左右，以對安置於金屬桿尖端的高溫軟玻璃的方式製作空心器具之技法問世，加上熔化玻璃用的耐火性坩堝也發達，玻璃的透明性因而逐漸提高。

在使用坩堝之後，又發明了使高溫玻璃膨脹並予壓延的各種

成型法，到了三世紀時玻璃窗問世，十世紀時使用有色玻璃製造的華麗的彩畫玻璃（stained glass）出現。從十二世紀起，義大利的彩色裝飾玻璃（Ventician glass）流行了幾百年，不久之後也普及於波西米亞及北歐；另一方面，玻璃的透明性也日益增加。

在這潮流中，伽利略在一六一〇年開始利用組合玻璃製凹透鏡與凸透鏡製成的望遠鏡觀測天體，發現了木星的四顆衛星，並找出土星的環。從自然科學的發展看，這確是劃時代的事件。現在科學家很關心的所謂機能材料，以三八〇年前的玻璃最早，這是值得特別提及的事。

透鏡所使用的光學玻璃，除了透明度高以外，還需要具有均質性，即不含有泡沫或脈理等。況且每一種透鏡的折射率及分散等光學特性必須不同，故現在世界各地生產的光學玻璃已超過二〇〇種。

玻璃爲什麼透明？

如果把染料溶於水就會着色，若把泥土混在水中就會渾濁。不論那一種情形，如果程度嚴重即會失去水的透明性。但是，若想回答不含染料或泥土的水或玻璃爲什麼透明而讓光通過這問題，則需要一些知識。

一說到光，就容易只想到肉眼看得見的可視光線，但應該想到另有會燒肌膚的紫外線，或只會當呈熱感覺的紅外線存在。如果同時考慮在本質上光只是一種電磁波，並依波長的順序排列所

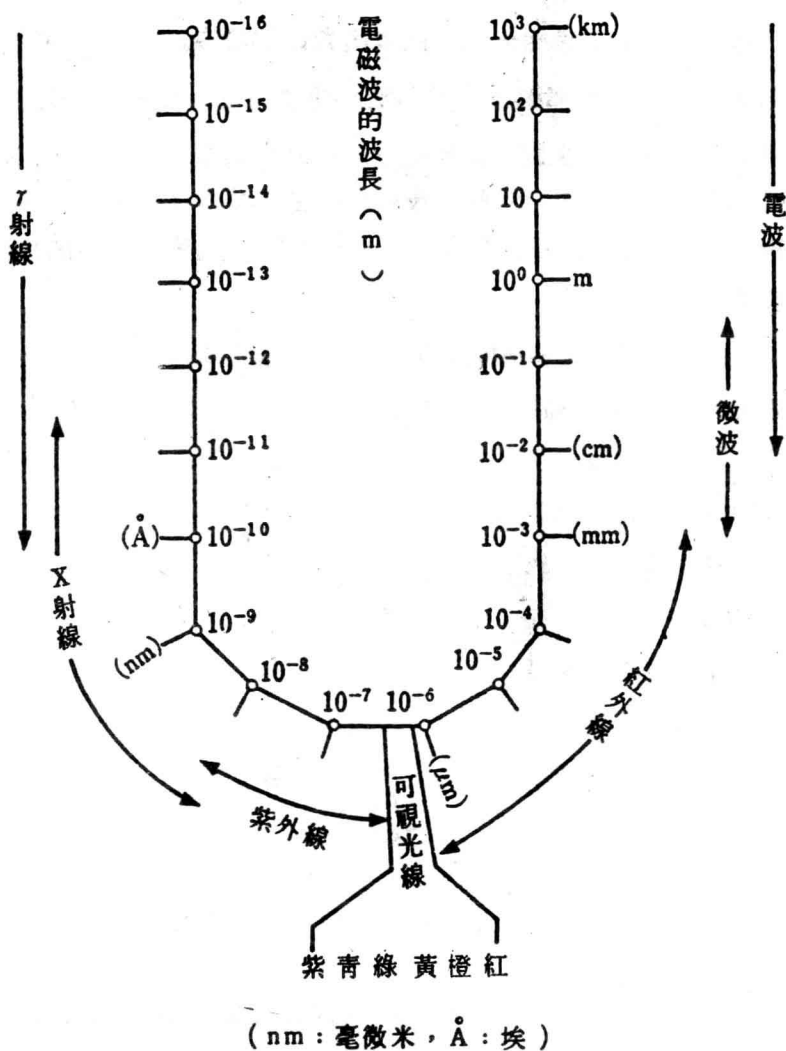


圖 1.1 電磁波的系列

有的光，則大約如圖 1.1 所示。

雖然玻璃的透明性十足，但其透光領域僅在以可視光線為中心向紫外部及紅外部稍微突出的狹窄範圍而已。在遠離這個領域的宇宙射線或電波區域，其電磁波只是路過玻璃而不入，但這又另當別論。問題在於，對於「玻璃為什麼不讓水及空氣通過，但却讓光通過？」這簡單的疑問，並無法單純地用豆與「篩」的比喻來解釋。

舉例來說，光要從與玻璃同樣體積但分子數只有玻璃千分之一的稀薄氬氣中脫出並不簡單。這是因為氬分子會吸收一部分的光所致，而所脫出的光呈黃綠色。

波長比可視光線長的紅外線，普通的玻璃不易透過。因為，在構成普通玻璃的各種原子之中，由一個矽離子及包圍它的四個氧離子構成而形狀接近於正四面體的原子團（圖 1.2），在常溫時也振動並且其振動數與紅外線周圍之光的振動一致，會將此種光線吸收。因此，在實驗室常見的紅外線吸定裝置，其透鏡或稜鏡不可以使用普通玻璃。

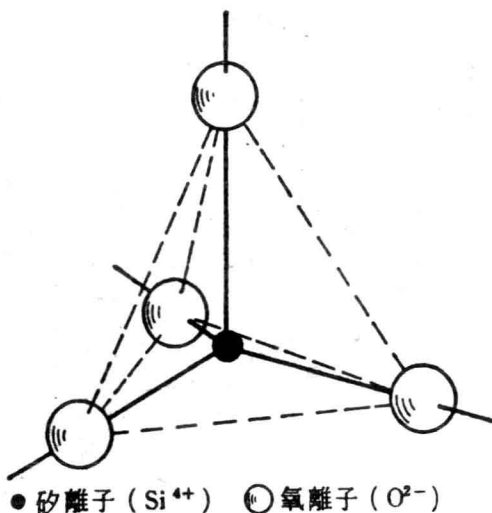


圖 1.2 在矽酸鹽玻璃內的矽離子及氧離子構成的四面體

相反地，普通的玻璃也會吸收波長比可視光線稍短的紫外線。但是，從圖 1.1 可以知道，就紫外線來說，由於其振動頻率遠比紅外線多（波長較短）而分子或原子團的振動頻率遠較之為小，故不會因而產生吸收。但是，在構成玻璃的無數原子（其大部分呈離子狀態）的外殼電子的快速躍遷之中，有許多與紫外線的頻率一致，故另外發生以此為原因的吸收。換言之，具有與構成玻璃的無數各原子的外殼電子之快速躍遷，或與分子或原子團之緩慢振動分別對應之頻率的紫外部光及紅外部光，在經過選擇後被吸收。這就不難理解，為什麼在紫外部之中間的可視光線不被吸收而在玻璃內通過。我們可以說，可視光線只是幸運罷了。

損害透明度的是什麼？

玻璃未必讓所有的可視光線都通過。例如埃及時代的玻璃一律不透明，經過了大約二千年之後，才製成了可以讓光通過的玻璃。以玻璃的主要組成爲 SiO_2 ，以含 SiO_2 主成分的矽石或矽砂做爲製玻璃的天然原料，當然免不了有大量存在於自然界的氧化鐵混入。因此，矽砂、矽石通常混有約 0.1% 的氧化鐵。以此等原料製成的玻璃，因呈獨特的青綠色而即刻可被分辨出來。即使採用不純物少的原料，若用高溫熔化，則不純物會從坩堝的原料黏土中熔出來。在精選當做玻璃原料的矽砂、矽石，並慎選坩堝用的黏土，徹底減少不純物之後，人類才終於獲得了近於無色的玻璃。

到了十九世紀末，光學玻璃的製造技術急速進步，氧化鐵的含有率曾降低至 0.001% 的程度。又，由於社會進步，人們對純粹無色玻璃的喜愛勝於華麗的有色玻璃。歐洲某一位與玻璃業有關的人士曾經告訴我：「有色的玻璃適合於女性。但是，無色才能顯出玻璃真正的美。」

在利用白金坩堝及白金爐連續熔化光學玻璃的技術問世之後，玻璃的透明性到達了一個頂點。但是，自從確認可以利用雷射光通信之後，人們又開始追求玻璃更高的透明度。

第二章

透明度的最後目標

包圍地球的光纖維

1985年2月，北海道旭川與九州鹿見島用一條以衆多玻璃纖維束成的光通信用電纜相連結，其間距離長達3,400公里。這叫做日本縱貫光纖維電纜網。在1988年以前，此電纜將再分支像網子一樣地連結日本各地。另外，目前正在東京與大阪間鋪設幹線用的光通信用電纜，也完成了利用東京的首都高速公路張新光纖電纜網「東京BANET(Bay area Network)」的構想。此外，在東京周邊，也預定在東京灣岸公路、東京灣橫貫公路、東京外廓環狀公路等併設光纖維電纜，若以首都圈爲中心的高密度通信網一旦完成，則將對社會活動方式產生很大影響。

就海外來說，經由夏威夷連結日本與美國的太平洋海底光通信用電纜工程TPC-3，已經由日本及美國合作在1984年開工，並且在1988年完成。此外，直通的光通信用電纜工程TPC-4，也將要開工。又，經由關島、澳洲、紐西蘭、夏威夷的第3個太