

14.「矽」(Si) 元素的介紹

國立嘉義大學 應用化學系 和 高雄醫學大學 醫藥暨應用化學系 蘇明德教授

文章內容版權為蘇明德教授所有，如需引用請聯繫 midesu@mail.ncyu.edu.tw

I A 1	II A 2											III A 13	IV A 14	V A 15	VIA 16	VII A 17	VIII A 18
		IIIB 3	IVB 4	VB 5	VIB 6	VII B 7	VIII B 8	VIII B 9	VIII B 10	I B 11	II B 12		14 矽 Si				

鑷系元素

銅系元素

英文：**Silicon**
簡稱：**Si**

原子序：**14**
原子量：**28.085 amu**

熔點：**1414°C**
沸點：**3265°C**
密度：**2.329g/cm³(20°C)**

在1787年時，「矽」(Si)被法國科學家拉瓦錫 (Antoine-Laurent de Lavoisier, 1743-1794，圖1) 首度發現存在於鑽石中。到了1800年，英國科學家戴維 (Humphry Davy, 1778-1829，圖2) 在利用電池分解「鉀」(K)、「鈉」(Na)等金屬後，試圖改用電流分解「矽土」，結果沒有成功。現在知道這很可能是由於「矽」的熔點太高(約攝氏1,400度)。

又在1811年間，法國的給呂薩 (Joseph Louis Gay-Lussac, 1778-1850，圖3) 和泰納 (Louis-Jacques Thénard, 1777-1857，圖4) 把「四氟化矽」(SiF₄) 與金屬「鉀」混合加熱，獲得一種紅棕色可燃固體，後來知道是「未定形」的「矽」。但是給呂薩和泰納當時還沒想到要把「矽」純元素精煉出來，就只差臨門一腳。



圖1、Antoine-Laurent de Lavoisier, 1743-1794

© Public Domain



圖2、Humphry-Davy, 1778-1829

© 公有領域



圖3、Joseph-Louis Gay-Lussac, 1778-1850

© 公有領域



圖4、Louis-Jacques Thénard, 1777-1857

© Public Domain

14.「矽」(Si) 元素的介紹

直到1823年，「矽」首次被認定是一種元素，是由瑞典化學家貝采尼烏斯 (Jöns Jakob Berzelius, 1779–1848，圖5) 把「氟矽酸鉀」(K_2SiF_6) 與過量金屬「鉀」共熱，也得到「未定形」的「矽」。



圖5、Jöns-Jakob Berzelius, 1779–1848
© Public Domain

由於「氟化鉀」(KF) 很容易溶於水，而「矽」也易沉於水底，二者很容易分離，於是貝采尼烏斯用反覆清洗的方式，終於把純「矽」元素提取出來。但貝采尼烏斯當時尚未確定「矽」已被分離成純質，於是貝采尼烏斯再把所取得的「矽」放在氧氣中燃燒生成「二氧化矽」(SiO_2)，它又叫「矽土」或「矽石」，最後終於確定「矽」是一種元素，命名Silicium (意思是：堅硬之石)，「矽」的英文名稱叫Silicon，這一名詞源自拉丁文Silex (原意：火石)。元素符號是Si。

附帶一提的是，蘇格蘭化學家湯姆生 (Thomas Thomson, 1773–1852，圖6) 建議要在Silex後面加上-on，因為「矽」元素的性質很像其它元素「硼」和「碳」，而它們的英文是Boron (硼) 及Carbon (碳)，故「矽」最後命名成Silicon。

後來，在1857年維勒 (Friedrich Wöhler, 1800–1882，圖7) 加熱「氟矽酸鉀」(K_2SiF_6) 和「鋁」(Al) 的混合物，再次得到暗灰色晶體的純元素「矽」。



圖6、Thomas-Thomson, 1773 – 1852
© 公有領域

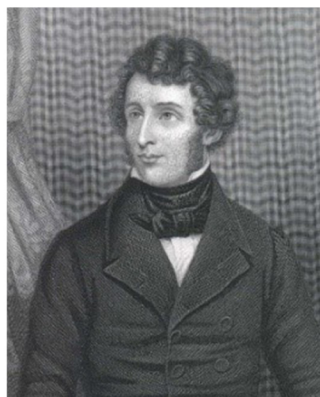


圖7、Friedrich-Wöhler 1800 – 1882
© 公有領域

「矽」在地殼中的含量是除「氧」(O) 外最多的元素。可是，「矽」與「氧」和「碳」最大不同，乃是在自然界中，「矽」從來不以單一純質的狀態存在，因為「矽」總是與一種或多種其它元素緊密結合成化合物，這或許可以解釋為什麼「矽」的被發現比「碳」和「氧」來得晚。

「矽」屬於一種「準金屬」(Metalloid)，「矽」具有金屬和非金屬的雙重特性。

自然界的生物主要是由有機物構成的，而非生物主要是由無機物構成的。有機物是以「碳」原子為基礎所形成的大分子化合物，可構成柔軟的生物組織。反之，大多數無機物則是以「矽」原子為基礎的小分子化合物，這種以「矽」原子為主的分子，進而組建成地球上堅固的礦石。

也就是說，如果「碳」是組成一切有機生命的基礎，那麼「矽」對於地殼來說，占有同樣份量的位置，因為地殼的主要組成有大部分是由含「矽」的岩石層構成的。

有趣的是，化學週期表裏，「矽」和「碳」都是同屬於第14族的元素 (又稱為第IIIA族)。而第14族的元素包含了：「碳」、「矽」、「鍺」(Ge)、「錫」(Sn) 和「鉛」(Pb)。

正因「矽」無毒又在地球上存量豐富，再加上「矽」具有很多不同於「碳」的特殊性質，聰明的科學家就大量地利用及開發「矽」，以便利用「矽」的優點去彌補「碳」的缺點，廣泛為人類所用。國際上有一著名科學組織叫ISOS (International Symposium on Silicon Chemistry)，專門報導、介紹及研究含「矽」的相關化學。

「碳化合物」(又叫「有機化合物」) 與「矽化合物」表面上看來似乎是兩種完全不同的化合物。但化學家在二者間架起了橋樑，在「碳」和「矽」的基礎上組成了自然界所沒有的「矽有機」化合物。現在「矽有機」化合物已發展出塑膠、乳膠、潤滑劑等物質，這些物質具有新奇性質，已經被大量應用在紡織、造紙、化學、玻璃、光學儀器、

14.「矽」(Si) 元素的介紹

化妝品、冶金、石油煉製、電氣以及航空、醫藥和農業方面。如今「矽有機化學」早已經是「矽化學」領域的一個重要部份，一直是化學界的主力研究方向之一。

爲什麼「矽」原子能形成這麼多的「矽有機」化合物呢？

「矽」和「碳」一樣，在地球上都屬於「無毒元素」。在化學週期表裏，「矽」和「碳」屬於同一家族(第IIIA族，又稱爲第14族)的成員，理當「矽」和「碳」元素的個性會一樣，其實不然，像是「矽」的化學性質就和「碳」的化學性質有顯著的不同。比如說：在國中化學課本裏會提到「碳」元素最多只能接4個化學鍵，但「矽」元素可以接5個，甚至6個化學鍵(圖8)。

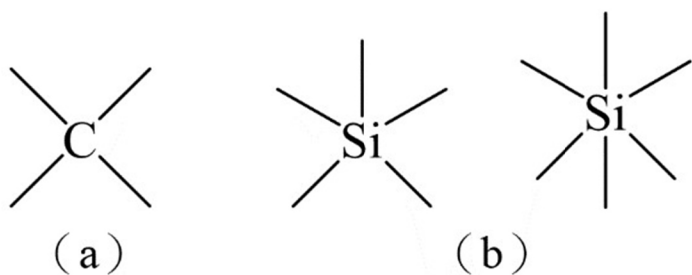


圖8、(a)「碳」元素最多接4個化學鍵。(b)「矽」元素可接多達5、6個化學鍵。

又例如：「碳」與4個「氫」原子構成「甲烷」(CH₄)，「矽」與4個「氫」原子也構成氣態物質的「矽烷」(SiH₄)。「碳」與2個「氧」原子構成「二氧化碳」(CO₂)，而「矽」原子可與2個「氧」原子構成「矽石」(SiO₂)。

「碳」原子可以彼此直接結合，形成長鏈狀的分子有機物，像...C—C—C—C...。「矽」原子同樣也可以形成不同長度的長鏈狀之「矽有機物」。只是「矽」原子彼此不直接相互結合，而是藉「氧」原子相互鍵結起來，像...O—Si—O—Si—O—Si...這樣。

長鏈形的「矽有機」分子中的每個「矽」原子之其餘2個化學鍵若被有機原子團佔據(圖9和圖10)，則所構成的物質可能隨著「矽—氧」鍵長度不同，而呈現「油狀體」或「彈性體」(圖10)：

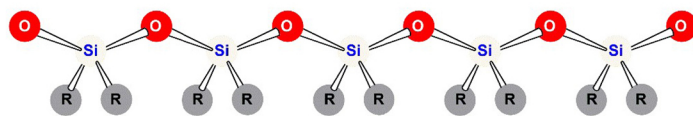


圖9、織物

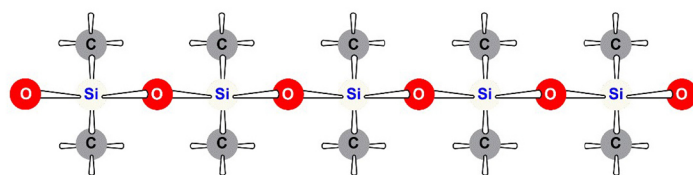


圖10、橡膠與油脂

「油狀體」的「矽有機物」可以合成橡膠。

「彈性體」的「矽有機」化合物分子的長度較前面橡膠狀分子的長度要短些。

如果長鏈狀分子中每個「矽」原子的其餘兩個化學鍵各被一個「氧」所佔據(圖11)，便構成3度空間分子的耐熱性樹脂。

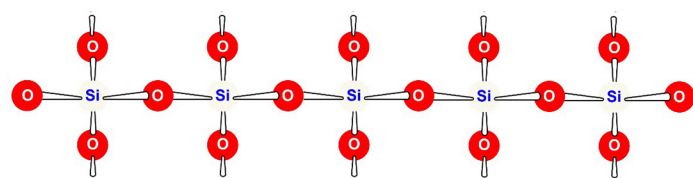


圖11、樹脂

「矽有機」化合物的第一個、也是最重要的性質就是「耐熱性」。

「矽有機」在化學結構上的特點是「矽」和「氧」原子互相結合，這樣形成的原子團不能再被氧化，因此，形成和「石英」類似

14.「矽」(Si) 元素的介紹

、在高溫時具有強大的穩定性。

「矽有機」化合物的第二個重要性質是：能使被它塗蓋的物體表面獲得「抗濕性」。

「矽有機」化合物分子能在金屬、玻璃或紡織品表面做有規則的排列。當某些含「氫氧基」(OH基)的「矽有機」化合物分散在玻璃或金屬表面時，「矽有機」的OH基可與玻璃或金屬中的OH基起鍵結作用，而使「矽有機」化合物分子與被塗物之間形成了化學鍵，固定在被塗物上面。如此一來，「矽有機」的OH基部分朝向外方，因而使被塗物獲得「抗濕性」。加熱能使塗上「矽有機」化合物的膜的壽命延長，因為溫度昇高時，「矽有機」化合物的分子展開，造成更多數目的化學鍵可以相互接觸。

「矽有機」化合物中有些是氣體、有些是具有廣大黏度範圍的揮發性或非揮發性液體，還有些是熱凝性塑膠或合成橡膠。但直到目前尚未能製得熱熔性「矽有機」化合物。也就是說，溫度對「矽有機」化合物液體黏度的影響很小，這也是「矽有機」化合物的第三個特性。

「矽有機」化合物具有這第三個特性的原因源自於其分子結構上的特點。「矽有機」化合物的線狀分子隨著溫度不同，會呈現為拉長的或壓縮的螺旋形，進而展開或相對伸直：伸直的「螺旋形分子」比壓縮的「螺旋形分子」有較大的黏度。因此，當溫度改變時，「矽有機」化合物液體的黏度變化很小。

水是日常生活所必需的物質，但也是人們文明財產的損害者。例如：水能破壞建築物，使絕緣體漏電，使紡織品、紙張及皮革等「可濕性」物質的性質變為低劣。

但這些物體的表面塗上不透水的「矽有機膜」以後，可使這種物體的表面獲得「防水性」。而且這種「矽有機膜」非常薄，只有幾個分子層，因此塗有這種透明薄膜的物體不會失去原來形狀，但卻具有「防水性」（圖12）。例如：塗了「矽有機」化合物的貴重書籍和手稿不再怕受潮，在大雨中看報也完全是可能的事了（圖13）；字畫上塗一層防水的「矽有機膜」，即使用水也洗不掉（圖14）。這些都是長久保存文件和字畫的很有效方法。簡而言之，「矽有機膜」是很好的防水塗布材料。像一般平時穿的雨衣，就是用「矽有機膜」做成的防水用具（圖15）。



圖12、水滴在普通布上浸濕一大塊，但在沒有矽有機布上仍形成水滴。
圖片來源：Microsoft, Copilot



圖13、能在雨中閱讀的報紙
圖片來源：Microsoft, Copilot



圖14、浸在水裏的字畫
圖片來源：Microsoft, Copilot



圖15、含矽分子之防撥水噴劑
圖片來源：ebay

不僅如此，一些具有細孔的物體像紡

14.「矽」(Si) 元素的介紹

又例如：在地下道四壁噴塗「矽有機膜」，可以一勞永逸地解決滲水問題。在古文物、雕塑的外表塗一層薄薄的「矽有機膜」塑料，可以防止青苔滋生，抵擋風吹雨淋和風化。

由於「矽有機膜」獨特的結構，兼備了無機材料與有機材料的性能，具有表面張力低、黏溫係數小、壓縮性高、氣體滲透性高等基本性質，並具有耐高低溫、電氣絕緣、耐氧化穩定性、耐候性、難燃(圖21)、防水



圖21、二氧化矽含量達95%以上的高矽纖維製造而成的滅火毯

、耐腐蝕、無毒無味、生理惰性等優異特性，廣泛應用於航空、電子電氣、建築、運輸、化工、紡織、食品、輕工業、醫療等行業。其中「矽有機膜」主要應用於密封、黏合、潤滑、塗層、表面活性、脫模、消泡、抑泡、防水、防潮、惰性填充等。

隨著「矽有機膜」數量和品種的持續增長，應用領域不斷拓寬，形成化工材料界獨樹一幟的重要產品體系，許多品項是其它化學品無法替代而又必不可少的。

最後值得一提的是：這種「矽有機膜」塗佈的用量其實非常少，每1000平方公尺的面積只需不多於1公克的「矽有機膜」塗料，經濟上也是很划算的。

玻璃能溶於水。水與玻璃中的「矽酸鹽」相作用生成鹼，在玻璃表面上被洗去。玻璃表面的腐蝕進行得很慢，但是不會間斷，而且玻璃就算不和水直接接觸，但因空氣中潮濕的水氣，玻璃照樣也會遭受腐蝕。

這樣的腐蝕對精密的化學分析和光學儀器必須注意，尤其是光學儀器損害最大，時間長久下來，例如：儀器的透鏡上便會產生一層纖細的紋路，使玻璃表面模糊，透光性因而減低。很顯然的，若是玻璃上塗有一層抗水性的「矽有機膜」，就可以避免這種損失。同時光學玻璃上的抗濕性「矽有機膜」能減少玻璃反射光線。據研究指出，落於光學透鏡上的光線約4%被透鏡表面反射出去，這種會使光線變暗的現象，在早期會被認為是玻璃不可避免的性質。雖然，這種光線的損失似乎不太嚴重，但在複雜光學儀器中，若有數個透鏡反射所造成的總損失便加大了，例如：潛水艇上的潛望鏡損失3/4進入其中的光線，當潛望鏡之玻璃上塗了這種「矽有機膜」就可以減少玻璃反射光線，增進光學儀器的透明程度。

從前製造合成樹脂和塑膠的原料是各種含「碳」、「氫」、「氧」，有時還含「硫」、「氮」及少量其它元素的化合物。現在化學家已製成了很有價值的「矽有機」化合物塑膠，用這種新樹脂製成的用具，不怕熱帶似的酷熱，也不怕冬令的嚴寒。

電線導線上一般所用的有機漆絕緣塗料在攝氏100度左右已經損壞，若用「矽有機」化合物所製的絕緣層便完全不同；它們能耐受的溫度範圍為攝氏150度—180度，熱至更高溫度時則分解(圖22)，生成不導電的物質——「矽石」。



圖22、火柴火焰燒不壞的電線
圖片來源：Microsoft, Copilot

在電氣工業方面早已廣泛使用「矽有機」

14.「矽」(Si)元素的介紹

化合物之絕緣材料，其中主要的一種是船艦上電纜的絕緣材料；船艦上面絕緣材料需能經年累月的耐受淡水、海水和石油等的化學作用，以及嚴重撞擊、溫度變化等的機械作用和物理作用，都不會受損傷害。

用由線狀分子組成的「矽有機」化合物所製造的合成橡膠，在攝氏零下60度至200度的溫度範圍內，彈性不發生變化，一般天然的及一些合成的有機橡膠均耐不住這樣的溫度(圖23)。

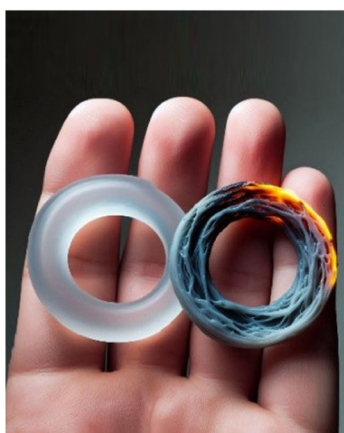


圖23、普通橡膠高溫發生裂縫矽有機膠並無變化。
圖片來源：Microsoft, Copilot

「矽有機」化合物製成的膠液可將電燈泡黏在燈座上，將金屬粉末黏成堅固的物體，也就是能做任何其它膠液所不能做的用途。

這種「矽有機」化合物的線形分子在溫度升高時，可轉變為3度空間的網狀分子，因而形成不能熔化和不被溶解的狀態，所形成的這種狀態的新物質不被高溫所毀壞。用這種塑料浸潤石棉或玻璃絨，能製成非常堅固的耐火材料。

製造出不能著火、不被潤濕的材料、不凍結的液體、不怕嚴寒的橡膠等，不過是「矽有機」塑膠的初步產品，是新興化學部門的開端，這一部門已在學術界及工業界欣欣向榮的擴大發展之中。

線狀分子的「矽有機」化合物所組成的透明如水的油狀液體，可以暴露在攝氏零下70度的嚴寒中而不凍結。也可以熱至攝氏200度的高溫而不呈現任何沸騰的現象。

很顯然，這類液體完善地解決了既須在極地似的嚴寒、又要在熱帶似的在酷暑下工作的機器之潤滑問題，例如：載重機器的軸承，夏季的工作溫度為攝氏50度，而冬季的工作溫度則為攝氏零下40度(圖24)。因為一般潤滑油在上下相差為90度的溫度範圍內，早已強烈地改變黏度，當達到攝氏100度時，其黏度降低10倍，變得太稀薄，完全失去潤滑功效，因為溫度升高時，潤滑劑變得太稀薄，所以從軸承中流出。「矽有機」油化合物能避免一般有機潤滑劑的這種缺點，它們在嚴寒中不但不被凍結，而且黏度也幾乎完全不變。



圖24、矽質潤滑劑
圖片來源：PChome

現在生產的「矽有機」潤滑劑能在攝氏零下40度至200度的溫度範圍內不失效。相反的，在只含「碳」的有機化合物中找不到這種潤滑油(圖25)。

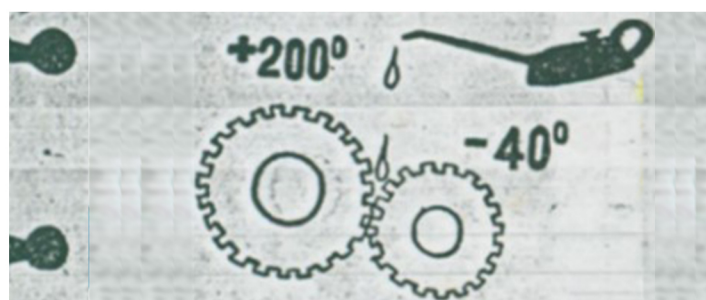


圖25、在高溫低溫不失黏性的潤滑油

新品種「矽有機」油脂不怕與鹼性液體接觸，也不怕和侵蝕性氣體接觸。

不只如此，火箭引擎燃料須符合下列要求：每公斤燃料燃燒時須放出儘可能多

14.「矽」(Si) 元素的介紹

的熱量，並生成相當多的氣體產物，以便作功。燃料燃燒效率越好，氣體排出的速度就會越快，火箭也會飛行得越快。早期火箭引擎一般使用「碳氫化合物」做燃料(圖26)，現代火箭引擎可說是進化到用高效能的「矽氫化合物」做燃料呢！

其實，「矽」在自然界中幾乎都是以兩種型式存在：由「矽石」(圖27)和「矽酸鹽」組成，比如說：「水晶」(圖28)、「瑪瑙」(圖29)、「碧石」、「蛋白石」、「石英」(圖30)、一般砂子、「火石」等都是屬於「矽石」類。另一方面，「長石」(圖31)、「雲母」(圖32)、黏土、「橄欖石」(圖33)、「角閃石」等



圖26、矽氫化合物作燃料的火箭
圖片來源：Microsoft, Copilot



圖27、矽石
© CC BY-SA 2.0



圖28、水晶
© CC BY-SA 2.0

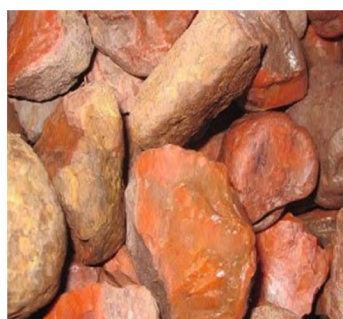


圖29、瑪瑙原石
© CC BY-SA 2.0



圖30、石英
© CC BY-SA 2.0



圖31、長石
© CC BY-SA 2.0



圖32、雲母
© CC BY-SA 2.0



圖33、橄欖石
© CC BY-SA 2.0

都是屬於「矽酸鹽」類。換言之，含「矽」的氧化物構成了地球上大部分的沙子、岩石、土壤。其實，人們知道「火石」已有數千年的歷史。當「火石」受到猛烈撞擊時，它會形成片狀，可製成尖利的鋒刃，一些最早的史前工具就是由「火石」製成的。

自然界無數的物質中，很少比「沙」(又稱「矽石」)更能引人入勝，或者更有用。從現代電腦科技所用到的矽晶體晶片、啤酒瓶到摩天大樓都是這種了不起的物質(「矽石」)所組成的。

拿「沙」的營業額來說，「沙」的工業是今天美國規模最大的非燃料礦物工業。美國礦務局曾報告，2020年就已從大地挖取了將近40億噸的「沙」，商業價值超過30億美元。

在早期美國，大多數有土地的人夢想在自己的土地上發現石油，以便成為巨富，可是「沙」這種小小物質也同樣有價值存在。不信的話，你看：一架前端挖掘的裝沙機舀起了一斗泥沙，倒入一輛拖曳貨車。貨車跟著把泥沙運往工廠，在那裏把泥沙倒進一個龐大的漏斗，再透過漏斗灌到密密麻麻翹起的輸送帶。強大的顎式軋碎機碾碎了夾雜在「沙」裏的岩石。碾磨機再把碎石磨成細粉。巨大的螺杆把細粉推進洗滌機，洗滌機沖走黏附的泥土時，每分鐘要消耗2,650公升的水。最後那些沖洗乾淨後閃閃發光的東西通過振動的濾網，按大小分別沿場地堆積。

其它地方的沙石公司則把最後產品

14.「矽」(Si)元素的介紹

運到工廠和翻砂廠，這些淨「沙」就在那裏變成無數製造過程的一部分。使這種原料有機會打進那麼多種產品的特質究竟是什麼呢？因為這種奇妙的物質事實上正是這個地球行星的構成要素——崩解的岩石。

它可能是「長石」(圖31)或「雲母」(圖32)，也可能是構成夏威夷黑色海灘的火山噴發的「玄武岩」，或是構成百慕達粉紅色海灘的珊瑚顆粒，甚至可能是人造的飄塵或鋼渣。可是最有可能的型式是「矽石」，也就是通常所說的「石英」，由地球上最豐富的兩種元素「矽」和「氧」自然結合的一種化合物——「二氧化矽」(SiO_2 ，圖34)。



圖34、二氧化矽
© CC BY-SA 3.0

「二氧化矽」是一種堅硬難熔的固體，在地球上會以各種型態存在。據估計，自然界中「二氧化矽」的存在型式高達二百多種，可分為晶體和無定形兩大類。在陽光下，海灘上的沙粒閃閃發光，這是因為沙子中有許多無色透明的小顆粒，它們像一面面小鏡子，可以強烈地反射陽光。這些小顆粒名叫「石英」，它的主要成分就是「二氧化矽」晶體。「石英」的種類也很多，沙子中的「石英」通常很小，大塊的「石英」晶體則非常漂亮，人們又稱它為「水晶」。

純淨的「水晶」是無色透明的，它晶瑩剔透、斑斕奪目，如果其中含有雜質，則會呈現出各種美麗的色彩。比如「水晶」中如果含有少量的「錳」(Mn)，就會呈現紫色，人們稱這種「水晶」為「紫水晶」(圖35)。

如果「水晶」中含有少量的「碳」，就會成為黑色而幾乎不透明的「黑晶」。「水晶」中如果含有少量植物雜質，就會成為「煙晶」(圖36)，它呈淡黃色、金黃或褐色。

「水晶」為什麼會有如此美麗誘人的外表呢？



圖35、紫水晶



圖36、煙晶

讓我們到微觀世界去看看它的結構吧。蘇俄的化學家門捷列夫(Dmitry Ivanovich Mendeleev, 1834-1907，圖37)曾經說過，「二氧化矽」的正確分子式不是 SiO_2 ，而應該是 $(\text{SiO}_2)_n$ ，後來的X射線研究果然證實了門捷列夫的觀點。

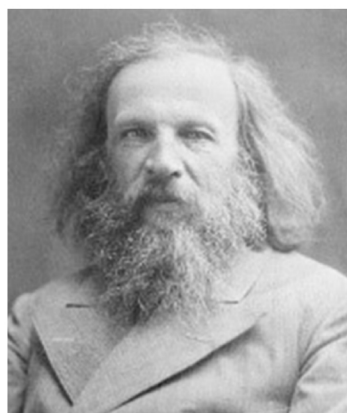


圖37、Dmitry Ivanovich Mendeleev, 1834-1907
© Public Domain

在「水晶」的晶體中，「二氧化矽」形成巨型的大分子，「氧」和「矽」之間以「共價鍵」(covalent bond)方式結合，它在空間的伸展方式類似於「金剛石」，也屬於「原子晶體」，只不過在「水晶」的結構單元中，不是「碳」，而是「二氧化矽」。也就是說，「水晶」的晶體是由「二氧化矽」不斷地重複，形成非常規則、整齊的結構。正因為它的結構如此完美、規則，才有美麗的外表。

14.「矽」(Si) 元素的介紹

「石英」和「水晶」不僅有觀賞價值，還有廣泛的用途。最早的眼鏡片就是用天然「水晶」做的，「水晶」十分堅硬，又不易用硬東西把它磨成鏡片，因此做一副「水晶」眼鏡可真不容易。「水晶」眼鏡工廠要用水浸潤的「金剛砂」從粗到細，一遍又一遍地磨，磨成所需要的形狀，然後用毛絨布和「氧化鐵」紅粉把鏡片磨光，才製得一副「水晶」眼鏡(圖38)。俗話說：慢工出細活，用這方法製成的「水晶」眼鏡的品質當然比普通眼鏡好得多。



圖38、最早的眼鏡片就是用天然水晶做的

或者把「石英」熔融，然後冷卻，可製得「石英玻璃」。 「石英」玻璃的膨脹係數很小，相當於普通玻璃的1/18，因此它不僅能耐高溫，還能忍受其溫度的劇變，常製成耐高溫的化學儀器(圖39)。



圖39、石英製作的比色皿用於分光光度計

把「水晶」切成平行的薄片，放在兩塊金屬板之間，在外來力的作用下，會表現出非常奇異的性能。如果拉長或壓緊這種薄片，它的兩端就會聚積相反的電荷。在交流電的作用下，「水晶」薄片還會以高頻率的振動產生超聲波振盪，人們稱「水晶」的這種性能為「壓電現象」(Piezoelectricity)。

「壓電現象」是法國科學家皮埃爾·居里(Pierre Curie, 1859–1906, 圖40)和他的弟弟日阿克·居里(Paul-Jacques Curie, 1856–1941)在19世紀發現的。但在當時，



圖40、Pierre Curie, 1859–1906 (右)；Paul-Jacques Curie, 1856–1941 (左)

這一發現並未得到人們的重視。直到第一次世界大戰期間，為了防止德國潛艇對英法兩國海軍的突然襲擊，法國的物理學家才利用居里兄弟的發現，製造出了世界上第一架超聲波探測儀。在軍艦上放置這種儀器，可以有效地偵測敵軍潛艇的位置，大大地減少了德軍潛艇對聯軍軍艦的威脅。

「石英」晶體也有一種非常有趣的性能，就是前面所說的「壓電效應」。當「石英」受壓時會產生電流，因此「石英」晶體常被用於留聲機唱頭和話筒。與這相反的現象也會發生，當給「石英」晶體施加一個振動的電信號時，它會準確地把信號的振動複製出來。當「石英」晶體受到交換電壓作用時，會產生機械振動。每塊「石英」晶體都有一個天然的「共振頻率」，這頻率取決於「石英」晶體的尺寸。

想一想「音叉」，就會理解「共振」的含意。「音叉」發生振動並發出某一種特定頻率及「共振」頻率的聲音。在「石英」錶裏，這種「壓電效應」發揮到極致。當給這種晶體一個電信號時，它就以其自然頻率振動

14.「矽」(Si) 元素的介紹

。振動的晶體產生電信號，這電信號又巧妙地反饋回晶體，其頻率與「共振」頻率完全相同。由於頻率的穩定度可達百億分之一，這些「石英」晶體可被做成時間標準器件。「石英」晶體也常用在無線電和電視發射機的控制元件上。

前面介紹過的「沙」（即「二氧化矽」）的另一重要用途就是構成多數沙粒的普通「石英」的晶體，可以使它按可斷定的定速振動，速率視「石英」晶體的大小和形狀而定。從最早的無線電開始，發報機就包含振動的「石英」晶體，控制透過天空發出的無線電波頻率。「石英」在短波無線電發射、電視和雷達方面也擔任重要的角色。微小的「石英」晶體使現代鐘錶得到普通機械發條無法達成的準確度。

「石棉」是一種重要的「矽酸鹽」礦物（圖41），能形成具有很高機械強度和熱阻的長纖維，至今仍用作保溫材料。已經證實，

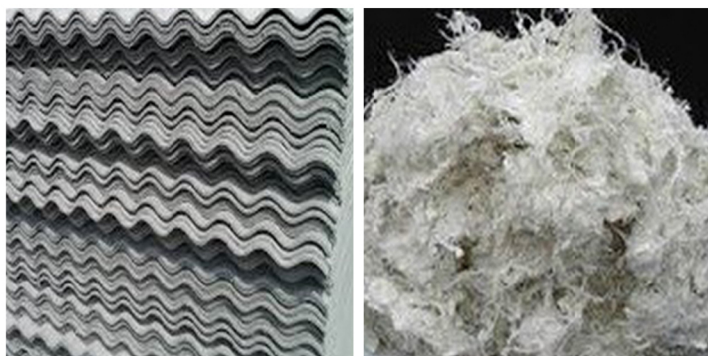


圖41、石棉瓦（左圖）及石棉絨（右圖）

人們暴露在含「石棉」灰塵的環境中是非常危險的，會導致肺及消化道癌症。目前有不少學校和工廠都投入一定資金和時間，更換在蒸氣管、爐子、機動車自動器及其它許多設備上用作絕熱材料的「石棉」。長期暴露在「石棉」粉塵環境中，會導致「矽肺」，這對採石工人來說是非常嚴重的。

「二氧化矽」還可用來生產玻璃。玻璃是地球上最美麗且用途廣泛的材料，把「石英」砂與「碳酸鈉」（ Na_2CO_3 ）、「碳酸鈣」（ CaCO_3 ）混合熔化就形成玻璃。目前已製成的用途各異的玻璃不下1,000種，它們含有多種化學物質，而「二氧化矽」是大多數玻璃的基本成分。由於玻璃透明，可做成玻璃窗、眼鏡片及望遠鏡和顯微鏡用光學鏡片。玻璃幾乎沒有反應活性，且不易受其它化學物質侵蝕，因而是儲罐、瓶子和食品容器的理想材料。

「矽石」構成地殼的65%，歷來就受珍視。人們的遠祖從「黑曜岩」磨出箭矢和飾物，「黑曜岩」就是火山熱氣熔化沙和岩石後所造成的黑色「矽石」玻璃。古代腓尼基人和米索不達米亞人繼續大自然未竟的工作，把「沙」轉變成玻璃，考古學家曾挖掘出4千年前的上釉石器。

現代製造的玻璃是混合適量的「沙」和灰石、純鹼和碎玻璃，放到一個大熔爐裏在攝氏1,480度的高溫下熔化。玻璃熔液可以吹泡、拉長、壓扁、傾注、滾平，或鑄成各種形狀，製成燈泡、擋風玻璃、鏡片等。平均而言，一個工廠每小時可以出產11萬5千隻瓶子，每年消耗15萬噸「沙」。顧客對著一隻玻璃瓶注視時，只看見番茄醬、橄欖油或者汽水，卻不知道典型的瓶子有四分之三是「沙」。

像製造玻璃一樣，金屬鑄造至少已有五千年的歷史，而「沙」始終是金屬鑄造過程的關鍵。事實上，如果沒有「沙」，金屬鑄造工業不可能每年出產價值140億美元的翻砂製品，包括從水龍頭到引擎座的各種商品。美國和加拿大的三千四百家翻砂工廠，許多集中在美、加邊境的大湖區，這

14.「矽」(Si)元素的介紹

裏可以取得的沙岩是全世界最大的純「石英」礦脈之一。這些滾圓、堅硬的沙粒很容易與黏合劑——泥、水和你也許不能相信的少許糖——混合造成堅實平滑的模型。

在翻砂廠裏，造模的「沙」壓進一個盒子，圍住最後成品的金屬或木質複樣周圍的盒子。沙模分兩半從複樣取下，然後匯合回去灌進金屬熔液。金屬一凍結，沙模就崩散，露出鑄成產品。成品一面冷卻一面收縮。翻砂廠接著收回「沙」粒，一次接一次再用。

派熱克斯玻璃(Pyrex, 圖42)是在「二氧化矽」、「碳酸鈉」、「碳酸鈣」的混合物中加入「氧化硼」(B_2O_3)熔製而成，它不像普通玻璃熱漲冷縮得那麼厲害，是製作熱環境用容器的理想材料。若在「二氧化矽」、「碳酸鈉」和「碳酸鈣」



圖42、派熱克斯玻璃(Pyrex)是在二氧化矽、碳酸鈉、碳酸鈣的混合物中加入氧化硼熔製而成
© CC BY-SA 3.0

混合物中加入「氧化鉀」(K_2O)，則可製成另一種類型的玻璃，這種玻璃異常堅硬，耐刮擦，適於製做眼鏡片。

「光導纖維通訊」是最新的通訊手段。用純「二氧化矽」可以拉製出高透明度的「玻璃纖維」(圖43)，雷射可在「玻璃纖維」的通路

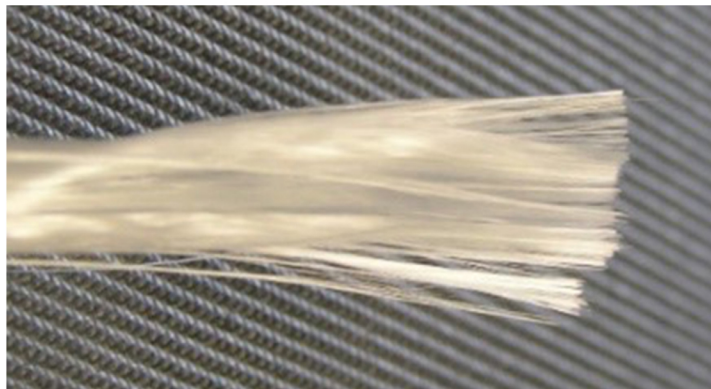


圖43、純「二氧化矽」可以拉製出高透明度的「玻璃纖維」 © CC BY-SA 3.0

裏發生無數次全反射而向前傳輸，代替了笨重的電纜。光纖通訊容量高，一根頭髮絲那麼細的「玻璃纖維」可以同時傳輸256路

電話；而且它還不受電、磁的干擾，不怕竊聽，具有高度的保密性。可以預期，光纖通訊會使21世紀人類的生活發生革命性的巨變。

「陶瓷」是以「矽」為基礎的另一類重要的化合物。與玻璃一樣，「陶瓷」也是古已有之，當時用做食物和水的容器。「陶瓷」大多用陶土製成，陶土是花崗岩和其它石頭風化形成的「矽酸鹽」，呈片狀結構，可吸收大量水。當置於爐中烘烤時，失去水分變得異常堅硬。「陶器」是在攝氏1,200度以下燒製而成的「多孔陶」(圖44)，瓷器則於攝氏1,200度以上燒製而成。陶土也用來製作瓷器和細瓷。



圖44、多孔陶

「矽」最重要的應用是在電子設備，因為「矽」是製造

晶體管和計算機晶片的最佳材料之一，尤其是構成電腦、袖珍計算機和微量處理機基石的「矽」集成電路片。「半導體」工業可以模仿天然晶體形成的方式，「種植」它自己的晶體來製造集成電路片：用一根鉛筆長短的「矽」晶體浸在從「沙」(即「二氧化矽」， SiO_2 ，又稱「矽石」)提煉出的「熔矽」坩堝裏。「矽」晶體在坩堝裏轉動時，「熔矽」就黏附在它上面形成同樣的晶體結構。這「晶體種植」過程歷時約數小時之久，最後形成一條「矽」棒，看來像一截大香腸(圖45)。

「矽」條可以切成薄薄的晶片(圖46)，再用紫外線或電子射線在上面構成微細的



圖45、矽棒
© CC BY-SA 4.0

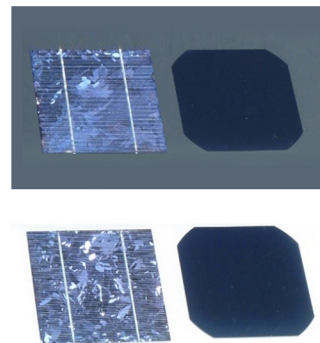


圖46、矽晶片
© CC BY-SA 3.0

14.「矽」(Si)元素的介紹

電路。然後把這些晶片切成小方塊，許多小方塊不過一粒玉米大小而已，每塊小方塊包含肉眼不能見到的電子組件(圖47)。

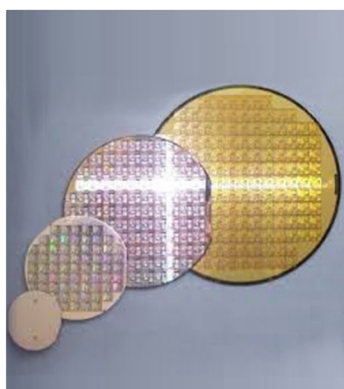


圖47、矽晶圓
© CC BY-SA 3.0

現今世界上之所以大部分半導體晶片產業選擇用「矽」做為原料的原因有好幾個：

(1)地球表面有大量可提煉出「矽」的原料—「矽酸鹽礦」(指由「矽」和「氧」組合成的化合物， Si_xO_y)，所以說與其它半導體材料(如：「砷化鎵」，GaAs，圖48)相比，提煉成本相對而言較為低廉。除此之外，「矽」本身也有較好的「物理應力」，可製成較大尺寸的晶圓，進一步降低生產成本。



圖48、砷化鎵晶片
© CC BY-SA 3.0

(2)「矽」來源多且很容易轉換成「二氧化矽」(它在電子元件中是優良絕緣體)，且「二氧化矽」可以輕易地被整合到「矽電路」中，且這二者擁有很好的界面特性，如「二氧化矽」可以很容易產生一層穩定且堅固附著在「矽電路」上的絕緣層。

(3)「矽」擁有很高的電洞移動率。在需要邏輯運算時，高電洞移動率可以達成更高速的運算效率。

其實「矽」本身就是一種「半導體」。在

單一純質狀態下，「矽」晶體結構和「金剛石」結構相同。這不足為怪，因為前面早已提及過：「矽」和「碳」都屬於化學週期表中的同一族元素。純「矽」通常經由加熱「石英」砂和焦炭(「碳」的一種存在形式)至攝氏3,000度高溫得到。

「金剛石」不導電，「矽」晶體卻有少許導電性。通過向「矽」晶體添加某些精心挑選的微量雜質，可以大大提高「矽」的導電能力，例如在「矽」晶體中加入少量「砷」(As)或「硼」(B)可形成「半導體」。

「砷」比「矽」多一個「價電子」(Valence electron，又稱「外層電子」)。當「砷」摻入「矽」晶體中後，「砷」的「價電子」可以在晶體中自由流動進而導電。而「硼」比「矽」少一個「價電子」，當「硼」摻入「矽」晶體後會形成電子空穴，導致電子在「矽」晶體中遷移進而導電。

由於「半導體」材料的出現，1947年美國的貝爾實驗室發明了「晶體管」。「晶體管」利用這種層狀固體化合物，使電子進行有序流動形成電流。它在諸如計算機和電視機這些電子設備領域內，幾乎完全取代了「真空管」。

成千上萬個「晶體管」可以連接在一個薄薄的「矽」晶片上，太陽能電池(圖49)也是由「矽」晶片製成的。太陽能電池中有一個摻有「砷」的「矽」晶片，其上疊有摻有「硼」的薄「矽」晶片。當光照射在「矽」

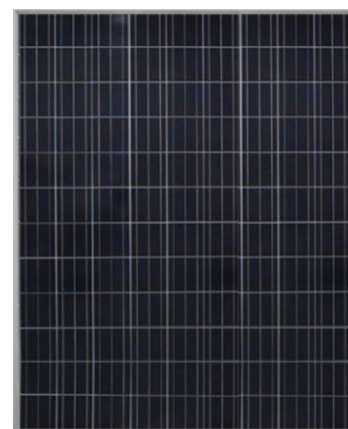


圖49、太陽能電池也是由「矽」晶片製成的

14.「矽」(Si) 元素的介紹

晶片上時，電流可穿過兩種材料的結合部。用於「晶體管」和太陽能電池的「矽」都必須是高純質品。

說來難以置信，所有這些在實驗室、工廠和翻砂廠的應用，消耗量不到每年開採的「沙」量的5%。「沙」量的95%以上則用於建築。把「沙」和等量的礫石及普通水泥混合，再加上一點水，就可以得到應用廣泛的混凝土，能用來造樓房、橋梁、水壩和公路，或者灌入模型製成平板、導管、橫梁和預鑄牆壁。

或許我們可以這樣說：現代工業社會大部分建立在「沙」的基礎上。

不過，「沙」的環境保存價值甚至可能超過它的商業價值，因為沿著海岸漂流的這種精細物質，本身就是一種工程奇蹟。在轉變岩石形態的各種力量中，最堅毅、最強大的莫過於海浪。歷經地質年代以後，海浪已把許多岩岸轉變為「沙」灘。可是海洋與陸地之間最後終於達到僵持的局面，因為「沙」粒幾乎是不可能摧毀的。「沙」粒減縮到某種大小以後，它們就憑毛細管作用擋住海水，形成水陸之間的一種軟墊。

對人類來說，水陸交接的這塊聖潔地帶似乎滿足一種年代久遠的需要。當你走到澎湖的純白海灘時，就可深切體會到這種效果。你可在那裏的海濱徘徊漫步，撿拾貝殼。在浪花裏泡了一會，精神隨之一爽，然後就躺在柔軟的「沙」丘上，任由這些永恆的微粒從指縫間滑過。這時候，你會完全體會到「沙」（即「矽石」）的真正價值。

另一個「矽」的重要化合物是「碳化矽」(SiC)，又叫「金剛砂」(圖50)，它的硬度高達「莫氏硬度」(Mohs scale) 9.5，因此「碳化矽」常用做研磨料，用於研磨或拋光其它物質的粉



圖50、碳化矽 (SiC) 又叫金剛砂

末狀材料。同時，「碳化矽」具有耐火性能，也常用在需維持高溫的烘箱內壁。

還有一組被稱為「矽氧樹脂」(Silicone resin，又叫「矽酮」)的有趣「矽」化合物，是由「矽」與有機物結合而成的。「矽氧樹脂」是聚合物或長鏈分子，其中「矽」與「氧」相連。把不同有機化合物接在這聚合物上，可控制和改變其物理性能(圖51)。



圖51、由矽氧樹脂製成的各樣器具

以塑膠、橡膠、液體、明膠等產品型式出現的「矽氧樹脂」(圖52)，可以用於擦亮家具、滑潤引擎、彌封屋頂、保護太空船免受高熱侵害和使麵包不致黏住焙盤。它的彈性體又可製作成玩偶和彈性球。某些「矽氧樹脂」用做潤滑劑，另一些則用作整型手術中的植入體，「矽氧樹脂」對人體組織不會起反應，是製造人體部件很有價值的材料，例如：指節、假鼻(圖53)、假乳和人造心瓣。雖然如此，「矽氧樹脂」植入人體是否安全，一直是人們爭論不休的話題。



圖52、市售的建築材料：矽利康



圖53、隆鼻用假體

基本上，「矽」對於世界經濟有很大的影響力。像是用於電腦、手機及太陽能電池之類的「半導體」材料中必然要用到「矽」元素。所謂「半導體」簡單的說，是指介於

14.「矽」(Si) 元素的介紹

可通電的傳導體及不可通電的絕緣體之間的物質。很多現代精密的電子科技產品都需要用到「半導體」，也就是一定會用到「矽」元素。例如:台灣享譽全世界的「台積電」(圖54)，就是以「矽」元素做為原料，做出全世界一流的半導體晶片(圖55)。又例如:美國舊金山的「半導體」及高級科技企業密集的地區，就稱為「矽谷」(圖56)。



圖54、台積電
圖片來源：中央社-2024/5/23-台積電今年新建7座廠
3奈米產能擬增3倍

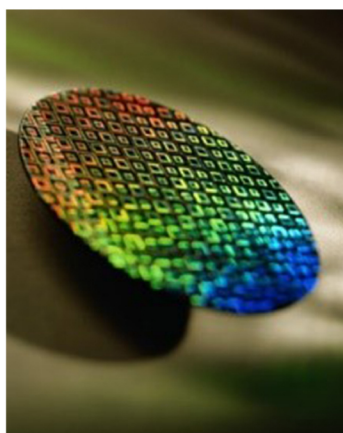


圖55、經蝕刻(etch)製程處理後的晶圓
© 公有領域



圖56、美國舊金山的半導體及高級科技企業密集的地區，就稱為矽谷 © CC BY-SA 3.0

儘管「矽」元素在植物生長發育中不是必需元素，但「矽」仍是植物抵禦逆境、調節植物與其它生物之間相互關係所必需的化學元素。「矽」在提高植物對非生物和生物逆境抗性中的作用很大，如「矽」可以提高植物對乾旱、鹽脅迫、紫外輻射、病蟲害等的抗性。「矽」還可以提高水稻對稻縱捲葉螟的抗性。施用「矽」後，水稻對害蟲

取食的防禦反應迅速提高，「矽」對植物防禦可說起了警備作用。

「矽」也是人體必需的「微量元素」之一，占體重的0.026%。在人體的結締組織、軟骨形成中，「矽」是必需的。「矽」能使多醣體互相連結，並把多醣體結合到蛋白質上形成纖維性結構，進而增加結締組織的彈性和強度，維持結構的完整性。「矽」也參與骨的「鈣化」作用，在「鈣化」初始階段起作用，食物中的「矽」能增加「鈣化」的速度，尤其當「鈣」攝入量低時效果更為明顯。同時，眾多研究結果顯示「矽」是膠原組成成分之一。

眾多科學研究資料顯示，飼料中缺少「矽」，動物生長便會遲緩、導致缺乏頭髮、指甲易斷裂，皮膚失去光澤。動物試驗結果顯示，餵飼導致動脈硬化飲料的同時補充「矽」，有利於保護動物的主動脈的結構。另外，已確定血管壁中「矽」含量與人和動物血管硬化程度成反比。在心血管疾病長期發病率相差兩倍的人群中，其飲用水中「矽」的含量也相差約兩倍，飲用水「矽」含量高的人群患病較少。

對人體而言，「矽」是一種非常安全的物質，本身不會有免疫系統反應，也不會被細胞吞噬，更不會滋生細菌或與化學物質反應。同時還有針對皮膚傷口所開發生產的「矽膠」，可以用來保護傷口，是安全性非常高的材料，受各國衛生機關許可使用。

雖是如此，在某些行業中，砂子會被研磨成非常細緻的粉末，也就是「二氧化矽」粉狀化，這些粉末會經由鼻子到喉嚨，再進入人體的肺部，這時「二氧化矽」會阻斷肺部和外界交換的微小空氣通道(這些空

14.「矽」(Si) 元素的介紹

氣通道原本是用做內在二氧化碳和外界氧的交換)，最後導致「矽肺」。「矽肺」類似肺炎會造成人體呼吸困難，進而痛苦死亡。

可以這麼說，「矽」及含「矽」的粉塵對人體最大的危害是引起「矽肺」，「矽肺」是嚴重的職業病之一，礦工、石材加工工人以及其它在含有「矽」粉塵場所的工人應採取必要的防護措施。

從上述的介紹，可以清楚看到在大自然界及宇宙中到處都可找到「矽」。雖然「矽」在地球上的含量占第2名，而「碳」占第15名，「矽」和「碳」在化學週期表裏又屬於同一家族(第IIIA族，第14族)的元素，照倫理輩分來看，「碳」是老大，「矽」是老二，但兩者的物理和化學性質有很多不同之處，同一家族成員卻有著相異的脾氣和個性。或許也正因如此，地球上才會如此多姿多姿，形成一個美麗新世界。