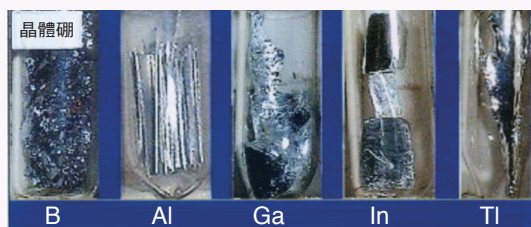




後來，到了 1702 年，人們又製得「硼酸」。但「硼酸」究竟是什麼？它的化學成分一直到 19 世紀初仍然還是個謎。1732 年法國藥劑師喬弗勞（Claude Joseph Geoffroy, 1685-1752）觀察到「硼砂」在燃燒後會在火焰中產生綠色，他認為這是由於這種化合物裡含有微量氣化的「硼」使火焰呈現綠色。只是一直沒有人能把元素的我「硼」提取出來，不然喬弗勞就可能成為第一位發現我「硼」元素的人。

前面說過我「硼」的化合物雖然早在千年前便已為人所知，但元素的我「硼」卻一直到 1807 年才由法國科學家蓋·呂薩克（Joseph Louis Gay-Lussac, 1778-1850）和泰納（Louis-Jacques Thénard, 1777-1857）採用金屬「鉀」與「硼酸」反應得到，並於那年 11 月在法國的《理化年報》上發表了他們提取元素「硼」的方法和經過。幾乎與此同時，英國科學家戴維（Humphry Davy, 1778-1829）也用相同的方法得到了元素「硼」，並於 1808 年 6 月在英國皇家學會上宣讀了他抽取元素我「硼」的論文。

純元素的我「硼」的外觀看起來是帶有光澤的黑褐色，又我「硼」在自然界中的含量相當豐富，占地殼中的 0.001%。我「硼」本身非常硬，在單一元素中，我「硼」的硬度僅次於金剛石（又叫鑽石）。正因如此，我「硼」可用來製造切削工具和鑽頭。在煉鋼時，在鋼水中摻入微量的我「硼」就可大大提高鋼材的強度。在鋁與銅的溶液中摻進少量的我「硼」，也可大大提高導電性。我「硼」也具有相當高的沸點，約攝氏 4,000 度，熔點也高達攝氏 2,100 度。但在室溫攝氏 25 度時，我「硼」則是穩定的固體。



鋁家族，共有硼、鋁、鎵、銦和鉍。



硼砂



法國科學家蓋·呂薩克。

我「硼」的身上一共有 5 個「質子」（因此排行第五），但在自然情況下卻可能擁有 5 或 6 個中子。換句話說，我「硼」有兩種「同位素」（相同的元素卻含有數量不同的中子），分別是  $^{10}\text{B}$ （原子量 10.0129）及  $^{11}\text{B}$ （原子量 11.0093）。這造成我「硼」物理性質上的多變，其中  $^{11}\text{B}$  據估計占 80.1%， $^{10}\text{B}$  則占了 19.9%。

我「硼」在自然界可以通過不同作用組成一個循環系統，例如在磐石、水圈、大氣圈、生物圈之間，以及在各種地質、地球化學、生物化學作用下，我「硼」會不斷地循環而存在著。

一般來說，在室溫下我「硼」是不會和空氣反應的，必須在高溫時才會經由燃燒而產生氧化硼。且我「硼」在水裡不會反應，也不溶於水。我「硼」更不會和鹽酸、氫氟酸作用，卻會和鹵素（像  $\text{F}_2$ 、 $\text{Cl}_2$ 、 $\text{Br}_2$  等）產生劇烈的反應。通常在實驗室裡並不需要特別製備我「硼」，因為我「硼」在市場上不難買到，比如說常用來製備我「硼」的材料可拿常見的硼砂。而透過鎂和我「硼」的氧化物也可以產生元素的我「硼」。

雖然我「硼」的活潑性比元素周期表中緊隨我之後的元素小的多（化學活潑性越強，代表著越容易和其他物質產生化學反應），但人們在自然界中從未發現純元素的我「硼」，相反的，我「硼」在地球上一直是以化合物的形式存在。其實，除氫、鎘及稀有氣體（ $\text{He}$ 、 $\text{Ne}$ 、 $\text{Ar}$ 、 $\text{Kr}$ 、 $\text{Xe}$ ）外，我「硼」可直接和所有非金屬元素反應，也可與許多金屬元素生成硼化合物。比如說，我「硼」通常與氧、水、鈉化合為一種稱為硼砂的化合物。



法國科學家泰納



發現元素硼的英國科學家戴維

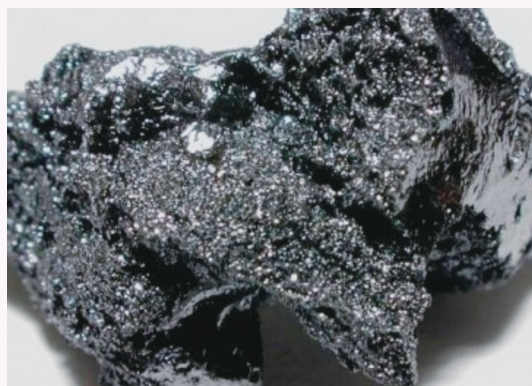


硼砂是我「硼」的重要化合物之一，天然生產的硼砂早為中國古代醫藥學家知悉。在中國，硼砂做為藥物的記載最初出現在宋朝人編寫的《日華本草》中，稱為「盆砂」。據明朝李時珍解釋說：「或雲煉出盆中結成，謂之盆砂，一作硼砂。」他在《本草綱目》中還敘述了它的醫藥作用：「消痰止咳，破癥結喉痺。」其中「癥」（音「瑕」）指腹中脹痛，「痺」（音「敝」）指肢體疼痛。

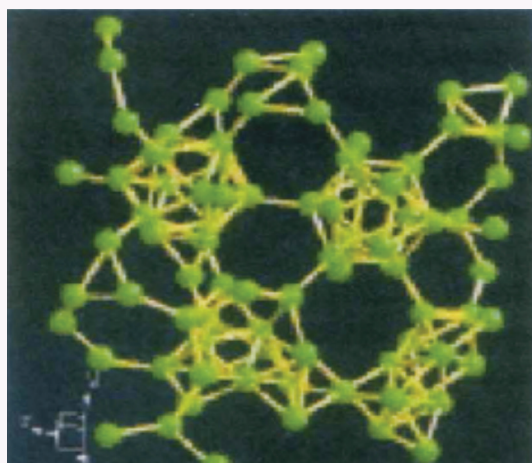
中國西藏是世界上盛產硼砂的地方，歐洲人知道硼砂可能就是從西藏傳到印度，再傳到歐洲的。在 1772 年，瑞典商人格里爾（J. A. Grill）在《瑞典皇家學會會報》中發表文章，說有一位中國天主教傳教士送他一種天然硼砂，叫做 pounxa（音譯為硼砂），並說明是從西藏地下挖掘出來的，並不是人工製得的。

硼砂的主要用途是做清潔劑和軟水劑。如果水裡含有鈣、鎂等鹼土金屬離子，就會和肥皂化合形成浮垢狀沉澱，聚集於洗滌槽或桶的內壁四周，這種水稱為硬水。當硬水軟化後，所含的鈣、鎂離子被去除，取而代之的是較為無害的鈉和鉀元素。硼砂就是軟化硬水的最佳軟水劑。在工業界，人們也常用硼砂製造派熱克斯玻璃（Pyrex Glass），俗稱耐熱玻璃。由於派熱克斯玻璃能承受溫度的急遽變化而不裂開，可增加玻璃的耐久性，因此這種玻璃最常見的用途是做為廚房裡用的烤盤和量杯的材料。

我「硼」的另一個重要且常見的化合物就是硼酸。把硼砂和鹽酸或硫酸一起加熱就可製得硼酸。硼酸是一種很弱的酸，有殺菌作用，可用做眼藥水。除此之外，硼酸經常用來製造滅蟑藥丸。硼酸微溶於冷水，但隨著溫度升高，它的溶解度明顯



硼礦



硼的固態架構：菱形、三角晶、斜方。

增大。硼酸的水溶液可做為防腐劑和醫療用的消毒劑，市面上有些肥皂就含有硼酸成分，硼酸在搪瓷和玻璃工業中也有著廣泛的應用。

天下沒有完美的事物，我「硼」也有危險的一面。無機「硼」中毒常由硼酸和硼砂引起，我「硼」、硼酸、硼砂的毒性基本上相似，都是低毒類蓄積性的毒物。從中毒的病理檢查可見胃、腎、肝、腦和皮膚出現特

異性病變，腦和肺則出現水腫。動物實驗研究還發現我「硼」對睪丸較敏感，特別是性成熟期的睪丸。當發生急性「硼」中毒時應給予綜合性治療，口服「硼」中毒時應儘快用溫水或 5%  $\text{NaHCO}_3$  溶液洗胃。

我「硼」也是植物生長發育必需的微量元素之一，因為我「硼」是產生某些重要植物蛋白的關鍵，可幫助植物從土壤中吸收水分，促進根莖生長。實驗顯示我「硼」元素若供應過少，會造成植物發黃或發黑，甚至葉子會扭曲變形。

直至 1981 年，人們才認識到我「硼」不僅是植物，也是動物與人類必需的元素。在研究中發現，給小雞餵養維生素 D 不足但並不完全缺乏飼料的情況下，我「硼」仍能夠改善其骨骼鈣化。其實我「硼」在人類健康中所扮演的角色還不是很清楚，但有越來越多的證據顯示人體可能需要非常少量的我「硼」，以保持骨骼的健康，缺少我「硼」可能導致關節炎和其他骨科病症。

醫學研究證明 40 歲以上的人幾乎都有骨質疏鬆現象，尤其是婦女。骨骼雖然主要是由鈣和磷元素構成，但如果飲食中缺少我「硼」，鈣就會大量消耗掉，骨質中的鈣排出增多，就容易得軟骨症。因此，婦女們平時應注意在日常膳食中多多攝取含我「硼」的食物。我「硼」和鈣、磷、鎂是正常代謝所需要的微量元素之一，對停經後婦女防止「鈣」質流失、預防骨質疏鬆症具有功效。我「硼」的缺乏會加重維生素 D 的欠缺，另一方面，我「硼」也有助於提高男性睪丸酮分泌量、強化肌肉，是運動員不可缺少的營養素。

我「硼」可能對腦功能的健康性也非常重要，像是記憶力和手眼協調及反應能



木瓜缺硼症（果實塊腫）。



缺乏硼元素的果實容易產生凹凸浮腫的現象（還好人類不會這樣）！

力可能都需要我「硼」的幫忙。人們早就發現，某一些化學元素的攝入對智力的提高有一定的促進作用。

其中我「硼」元素的效果已被美國科學家用實驗證實，食用低劑量「硼」食物的人，腦中電波活動會減慢，顯示腦中的智能反應下降。嚴重一些的人就連很簡單

的小事都做不好，像是敲頭的速度變慢，用滑鼠點選物件也失去精準，挑選字母的速度也不快，總之，他們的智能反應全都慢了下來。當恢復正常飲食時，他們的腦電波反應增快，用腦的速度也大為改善。

雖然大多數人並不缺我「硼」，但老年人有必要適當注意攝取。其實，大多數人可從水果、綠色蔬菜、堅果及豆類中得到我「硼」，如蘋果、油菜、核桃、花生、牛奶、雞蛋等。每日大約服用 3 mg 的我「硼」，就能預防骨質疏鬆症。但有關我「硼」在人體中的吸收和代謝，其實科學界知道的並不夠多。目前只知道我「硼」在膳食中很容易吸收，且大部分由尿排出，並且在血液中我「硼」可與氧結合為  $B(OH)_3$ 。

據觀察，人與動物的血液中我「硼」的含量很低，這與膳食中「鎂」的攝入有關，當鎂的攝入量低時，血液中我「硼」的含量就會增加。

我「硼」的生理功能至今還未能確定，有兩種假說解釋我「硼」缺乏時出現明顯而不同的反應，以及我「硼」的一些生化特性。一種假說是，我「硼」是一種代謝調節因子，經由競爭可抑制一些關鍵酵素的反應，控制許多代謝途徑。另一種是我「硼」具有維持細胞膜功能穩定的作用，因而可以用來調整調節性陰離子或陽離子的跨膜信號或運動，以影響細胞膜對激素和其他調節物質的反應。

但要注意的是，也不可過量服用我「硼」，太多的「硼」反而造成人體「硼中毒」，產生腹瀉、嘔吐等現象。並且，如果只吃含我「硼」的藥物而不吃含我「硼」的食品，也會損傷骨骼。相反的，吃進含我「硼」足夠的食物後，也不宜再吃含我

「硼」的藥物。除了抗骨質疏鬆外，我「硼」還有減輕維生素 D 缺乏造成的不良影響，以及降血脂、抗腫瘤、抗癌症的功能。

除了人體健康外，我「硼」在原子核反應堆的設計和利用過程中也起著重要的作用。在研究原子核產生能量的方式的早期，人們就發現我「硼」是一種非常有效的中子吸收劑。中子做為組成原子核的基本粒子之一，它在原子核反應堆中起著至關重要的作用。當原子核反應堆中最常用的燃料鈾-235 吸收中子後，會裂變成碎片並釋放能量，也放射出新的中子。這種新產生的中子使更多的鈾-235 裂變，並引發連鎖反應。

為避免連鎖反應失控導致爆炸，必須好好控制原子核裂變所產生中子的數量。於是，核子工程師通常把我「硼」棒放進原子核反應堆中，吸收裂變中產生的過多中子，使原子核反應速率減慢，進而控制反應中產生的能量，因此我「硼」棒又稱為「控制棒」。

我「硼」在半導體製造方面也越來越重要。半導體是在矽或鎵的晶體裡精確地摻入一些像我「硼」之類的雜質，當把少量的我「硼」元素摻入矽晶體裡時，「硼」原子就占據了晶體中一些原來矽原子所在的位置。然而「硼」只有 3 個外層電子，而矽有 4 個外層電子。我們就說：硼原子在矽晶體中形成了一個帶正電的空穴。當摻「硼」矽晶體通電時，可誘發電子從相鄰原子向硼原子占據的正電性空穴移動並填充空穴，而使原先所處位置形成新的正電性空穴。

電子這種有秩序移動的結果是，原來存在於硼原子所在位置的正電荷在矽晶體中會有秩序地遷移而形成電流，這種半導



體稱為 P 型半導體。P 型半導體近來常用於製造太陽能電池，這種電池能經由外界照光而產生電流。

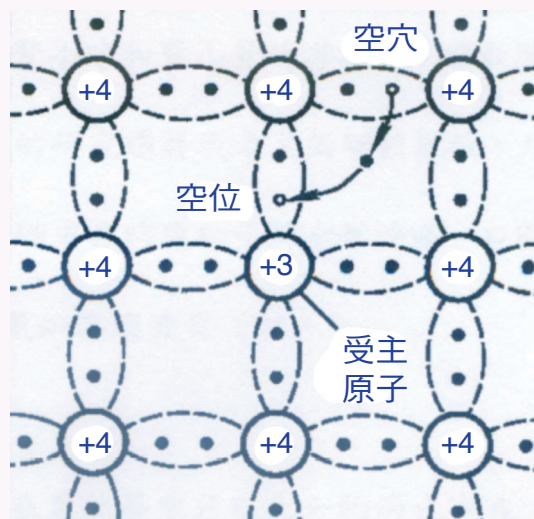
我「硼」又可用於製造某些類型的合金。所謂合金是經由熔化或混合兩種或更多種金屬製成的，因此合金具有的特性與個別金屬不同。最重要的是，這些合金在商業上可用來製造某些最強性磁體。例如，稀土類磁鐵就是利用硼、鐵和鈹製成的。這種磁體可用於製造麥克風、磁性開關、揚聲器，耳機，粒子加速器，以及其他許多技術上的應用。

由硼矽酸鹽玻璃製成的纖維也可用於製作布料，像是硼矽酸鹽纖維混合其他合成纖維可製造耐用布料，以做為汽車座椅套和其他避免長期磨損的材料。

我「硼」常和碳及氮結合生成重要化合物。比如說，碳化硼和氮化硼所形成的物質硬度相當高，因而成為工業上的重要化合物。事實上，氮化硼可說是世上已知最硬的物質之一，上述兩種化合物都有非常高的熔點：碳化硼是攝氏 2,350 度，氮化硼則超過攝氏 3,000 度，這些性質使得碳化硼和氮化硼成為極佳的磨料和耐火材料。磨料是指可用來研磨或拋光等的粉末狀材料，耐火材料則是一種熔點高可耐高溫的材料。

碳化硼和氮化硼也常拿來製作高速運輸工具，像是軍用飛機、航空器材、熱屏蔽物以及耐熱纖維。人們還發現碳化硼和氮化硼可用來製備粉餅、膏狀化妝產品和口紅。

現在，醫界有一項新技術叫做硼中子捕獲治療法，可用來瞄準癌細胞，進而殺死癌細胞。方法是把我「硼」注射入癌症患者的體內，我「硼」便會自動進入癌細胞裡。



P 型半導體的原理圖，電子會在空位（電洞）間流動而傳遞電子流。

但到目前為止，科學家仍不清楚為何我「硼」喜歡停留在癌細胞內。接著，用不傷害健康細胞的中子轟擊人體內的癌細胞。如此一來，中子穿入癌細胞裡會和癌細胞內的我「硼」元素相撞，導致我「硼」轉變為鋰原子及  $\alpha$  粒子和  $\gamma$  射線，進而瓦解整個癌細胞。

因為鋰原子和  $\alpha$  粒子的行走路徑只有很短的距離，因此它們無法離開癌細胞，也就不會威脅到附近的健康細胞，卻有足夠高能量的  $\gamma$  射線殺死癌細胞。這種醫學新技術稱為硼中子捕獲治療法。雖是如此，這技術目前還未完全成熟，但可以想見具有治療癌症的強大潛力。

除了前面曾提到過的硼矽與硼酸外，我「硼」的氫化物也是硼的一種重要化合物。我「硼」和氫不能直接化合，但可以

通過加熱的方法結合，進而得到在組成與結構上相當特殊的一系列硼氫化合物。因為這種硼氫化合物的物理性質與碳氫化合物相似，所以人們稱「硼」的氫化物為「硼烷」。

科學家又發現到我「硼」和氫或和碳的鍵結，分別生成  $B-H$  鍵及  $B-C$  鍵，但這二種化學鍵的反應性很高、很容易氧化。舉例來說，在碳氫化合物裡，乙烷和丁烷在攝氏 25 度的空氣中仍可穩定存在；反之，在硼氫化合物裡，乙硼烷和丁硼烷會自動燃燒。因此，想製備和碳氫化合物同當量的穩定硼氫化合物（即硼烷）是相當困難的一件事。

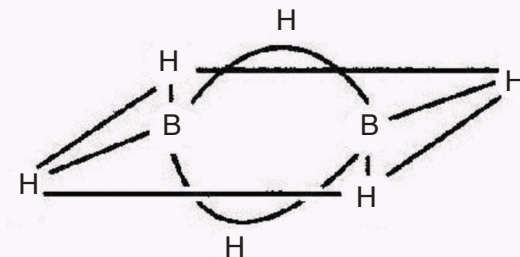
除此之外，碳氫化合物的分子結構很清楚簡單，但硼氫化合物的分子構造卻是異常地複雜。附帶一提的是，乙硼烷在空氣中能自燃，燃燒時生成  $B_2O_3$  和水，並放出大量的熱，因此可用作高能噴射燃料，常用在火箭和飛彈上。不過，由於純「硼烷」的毒性很強，比我們通常已知的毒物（如  $HCN$ 、光氣等）高出許多倍，因此為了減少毒性，現有的「硼烷」燃料都不是純「硼烷」，而是它的衍生物。

雖是如此，還有其他含我「硼」的化合物也在科學舞台上大放異彩。像是氟化硼，它在化學合成上是有名的酸性催化劑，經常輔助新化學分子的生成，因此至今  $BF_3$  在化學工業界仍廣泛應用著。又像  $NaBH_4$  和  $B_2H_6$  分子，學過大學「有機化學」及「無機化學」的學生就知道，這些分子在眾多化學合成反應及化學試劑的應用上都扮演著相當重要的角色。

其實，正因為我「硼」和氫及鹵素原子（ $X = 氟、氯、溴、碘$ 等）可以形成所謂的缺電子分子（ $BH_3$  和  $BX_3$ ），為了增加分子



硼矽酸鹽玻璃製成的纖維可用於布料製作



$BH_3$  結構是由三中心二電子的  $BHB$  所組成的

結構的穩定性，必須和鄰近分子結群拉黨，因而出現「多面體的籠形化合物」。這些分子結構在三度立體空間中有著多樣、複雜且迷人的面貌，這也帶動了現代化學「分子鍵結理論」的進一步發展。

舉例來說，高中生熟悉的  $B_2H_6$ （乙硼烷）分子，現代化學「鍵結理論」就認為其中的  $BH_3$  結構是由「三中心二電子」的  $B-H-B$  所組成的，這個  $H$  原子把 2 個我「硼」原子像橋狀結構般聯繫在一起，這和

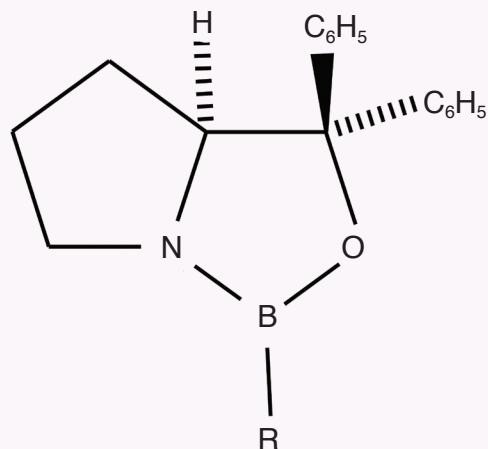


傳統方式（用「二中心二電子」概念）解釋  $C_2H_6$  分子結構在觀念上有著很大的不同。

早在 1950 年代，美國政府就計劃運用硼氫分子做為火箭推進器的燃料，因為硼氫化合物和氧氣作用會生成無害的  $B_2O_3$  分子及水分子。可惜的是，硼氫分子本身有毒性，再加上多次實驗證實硼氫分子的燃燒放熱能力較其他物質差些，不能提供大量能量用以幫助推進器升空，後來就作罷了。

科學家也想到利用自身有多變形狀的硼氫分子，製備帶有左旋光或右旋光的化學鏡像異構物分子。這是因為地球上所有生物體（包括你、我在內）都是左旋光物，因此生物體所吃進的食物裡，只有帶「左旋光」性的才能被吸收。同理可推，只有帶左旋光性的藥品才能醫好病人的病。因此科學家想到可以利用硼氫分子的多樣結構性製備帶有左旋光的藥物分子。

這樣的想法相當有創意，也正因如此，世界上有眾多的科學家投入這方面的研究工作，想要利用我硼氫分子來設計、合成出新型且有效的治病藥物，且讓我們拭目以待。



可以有效製造特殊光學活性的催化劑分子

看完上述有關我「硼」元素的介紹，可以清楚地知道我「硼」功用和功能有很多仍在探索中。或許聰明的讀者您，歡迎加入繼續研究我「硼」的行列，以便對人類有更進一步的貢獻。

蘇明德  
嘉義大學應用化學系

