

31. 「鎵」(Ga) 元素的介紹

這說明「似鋁」的性質和「鎵」的性質是吻合的，因為它們二者正是同一元素。

根據這表2的推測，1875年法國化學家布瓦博德朗 (Paul Émile (François) Lecoq de Boisbaudran, 1838-1912, 圖2) 對「閃鋅礦」(ZnS, 圖3) 進行光譜分析，發現其



圖2、Paul Émile (François) Lecoq de Boisbaudran, 1838-1912
© Public Domain



圖3、閃鋅礦
© CC BY-SA 4.0

中有未知的光譜出現，於是他將其中的新元素成功分離出來，拿去分析其性質之後，發現它的性質與原先門捷列夫對空格的未知元素(即「似鋁」)所做的預測性質完全符合。於是布瓦博德朗成爲首位真正發現並確認該元素的第一人。他後來用「法國」的拉丁文名字「Gallia」命名該元素，叫做「Gallium」，以紀念他的祖國法國。因此此一元素符號訂爲Ga，中文稱之爲「鎵」。在「化學元素週期表」中，「鎵」的原子序數是31。

「鎵」是最後一個被偶然發現的元素，也是第一個對號入座進入「化學元素週期表」空位的元素。此後一切新元素的發現，都是根據「化學元素週期表」的預測而完成的。「化學元素週期表」出色的預測精準度大大宣傳了化學元素自身的週期規律性之真理，這也大幅提高了大家對「化學元素週期表」的信心。之後又陸續於1879年發現「釷」(Sc)，1886年發現「鍮」(Ge)等空格的元素，從此以後再也沒有人懷疑「化學元素週期表」的公信力了。

後來的學者對「鎵」進行了更詳細的研究，今天，人們對「鎵」的面目認識的更清楚了。

「鎵」的外貌是銀白色的(圖4)，融熔的「鎵」和「水銀」(又叫「汞」(Hg))一樣，有光亮如鏡的表面。「鎵」既柔軟，且富有延展性，普通水果刀就能把「鎵」切開，也很容易把「鎵」擠軋。「鎵」的熔點很低，不到攝氏30度(「鎵」的正確熔點是攝氏29.76度)，所以只要把固體的「鎵」放在手心中，人的體溫(攝氏37度)就能把「鎵」熔化成爲液體狀(圖5)。



圖4、鎵是一種有白色光澤的金屬 © CC BY-SA 3.0



圖5、鎵的熔點很低，放在手掌上就可以將它熔化成液體 © CC BY-SA 4.0

所以會有調皮的化學家利用「鎵」金屬的外觀和「鋁」金屬很相似(但同樣的體積時，「鎵」的密度5.9公克/立方公分比「鋁」的密度2.7公克/立方公分來得大)，就把「鎵」製作成湯匙，然後提供滾燙的熱水給毫無戒心的客人。你可以想見，當客人在泡茶或泡咖啡時，把「鎵」做的湯匙放在熱水裏攪拌，這些「鎵」湯匙會很快在熱水中融化，讓客人嚇得當場大呼小叫、花容失色。事實上，這樣的場景常在美國電影影集裏看到。如果你想給人家一個驚奇、永難忘懷的場面，或許你也可以這樣試試看！

並且只要溫度低於攝氏29.76度，金屬「鎵」就會馬上凝固。但「鎵」的沸點卻又出奇的高(「鎵」的沸點爲攝氏2400度)，因此要煮沸「鎵」，又得必須加熱到攝氏2400度以上。由此可見，液態「鎵」存在的溫度範圍，是從攝氏29.76度到攝氏2400度，也就是說「鎵」的液體溫度範圍大於任何已知金屬。這使得「鎵」適用於製造特殊的「高溫溫度計」。

31. 「鎵」(Ga) 元素的介紹

已熔融成液體的「鎵」，在溫度下降到室溫時，仍可保持液態達數日之久，如果繼續降溫，「鎵」仍可以保持在「過冷」的液體狀態，此時只要加入「鎵」晶核或者對其震盪，即可將液態的「鎵」重新回到固態。

液態的「鎵」和液態的「汞」(Hg，又稱「水銀」，圖6)二者之間的外觀很容易辨別。首先「汞」不會沾黏在玻璃上，但液態的「鎵」會浸潤玻璃、塑膠等各種容器的表面，比如說：裝填過「鎵」的容器內層表面就很容易沾上一層非常難看黑黑的「鎵」。如果「鎵」不小心滴到我們的手上或者手套上，你可千萬不要嘗試去抹擦掉，不然「鎵」會很容易黏附在皮膚或手套表面上形成黑亮的一層。



圖6、汞亦稱水銀也屬於液態金屬一種 © 公有領域

也正因為「鎵」對普通的玻璃具浸潤性，用簡便工具就可以很容易把「鎵」或「鎵合金」塗抹在玻璃上，塗抹後的反光能力並不輸給用「銀」製作的「銀鏡」，所以在鏡子製造業除了有「銀鏡」(圖7)之外，還有一種特殊的鏡子叫「鎵鏡」。

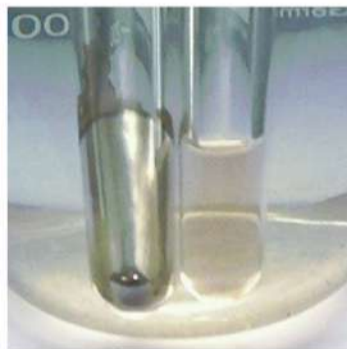


圖7、銀鏡 © 公有領域

在潮濕空氣中的「鎵」被加熱到攝氏500度才會著火。又「鎵」會在接觸沸水後，「鎵」和水會反應產生「氫氣」。「鎵」在被加熱後，也能跟「硫」(S)、「磷」(P)等化學元素反應生成有趣的化合物。

眾所周知，從日常生活中就可以知道：水從液體變成固體時，其體積會增大。「鎵」也有同樣的奇特性質：當「鎵」從液體凝結成固體時，體積也會多增加3%，這一不尋常之處是其它金屬所沒有的。因此，為了保存金屬「鎵」，必須採用特殊的容器，例如：小包裝就用塑膠袋，而大包裝則用橡皮瓶或聚乙烯製的容器，但「鎵」不可

存放於玻璃容器中，因為「鎵」會浸蝕玻璃。

金屬「鎵」的一個重要的用途就是能和其它金屬輕易的結合形成「合金」，因此「鎵」能夠腐蝕「銅」(Cu)、「鋁」(Al)、「鐵」(Fe)，甚至不鏽鋼鉑等金屬。這是因為金屬「鎵」很容易和其它金屬發生反應，導致原有金屬的結構崩塌，而形成「合金」。

而且有「鎵」元素存在的「合金」往往是低熔點的「合金」，也就是這種「合金」具有被加熱後而容易熔解的特性。例如：「鎵錫合金」(圖8)在攝氏10.6度就會熔化，因而可用來製做「保險絲」。又「鎵錫鎵鋅合金」也是一種易熔「合金」，常常用來製成自動救火水龍頭。也就是說，當失火時，溫度一升高，這種「鎵錫鎵鋅合金」的水龍頭會立即熔化，噴水系統就會自動灑水來滅火。

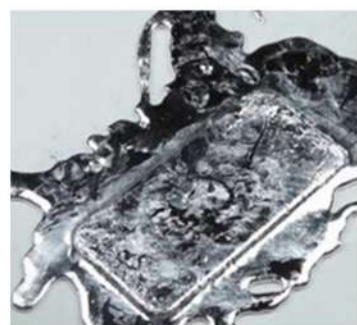


圖8、鎵錫合金是一種名為galinstan的專利合金，在低溫環境下依然能夠保持液態。

簡單的說，「鎵」會破壞其它金屬。例如：當其它金屬接觸到液態「鎵」時，「鎵」就會滲入到該金屬的結構中，並破壞它的完整性，使得該金屬變得脆弱而容易剝裂。圖9中，先將iPhone的背蓋刮花了以後，



(a) 先將iPhone背蓋刮花了以後，(b) 在手機背蓋上倒500克的液態「鎵」。



(c) 整個覆蓋後，靜置一個晚上。(d) 把手機拿起來，發現還可以正常運作。

31. 「鎵」(Ga) 元素的介紹



(e) 但機殼背蓋變得異常脆弱，輕輕一扳就可以拆成一塊塊。



(f) 用小刀就輕易將背蓋整個拆下。



(g) 最後 iPhone 6 變成這個模樣。

<https://www.youtube.com/watch?v=9AR5ZIEYqT4>
圖9、以上圖片翻攝自TechRax的YouTube

把500公克的液態「鎵」倒在上面，靜置一個晚上後將手機拿起來，發現竟然還可以使用，不過背蓋機殼變得十分脆弱，若輕輕一扳，就能把背蓋機殼拆成一塊一塊，最後把機殼整個拆下來後，iPhone就再也無法運作。

此外，「鎵」在高溫時容易和許多金屬結合形成「合金」，因而在運輸時，不得不把「鎵」裝在石英、石墨、「氧化鋁」(Al_2O_3)製作的容器中，或其它耐火氧化物，如：高熔點金屬「鎢」(W)和「鉭」(Ta)所做的容器中。

「鎵」的金屬活性和「鋅」(Zn)類似，但卻比「鋁」(Al)金屬來得低。並且，「鎵」是屬於「兩性金屬」，既能溶於酸(產生 Ga^{3+})也能溶於鹼(生成「鎵酸鹽」)。又「鎵」在常溫下，表面會產生緻密的「氧化膜」(又稱「氧化鎵」， Ga_2O_3)，阻止進一步氧化。

根據統計，在地殼中「鎵」的「豐度」(Abundance)約佔百萬分之五，這個數字並不算少，不僅超過許多「稀有元素」，而且還超過某些普通元素(如「銻」(Sb)等)。可惜「鎵」分佈的地點非常分散，到處和別的元素「同居」，沒有自己固定單獨生存的據點，在地球上至今未發現只有單獨的「鎵」元素存在的地區；因此，要得到純「鎵」，就像獵人追捕一頭狡猾野獸一樣困難。

在自然界中沒有純金屬狀態的「鎵」。然而，聰明的科學家畢竟還是有辦法的。經過長期艱辛的努力，終於找到了「鎵」元素分佈的奧秘。原來，元素在自然界中的分佈規律是由它們自身的化學及物理性質來決定的，其中最重要的性質就是原子的構造，特別是外層電子構造相同的元素，它們的化學性質也會相同或相近，所以它們在自然界中往往相聚在一起(或者說是「物以類聚」)，親如手足。有了這個認識就不難找到「鎵」的足跡了。「鎵」和「鋁」(Al)性質相近，離子半徑也差不多：「鎵離子」(Ga^+)的半徑為 0.62\AA ，而「鋁離子」(Al^+)的半徑是 0.54\AA ($1\text{\AA}=10^{-10}$ 公尺)。因此，「鎵」必然在含「鋁」的礦石和「鋁」生存在一起。又「鎵」和「鋅」(Zn)的原子半徑也差不多：「鎵」的原子半徑是 1.35\AA ，而「鋅」的原子半徑是 1.34\AA ，因而「鎵」又常聚集在含「鋅」的「硫化物」礦石，即「閃鋅礦」(ZnS)中。並且在「閃鋅礦」(圖10)中還含有「鐳」(Gd)、「銦」(In)、「鍮」(Ge)、「鉍」(Tl)等少量元素，這些元素在「化學元素週期表」裏都是「鎵」的左鄰右舍，它們構成了「鎵」的「左右護衛」。目前純「鎵」的取得，絕大多數都是來自生產純「鋁」時的副產品。



圖10、閃鋅礦

「鎵」與「鋁」同屬第III A族元素。「鎵」的原子序數是31，「鋁」的原子序數是13。

31. 「鎵」(Ga) 元素的介紹

「鎵」和「鋁」二者之間有許多化學性質相似。又已知「鎵」的沸點很高，因此在商業上，「鎵」常常是在冶煉「鋁」或冶煉「鋅」的過程中的一種副產品。例如：有種礦石的主成份是「鋁」，副成份是「鎵」，這種礦石就叫「鋁礬土礦」

(Bauxite, 圖11)，因而可在冶煉「鋁礬土礦」得到「鋁」金屬時，順便還可得到量較少的「鎵」。也就是說，「鎵」實際上是生產「鋁」的副產品。

多年以來，其它國家認為經濟回報低而且不環保，所以不鼓勵「鎵」金屬的開採；而中國大陸反其道行之，大力發展國家產業政策，以致中國主導了全球「鎵」的生產，其產量佔全球總量的95%，成就了中國大陸在這方面的全球壟斷地位，但中國也付出環境污染、破壞自然的種種高昂、不可逆的沉痛代價。

有人在研究捷克的「斯洛伐克」地區(Slovenská)的土壤時，發現在「蛇紋石」(圖12)的土壤以及富含「碳酸鈣」的礦石中都含有少量的「鎵」。無論泥炭、褐煤、煙煤或無煙煤中都含有一定量的「鎵」。而煤碳燃燒過程中，因「一氧化二鎵」(Ga_2O)易於「昇華」，以及

部分高價「鎵」(Ga^{3+})的化合物被熱氣流帶出，所以在煙道灰燼中「鎵」的聚集相當多，並且煤灰中的含「鎵」量又往往比煤本身還高，有時竟能高出一倍到幾倍。因此，從煤及其加工產品中提取「鎵」是有實際意義的。現在知道，「鍺石」(Germanite, 圖13)中含「鎵」最多，高達0.5-1.8%。另外，在鐵礦中和某些含「銅頁岩」、「錫鉛礦」、「雲母」(圖14)、「錳礦」(Mn)和海水中也含有微量的「鎵」。



圖11、鋁礬土礦
© CC BY-SA 1.0



圖12、蛇紋石
© CC BY-SA 4.0



圖13、鍺石 © CC BY-SA 3.0 圖14、雲母 © 公有領域

「鎵」有3個特殊的物理性質：

第1個是「鎵」的本質很脆，因此「鎵」的機械加工性能很差，只需要用手就很容易彎折、甚至折斷純「鎵」棒，而且在折斷純「鎵」棒時會發出很特殊的聲音。

第2個是「鎵」在凝固的時候，「鎵」的體積會反常膨脹，也就是「鎵」具有「冷脹熱縮」的特性。所以實驗室裏，若要儲存金屬「鎵」的時候只能使用塑膠容器來承裝，而不能用玻璃容器承裝，這是為了避免玻璃容器會被「凝固膨脹」的「鎵」脹破。並且，利用「鎵」的這種「冷脹熱縮」的本性，「鎵」曾被拿來做印刷用的鉛字材料。在低溫時，用體積膨脹的「鎵」來產生高壓。

第3個是「鎵」存在「過冷」(Supercooling)現象。而「過冷」現象是指「液體在低於其自身正常熔點的溫度下仍然保持液態的現象」。「鎵」的熔點極低(攝氏29.76度)，這意味著在室溫下「鎵」很容易呈現液態。因此，在快速冷卻的條件下，純淨的「鎵」也可能出現「過冷」現象，也就是當溫度低於攝氏29.76度時，「鎵」不會凝固而繼續保持液態，直到這些液態的「鎵」被攪動後，才會在很短時間內，液態的「鎵」會重新凝固為固體的「鎵」。如果操作得當的話，你還能從中取得漂亮的「鎵」結晶體。

也因為自發現以來，一直沒有找到「鎵」的真正用途，於是「鎵」就逐漸的被人忽視不見了。直到近年來多項尖端技術的快速發展，「鎵」才重新引起了人們的重視，對「鎵」的應用範圍也研究得更深入細緻。現在「鎵」已是身價百倍，開始插足於各行各業中。

前面說過，因為「鎵」的熔點很低(攝氏29.76度)，沸點卻很高(攝氏2400度)，人們就針對「鎵」的這個特點來好好利用：也就是用「鎵」來做「高溫溫度計」。過去在製造溫度計時，「水銀」(Hg)一直佔據統治地位，但「水銀」在攝氏356.73度就沸騰了，這使得待測物質的溫度絕不可以超過攝氏350度，否則在這時「水銀」蒸發會越來越劇烈，導致無法測得真正溫度。雖然可以在「水銀」溫度計中充「氮氣」，以壓力來提高「水銀」的沸點，但如此一來，「水銀」溫度計的刻度和使用也就更加複雜化。因此，在測相當高溫時，「水銀」只好讓位給「鎵」，也就是說，人們將「鎵」做為「高溫溫

31. 「鎵」(Ga) 元素的介紹

度計的材料，而能在煉鋼爐、原子能反應爐等高溫環境中大顯身手。

又由於「鎵」對光的反射能力很強，液態的「鎵」又能很好地粘附在玻璃上，因此，可以用「鎵」製造「特種光學鎵鏡」(圖15)。



圖15、特種光學鎵鏡片 圖片來源：百科知識中文網

有人發現在強烈腐蝕的條件下，「鎵」能提高工業純「鎂」及「鎂-錫合金」的抗蝕性，而在「二元合金」中加入少量的「鎵」，可以增加「合金」的硬度。製造「鑲牙合金」也是「鎵」的主要用途之一。還有人主張用「鎵」與「鋁」的「合金」代替「水銀」做為醫療用之紫外線燈的陽極，這時生成的輻射光富有淺藍色和紅色光，可以改善輻射治療作用。最近更有人用「鎵」的放射性同位素診察癌症，當放射性的「鎵」被癌細胞吸收後，即能觀察出癌症的部位。

「鎵」還被用來製作「低溫合金」。也就是用「鎵」(熔點是攝氏29.76度)、「銦」(In；熔點是攝氏156.6度)和「錫」(Sn；熔點是攝氏231.9度)3種金屬元素混合後，所得到的「合金」熔點是攝氏零下19度，遠低於這3種元素的原本熔點，因而這種「鎵銦錫合金」可用來製作醫療溫度計(圖16)，取代中毒性極大的「汞」製傳統溫度計。



圖16、鎵銦錫合金溫度計

「鎵」在原子能工業中也準備大展身手。前面說過，由於「鎵」具有熔點低、沸點高、導熱性等好一系列的優點，科學家們想用「鎵」及其「合金」來做為原子反應爐的「載熱劑」。同時「鎵」還可作為優良的「半導體」材料，用於各電子材料設備中。

前面說過，人們原先以為「鎵」是一種沒有什麼實際用途的奇怪元素，然而隨著「砷化鎵」(GaAs)的發現，這種看法正在迅速改變。

據科學家的研究，發現到除了「矽」(Si)元素外，「鎵」也是做成「半導體」的一大利器元素。因為科學家發現，「鎵」的許多化合物都是優良的「半導體」材料，像「氮化鎵」(GaN)、「磷化鎵」(GaP)、「砷化鎵」(GaAs)、「銻化鎵」(GaSb)和「氧化鎵」(Ga₂O₃)等等皆是。其中尤其以「砷化鎵」最為突出。「砷化鎵」是「鎵」和「砷」的化合物，「砷化鎵」是一種黑灰色的固體，在空氣中很穩定，是繼「鍺」(Ge)和「矽」(Si)之後的第三代「半導體」材料。「砷化鎵」比傳統用於電腦的「矽半導體」晶片發熱小，目前「砷化鎵晶片」(圖17)正逐漸取代「矽」晶片，而運用在需要較高能量的超級電腦上，也被廣泛地應用於雷達、飛彈、計算機、人造衛星、宇宙飛船等尖端科技領域。



圖17、砷化鎵晶片
© CC BY-SA 3.0



圖18、氮化鎵晶體
© 公有領域

「氮化鎵」(GaN，圖18)是一種卓越非凡的「半導體」材料，不僅是因為其具有「寬能隙」(Wide Bandgap，WBG)特性，還有1項特質是其它種類的「半導體」所沒有的。一般的「半導體」，每產生1顆電子，就會伴隨1顆帶正電的離子產生。當我們希望晶片內有更多的電子或者電流，但伴隨著「正電離子」也就更多，電子會遭遇到更多的「散射」(Scattering)，「電子遷移率」便降低了，最後會導致電流增加的有限。「氮化鎵」晶片內的電子，是由晶體的「極性」(Polarization)以及「磊晶層」(Epitaxy)之間的應力所造成，因此不會出現「正電離子」，所以即使存在很高的電子濃度，帶負電的電子還能夠維持相當高的「電子遷移率」。這對於晶片的「導通

31. 「鎵」(Ga) 元素的介紹

電阻及「切換速度」，都有著顯著的改善，這正是電源轉換系統最迫切需要的兩個特性，如此一來「氮化鎵晶片」擁有比「矽晶片」效率高10倍以上的優勢；所以「氮化鎵晶片」更應該被廣泛使用於電源轉換系統(圖19)；並且「氮化鎵」也是目前高端、小

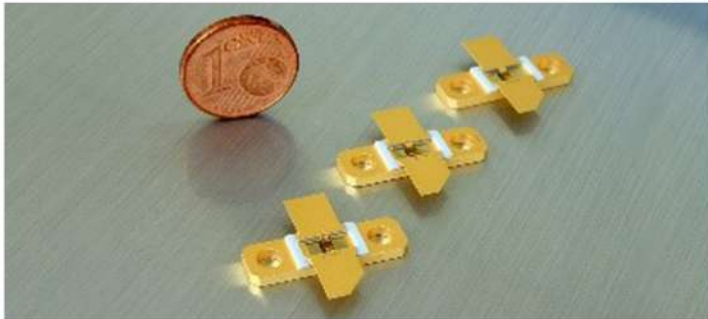


圖19、GaN高電子移動率電晶體

型化充電器的首選材料，然而現今最大的障礙就是「氮化鎵」的製造成本太高。要如何降低製造「氮化鎵」的原始成本？又能保持、甚至提高「氮化鎵」的功能效率？是現今半導體科技界的一大難題。

並且，「砷化鎵」(GaAs)還能把電能轉化為光能，也就是「砷化鎵」常被拿來製作「雷射二極體」(圖20)，能直接把電流轉換



圖20、雷射二極體

成雷射光束，像是：市面上常用的紅光雷射筆，DVD燒錄機及讀取機、電腦滑鼠、條碼讀取機等等，都可看到「砷化鎵」的身影。還有，用「砷化鎵」製成的「發光二極體」(Light-emitting diode, 簡稱LED, 圖21)也廣泛運用在需要電子儀器顯示的手錶、LED檯燈和大型顯示看板等等。



圖21、發光二極體

「氧化鎵」(Ga_2O_3 , 圖22)以其超高電壓承受能力、高溫穩定性及成本優勢，

被視為能超越「碳化矽」(SiC, 圖23)和「氮化鎵」(圖18)的潛力材料，特別適合應用於電動車、電網、航空航太等高功率電子元件。其核心優勢包括極大「寬能隙」和相對低廉的生產成本，透過技術突破，「氧化鎵」正快速朝大規模商業化邁進。



圖22、氧化鎵

© CC BY 4.0



圖23、碳化矽又叫金剛砂

簡而言之，「鎵」是生產「半導體」、「高端微處理器」、「光纖」產品和「夜視鏡」的關鍵材料化學元素。在現今科技界著名的化合物「半導體」中，「氮化鎵」、「砷化鎵」及「氧化鎵」都需要使用到「鎵」金屬元素，相關的產品則包括5G手機的RF功率放大器、寬能隙功率晶片、LED及「半導體」雷射等電子及光電晶片，影響所及不可謂之不鉅。

值得一提的是：直到1993年，日本電子工程學者中村修二(1954-迄今, 圖24)以



圖24、中村修二，1954-迄今，2014年諾貝爾物理學獎得主 © CC BY-SA 4.0

「氮化鎵」(GaN)為主要成份，開發出全世界第一個發藍色光的LED，在這之前只有紅色光和綠色光的LED而已。自從在藍光的LED誕生後，光的三原色(紅、藍、綠)之LED已全部齊備，因此可以表現出以往所無法達到的顏色境界，現今的大型螢幕也才能出現全面彩色的新視野。如今紅、藍、綠的LED已擴大應用範圍，例如：運用在最新的超薄型液晶電視或新型的超薄型手機上。

「鎵」又是「兄弟」眾多的元素，從「鎵-64」到「鎵-73」共有10個同位素，但自然界中存

31. 「鎵」(Ga) 元素的介紹

在的只有「鎵-69」和「鎵-71」哥兒倆。前者佔總數的61.2%，後者只佔38.8%，其餘八個都是人工製造的放射性同位素。

「鎵-67」是最早用於醫學的人工合成放射性同位素之一，半衰期僅78小時，它會很快失去放射性而對人體無害。它會在某些癌症、像是黑瘤的細胞中積聚，因此可用於治療這種疾病，而對周圍組織沒有太大的損害。

「鎵」還用於世界上最大的兩個「中微子」檢測器中。「中微子」就叫「亞原子粒子」，科學家對其深感興趣，但它極難檢測。它在供給太陽能量的核反應中大量產生，可穿過數英里(1英里=1609公尺)的岩石和土層而不受任何影響干擾。「鎵」之所以用於這些檢測器中，關鍵是因為一個「中微子」同一個「鎵」原子核相互作用後，能使「鎵」生成放射性強的「鍺」同位素，稱為「鍺-71」，它發出的放射線易於檢測、標定。

這些檢測器建於深層地下以避免受到外太空輻射的影響，而「中微子」卻可輕易地穿過地層。在義大利的格蘭·薩索(Gran Sasso)隧道中建有一個檢測器，其中存有30噸的「鎵」。在俄羅斯的考克薩斯山(Caucasus mountains)北面的貝克山城(Baksan)附近還深埋著一個檢測器，它是俄美共同建造的，該檢測器檢稱為「SAGE」，是「Soviet-American Gallium Experiment」的縮寫(圖25)。其中存有60

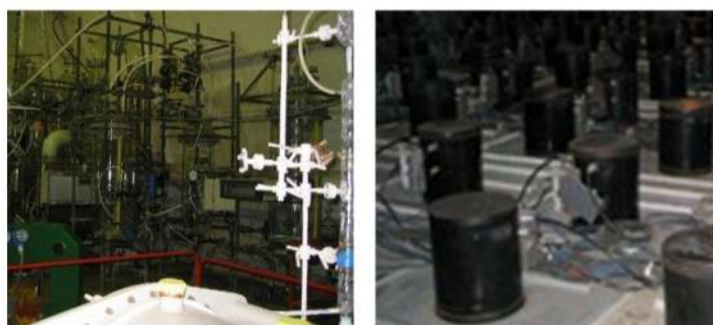


圖25、俄羅斯考克薩斯山(Caucasus-mountains)的貝克山城(Baksan)附近還深埋著一個中微子檢測器由俄美共同建造的，該檢測器檢稱為「SAGE」，是「Soviet-American Gallium Experiment」的縮寫。

噸的「鎵」，由於每噸值接近100萬美元，因此這些檢測器確實相當昂貴。

近年來，「鎵」也被認為是「抗生素」界的新星元素，這是因為很多細菌具有耐藥

性，所以過去一直用「抗生素」來對付細菌，長久下來，並沒有多大的效果，而新的「抗生素」又越來越難被開發出來，因而美國科學家就另闢蹊徑：讓金屬「鎵」來對抗細菌感染。主要是針對那些對「鐵」具有依賴性的「細菌酶」，像是「綠膿桿菌」(Pseudomonas Aeruginosa, 圖26)，因為「鎵」在結構上和「鐵」具有一定的相似性，所以當「綠膿桿菌」接觸到「鎵」時，就會把「鎵」誤會成是「鐵」，誤食「鎵」元素後，「綠膿桿菌」內部的DNA機制就會被破壞，導致「綠膿桿菌」無法繼續繁殖而死亡。



圖26、綠膿桿菌 © 公有領域

值得強調的是，到目前為止，尚未發現「鎵」和含「鎵」的化合物具有毒性。雖是如此，還是要小心：若是暴露於「氟化鎵」(FGa, 圖27)、「氯化鎵」(ClGa, 圖28)和「溴化鎵」(BrGa, 圖29)之類的「鹵化鎵」環境時，則容易造成人體急性毒害。

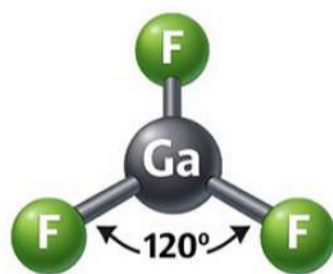


圖27、氟化鎵
圖片來源：
Microsoft, Copilot

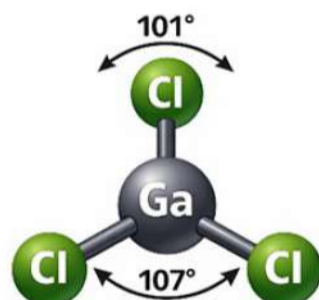


圖28、氯化鎵
圖片來源：
Microsoft, Copilot

近年來，隨著科學技術的發展，做為「半導體」材料的「氮化鎵」和「砷化鎵」的原料來源及技術儲備問題都在不斷突破中。但就像有「鐵礦石」不等於能做出精密「軸承」一樣。即使就算有「氮化鎵」和「砷化鎵」穩定原料來源，也不等於能做出高端「半導體」晶片，問題關鍵在於工藝、設備、製程技術。像是

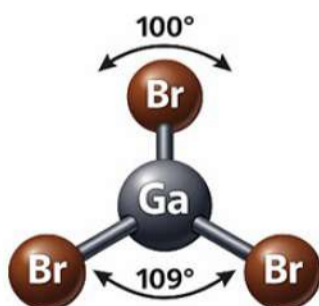


圖29、溴化鎵
圖片來源：
Microsoft, Copilot

31. 「鎵」(Ga) 元素的介紹

民用「氮化鎵」和軍用「氮化鎵」是完全不同的標準。軍用的「氮化鎵」雷達要求一致性、可靠性、抗干擾能力強，這需要整套產業鏈的配套，不僅僅只是材料的問題，這就說明問題出在體系和轉化能力上，也可能是工藝成熟度不夠。就算能做出來，也還不能大量穩定生產。可能單個「氮化鎵」晶片性能不錯，在實驗室的數據還行，但到了實際複雜環境中，有可能是因為成本控制、系統整合問題、實戰驗證不足等種種原因，導致「氮化鎵」晶片嵌入到系統中表現未必就好。這只是「鎵」應用的一例。

可以這麼說，全世界有關「鎵」元素優點的大開發及大應用才正開始呢！