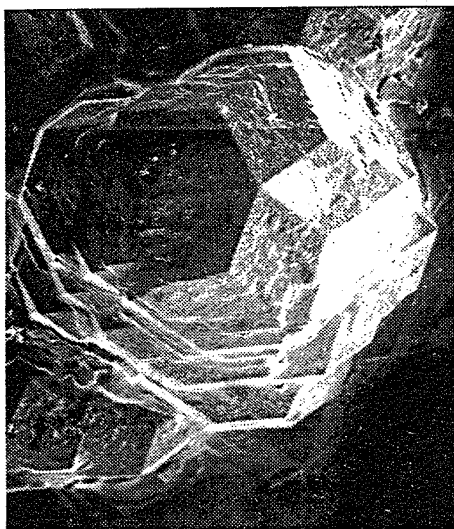


研究固體物質的“不可能” 形式備受矚目

MALCOLM W. BROWNE 著

石厚高譯

臺北市立建國高級中學



圖一

一單位半結晶合金的微視，顯示結晶的面像數學家期待的平行四邊形

理論家尋求半結晶性質的線索
，奇特合金可能會有特殊用途

用聽覺度量電子性質

爲了透視半結晶的秘密，科學家用平行四邊形的鋁板鋪成面，類似於半結晶裏原子的排列。在每個平行四邊形的中心放個音叉，用鋼線把每個音叉的齒和相鄰的兩個齒銲接起來，鏈成整個系統。用擺動的磁鐵力量逼動一個音叉的齒振盪，使系統產生共鳴。在磁力的頻率改變時共鳴也會改變，聲音與靜默的光譜在預測真實半結晶的電子特性時會有用。

半結晶是固體物質一種令人迷惑的性質，就在五年之前還被認為是不可能的，在全世界固體物質的性質調查裏，現在成了中心。

本週在希臘舉行的國際半結晶會議，理論家與實驗家都在闡釋一些值得注意的最近發現，包括了一種新的半結晶金屬合金族，它是尚未發展的最完整的半結晶。科學家相信這些物質會有某些奇異性質，有可能在電子與其它技術上有用。例如半結晶可能會允許特殊目標的電腦元件來回應磁場，而以傳統的半導體方式是不可能的。

哈佛大學的理論家尼爾孫說“對數學家與物理學家來說是一項偉大的心智冒險，半結晶是我們可愛的新玩具，迷人之處部份源於半結晶可以假定成無限類。”

半結晶物質在傳統上，被物理學家認為是一種介於兩種固體之間的物質：結晶與玻璃、半結晶（quasicrystal）是 quasi-periodic crystal 的簡寫。

根據古典理論，所有的固體都是由結晶或玻璃組成，幾乎兩百年來未受到挑戰，結晶是原子的三維架構，由電子把它們束縛在一起，在整個結晶內重複著同樣的原子圖案。

標準結晶如餐用食鹽，其中鈉與氯原子在一個完整的立方體格子中交錯，它是三維棋盤，在每個正方形面的中心有個原子，像玻璃這樣的固體含有特殊形式的金屬與礦物，結構沒有秩序，原子亂七八糟擠在一起。

和真正的結晶還有玻璃來個對比，半結晶的原子排列整齊，可是它們所採行的圖案是很巧妙的，並不具有規律的重現在某區間。結晶學家很驚異的發現半晶體展示了一種性質叫作“五度對稱”，這個意思是說如果半晶體在X光線之下照射，對稱的X光散播出的圖案在每個完整的旋轉重複五次，這一點一向是認為不可能的。

作個固體的五度對稱展示，就和用正五邊形的磚塊來鋪滿地板是一樣的，和矩形、三角形、六邊形不同，正五邊形不能拼在一起鋪滿地板而不留下縫子，類推之下大家也相信不能用二十面體的原子堆來展示五度對稱。

可是在1984理論家與實驗家獨立作業都打破了這個假設。

在哥蒂斯堡的國家標準局，現在是國家標準與技術學會的一位以色列訪問科學家史特曼博士，在他發現用一種鋁與鎂的合金，可以展示了被認為不可能的五度對稱時，震驚了同事。

幾乎就在同時，賓夕凡尼亞大學的理論家史旦哈特與他的夥伴，發現了個定理，就是有這麼一種結晶可以組合，這個計畫的基礎在於數學的“堆磚”，把規則的幾何形狀來鋪滿地板。

自此之後，理論家與實驗家都把半結晶放於固體科學的基礎上討論，為了尊敬他，第一個由史特曼發現的半結晶合金命名為“史特曼”，證明了是多年來第一個這種合金。

混合鋁、銅、鐵、鋰、鈦產生的半結晶合金，有了比“史特曼”更有趣的性質，以鎳為基礎的半結晶群合金含有鎂與鋅，更展示了驚人的似半結晶的特殊性徵，正於哈佛研究中。

一項研究牽涉了電吉它，音叉與黃金分割

根據 I.B.M. 物理學家文辛諾宣佈鋁、銅、鐵合金的公式是 $\text{Al}_{65}\text{Cu}_{20}\text{Fe}_{15}$ 最近在 I.B.M. 為般色爾所發現，它似乎是“完美”的半結晶……那就是說原子不規則不能由標準X光技術所接觸。

第一個似半結晶的合金，是由迅速冷凍鎔化的鋁、鎂合金時產生的。後來又發現在

極緩慢速度之下冷却鎔化的合金，能得到更好的半結晶，由此給了他們時間讓他們的組成原子，在格式結構裏找到適當位置。

理論家臆測因為電子束圖案把它們凝在一起，某些半結晶在很低溫度裏可能會變成超導體，還期待他們的格式結構比起普通結晶要更硬，就可能使它證明很多半結晶比鋼還硬，有能力作超硬工具，可是目前科學家的主要關注是想要瞭解，從原子排列半週期所產生的電子特性。

數學的磁磚 (tiling) 理論的基礎在於 1970 年代後期在半結晶的研究發展迅速，由於英國牛津大學一位著名數學家彭羅斯的理論。彭羅斯展示用兩類平行四邊形的磚根據某種規則可以鋪滿地板，沒有縫子也沒有重疊，而產生的圖案永遠不會重複，這種圖案叫作半週期 (QUASI-PERIODIC)。

在哈佛的物理學家們，約克頓的華遜研究中心，賓夕凡尼亞大學以及其它學會發現了各種理論圖案，他們的性質可以在結晶裏模擬彭羅斯的磁磚理論。

由彭羅斯博士發現的“瓷磚”(或幾何單位)是兩種類型，“瘦”與“胖”的平行四邊形，用來組成圖案，兩種類型四個邊的長度都相等，可是角度不一樣；胖的平行四邊形必需是 72 與 108 度，而瘦的必需是 36 與 144 度，它們的邊必需按某種規則併合。

與“黃金分割”相結合

彭羅斯另有個吸引數學家與建築師的特徵：它展示了一種古希臘人就知道的特性“黃金分割”，是個多年來用在繪畫、彫刻與建築上的比率。

黃金分割支配了古希臘巴特農神殿還有很多其它古典建築的比例，這個比率在應用於藝術形狀與結構時，大約等於肚臍分開人身長的兩段之比，據說成這種比例的形狀很是賞心悅目，科學家最近發現黃金分割也描述了半結晶的重要特性。

黃金分割就是把一條線段分成兩段，全長與較長一段之比等於較長一段與較短一段之比，這個比大約是 1.618034 與 1. 它是個“無理數”有無限位小數可是不循環。

彭羅斯數學瓷磚定理的性質之一，是它正好以黃金分割合併了胖與瘦的平行四邊形，科學家發現這種數學關係可能對真正的半結晶有深遠的影響。

賓夕凡尼亞大學梅那德，與他的研究生黑山鎮最近模擬半結晶的電子性質獲得成功，他用了 150 個音樂的音叉。

音叉實驗

最近在 Physics Review Letters 雜誌報導了科學家們的成就，他們用鋁建

了一個基，在上面刻了標準的彭羅斯“瓷磚”圖案：“胖”與“瘦”的平行四邊形，在每個平行四邊形的中心豎立一個頻率為 400 赫茲的音叉，中心 C 上的是點 A。鋼線銲接著音叉把它們連起來，讓叉上的每個齒連上鄰近音叉的兩個齒，這個系統在聽覺上連接了所有的音叉。

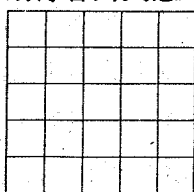
調查人然後把一塊電磁鐵放在一個齒的旁邊，讓它在連續變動的頻率下搖動，電吉它的唱頭隨意放在其它四個齒的旁邊，在齒發出聲響時來感應它的密度與音調，這個設備就能度量聽覺的共鳴以及整個音叉系統的交互作用，就和電子感應器度量半結晶體的共鳴是一樣的。

梅那德博士發現由電磁波發生的某些頻率，結果使所有的音叉有了集體的共鳴，而其它頻率沒有共鳴，把這些共鳴畫個圖，他發現共鳴頻率間隔之比，恰與黃金分割之比對應。

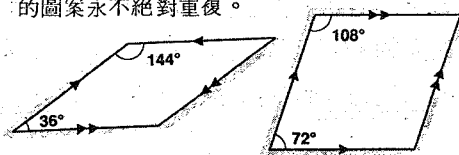
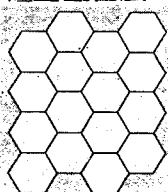
他說“我們看到的效果是聽覺上的，你會在半結晶的原子裏發現它類似於光譜結構，我們的技術，對於預測尚待創造的半結晶裏的電子特性而言，是有潛力的，這些半結晶可以用作電子原件。

有些理論家相信這種性質可以展示“碎形”行為，也就是基本圖形以任何比例無限重複，從無限大到無限小，例如 I.B.M. 的文辛諾博士在一次訪問中說半結晶對電流的阻力，在結晶暴露於變動密度的磁場時會改變碎形的步驟。

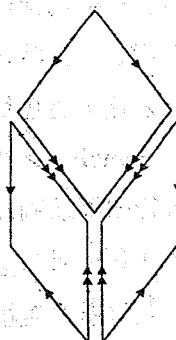
文辛諾說“事實是我們並不確定我們的發現，這些天來半結晶是這麼樣的吸引人，都期待著出人意外的再碰上些甚麼。”



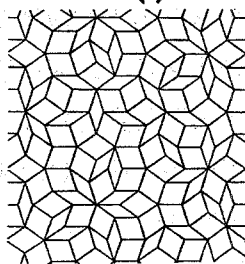
(一)在傳統結晶裏，原子排列是有規則而重複的圖案，和磚塊鋪地板很相似，如右圖的矩形或正六邊形磚塊，能夠很容易的形成規則圖案而沒有裂縫，不過在半結晶裏群原子形成的圖案永不絕對重複。



(二)數學家彭羅斯發現和上圖所示的兩種平行四邊形，能由特殊的規則來“鋪”滿任何平面，而沒有重複的圖案。



(三)彭羅斯瓷磚必需由匹配的邊來鋪設，如上圖的單箭頭或雙箭頭，真正的半結晶可能不會完全匹配。



(四)如上圖的標準彭斯瓷磚圖案，由兩種基本平行四邊形構成，雖然看起來有些相似，圖案永不絕對重複，半結晶被認為有著相似的原子排列。

圖二 常態結晶與半結晶的建構要素