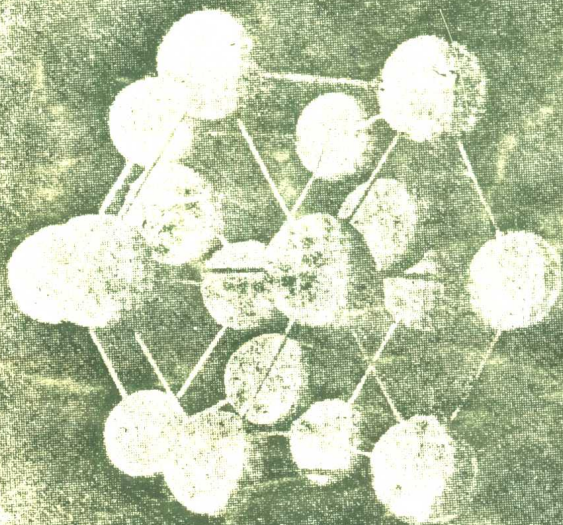


中華科學叢書第十二種

漫談晶體

著者：Alec T. Stewart

譯者：伍法岳
張青芝



臺灣中華書局印行

中華民國六十八年一月三版
中華科學叢書第十二種

漫談晶體 (全一冊)

基本定價：壹元貳角正

著者 Alec T. Stewart

譯者 伍法青 芝岳

中華科學叢書編輯委員 (以姓氏筆劃為序)

伍法岳 沈君山 沈慶春 李天培
林多標 吳京生 吳家瑋 吳錦鉉
夏道師 浦大邦 許翼雲 趙曾珏
劉樹元 劉全生 鄭伯昆 錢致榕

發行人 熊鈍生 臺灣中華書局股份有限公司代表



版權所有 不准翻印

本書局登記證字號
本局發行處
行政院新聞局局版
台業字第捌叁伍號
臺灣中華書局印刷廠
臺北市重慶南路一段九十四號

臺北市重慶南路一段九十四號

甲書

No. 8251

(實·廠)

中華科學叢書序

近代物理學，可溯源於十九世紀末年之氣體導電，X光，放射性等之研究。六十餘年來，基本物理中劃時代之發展，如一九〇〇年之量子論，一九〇五年之相對論，一九一三年之原子結構理論，一九二四——一九二八年間之量子力學，一九三幾年之原子核物理，一九三九年之原子核分裂。一九四六年介子之發現，及近十餘年來之基本粒子物理及物理學中之對稱定律等。常言「一日千里」，實不足以形容物理學發展之迅速。即從事一部門物理研究工作之學者，對其他部門之新發展亦時感脫節。故各國各部門科學皆有專書及期刊，由各門專家著述，對各部門工作之結果及發展之情形，作綜合性之報告、檢討及分析。此類著作，不僅便利同儕而已。

年來國人對科學及技術於建國之重要，了解漸深，一般青年，對科學、工程技術之興趣亦日趨濃厚。然限於環境，時或有望洋興嘆之感。增強在臺學校中科學教程，固為一基本工作，但以中文著述，介紹科學之新發展，為學校課外之補充讀物實為一極重要、極有意義之事。

我國留美學著：伍法岳、沈君山、沈慶春、李天培、林多標、吳京生、吳家瑋、吳錦鉉、夏道師、浦大邦、劉基、劉全生、錢致榕、瞿樹元諸先生有鑑於此，曾決定從事科學叢書之編譯，各就其專長，選定寫作部門，目前除計劃於近期內陸續出版關於基本粒子，天文漫談，量子電子學，液態氦，高能加速器等五種外，並擬擴大科學部門，廣邀各方面學者專家從事著述。

叢書編輯委員會諸君，皆年青學者，學有專長，茲能熱心從事著述，為我國科學教育及青年效勞；而中華書局亦以服務精神發行科學叢書。筆者年來對我國科學教育，未嘗忘懷，祇以力不從心，無善可述，茲聞此叢書行將陸續出版，謹向國人介紹，並致個人欽佩喜慰之感。

吳 大 猷

一九六六年十月

XXXXXXXXXXXX

作者原序

XXXXXXXXXXXX

本書最初係與 L. M. Silfkin 博士合作，Silfkin 博士以及北卡羅林納大學物理系同仁曾給予寶貴的批評與建議，謹致謝意。本書插圖係由 M. Scroggs 夫人及 K. E. Crook 夫人所繪，B. F. Kingsbury 與 J. H. Durston 君亦曾給予協助與建議，加拿大原子能公司，A. D. Little 公司，以及北卡羅林納大學物理系供給圖片多幀，均此誌謝。最爲我所銘謝的，當爲內人 Alta K. Stewart 多次的打字以及細心的校閱。

史迪瓦 (A. T. Stewart)

於佳坡山 (Chapel Hill),

1964



譯 者 序



固態物理的研究，發軔於四十年前量子力學發展的初期，二次大戰以後，由於電晶體的發明與製作，方始達到今日的全盛時期，固態物理與電子工業有着不可分的密切關係，對於改進人類的生活，更有其不可磨滅的重要性。

固態物理所論多爲量子效應，其概念每不易爲一般讀者所接受，因之雖與有關的學術性著作甚多，但優良的通俗讀物並不多見。本書係美國北卡羅林納大學物理系教授 Alec T. Stewart 所作，內容以一般讀者爲對象，對於不易解釋的現象如帶理論 (band theory)，熱及電的傳導，超導電性 (superconductivity) 等均有淺顯的說明，作者以其生花妙筆，娓娓演述，使讀者讀來自生明暢之感，堪稱爲一本不可多得的優良通俗科學讀物。

譯者於本書的翻譯，經始甚久，由於國外工作繁忙，直到本年暑期住在清華大學的期間，方告脫稿，其間多承李傳豪君協助，謹誌最大的謝意。

是書原名「永恒運動，晶體中的電子與原子」，譯名改爲「漫談晶體」，似更適合其內容。

伍法岳 於臺灣新竹 清華大學
張青芝

五十八年八月

二、彈性與振盪·····	68
三、聲波——有規則的原子振動·····	70
四、度量原子間的力·····	77
第七章 原子的振動、熱、與熱傳導·····	82
一、振動能與熱·····	82
二、聲速與熱速·····	85
三、低溫下的熱傳導·····	88
第八章 永恒磁體與電流·····	91
一、電子的合作·····	91
二、永恒磁體·····	91
三、超導電性·····	94
第九章 知識的探求·····	99
索 引·····	102

第一章 引 言

數世紀以來，各地的發明家都在試着製造永恒運動機 (Perpetual motion machine)，雖然其中有些機械的製作深具巧思，但他們的夢想迄今未能成功。

現代的科學家都知道，建造一個能永遠自己運動的機械是不可能的事。其困難是因為所有的運動都牽涉到物質的摩擦，所產生的摩擦力將致使機器運動停止。茲以最簡單的機械——輪與軸——為例：如果車輪極大而重且軸承(bearing)極佳，則車輪的轉動可維持極長一段時間，但是在軸承處的摩擦力將使轉速逐漸減低，終致停止。

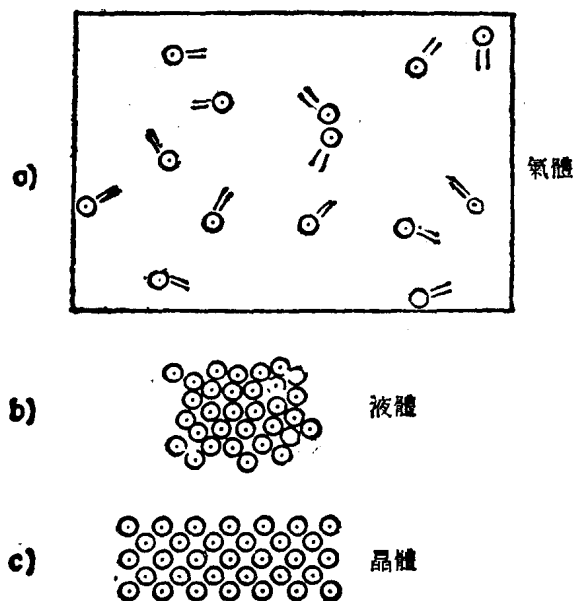
有些人另有一番似是而非的立論。由於摩擦的效果是生熱，亦即將運動的動能變為熱能，於是他們認為如能將這項熱能再變回為機械能 (mechanical energy)，即可製成永動機，殊不知熱力學中的一項基本定律却說得很清楚，熱能是不可能百分之百轉換成機械能，因此發明家們所夢想的永動機註定是要失敗的。

可是這並不表示宇宙中沒有永恒的運動。實際上在原子尺度中，萬事萬物都在永恒運動之中。例如我們所呼吸的空氣，是由飛動迅速的分子所組成。這些分子不斷的相互撞擊，當氧及氮分子相撞時，它們的總動能是

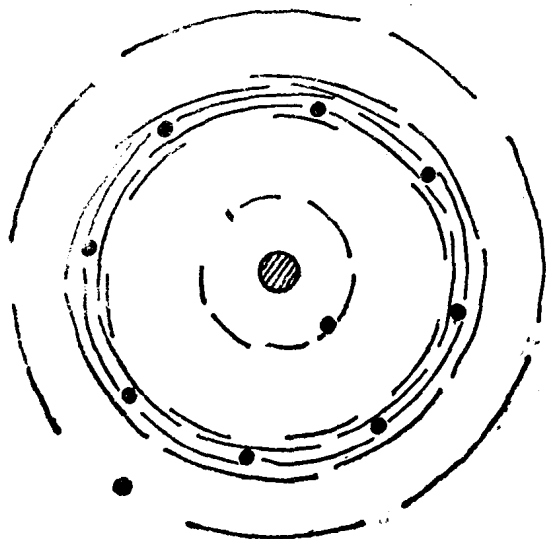
不變的，碰撞之後，它們的機械能毫無損失，這就是永恆運動。

不僅氣體中的分子如此，在液體與固體中的原子也是在不斷的運動。液體中原子的移動速度自然不及在氣體中快速；而在固體中，原子是在固定的位置上作猛烈的振動。凡此種種，均為永恆運動之例。

除此以外，每個原子也是個微小的永動機。原子是由層層如雲般的電子（electron）環繞原子核（nucleus）而組成。這些電子沒有摩擦力，其運動永不會緩慢或停止。試舉一例，鈉原子的電子構造如圖二所示，其中有兩個電子距核較近，較遠處另有八個電子運行，在這個軌道以外，亦即鈉原子的最外層，還有一個單獨電子。在



圖一 大自然中原子的永恆運動，晶體中的原子是作永恆的振動。



圖二 鈉原子中的電子在不同的軌道中作
休止的運行。

最小的氫原子中則只有一個電子，可是在許多大原子中則有近百的電子，它們都是永無休止地圍繞着原子核運行。

上面所述的原子運動以及原子中電子的運行就是大自然的永動機*。本書中我們將討論固體中這種原子及電子的運動。由於晶體 (crystal) 中原子排列整齊，一個原子的振動會影響到附近的一些原子，而使它們有共同振動的傾向，這種原子運動的配合 (coupling) 會產生一些非常有趣的現象。不僅原子接近時其振動會互有影響，其外層電子間的相互影響也極其重要。當原子排列

* 除此以外，原子核中的組成粒子也是運動不息，但此屬原子核物理討論範圍，本書不論及。

整齊時，這些外層電子的行爲 (behavior) 足以解釋有關固體的一切性質。例如固體軟硬之區別，金屬以及非金屬之不同，有色或透明的原因，又如衆所熟知金屬對於電流所呈之電阻，又如某些金屬在極低溫下呈現的超導電性 (superconductivity)，亦即電阻爲零的現象，正是電子永恒運動之一項明證。

以下各章中，我們將討論一些晶體中不平常以及出乎意料的現象，這種現象大多是由於數以億萬計的微小永動機排列整齊所致。有些晶體的性質較之當初永動機製造家的夢想尚令人震驚得多哩！

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

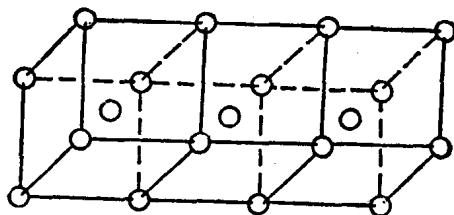
第二章 晶體與結構

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

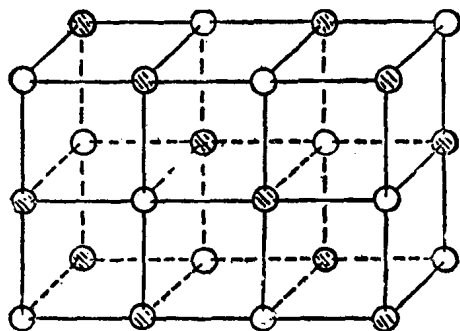
一、什麼是晶體 (crystal)

何種物質呈晶狀 (crystalline)？鑽石或藍寶石 (sapphire) 是晶體，一粒糖或鹽也是結晶體，而塑膠則非晶體，玻璃亦非晶體。即使是那通常被稱作水晶的玻璃，也非物理學家眼中所認為的晶狀物。雲母 (mica) 是種晶體，地質學家的標本，如方解石 (calcite)、螢石 (fluorite) 及長石 (feldspar)，也都是晶體。所有的金屬都呈晶狀。

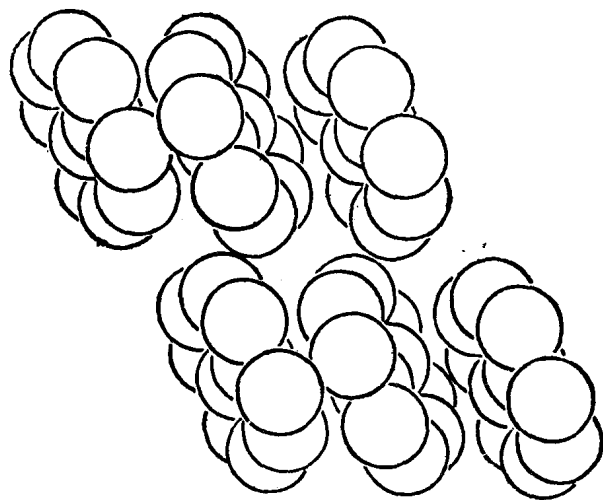
晶體究為何物？在科學領域中，任何物質其原子排列有一定次序的，就是晶體。至於這些原子究竟如何排列則無關緊要。例如鐵原子，如圖三所示，是沿着立方體 (cube) 的邊線排列而成晶體。又如食鹽，如圖四所示，鈉和氯離子的位置，在立方體角上呈交錯位置。如圖五所示的萘 (naphthalene) 晶體，是以兩個完整而包含許



圖三 體心立方體的晶體結構。鐵 (Fe)，鈉 (Na)，鉀 (K)，鈮 (V)，鉬 (Mo) 及鋇 (Ba) 均以此結構結晶。



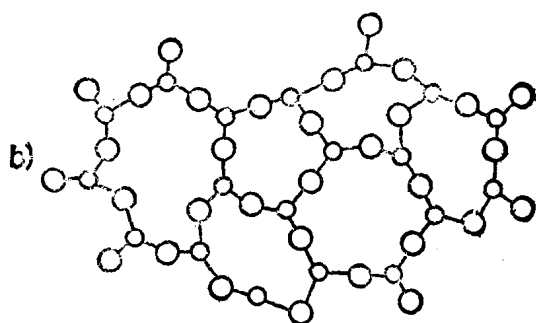
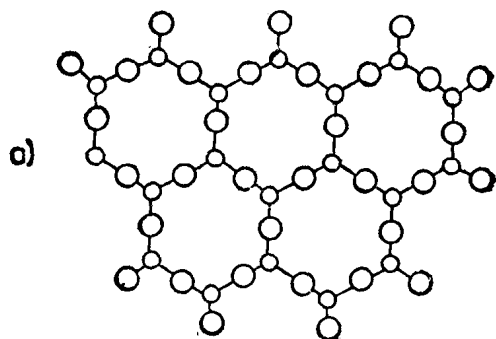
圖四 食鹽 (NaCl) 的晶體結構，許多其他化合物的結構也與此同，如氟化鈉 (NaF)，氯化鋰 (LiCl) 及氧化鎂 (MgO)。



圖五 萘 (naphthalene) 的晶體結構。

多原子的萘分子為一單位所組成的重複圖案。這些都合乎成為晶體的基本條件，亦即原子的排列重複而有次序。與此適相反的如圖六 *b* 所示的石英玻璃 (quartz glass)*，

* 是即俗稱之水晶玻璃 (譯者註)。



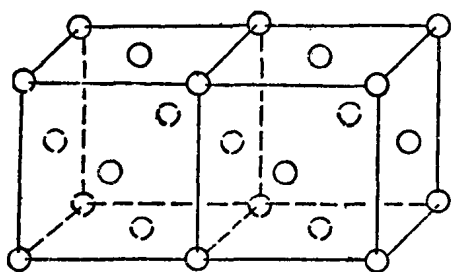
圖六 (a) 結晶石英 (crystalline quartz),
(b) 熔凝石英 (fused quartz),
圖中小圈代表矽(Si)原子, 大圈代表氧(O)原子。

即不是晶體。我們可注意到在結晶石英 (crystalline quartz) 與石英玻璃中，原子間的距離及位置均大致相同，但只有前者為晶體，後者為非晶性 (amorphous)。大自然中結晶構造與結晶體何止千萬，我們只能述說一些最簡單的情形。

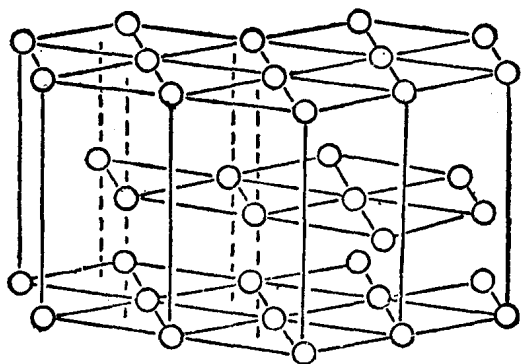
二、晶體的構造

由於立方體的形狀簡單整齊，是為各種晶體構造的基本單元。簡立方體 (simple cube) 的八個角上各有一

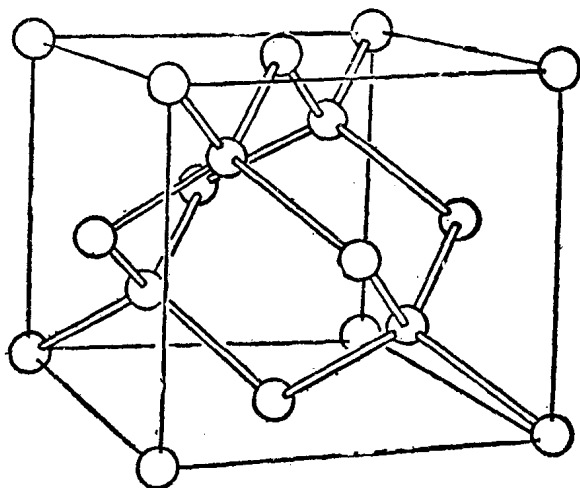
個相同的原子，但是自然界中並無這種晶體存在，只有由其組成的各種變體。如前面曾圖示的鐵晶體，在角上的八個原子之外，在立方塊中間尚有一個原子，是稱之謂體心立方體 (body-centered cube)。銅的結晶形呈另一種立方形狀 (見圖七)，在角上的八個原子之外，立方體的每個面上加有一原子，此類構造稱為面心立方體 (face-centered cube)。在工業上應用甚多的鋅，其晶體



圖七 銅(Cu)的晶體結構。此為面心晶體結構，銀(Ag)、鋁(Al)、金(Au)、鉛(Pb)、鉑(Pt)及其他多種金屬結構均同此。



圖八 鋅(Zn)的晶體結構。鎂(Mg)、鈹(Be)、鎘(Cd)及其他多種金屬均以此六角密集結構結晶。



圖九 鑽石、矽(Si)與鍺(Ge)的晶體結構。

構造呈有趣的六角形，如圖八所示。我們可將它看作由一組平面所組成，每一平面中的原子組成三角形網狀，而每一原子的位置是在鄰層原子所形成之等邊三角形之中心。此種構造甚難加以描述，有趣的是這種結晶構造又極似面心立方體，稱之謂六角密集結構(hexagonal closed-packed structure)，與面心立方體同為填集密度最大的晶體結構。如自面心立方體的對角線方向看去，即與此六角密集結構相似。第四種重要的結晶構造是鑽石結構(diamond structure)，金鋼鑽以及電晶體(transistor)中所用的矽(Si)與鍺(Ge)的晶體構造均如圖九所示，可以看作是兩個面心立方體交錯貫穿而形成。

元素(element)的結晶大都呈上述的簡單結構：體心立方體、面心立方體、六角密集結構或鑽石結構。但較複雜的結晶化合物則有多種不同的形狀。現僅以構造