

553303

科學圖書大庫

晶體與晶體生長

校閱者 吳謀泰

徐氏基金會出版

553303

348

7/4426

科學圖書大庫

348

7/4426

晶體與晶體生長

校閱者 吳謀泰

de

社

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會
監修人 徐銘信 發行人 王洪鎧

科學圖書大庫

版權所有

不許翻印

中華民國六十八年二月二十八日再版

晶體與晶體的生長

基本定價 1.80

校閱者：吳謀泰 經濟部聯合工業研究所

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(67)局版臺業字第1810號

出版者 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686 號
發行者 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第 1 5 7 9 5 號
承印者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號 電話 9719739

我們的工作目標

文明的進步，因素良多，而科學居其首。科學知識與技術的傳播，是提高工業生產、改善生活環境的主動力。在整個社會長期發展上，乃對人類未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，自應各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同將人類的生括，帶進更幸福、更完善之境界。

近一十年來，科學急遽發展之收穫，已超越以往多年累積之成果。昔之認為石幻者，今多已成為事實。人類一再親履月球，是各種科學綜合建樹與科學家精誠合作的貢獻，誠令人無涯興奮！時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就科學人才，促進科學研究與發展，尤為社會、國家的基本使命。培養人才，起自中學階段，此時學生對基礎科學，如物理、數學、生物、化學，已有接觸，及至大專院校專科教育開始後，則有賴於師資與圖書的指導啓發，始能為樹為大器。而從事科學研究與科學教育的學者，志在貢獻研究成果與啓導後學，旨趣崇高，彌足欽佩！

本基金會係由徐銘信氏捐資創辦；旨在協助國家發展科學知識與技術，促進民生樂利，民國四十五年四月成立於美國紐約。初由旅美學人胡適博士、程其保博士等，甄選國內大學理工科優秀畢業生出國深造，前後達四十人，惜學成返國服務者十不得一。另曾贈送國內數所大學儀器設備，轉助教學，尚有微效；然審情度理，仍嫌未能普及，遂再邀請國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。以主任委員徐銘信氏為監修人，編譯委員王洪烈氏為編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱工作。「科學圖書大庫」首期擬定二十種，凡四倍言。門分類別，細大不捐；分爲叢書，合則大庫。為欲達成此一目標，除編譯委員外，本會另聘從事

翻譯之學者五百餘位，於英、德、法、日文出版物中精選最近出版之基本或實用科技名著，譯成中文，供給各級學校在校學生及社會大眾閱讀，內容嚴求深入淺出，圖文並茂。幸賴各學科之專家學者，於公私兩忙中，慨然撥冗贊助，譯著圖書，感人至深。其旅居國外者，亦有感於為國人譯著，助益青年求知，遠勝於短期返國講學，遂不計稿酬多寡，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，其報國熱忱，思源固本，至足欽仰！

今科學圖書大庫已出版一千餘種，都二億八千餘萬言；尚在排印中者，約數百種，本會自當依照原訂目標，廣續進行，以達成科學報國之宏願。

本會出版之書籍，除質量並重外，並致力於時效之爭取，舉凡國外科學名著，初版發行半年之內，本會即擬參酌國內需要，選擇一部份譯成中文本發行，惟欲實現此目標，端賴各方面之大力贊助，始克有濟。

茲特函誠呼籲：

自由中國大專院校之教授，研究機構之專家、學者，與從事工業建設之工程師；

旅居海外從事教育與研究之學人、留學生；

大專院校及研究機構退休之教授、專家、學者

主動地精選最新、最佳外文科學名著，或個別參與譯校，或就多年研究成果，分科撰著成書，公之於世。本基金會自當運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。尚祈各界專家學人，共襄盛舉是禱！

徐氏基金會 敬啓

中華民國六十四年九月

作者簡介

亞倫·荷爾頓 (Alan Holden) 誕生于紐約市，在新澤西州的蒙特克里亞 (Montclair) 上中學。他第一次對化學感興趣，是在十一歲的時候，他敘述那時的情形說，「我使滿屋子充滿了難聞的味道，並且用我設計簡陋的電化裝置，燒斷了保險絲。當我上九年級的時候，因為長年的臥病，使我在床上消磨着多數的時光，閱讀了所有我能在大英百科全書中找到的，與有機化學有關的文章，而將興趣專注于有機化學。我清楚的記得三年以後的一個雨天，當我“幫助”中學的老師製造氧氯化硒的情景，那是我的第一次化學合成。」

荷爾頓在哈佛大學的時候，擴展了他的科學興趣，他是1925年在哈佛畢業的，學的是物理和數學。他也研究文學，語言學，音樂，和哲學等。他參加了貝爾電話實驗室，首任商業方法調查員，後任計算實習講授的寫作者。最後成爲該實驗室中，科學家出版技術論文的編輯，他和荷爾頓太太有一個時期在“凱索偉出版社 (cassowary press) 以排印，裝釘，和出版書籍，作爲副業。

1935年以後，他任貝爾電話實驗室的研究員。有好幾年，他領導一項應用于電子裝備的人造晶體的研究，當第二次世界大戰時，他協助發展產生大晶體的方法，那些大晶體，變成了偵側潛艇聲納裝備的重心。戰後，他轉變他的注意到微波頻率光譜學的研究。本書是荷爾頓先生收到許多中學教師和學生們，請教他該如何培養晶體的請求而寫的。

「我試圖將經驗所給予我的教訓，全寫入這本書中：其中有許多能以極簡單的方法，完成晶體的生長，並供以後的試驗。」他寫着，「我希望本書的讀者，能排除困難，完成本書所建議的一些實驗。我

希望少數人能對自然中，力趨規律性與力趨不規律性的衝突，以及在大規模時獲得規律性會發生更多的困難，和最後的成就，將如何完美等事實，獲得一種感受。」

本書的合著者，菲力斯·辛吉爾 (Phyllis Singer) 是在新澤西州短山市的遠溪學校教美術和數學的。在本書的寫作中，她參與了一部份撰述和繪圖的工作，她繪製了許多圖，幫助了結晶學的藝術與科學的介紹。在本書開始工作後不久，她對礦物學方面發生了興趣，變成了一位熱心的岩石探究者。

科學研究叢書

科學研究叢書，獻給學生們和一般大眾的，是卓越的作家們，對物理學上最動人和最基本主題的著述，從最小的已知粒子至整個宇宙。有些書本談到物理學在人類和他的技術及文化中的角色。另外一些是關於自然的傳記，述及偉大的發現家和他們發現的有趣的故事。所有的作家們都經過挑選，他們必須在所討論的學問上是一位專家，並且他們能以富於趣味的方式，來表達出他們所專長的特別知識。這些書本的主要目的，是使年青的學生和一般大眾，能領悟物理學的概梗。希望有些書本，會鼓勵讀者親自從事於自然現象的探究。

這些書的出版，是以一種新途徑來從事，物理學的教授與學習的一部份。1956年，在美國麻省理工學院，有一群物理學家，中學教師，新聞業者，儀器設計家，製片人，和其他的專家們，組成了物理科學研究委員會，現在隸屬於麻省水城的教育服務社。他們匯集他們的知識和經驗，以設計和創造協助着物理學知識的學習。最初他們受國家科家基金所贊助，并繼續協助這計劃。福特基金會，教育促進基金，與亞爾弗萊特·斯隆基金會也給予贊助。委員會正編著一本教科書，一套廣泛的影片，一本實驗室指南，特別設計的儀器，和一本教師手冊以供一所新的完全中學的物理學計劃之用，這項計劃，目前正由中學教師們繼續加以評價。

本叢書係經編輯協會所指導，編輯協會包括有保守基金 (conservation Foundation) 和哈孔特 (Harcourt)，布呂斯公司 (Brace Company) 的布雷德溫 (Paul F. Brandwin)；教育服務社的達頓 (John H. Durston)；麻省理工學院的佛瑞德曼 (Francis L. Friedman)；布洛海文國家實驗所的高德司密特 (Samuel A.

IV

Gondsmit)；教育服務社的金石貝 (Bruce F. Kingsbarg)；哈佛大學的李柯貝勒爾 (Philippe LeGorbeiller)；和科學美國雜誌的吉拉特·皮爾 (Geradd Piel) 等諸人。



前 言

一顆很大的單純晶體，其美麗令人目眩神迷。它們光滑的面，尖銳的角，和色彩的精純，將使您覺得深深的滿意。

但是隨同這喜悅的感覺，你還會感到驚奇。在本書中，我們請你對它不必驚奇，並且建議你如何欣賞它。你將發現需要耐性，細心，深思熟慮，對你所採的途徑有所感受，以及對你隨時將抵達的境界和進度，能虛心接受。如將這些條件很成功地加上你的好奇心，你會變成一位科學家。

很可惜的，多數人認為科學家是處於特殊地位的一種特殊人物，像律師和外交家一樣。在實習法律時，你應當取得律師的資格。在實習外交時，你得進入國務院。而實習科學的時候，你只需要好奇心，耐心，思考，和時間。

科學家爲了要瞭解世界上的一切事物，曾分兩個方向努力探討。一方面，他將世上的一點一滴做實驗，探尋出它們的特性。他假定，世上任何與他所試驗的事物相類似的東西，應當有相同的特性。

因此，他要求一個正確的實驗是可重覆的，在世界上任何地區受指導從事這同一實驗時，應該能重覆得到相同的結果。這種實驗和那些隔屏猜物預卜未來，不用普通的傳達方法，而能灌輸思想到別人腦中的人的實驗，是迥不相同的。到現在爲止，那些人還不曾宣佈他們的實驗是可以由他人重覆的。

另一方面，科學家的活動，也包括了許多在腦子裏的思考和想像。當他從事這方面的工作時，他不像在實驗中一樣地，直接注意真實

的世界。他正企圖將他自己或別人所做的實驗，納入某種有規律的關係，從其中衍生一種包括一切的思考方法。

經過這些努力之後，產生了事實的真相和“自然的法則”；這是在腦子裏組成物理經驗的方法，使它們能全被想到，有如它們的經驗是息息相關的。當科學找到了這種組成原理的時候，他才會感到滿足，快樂，然後他再準備進行另一個問題的研究。

科學家在此又提出實驗必須可以重覆的要求。他需要他的觀察和思考，能像滿足自己一樣地滿足別人。對這一種觀察，別人應當說，“是的，那似乎是合理的。”對這一種思考，他們應當說，“是的，那是合邏輯的。”這一類的要求，使他的思考和愛因斯坦寫過的“置現行的科學予否認中的”那些“狂人”的思想，完全不同。

實在的，包含一切的觀察，合理的簡化，邏輯的推理，是科學家內在世界的真與美的要素。你也許曾聽到他提到過某些物理上的理論，“理論是這麼完美，它應該是真的。”

對於他的實驗和他的思考，科學家們訓練自己的方法，是非常相似的。爲了獲得一清楚，迅速，可靠的實驗技術，他實習別人在他之前所做的實驗。當以前很有經驗的工作者所得的實驗結果，他也能做到時，他便準備去做前人未曾做過的實驗。在思考上他也作同樣的實習：爲了要發展犀利，可靠的啓發智力的工具，他先做別人已獲得答案的問題。當他能模仿先進們所完成的思考時，他準備展開他自己的思考。

如果你需要的話，本書提供許多可以幫助你發展實驗室中技巧的實驗。也敘述一些使你能假想這些實驗結果的方法，並且將這些方法置于一易於瞭解的完美結構中。爲了幫助你磨礪你啓迪智慧的工具，而提供了假想與思考的問題，你可以用書中的內容，加以解答。我們敦促你去培育晶體，和製造在本書中你將讀到的簡單模型和儀器；你

會發現它們會使你對主要物質的瞭解上有莫大裨益。

目 次

作者簡介

科學研究叢書

前言

第一章 固體和晶體 1

物質的三態， 2 ；規律和不規律， 7 ；晶體的生長， 14；規律的擾亂， 17 ；礦物的誕生， 25 ；離子和鹽類 28

第二章 溶 液 35

溶液的性質， 35 ；鹽類在水中的溶液， 42 ；飽和與過飽和 46

第三章 溶解度圖解 54

鹽對水的比例， 54 ；形成水化物的鹽類 58

第四章 兩種生長晶體的方法 62

製造飽和溶液， 62 ；製造種子晶體， 65 ；製造封瓶（過冷）法的生長溶液， 66 ；在封瓶法中加種子于溶液， 67 ；蒸發培養法的變更， 70 ；晶體生長和收穫， 71；一處方的例子， 72 ；兩種方法的比較 73

第五章 生長晶體的十二個處方	75
十二水硫酸鋁鉀(“明礬”)， 75	；十二水硫酸鉻鉀(“鉻礬”)， 76
四水酒石酸鈉鉀(“洛瑟爾鹽”)， 77	；兩種硫酸鎳的水化物， 78
溴酸鈉， 81	；氯酸鈉， 81
硝酸鈉(“硝石”)， 82	；鐵氰化鉀(“赤血鹽”)， 83
一水醋酸銅， 83	；二水蟻酸鋇， 83
六水鉻酸三鈉鉀， 84	；六水醋酸銅鈣 84
第六章 晶體的積木	85
晶體的形狀， 85	；晶態形狀的畸變， 90
自然面間夾角 95	
第七章 晶體的對稱	102
對稱的觀念， 102	；對稱操作， 104
三因次的對稱， 110	；六晶體系 120
第八章 晶體中原子的排列	124
二因次積木和原子， 124	；真正晶體的構造， 132
密切堆積構造， 135	；密切堆積單元， 138
其他構造 144	
第九章 裂開和滑動晶體	152
第十章 晶體熔解和轉變	162
第十一章 壓電現象	172
第十二章 幾種光的實驗	180

第十三章 晶體的分類.....192

曝露內情的習性， 192 ；條紋和三十二種晶類， 198 ；
蝕像， 201 ；在晶體中似螺旋般的行狀， 203 ；不對稱
分子 205

附 錄

材料的來源， 249 ；單位的換算， 251 ；結晶學史要，
253 ；分光鏡製造， 254 ；晶類表， 256 ；研究的建
議， 259 ；參考書籍與論文， 263 ；問題答案 267

第一章 固體和晶體

冰河是水晶造成的嗎？在幾世紀以前，人們認為冰河是水晶造成的。但是今日你們瞭解較深了，知道冰河是冰造成的。

這兒用一個有趣的例子，來說明一個名詞是如何的能混淆事實。這個名詞就是“CRYSTAL”晶體，它來自希臘，意思是“透明的冰”（Clear ice）。可是現在誰不知道，水晶才是“晶體”而冰河却是“透明的冰”呢？

甚至在今日，“晶體”這名詞仍然使人感到混淆；一本完全的字典，將為你指出它的許多不同的用途。晶體是一個可以在其中注視未來的透明的球嗎？是一個雕花玻璃的調合酒杯嗎？是指環中鑲嵌的寶石嗎？它有光滑的面和銳利的角嗎？你能透視它嗎？在一種或另一種的定義中，字典上的回答可能都說是。

但物理學家對這些問題將回答說，“也許是，但要看情形而定。”他對“晶體”一詞有一個明確的用法，那是字典上所載的許多用法之一，他與化學家，冶金家，以及結晶學家共同合用。他所能給你的最簡短的定義將是：“晶體”是固體，固體是晶體，”在他不曾引伸這定義以前，這不是一個很有助於瞭解的定義。至於固體”？他對這名詞也有一個明確的用法。

對於你有關調合酒杯的問題，他也許回答說，“不，那不是晶體，因為它不是固體。”這是一個驚人的回答，甚至可以使任何一個曾打破過調合酒杯的人感到困擾，因為他一定會發現玻璃碎片確是“固體”（Solid）硬得足夠割傷他自己。但是你得耐心的聽取物理學家

2 晶體和晶體的生長

的理由。你將對物質世界獲得新的見識；你將學會在最意外的地方看到他的晶體。在以後的幾章中，你將學會在家裏自己製成一些迷人的晶體，並且用它們做顯示性的實驗。

物質的三態

因為物理學家說，“晶體是固體”，讓我們首先看看“固體”這一個熟悉的名詞。有一位物理學家曾在著述中說過：固體是材料世界中的一部份，東西放在上面它能支住，踢它時會受傷，發射時會遭到殺傷」。它概括而簡明地區別了固體和流體。流體包括液體和氣體，另一位物理學家曾說過，“我們區別物質的三態：固體，液體，和氣體。”現在讓我們循着這條線索，對這三種熟悉的狀態思索片刻吧。

有些材料能成爲三種形式的任何形式，而不變更它們的化學成分。蒸汽、水、和冰是一種單一材料成爲三種形式的一般名稱。另一種熟悉的液體，最便于製溫度計的，是金屬汞。它是一種“液態金屬”。但在足夠低的溫度下會凝固成固態金屬，並且只要你能繼續維持它夠冷時，它的一切性質跟一般熟悉的固態金屬很相似。但在足夠高的溫度下，汞將氣化爲一氣態金屬；例如它在水銀燈中形成氣體。

二氧化碳的氣泡嘶嘶的從啤酒和汽水中冒出，表示二氧化碳在普通情況下是一種氣體。在足夠低的溫度下，這同一材料形成固體叫做乾冰。不像普通的水，那“冰”是“乾”的，因為二氧化碳在普通壓力下，決不以液態形式出現。當你將它放在溫暖的地方時，它便會消失在稀薄的空氣裏，因為它直接從固體變成了氣體。但是如果你將它密封並且置于較高壓力之下，它也能變成液態的二氧化碳。

甚至食鹽或一塊石英岩石，如果你使它獲得足夠熱量時，也會熔解成液體。實際上，如果你使這些東西接受更多熱量，即可使它們變成氣體。

但是你不能從所有的固體，甚至于多數的固體，製成液體和氣體