

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

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

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  
發行者 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第 15795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，因素很多，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，同將人類的的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之收穫，已超越以往多年累積之成果。昔之認為若幻想者，今多已成爲事實。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，誠令人無限興奮！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，尤爲社會、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，始能爲蔚爲大器。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，輔助教學，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爲監修人，編譯委員王洪鎧氏爲編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱工作。「科學圖書大庫」首期擬定二千種，凡四億言。門分類別，細大不捐；分爲叢書，合則大庫。爲欲達成此一目標，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。最後成為該實驗室中，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，作為副業。

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，并供以後的試驗。」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

HWH 609/10

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 (phylis 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)；教育服務社的達司頓 (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 (Gerard 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

## VI

<b>第五章 生長晶體的十二個處方</b> .....	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 ; 六水鉻酸三鈉鋰, 84 ; 六水醋酸銅鈣 84	
<b>第六章 晶體的積木</b> .....	85
晶體的形狀, 85 ; 晶態形狀的畸變, 90 ; 自然面間夾角 95	
<b>第七章 晶體的對稱</b> .....	102
對稱的觀念, 102 ; 對稱操作, 104 ; 三因次的對稱, 110 ; 六晶體系 120	
<b>第八章 晶體中原子的排列</b> .....	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	
<b>第九章 裂開和滑動晶體</b> .....	152
<b>第十章 晶體熔解和轉變</b> .....	162
<b>第十一章 壓電現象</b> .....	172
<b>第十二章 幾種光的實驗</b> .....	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，”在他不會引伸這定義以前，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會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