

137339

結晶學

原著者 Г. М. 波 波 夫
И. И. 沙弗蘭諾夫斯基
譯 者 尹 積 成 周 凝 瑞



对

上海中外書局出版

結 晶 學

原著者 Г. М. 波波夫
И. И. 沙弗蘭諾夫斯基
譯者 尹積成 周凝瑞

江南大学图书馆



91490844



上海中外書局出版

編號 0018

25 開

294 用紙面

定價：¥ 22,000

書 名

КРИСТАЛЛОГРАФИЯ
結 晶 學

原 著 者

Г. М. 波 波 夫 基
И. И. 沙 弗 蘭 諾 夫 斯 基

譯 者

尹 積 成 周 凝 瑞

出 版 者

中 紅 書 局

上海中山東一路十八號

經 售 處

全 國 各 地 公 私 營 書 店

1953 年 6 月初版 0001—4000 册

1953 年 6 月再版 4001—8000 册

譯 序

「結晶學」一書係蘇聯高等教育部審定化學系與地質系教科書，內容分爲幾何結晶學、物理結晶學及結晶化學三部份，中以關於晶體幾何結構的闡述最爲詳細，這一部份是其他科學如礦物學、物理化學等的基本知識及深入研究結晶學的基礎；其他部份則重於闡明各種基本概念，結晶學與別的科學的聯繫以及晶體性質與實際應用等。全書貫穿着一個總的精神：理論結合實際，配合教學的進度與各主要課程緊密啣接——這正是蘇聯教科書的共有優點。

目前國家開始大規模經濟建設，大力培養技術幹部，而地質勘察人材更佔訓練計劃中的首要地位。最近，全國高等學校經過院系調整之後，已掀起學習蘇聯先進科學經驗的高潮，進行了一系列的學制改革，以前所用的英、美教科書業經證明多半不能適用，而結晶學方面則連舊有的教科書也極鮮見。譯者鑒於此種情況，加以在學習過程中深深體會到蘇聯教科書的優越性，因此不揣學識淺陋，將此書譯出以供需要。

原著詞簡義明，極合大學一年級學生的程度，譯者自審譯述態度雖極認真，但限於修養，恐難免仍有錯誤之處，希望同志們多多指正和批評。

譯 者 一九五三年二月於哈爾濱工業大學

初 版 原 序

本書作者之主要目的在於撰述能與我國高等學校地質系及化學系課程完全配合之教科書。

鑒於晶體一般測角法，X射線測定法，結晶化學及結晶生成學說等一般列為專門課程，本書內有關各章皆儘量加以精簡。

著述之際，作者努力以列寧格勒國立大學安謝列斯教授之「結晶學教程」為遵循之本，並廣泛利用該校實驗室之參考書，圖表與模型。

此外，作者採用本書主編者安謝列斯教授之意見及補充甚多。「結晶學教程」及陀利伏—道勃勞福里斯基教授之指示對本教科編排計劃有莫大之影響。本書之插圖多數取自陀利伏—道勃勞福里斯基教授與保爾底列夫教授之教本及高德列夫斯基所著之「簡明教科書」。

最後，謹向對本書提供寶貴意見與助力之安謝列夫教授，塔塔斯基副教授，格魯舍維茨基，佛蘭克—卡勉聶茨基等氏及編製本書插圖之德密多娃表示衷心的感謝。

至於地質學文獻編輯委員會史鐵靈，克魯古獵可夫，伊凡諾夫等多方贊助，亦并此誌謝。

列寧格勒國立大學 一九四〇年

助 教 波波夫
副教授 沙弗蘭諾夫斯基

再 版 原 序

本書二版曾作一系列之修正與補充。

茲謹向對本書提出寶貴意見與批評之伯良欽院士，薩伏里茨基院士，別洛夫通訊院士，裘賓可夫教授，安謝列斯教授，波基葉教授，葛利高里葉夫教授，弗林脫教授，華西列夫，維爾吐許可夫，列明娜，米協也夫，塔塔斯基，弗蘭克—卡勉聶茨基等氏及負責訂正本書之李脫溫斯卡姪表示衷心的感謝。

作者以無任感激之心情追憶已故院士費爾曼氏對本書初次問世前後之熱烈贊助與鼓勵。

最後再度強調指出，作者未敢妄稱本書為內容豐富之結晶學教程。作者僅企圖為初學者提供一盡可能簡短之教科書。當然，作者在榮膺列寧勳章之列寧格勒國立大學與列寧格勒礦專多年教學之經驗對本書之性質當有所影響。著述時，作者以大學生為本書之對象。

列寧格勒國立大學 一九四六年

副教授
教授

波波夫
沙弗蘭諾夫斯基

137339

目 錄

譯 序

初版原序

再版原序

第一章 緒論	1
§ 1. 導言	1
§ 2. 晶體的分佈	2
§ 3. 晶體的結構	3
§ 4. 空間格子	5
§ 5. 結晶的重要性質	7
§ 6. 結晶學與其他科學的關係	9
第二章 結晶的發生、生長與破壞	12
§ 1. 結晶的發生	12
§ 2. 結晶體形成的途徑	13
§ 3. 結晶體在溶液中的生長	13
§ 4. 結晶的伴生現象	16
§ 5. 結晶體的溶解與再生	18
§ 6. 渦流及其他影響結晶外形的因素	19
§ 7. 角的不變定律	22
§ 8. 角的不變定律的例外	25
第三章 結晶體的對稱	26
§ 1. 概念	26
§ 2. 對稱要素	27
§ 3. 對稱中心	28
§ 4. 對稱面	30

§ 5. 對稱軸.....	31
§ 6. 像轉對稱軸.....	39
§ 7. 關於證明對稱要素的概念.....	42
§ 8. 對稱要素之組合.....	45
§ 9. 單向.....	50
§ 10. 三十二種對稱形式.....	53
§ 11. 晶系.....	60
§ 12. 如何決定實際晶體之對稱.....	67
第四章 晶體的形狀.....	70
§ 1. 緒言.....	70
§ 2. 赤平投影.....	70
§ 3. 單形及聚形.....	76
§ 4. 單形證明的概念.....	78
§ 5. 低級晶族之單形.....	83
§ 6. 中級晶族之單形.....	87
§ 7. 等軸晶系之單形.....	95
§ 8. 實際晶體的形狀及其連生.....	106
第五章 結晶符號.....	111
§ 1. 緒言.....	111
§ 2. 有理數定律.....	111
§ 3. 晶面符號.....	116
§ 4. 結晶軸選擇定理.....	120
§ 5. 晶體的安置.....	123
§ 6. 晶稜符號.....	137
§ 7. 晶帶定律.....	139
§ 7. 舉例.....	143
第六章 晶體的一般測角法及 X 射線測定法.....	147
A. 測角法.....	147
§ 1. 引言.....	147

§ 2. 單圓反射測角器	148
§ 3. 雙圓反射測角器	149
§ 4. 球座標	151
§ 5. 晶面符號之精確測定法	153
§ 6. 弗遙特洛夫氏結晶化學分析	157
B. 結晶之 X 射線測定法	159
§ 7. 導言	159
§ 8. X 射線之產生	160
§ 9. X 射線管的白色與特性射線	161
§ 10. 勞埃氏之發現。固定單晶法	163
§ 11. 布拉格實驗及 X 射線在晶體面網上的反射定律	166
§ 12. 布拉格——烏爾夫公式	168
§ 13. 布拉格法	172
§ 14. 晶體旋轉法	182
§ 15. 粉末法	185
§ 16. 銀的狄貝圖中算式舉例	189
§ 17. 結論	191
第七章 物理結晶學	194
§ 1. 導言	194
§ 2. 晶體的硬度	194
§ 3. 解理性	196
§ 4. 晶體的機械變形	198
§ 5. 晶體的彈性	200
§ 6. 晶體的導熱性	203
§ 7. 結晶光學	205
§ 8. 壓電性與熱電性	224
第八章 結晶化學(基本概念)	228
§ 1. 導言	228
§ 2. 簡史	228
§ 3. 格羅德定律與晶體在各晶系的分佈	230

§ 4. 原子半徑與離子半徑	231
§ 5. 球體最密累疊法	232
§ 6. 座標數	236
§ 7. 高許米德的結晶化學原理	238
§ 8. 物理化學型結晶結構	239
§ 9. 類質同像體	242
§ 10. 同質異像體	244
§ 11. 結論	246
附錄 I. 幾何結晶學複習表	250
附錄 II. 單形之同義語以及過去之分類	272

第一章 緒論

§1. 導言

一般具有多面體形狀的固體就稱為結晶體。

此種多面體的表面由許多平面，即晶面圍合而成。晶面相交之直線稱為晶稜。晶稜的交點為晶體的頂點。必須立刻指出：結晶體之有一定幾何形狀，首先係由其內部性質所決定。顯著的結晶體可於自然界中形成，亦可在工廠或實驗室條件之下得到。前者的例子有：小立

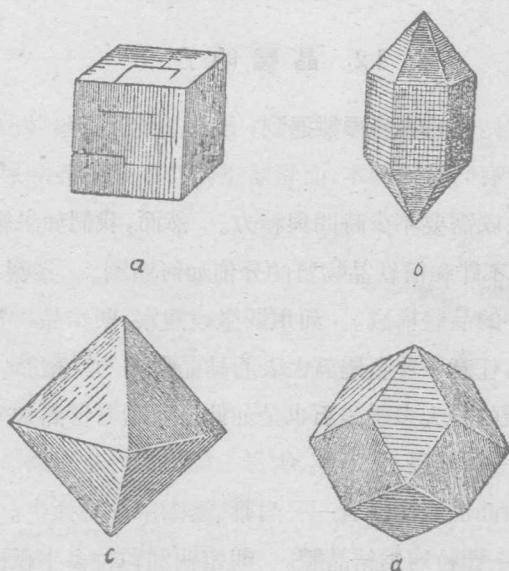


圖 1 a—食鹽, b—石英, c—磁鐵礦與 d—石榴石之晶體。

方體的食鹽 (NaCl)；兩端尖削的六角柱體水晶 (SiO_2)；最重要的鐵

礦——八面體的磁鐵礦 ($\text{Fe}''\text{Fe}'''\text{O}_2$) 以及十二面體的石榴子石等。

自然界中形成的晶體，有時大小可與人同。蘇聯科學院莫斯科礦物陳列館與榮膺列寧勳章的列寧格勒礦專礦物陳列館內所保存的巨大石英結晶就有如此大小。個別情形之下，一結晶體的長度可達數百公尺（石膏— $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）*。但一般均為小結晶體，更常有者為顯微晶體。

讀者自己亦可用人工方法獲得結晶體。欲達到此目的，祇須取一定重量之某種鹽類溶於定量的水中（例如，在室溫下取 15—17 克鉀明礬 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 溶於 100 c.c. 水中）。如溶液有蒸發的可能，則經過若干時間，該鹽的小晶體即自溶液中析出並開始生長。

§ 2. 晶體的分佈

一般以為結晶的物體極難遇到，因為上述保存於陳列館的巨大結晶祇是代表希有的特殊標本，而實驗室條件下亦不常得到大的多面體；大結晶體的長成需要不少時間與精力。然而，我們如果縝密地觀察周圍的東西，便不難相信結晶物質的分佈如何廣闊。食鹽、砂糖與多種藥品均由細小的晶體構成。如用顯微鏡觀察，則結晶物質的數目還要增加。例如，任意一塊金屬就代表着結晶顆粒的累積體。

構成地殼的絕大多數岩石也是如此。讀者當熟知分佈最廣的深成岩之一——含有長石、石英、雲母三種礦物的花崗岩。花崗岩中礦物之顆粒係由高溫液態物質——岩漿，逐漸冷卻時產生。光學研究的結果證明：每一顆粒均為結晶體。觀察個別顆粒多半祇能看到曲線的不規則輪廓，而不能發現其顯著的直線外形。此種情形的解釋是：岩漿中無數晶體同時成長，因此，個別晶體在彼此擠壓之下無法獲得完整

* 參閱霍爾斯曼院士所著「礦物學奇談」—1937。

的外形。

光學方法同時證明：砂、黏土等水成岩主要是由極細小的結晶碎塊構成。其他有機生成或化學生成的水成岩——如石灰石、白雲石、食鹽、石膏等亦為結晶物質。

自一九一二年始，已可能以 X 射線研究顯微鏡所無法研究的結晶微粒之排列。藉此種方法進行研究的結果，使結晶物質的範圍又行擴大。例如，經證明煤煙、蠟、眼膜等均屬極細小晶體聚積而成者。

前面所述，足以說明晶體分佈之廣泛及其在日常生活、科學技術與醫學上所起的作用。

§3. 晶體的結構

根據上述，可知前節所舉結晶體之定義絕不夠全面與嚴謹。因為花崗岩、合金或許多化學沉澱物的顆粒雖係晶體，由於生成條件的影響，並不具有有規則的幾何外形。

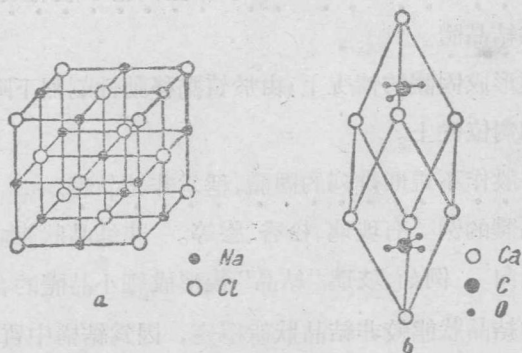


圖 2 a—食鹽的結構，b—方解石的結構。

於是產生一問題：一切晶體毫無例外的共有特性是什麼？此項問

題的答案終由 X 射線研究物質的方法加以證實。X 射線分析法能確定構成結晶物體的原子、離子或分子在空間的分佈情形。此種分析的結果證明一切晶體均由有規律地分佈於空間的質點構成。原子、離子、分子的有規則排列係結晶狀態與非結晶狀態之區別，後者有規則的程度極微。

圖二表示食鹽與方解石 (CaCO_3) 中原子(離子)作有規律之分佈。

一切晶體結構中均可找出相同之原子，其分佈情形猶如空間格子之交叉點(圖 5)。為說明此種空間格子起見，可於想像中用無數相等的平行六面體作平行而緊密的排列，使填滿空間不留餘隙，方塊或磚的緊密堆砌即類似此種平行六面體組合的最簡單例子。倘在上述平行六面體的頂點或其重心各置一原子(離子、分子)，即得結晶體的空間格子(在實際晶體的結構中，佔據此種位置者常非個別原子或離子而係原子或離子羣)。

空間格子結構為一切晶體所特有，絕無例外，故成為晶體的特性。

因此，質點(原子、離子、分子)作空間格子狀有規則排列的一切固體均稱為結晶體。

在迅速形成固體的情況下，由於質點移動性劇烈下降，不及分佈到有規則的相對位置上。

質點一般作不規則排列的固體，稱為非結晶體。

非結晶體的例子有玻璃、松香、膠等。非結晶狀態並不穩定，隨時有結晶的傾向。例如，玻璃“結晶”後形成細小晶體的合成物。

固體的結晶狀態較非結晶狀態穩定，因為結構中質點的有規則排列即意味着最小的內能(晶體生成時放出熱量，晶體破壞——熔解或溶解——時吸收熱量)。在結構方面，非結晶物質與過冷卻液體相似。

祇有結晶體才是固體的真正代表。

§4. 空間格子

茲詳細說明空間格子之作圖法及其若干細節。

於晶體內任取一質點，如原子 A_0 ，定為格子的原始結點（圖 3）。

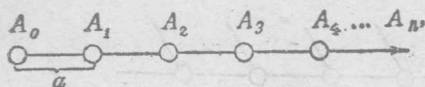


圖 3 空間格子的晶列

設距原子 A_0 最近處有同樣的原子（結點） A_1 ，距離為 a ($a = A_0 A_1$)。延長直線 $A_0 A_1$ ，可得一系列沿直線排

列的結點 $A_2, A_3, A_4, \dots, A_n$ 。該直線上各隣接結點間的距離均相同且等於 a 。

沿一直線排列的結點的總和，稱為晶列。

a —— 稱為列距。

實際結晶體的晶稜相當於原子排列最密亦即列距最小的晶列。

繼續討論格子的作圖法。

以原子 A_0 為原點，於直線 $A_0 A_1 \dots A_n$ 外取同一平面內相隔最近之原子。設此原子為結點 B_1 且與結點 A_0 相隔 b （圖 4）。延長直線 $A_0 B_1$ ，得一系列結點 $B_2, B_3, B_4, \dots, B_n$ ，構成列距為 b 的新晶列。

經結點 $B_1, B_2, B_3, \dots, B_n$ 作直線平行於第一晶列 $A_0 A_1 \dots A_n$ ，即得一組與其類似的晶列（所作晶列的列距亦等於 a ）。同理，經 $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ 可得平行於晶列 $A_0 B_1 \dots B_n$ 且與其相似的晶列（各晶列上隣接結點的距離均等於 b ）。

結果求得無數結點，此等結點分佈於同一平面內且位於平行排列而隣邊重合的平行四邊形頂點上。

此種平行四邊形將作圖面全部遮蔽，不留任何空隙（圖 4 中一平行四邊形畫有暗影），形成所謂面網。

根據前述，顯然有二晶列即足以決定一面網（晶列 $A_0 A_1 \dots A_n$ 與 $A_0 B_1 \dots B_n$ 決定面網 $A_n - A_0 - B_n$ ）。

實際晶體的晶面相當於原子分佈最密的面網，或所謂結點密度大的面網（面網的結點密度即單位面積面網上結點的數目）。

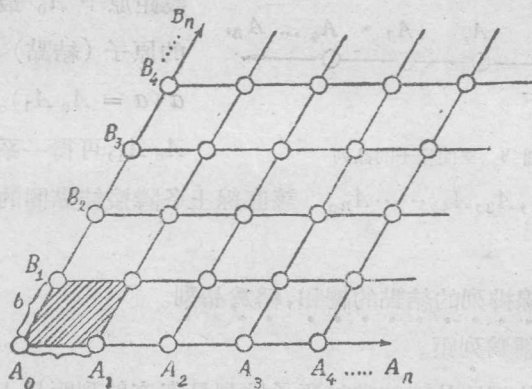


圖 4 面網。

空間格子更進一步之作圖須在作圖面外進行。於面網平面 $A_n - A_0 - B_n$ 之外，取一離原點 A_0 最近之原子 C_1 。設 $A_0 C_1 = C$ 。延長直線 $A_0 C_1$ 得一系列結點 C_2, C_3, \dots, C_n ，構成列距為 C 的第三晶列。

經第三晶列各結點可作面網平行於第一面網 $A_1 - A_0 - B_n$ 。

所得者均與第一面網相同，故構成一組面網。前面已經指出，二晶列可決定一面網。依此，以第一（ $A_0 A_1 \dots A_n$ ）與第三（ $A_0 C_1 \dots C_n$ ）晶列及第二（ $A_0 B_1 \dots B_n$ ）與第三（ $A_0 C_1 \dots C_n$ ）晶列為基準可各作一面網。

經第一與第二晶列各結點可作兩組面網平行此二面網。所得三組面網相交而成上述之平行六面體羣（圖 5 中一平行六面體以粗線劃出）。

所得相等的平行六面體平行排列，隣面重合，填滿空間不留任何空隙。

平行六面體的頂點上佈有空間格子的結點。

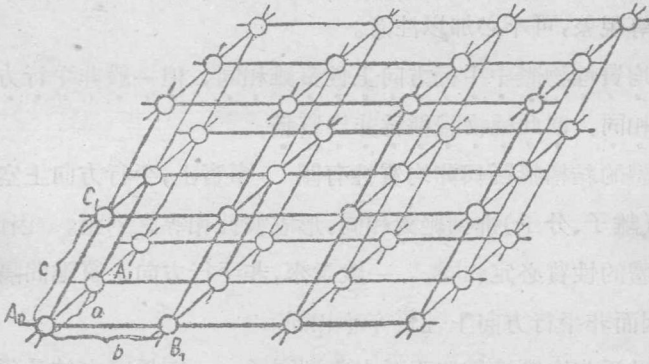


圖 5 空間格子。

類似如此的結構為非封閉形體，因各晶列均可延長至任意遠處。

實際的晶體，在圖形上，可視為空間格子受稠密面網（晶面）與晶列（晶稜）之限制而成之封閉部份。

§ 5. 結晶的重要性質

經應用 X 射線加以證實的空間格子觀念係奠定現代結晶學的基礎。然而，關於晶體空間格子式結構的理論在 X 射線分析法發明以前早已創立。過去，偉大結晶學家布拉維，弗遙特洛夫氏等對此理論予以精密而完整之數學證明。X 射線的應用乃以實驗方法證實那些假想結構的正確。

一九一二年以前，結晶結構理論完全建立在實驗方法所獲知結晶狀態的若干特性上。