

部編大學用書

國立編譯館主編

晶體之結構與性質

余樹楨著

渤海堂文化公司印行

部編大學用書

晶體之結構與性質

國立編譯館主編

余樹楨著

渤海堂文化公司印行

中華民國七十八年十月再版

版 權
所 有



晶體之結構與性質

全一冊
定價新台幣300元

著作權
所有者
著者
發行人
印刷及
發行所

國 立 編 譯 館

余 樹 楨
高 本 釗

渤海堂文化事業有限公司

臺北市羅斯福路一段20號8樓之1

登記證局版臺業字第3694號

郵政劃撥帳戶109426-2

電話：3928516

ISBN 957-9324-06-9

序

這是一個科技的時代，一個現代人要很有效率地生活在這個高度科技的時代裏，對二十世紀的科學與技術還真非得有點最起碼的基本認識與了解不可。從太空梭、超導體、雷射、電腦以至於電視、電話、音響、電子錶以及鑽戒等等，無一不是與「晶體」有著密不可分的關連，而且都直接或間接地影響著人類在地球上或地球以外所從事的各項活動。日常生活中我們不僅天天要接觸到無以數計的晶體，其實人們甚至每天還要吃下成千上萬的結晶——餐桌上的食鹽。

大學裏的礦物學、材料科學（特別是陶瓷、金屬及電子等材料）、固態物理以及化學等是討論到晶體的結構與性質的幾個主要學門。寫這本書的主要宗旨之一是希望提供修讀這些學門的學生一本最基礎的參考書。這本書爲了儘量能夠做到讓學生可以無師而自通的原則，因此插圖特別多，以增加讀者對文字敘述深一層的了解。

這本書首先介紹結晶學的概念，這是研究晶體內部原子排列（結晶構造）的基礎，特別闡釋「對稱」與「晶格」的意義。然後介紹原子或分子集結形成晶體的鍵結力（鍵能），以及各種基本而常見的晶體結構。由於矽酸塩類礦物是造成地殼的最主要成份，也是與人類文明活動最息息相關的天然材料，在礦物學及陶瓷材料科學中具有特殊的地位，因此獨立一章專門介紹常見的矽酸塩類礦物的晶體結構。介紹過結晶學與晶體構造以後，這本書進一步討論晶體的各種物理性質（如密度、硬度、解理、顏色、光澤等）以及這些物理性質與結構的關係。基本上晶體表現在外面的物理特性及其變化，大都可以從其結

11/10/02

2 晶體之結構與性質

晶構造來加以解釋。由於電性、磁性、彈性等性質在地球物理、材料科學及固態物理上的重要應用價值，所以另外獨立一章以裝量介紹這些晶體特性。這本書的最後三分之一篇幅主要是以前面十五章中所介紹的結晶學、晶體結構及晶體性質為基礎進一步討論晶體的結構轉變、X光的晶體繞射、晶體的構造瑕疵以及人造晶體等。除了基礎科學的本質外，這幾章也包含了一些應用科學的意義。因為這部份討論了晶體構造的解析，天然晶體的結晶過程，以及進一步以人工製造晶體的方法。

寫這本書之前，曾在成功大學地球科學系歷屆學生中進行問卷調查，結果發現有需要而與國立編譯館簽約編寫。這本書的完成，首先要謝謝成大地球科系諸位同仁的熱心支持。編寫過程中承蒙巫奉鈔、蕭炎宏、吳育雅、周成果、江威德、陳威福、蔡俊偉、龔慧貞提供插圖資料及校對部份文稿，謹此致謝。另外也謝謝游鎮烽及陳秋宗兩位繪製插圖。最後要感謝陳麗珍的抄寫、修正及校對大部份的文稿，以及余國彥與余雁萍的耐心與支持。一本書寫得十全十美似乎永遠只是個理想，所以對這本書的缺失，企盼讀者諸君隨時批評指正。

最後謹以最誠摯之心將這本書獻給最敬愛的爸爸與淨土之國的媽媽。

余樹楨謹識于國立成功大學地科系

中華民國七十六年十一月

晶體之結構與性質 目錄

序.....	1
一、晶格的初步認識.....	1
直移對稱與晶格.....	2
晶室.....	4
晶格中之點、線、面表示法.....	7
二、基本對稱元素及其對稱作用.....	15
直移對稱.....	17
旋轉對稱.....	17
反射對稱.....	20
反逆對稱.....	21
三、複合對稱元素及其對稱作用.....	23
旋逆對稱.....	23
旋移對稱.....	25
射移對稱.....	33
四、點群與晶類.....	39
點群.....	39
旋轉軸之組合.....	40
旋轉軸與鏡面之組合.....	45
順型軸與反型軸組配.....	52
點群符號.....	54
五、晶體之座標系統——晶系.....	57
等軸晶系.....	58

2 晶體之結構與性質

正方晶系·····	59
六方晶系·····	61
斜方晶系·····	62
單斜晶系·····	63
三斜晶系·····	65
六、晶體投影·····	67
赤平投影·····	67
極平投影·····	80
正射投影·····	82
七、晶形·····	85
等軸晶系之晶形·····	85
正立方體·····	86
正十二面體·····	87
正八面體·····	88
正四面體·····	88
四六面體·····	90
五角十二面體·····	91
偏方三八面體·····	92
三四面體·····	93
三八面體·····	94
扁方十二面體·····	95
六八面體·····	96
六四面體·····	97
偏方二十四面體·····	98
螺旋二十四面體·····	99
四分半面體·····	100

正方晶系之晶形·····	103
單面·····	103
軸面·····	103
正方柱面·····	104
複正方柱面·····	104
正方錐面·····	104
正方雙錐面體·····	108
複正方錐面·····	108
複正方雙錐面體·····	108
正方雙楯面體·····	108
正方偏方面體·····	110
正方偏三角面體·····	110
六方晶系之晶形·····	111
菱面體·····	122
六方偏方面體·····	123
三方偏方面體·····	124
六方偏三角面體·····	125
斜方晶系之晶形·····	126
柱面·····	126
頂面·····	128
雙楯面體·····	128
錐面·····	128
雙錐面體·····	128
單斜晶系之晶形·····	131
楯面·····	131
三斜晶系之晶形·····	132

4 晶體之結構與性質

八、晶類之決定	135
晶形決定晶類	135
蝕刻決定晶類	142
X光繞射決定晶類	144
九、晶格	149
二維晶格	149
正方晶格	149
六方晶格	149
長方晶格	149
面心晶格	151
斜形晶格	151
二維晶格之對稱元素分佈	152
正方晶格之對稱元素	154
六方晶格之對稱元素	158
長方晶格之對稱元素	159
面心晶格之對稱元素	159
斜形晶格之對稱元素	160
三維晶格	160
等軸晶系之三維晶格	161
正方晶系之三維晶格	163
六方晶系之三維晶格	164
斜方晶系之三維晶格	164
單斜晶系之三維晶格	167
三斜晶系之三維晶格	169
十、空間群對稱	171
等軸晶系空間群	171

正方晶系空間群·····	174
六方晶系空間群·····	177
三方晶系空間群·····	180
斜方晶系空間群·····	181
單斜晶系空間群·····	184
三斜晶系空間群·····	186
對稱元素垂直紙面者·····	186
對稱元素平行紙面者·····	187
十一、電子與鍵結·····	193
原子核與電子層·····	193
電子層與能階·····	194
電子的波特性·····	196
電子軌域·····	199
電子組態·····	204
離子化能量·····	210
陰電性·····	211
鍵結·····	214
離子鍵·····	214
共價鍵·····	215
金屬鍵·····	217
氫鍵·····	219
凡得瓦鍵·····	219
原子半徑·····	221
半徑之變化·····	222
配位數·····	235
電價數·····	235

6 晶體之結構與性質

電子自旋狀態·····	236
鍵結性質·····	238
溫度與壓力·····	238
偏極化·····	239
十二、晶體內部原子排列——晶體結構·····	241
金屬鍵晶體·····	241
共價鍵晶體·····	247
金剛石結構·····	247
甲烷分子結構·····	247
石墨結構·····	251
藍氏石結構·····	252
碳纖維結構·····	253
閃鋅礦結構·····	255
纖鋅礦結構·····	255
離子鍵晶體·····	257
陽離子：陰離子 = 1 : 1 的晶體·····	266
岩塩結構·····	266
紅砷鎳礦結構·····	269
氯化鉍結構·····	273
陽離子：陰離子 = 1 : 2 的晶體·····	275
氯化鎘結構·····	275
碘化鎘結構·····	276
螢石結構·····	278
金紅石結構·····	280
石英結構·····	284
磷石英與方英石結構·····	287

陽離子：陰離子 = 2 : 3 的晶體	290
剛玉結構	290
陽離子：陽離子：陰離子 = 1 : 1 : 3 的晶體	293
鈣鈦礦結構	293
鈦鐵礦結構	295
方解石結構	295
白雲石結構	298
霏石結構	298
陽離子：陽離子：陰離子 = 1 : 2 : 4 的晶體	300
尖晶石結構	300
金綠寶石結構	303
十三、矽酸塩類晶體結構	305
島狀矽酸塩	305
橄欖石結構	305
石榴石結構	307
雙島矽酸塩	310
環狀矽酸塩	310
環狀矽酸塩	310
單鏈矽酸塩	312
輝石結構	312
準輝石結構	316
雙鏈矽酸塩	320
角閃石結構	320
片狀矽酸塩	323
架狀矽酸塩	331
十四、晶體之基本物理性質(-)	339

8 晶體之結構與性質

密度	339
密度之量測	341
理論密度	343
解理	347
斷口	350
裂理	351
硬度	351
控制硬度的因素	355
韌度	357
熔點	359
顏色	360
晶體力場成色	361
色心成色	366
電子移轉成色	367
能帶成色	368
繞射成色	371
光澤	371
條痕	373
參考文獻	374
十五、晶體之基本物理性質(二)	375
座標之轉換	375
向量轉換	378
張量	380
對稱元素與矩陣	381
諾以曼定律	387
熱電性質	388

導電性質.....	394
導電係數.....	394
電阻係數.....	397
壓電性質.....	398
熱膨脹.....	408
彈性性質.....	409
磁性性質.....	415
磁化強度.....	423
磁點群.....	429
參考文獻.....	436
十六、晶體之相變.....	437
移位相變.....	437
重稱相變.....	438
序位——非序位相變.....	440
相變與自由能.....	442
相變與離子半徑比.....	444
鑽石高壓砧.....	445
鑽石位置校正.....	450
壓力之計算.....	452
狀態方程式.....	452
紅寶石螢光壓力計.....	454
十七、晶體之 X 光繞射.....	461
傳統 X 光源.....	461
特性 X 光.....	464
$K\beta$ 射線之過濾.....	469
轉靶 X 光源.....	472

同步輻射 X 光源	474
X 光繞射原理	474
原子面間距	474
逆晶格	477
勞氏方程式	481
布拉格方程式	484
繞射球	487
單晶 X 光繞射	487
進動法	489
魏森堡氏法	495
勞氏法	496
四環單晶繞射儀	496
粉晶 X 光繞射	496
迪白——史瑞氏法	498
甘氏相機	500
聚焦相機	503
粉晶繞射儀	506
晶體繞射資料解析	507
鑑定分析	507
誤差分析	509
能量擴散分析	512
晶體結構分析	513
十八、晶體之構造不連續	515
點的構造不連續	515
晶格空位	516
雜質	516

法蘭科瑕疵·····	517
紹特基瑕疵·····	517
線的結構不連續·····	518
面的結構不連續·····	522
錯斷·····	522
晶界·····	522
域界·····	524
雙晶·····	526
雙晶的分類·····	528
雙晶的形成·····	529
析晶·····	536
環帶·····	539
瑕疵構造之 X 光分析·····	544
柏——巴氏方法·····	544
郎氏方法·····	545
波爾曼氏法·····	547
十九、人工晶體·····	549
維諾氏晶體育成法·····	550
紅寶石與藍寶石·····	552
鈦酸鋇晶體·····	554
柴科斯基氏晶體育成法·····	554
釷鋁石榴石·····	556
釷鎂石榴石·····	556
克羅甫洛氏晶體育成法·····	557
顯熔晶體育成法·····	558
熱水單晶育成法·····	560

12 晶體之結構與性質

助熔單晶育成法·····	563
祖母綠晶體·····	565
鑽石之人工合成·····	565