

高等学校交流讲义

结 晶 学

JIEJINGXUE

上 册

南京大学地质系矿物岩石教研组
季寿元、罗谷风等编



人民教育出版社

高等学校交流讲义



結 晶 学

JIEJINGXUE

上 册

南京大学地质系矿物岩石教研组编

人 民 教 育 出 版 社

12 012
高等学校交流讲义



結 晶 学

JIEJINGXUE

下 册

南京大学地质系矿物岩石教研组編

人 民 教 育 出 版 社

結 晶 学

上 册

南京大学地质系編
矿物岩石教研組

北京市书刊出版业营业许可証出字第2号

人民教育出版社出版(北京景山东街)

人民教育印刷厂印装

新华书店北京发行所发行

各地新华书店經售

統一书号 13010·1037 开本 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张 7 $\frac{11}{16}$ 插页 1

字数 193,000 印数 1,601—3,600 定价 (6) 羊 0.80

1961年9月第1版 1961年12月北京第2次印刷

本书包括六个部分。第一部分为緒論，介紹晶体的基本概念和結晶学的概況及发展簡史等。第二部分为晶体生成学，讲述晶体生长的理論和人工培养晶体的一般方法。第三部分为几何結晶学，介紹晶体外形間的几何規律和各种現象，为全书之重点。第四部分为晶体結構学，讲述晶体內部結構的几何理論以及利用X射綫研究晶体結構的基本原理和方法。第五部分为晶体化学，介紹晶体化学之基本原理。第六部分为晶体物理学，主要介紹凡与矿物学以及晶体对称性密切相关的晶体的某些物理性质。此外，在全书之末尚附有若干附表和附录。

本书主要偏重于理論方面的闡释。

本书可供綜合大学地球化学专业用作“結晶学”課程的教材，也可供其他地质专业选用，并供有关工作者参考。

本书分为上、下两册出版。上册包括緒論、晶体生成学、几何結晶学三部分；下册包括晶体結構学、晶体化学、晶体物理学以及附表和附录等部分。

結 晶 学

下 册

南京大学地质系編
矿物岩石教組

北京市書刊出版业营业許可証出字第2号

人民教育出版社出版（北京景山东街）

人 民 教 育 印 刷 厂 印 装

新华书店北京发行所发行

各 地 新 华 书 店 經 售

統一書号 13010·1037 开本 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张 7 $\frac{11}{16}$ 插頁 1

字數 193,000 印數 1,601—3,600 定价 (6) 羊 0.80

1961年9月第1版 1961年12月北京第2次印刷

序

結晶学是地质系各专业的重要基础课程之一，它是学习矿物学、岩石学以及地球化学等课程时所必须掌握的先行课程。对于地球化学专业则尤为重要。

编写本书的主要目的是供综合大学及高等师范学校地球化学专业学生的教学和参考应用。全书共约三十余万字，分为大小两种字体。大字部分的内容前后连贯，可供教学应用；小字部分则主要供参考之用。非地球化学专业采用本书作为教材时，对大字体部分亦应作适当的删节。

本书内容主要着重于理论方面的阐释；并且在考虑到学生可能接受的前提下，尽可能地引用定量性质的描述来进行理论上的探讨。至于有关实际操作及运算等方面的内容，在本书中有意識地作了简略，留待在实际指导书中再作详细的阐述。

基于编写本书的主要目的，在全书中主要加强了晶体化学以及晶体结构方面的内容；同时，在其他各个章节中，也尽可能地贯穿了晶体格子构造和晶体化学的思想，力求以此来阐释晶体各方面的性质，使晶体宏观的外在现象与其微观的内在本质有机地联系起来。

此外，在书中所举之实例的选择上，尽可能地联系了矿物学的有关内容。而在本书的第十六章中，在叙述晶体的物理性质时，其内容的取舍详略，主要也是基于矿物学的角度出发来考虑的。

对于几何结晶学部分，本书的叙述系统与已有的各书比较，其先后次序有所不同。但这样安排是否适当，我们尚无经验，还有待于今后实践的检验。

本书是由我组结晶矿物学教学小组全体同志集体讨论、分工编写

的。其中除季寿元、罗谷风二同志参加了自始至終的全部工作以外，其他参加此項工作的同志有：田雨霖、白学訖、汪正然、林碧、涂紹雄、陈武、楊美娥。此外，我系地球化学专业1958級同学也曾参加了对本书原稿的討論。

本书付印的定稿是由下列同志执笔的：第一、六、七、八、九、十、十一、十二、十六章以及附表和附录——罗谷风；第二章——季寿元、田雨霖（§ 1），汪正然、白学訖（§ 2、§ 3），罗谷风（§ 2、§ 3、§ 4），由罗谷风綜合整理；第三、四、五、十三、十四、十五章以及結束語——季寿元。其中第四、八、九、十、十三、十四、十五、十六各章，以及第六、十一两章的部分內容，由于時間上的原因，最后修正稿未曾經過小組全体同志的审閱和討論，主要由季寿元和罗谷风两同志作了相互校閱，其中如有錯誤，由执笔者个人負責。书中插图除引用自其他书刊上者以外，部分系由高秀英同志清繪，其余均由罗谷风同志繪制、拍摄。

最后，本书在定稿前虽然曾經根据內部討論的意見作了多次的修改和增刪，但由于編者的水平有限，以及編写時間的仓促，錯誤与不当之处必然在所难免。我們衷心地希望讀者們給我們提出宝貴的意見，予以指正。

南京大学地质学系矿物岩石教研組

1961年5月

上册目录

序.....	1
--------	---

緒 論

第一章 晶体的基本概念.....	1
§ 1. 晶体以及結晶质和非晶质的定义.....	1
§ 2. 晶体分布的广泛性.....	4
§ 3. 晶体内部构造的規律——空間格子規律.....	7
§ 4. 晶体的基本性質.....	12
第二章 結晶学的内容和发展簡史及其在国民經济中的作用.....	23
§ 1. 結晶学的内容及其与其他科学的关系.....	23
§ 2. 結晶学在国外发展的簡史.....	29
§ 3. 結晶学在我国的发展.....	40
§ 4. 結晶学在国民經济中的作用.....	44

第一篇 晶体生成学

第三章 晶体的形成.....	52
§ 1. 引言.....	52
§ 2. 晶体形成的方式.....	53
§ 3. 晶核的形成.....	55
§ 4. 晶体成长的几何規律——几何淘汰規律.....	59
§ 5. 生长錯.....	60
§ 6. 晶面生长速度.....	62
§ 7. 布拉維法則.....	63
§ 8. 居里-吳里弗原理.....	64
§ 9. 科塞尔-斯特兰斯基理論.....	67
§ 10. 位錯理論.....	70
§ 11. 晶体成长过程中所伴随的現象.....	72
§ 12. 影响晶体形态的环境因素.....	73
§ 13. 晶体的溶解和再生.....	78
第四章 晶体的人工培养.....	80
§ 1. 引言.....	80

§ 2. 从溶液中培养晶体	81
§ 3. 从熔体中培养晶体	85
§ 4. 利用再结晶作用培养晶体	89
§ 5. 利用升华作用培养晶体	90
§ 6. 刚玉晶体的培养	91
§ 7. 电解法	91

第二篇 几何结晶学

第五章 面角守恒定律及晶体测量和投影 95

§ 1. 引言	95
§ 2. 面角守恒定律	95
§ 3. 晶体测量	98
§ 4. 晶体的投影	105
§ 5. 极射赤平投影	110
§ 6. 心射极平投影	117
§ 7. 正射投影	118

第六章 晶体的宏观对称 119

§ 1. 引言	119
§ 2. 对称的概念和晶体的对称性	119
§ 3. 对称变换与晶体的对称要素	120
§ 4. 对称要素的组合	133
§ 5. 对称型的概念及其推导	140
§ 6. 对称型按其对称性质划分的类型	159
§ 7. 晶体按对称特点之分类——晶族与晶系之划分	161

第七章 晶体界限要素之间的几何关系 163

§ 1. 引言	163
§ 2. 晶体的界限要素	164
§ 3. 整数定律	165
§ 4. 晶体定向的原则和晶体几何常数的概念	168
§ 5. 各晶系晶体之定向及其晶体几何常数特征	175
§ 6. 晶面符号和晶棱符号以及两者间之关系	185
§ 7. 六方晶系和三方晶系按布拉维四轴定向时的晶面符号和晶棱符号以及两者间之关系	190
§ 8. 晶带的概念及晶带定律	194
§ 9. 晶带定律的应用	196
§ 10. 晶体计算——晶体几何常数和晶面指数之确定	201

第八章 晶体的理想形状	206
§ 1. 引言	206
§ 2. 单形的概念和单形符号	207
§ 3. 单形之推导和 146 种单形	209
§ 4. 几何外形不同的 47 种单形	220
§ 5. 单形的几种特殊类型	232
§ 6. 聚形的概念和聚形中的单形分析	235
第九章 实际晶体	237
§ 1. 引言	237
§ 2. 实际晶体内部构造上的缺陷	238
§ 3. 实际晶体的某些特殊形态	241
§ 4. 晶面花纹(晶面浮雕)	245
§ 5. 实际晶体的对称	249
§ 6. 晶体的结晶习性	252
第十章 晶体的连生体	255
§ 1. 引言	255
§ 2. 浮生	255
§ 3. 平行连晶	263
§ 4. 双晶的概念	265
§ 5. 双晶要素	265
§ 6. 双晶律及双晶的类型	268
§ 7. 双晶的形成方式	270
§ 8. 双晶在各晶系中的分布	273
§ 9. 双晶的辨识及其实际意义	279
§ 10. 晶体的类规则连生	281

下册目录

第三篇 晶体结构学

第十一章 晶体构造之几何理论	284
§ 1. 晶体构造几何理论之演变	284
§ 2. 晶体微观对称的概念	288
§ 3. 晶体结构的对称要素	289
§ 4. 平移群和布拉维 14 种空间格子	300
§ 5. 晶胞的概念	316
§ 6. 空间群的概念	316
§ 7. 空间群推导的举例及 230 个空间群	318
§ 8. 等效点系(规则点系)的概念	321
§ 9. 平行面体学说与结晶学极限定律及结晶化学分析	323
第十二章 晶体结构的 X 射线分析法基本概念	330
§ 1. 引言	330
§ 2. X 射线的产生	332
§ 3. X 射线的一般性质	333
§ 4. 晶体对 X 射线的衍射效应以及劳厄方程式和吴里弗-布拉格公式	335
§ 5. 获得晶体对 X 射线衍射花样的基本方法	344
§ 6. 劳厄法	346
§ 7. 粉末法	351
§ 8. 旋转法	355
§ 9. 劳厄法、粉末法及旋转法在晶体结构分析工作中之应用	359
§ 10. X 射线晶体结构分析之一般步骤	363

第四篇 晶体化学

第十三章 决定晶体构造的基本因素	367
§ 1. 引言	367
§ 2. 离子半径和原子半径	367
§ 3. 球体最紧密堆积原理	376
§ 4. 配位数	380
§ 5. 离子的极化	383
§ 6. 戈尔德斯密特定律	385
第十四章 键的类型和晶格类型	387
§ 1. 引言	387
§ 2. 原子或离子对电子的亲力和元素的负电性	388

§ 3. 离子键·····	390
§ 4. 共价键(原子键, 同极键)·····	391
§ 5. 金属键·····	397
§ 6. 分子键·····	399
§ 7. 晶格类型·····	400
§ 8. 晶格能·····	402
§ 9. 典型构造·····	403
第十五章 同质多象与类质同象及晶变现象 ·····	416
§ 1. 引言·····	416
§ 2. 同质多象·····	416
§ 3. 类质同象·····	421
§ 4. 晶变现象·····	426
第五篇 晶体物理学	
第十六章 晶体的物理性质 ·····	431
§ 1. 引言·····	431
§ 2. 机械形变(机械变形)·····	432
§ 3. 解理·····	438
§ 4. 击象与压象·····	442
§ 5. 硬度·····	444
§ 6. 折射·····	449
§ 7. 双折射性·····	453
§ 8. 旋光性·····	465
§ 9. 吸收性和多色性·····	469
§ 10. 半导体性质·····	470
§ 11. 压电性·····	472
§ 12. 热电性·····	474
§ 13. 晶体的对称性与物理性质间的制约关系·····	477
結束語 ·····	479
附表与附录 ·····	插頁
附表一、32种对称型(晶组)表·····	插頁
附表二、32种对称型的对称要素和普形的投影及晶体实例·····	481
附表三、230个空间群·····	494
附录一、点群(对称型)之国际符号和熊夫利斯符号·····	506
附录二、球面三角形的正弦公式和余弦公式及其在结晶学中的应用·····	511
附录三、坐标变换关系·····	517
主要参考书 ·····	523

緒 論

第一章 晶体的基本概念

§ 1. 晶体以及結晶質和非晶質的定义

結晶学是一門研究晶体的自然科学。因此，首先必須了解晶体的定义。

晶体(Кристалл; Crystal) 一詞系来自希腊字“κρυζταλλος”，即

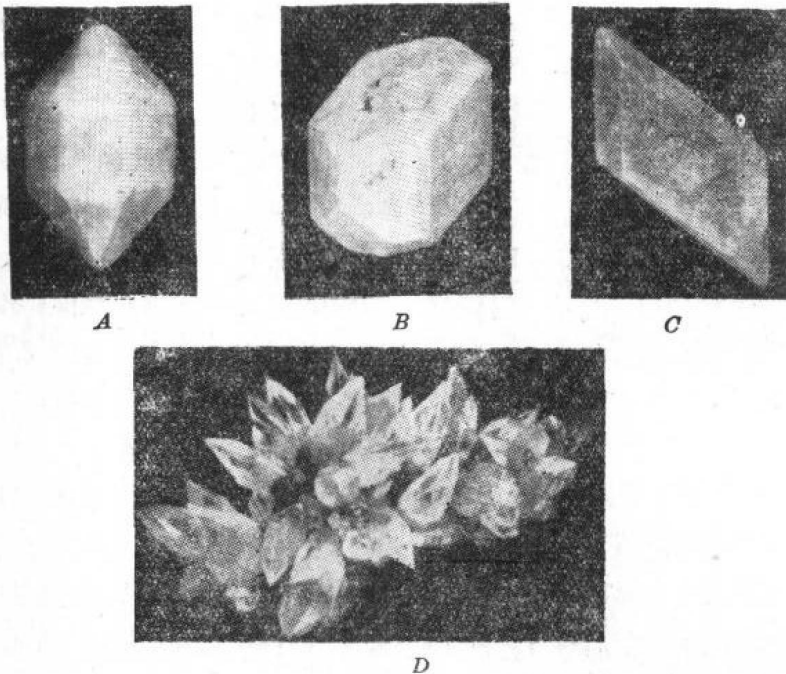


图 1-1. 具有天然的規則多面体的晶体:

A—石英的单晶体; B—正长石的单晶体; C—石膏的单晶体; D—方解石晶簇。

“冰”。原意是指因冷而凝結的，因为古代和中世紀的人們认为冰以及水晶等晶体都是由水冷凝而成的。

晶体的定义是随着人們对自然認識过程的发展而发展的。

人类最早在开矿中发现了具有規則几何外形的天然产物，于是就将这种具有天然的而不是人为磨削成的規則几何多面体外形的固体称之为晶体(图 1-1)。但是这样的定义在現在看来显然是不严谨的。因为一方面，有某些具有天然規則多面体外形的“固体”并不是晶体。例如經過了非晶質蛻变以后的褐帘石，它内部已經轉变成成为非晶質体，然而它仍可以保留着原来晶体的天然規則多面体的外形。另一方面，更主要的是由于晶体在生长过程中往往受外界条件的限制，以致并不是

所有的晶体都有机会能表现出規則多面体的外形来。例如組成花崗岩的主要矿物——长石和石英都是晶体，然而它們却并不表現規則的多面体外形(图 1-2)。实际上，在自然界的各种晶体中，呈現規則多面体外形的晶体倒是很少的。

因此，我們必須放弃仅从外部現象上来給晶体下定义的作法，而应该从晶体的内部本質方面来寻求它的确切的定义。早在十八世紀的

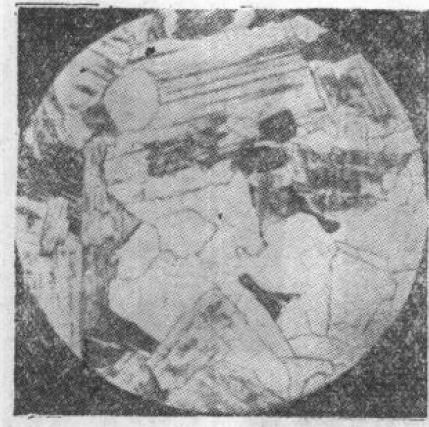


图 1-2. 显微镜下花崗岩中的石英、长石等晶体。

学者，例如罗蒙諾索夫(М. В. Ломоносов)，就已有从晶体内部去寻求晶体定义的倡議了。

如果将一个外形不規則的或故意磨圓了的晶体顆粒放入母液中，則在适当的条件下晶粒可以自由生长，最終将形成具有規則多面体的外形。这一試驗說明，尽管在很多情况下晶体沒有能长成規則的几何多面体外形，然而它們确实具有自发地成长为規則的几何多面体外形的

內在能力。显然，晶体的这种性質是受着晶体内部的某种規律所支配的，有其內在的根源；而晶体外表所呈現的規則多面体形态仅是晶体内部本質的一种外在反映而已。晶体真正的本質乃在于其内部的格子构造。

近代由于X射綫对晶体研究的結果，具体揭示了晶体的内部构造。一切晶体不論其外形如何，它的内部質点則总是作完全有規則的排列而构成所謂格子构造。因而按照現代的概念，物質中凡質点(原子、离子、分子)呈有序排列——有規則排列者，亦即具有格子构造者，均謂之結晶質；反之則为非晶質。而晶体則是結晶質在空間的有限部分。从这一概念出发，即可导出晶体的現代定义：晶体是具有格子构造的固体。晶体的一切基本性質(見本章 § 4)，包括能自发地形成規則几何多面体外形这一点在內，都可以由晶体内部格子构造的观点得到充分的闡釋。

至于非晶質在空間的有限部分，則称为非晶質体。通常所指的非晶質体不包括液体和气体。然而固态的非晶質体的内部构造是完全类似于液体的。在它們的内部，質点的排列只具有所謂短程序而不具有所謂长程序^①，因而也就不能构成格子构造。这就是非晶質体与晶体

① 短程序是指質点排列的

这样一种序性，即一个質点与最靠近它的另几个質点間是保持着近似有序的排列的，但是相互隔開三四个質点的任意两个質点之間，就不再保持有这种关系了。質点排列的这种序性即称之为短程序。假如在很大体积範圍內質点都是按空間格子中結点的位置而排列的話，則这种排列的序性称之为长程序。短程序和长程序可以用如下的示意图来表示。图1-3

中示出了 Be_2O_3 晶体(A)和 Be_2O_3

玻璃(B)两者内部質点在二度空間上排列的區別，后者只具有短程序而前者則具有长程序。

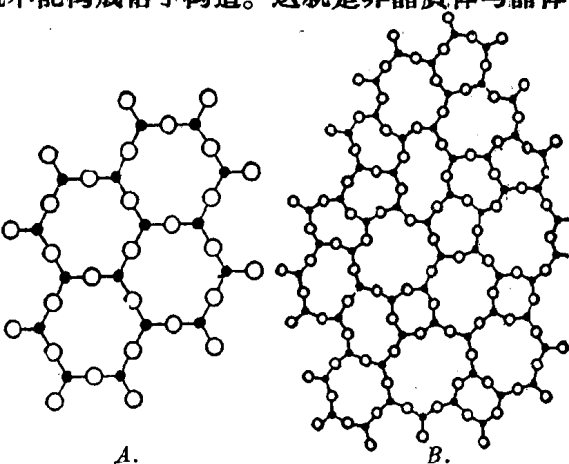


图1-3. Be_2O_3 晶体(A)和 Be_2O_3 玻璃(B)的結構。

的根本区别(晶体必定具有长程序;而气体则既不具有长程序,也不具有短程序)。就这一角度而言,非晶质体只能称之为过冷却的液体,或者说是硬化了的液体。只有晶体才是真正的固体。

非晶质体由于不具有格子构造,从而也就不能自发地形成规则多面体的外形,因而非晶质体也被称之为无定形体。

但是,要在晶体与非晶质体之间划一绝对严格的界线也是有困难的。在许多具有长链状分子的纤维类物质或高聚合物中,可以遇到分子之间成单维的或二维的部分有序排列情况。显然,在这里还存在着结晶状态与非结晶状态之间的过渡类型。

§ 2. 晶体分布的广泛性

也许有不少人会认为:晶体是一种罕见的东西,因为我们只是在陈列馆中才看到外形规则整齐、五颜六色、晶面上闪闪发光的各种美丽的晶体。诚然,象这样的晶体是不多见的。然而,当我们了解了上一节中所谈的晶体的真实概念以后,那么我们就可以毫不夸张地说:我们是生活在一个“晶体的世界”中。

实际上,晶体的分布是极其广泛的。在我们每个人的周围都存在着许许多多各式各样的结晶物质。

组成地壳的岩石和土壤中的矿物,包括过去被笼统地认为都属于非晶质矿物的部分胶体分散矿物在内,几乎全部都是晶体。在日常生活中,构成我们所住的房屋的大部分建筑材料,所用的各种金属、陶瓷制品,所吃的盐、糖、化学药品等等,凡此种种莫不都是结晶物质。甚至在活的有机体内也存在着结晶物质。在马铃薯的细胞中可以找到蛋白质的晶体;在某些水藻中则有石膏的晶体;即使在属于原生动物的草履虫躯体中也有着草酸钙的小晶体。

可是,结晶物质分布之广还远不止此。现在我们已经知道,不仅是

在地球上, 而且在其他的天体上也不断地在进行着晶体的形成作用和破坏作用。隕石是我們所能直接見到的例証, 它基本上也是由晶体組成的。此外, 即使在其他一些密度很小的天体中, 仍还是有晶体的存在。天文資料的分析說明, 土星的光环可能是由冰的晶体构成的; 而有人推測, 在組成彗星的物質中, 就包括有冰和干冰(固体二氧化碳)的晶体。总之, 在整个宇宙中, 也是广泛地分布着晶体的。

当然, 在上述的这許多晶体中, 有的是以具有規則几何外形的单个晶体产出的, 如同我們在陈列館中所看到的那样; 但更多的則是由外形不規則的晶体顆粒所組成的集合体, 絕大部分的岩石就属于后一种情况。此外, 有的晶体很大, 有的則很小。我国某地曾經产出过一个巨大的晶体, 它长达 100 米, 直徑約达 10 米左右, 这是迄今为止世界記錄中最大的一个晶体。在国外也有許多关于巨大晶体的記錄, 諸如美国南达科塔州埃塔迈恩产出的长 14 米、重达 100 吨的錳輝石, 以及挪威埃維爾矿山产出的面积达 7 平方米的黑云母等巨大晶体的記錄。但与此同



图1-4. 巨大的水晶晶体。