

高等学校教材试用本

结 晶 学

北京地质学院结晶矿物教研室编



中国工业出版社



54.9
171

212546/23

目 录

第一章 绪 言	5
I. 引言	5
II. “晶体”的定义	5
III. 晶体的主要特性	8
IV. 结晶学的内容及与其他科学的关系	10
V. 结晶学发展简史	11
VI. 结晶学在国民经济和地质勘探事业中的作用	12
第二章 晶体的形成	13
I. 形成矿物晶体的方式	13
II. 形成矿物晶体的过程	15
III. 影响晶体生长的外部因素	18
IV. 晶体的溶解与再生	20
V. 晶体生长的研究对矿床地质的意义	22
第三章 晶体的几何形态	23
I. 晶面的发展顺序	23
II. 面角恒等定律, 晶体的测量	24
III. 晶体的理想形态, 晶体的投影	26
第四章 晶体的对称	32
I. 对称的概念	32
II. 对称操作和对称要素	33
III. 对称要素组合定理	35
IV. 晶体的分类	37
V. 实际晶体对称的分析方法	37
第五章 单形与聚形	42
I. 引言	42
II. 单形	42
III. 四十七种单形及其在各晶系中的分布	45
IV. 聚形	51
V. 实际晶体单形分析	52
VI. 研究晶体形态的方法和意义	52
第六章 晶体定向和晶面符号	53
I. 引言	53
II. 晶体定向与晶体常数	53
III. 晶面符号, 整数定律	55
IV. 各晶系晶体定向及晶体常数的特点	60
V. 晶带及晶带定律	79

第七章 晶体的規則連生实际晶体的內部缺陷及其外部表現	82
I. 平行連生	82
II. 双晶	82
III. 孪生	89
IV. 实际晶体內部的缺陷及其外部表現	90
第八章 晶体构造的几何理論及其 X-射綫分析	93
I. 引言	93
II. 布拉維十四种空間格子	94
III. 晶体构造的对称要素与空間群	97
IV. 晶体构造的 X-射綫分析	99
第九章 晶体化学	102
I. 决定晶体构造的因素	102
II. 晶格类型与化学鍵	113
III. 晶体形态与其內部构造的关系	124
第十章 晶体的物理性質	127
I. 晶体的光学性質	127
II. 晶体的力学性質	132
III. 晶体的热学性質	135
IV. 晶体的电学性質	135
实习講义	138

原
书
缺
页

原
书
缺
页

54.9
171

212546/23

目 录

第一章 绪 言	5
I. 引言	5
II. “晶体”的定义	5
III. 晶体的主要特性	8
IV. 结晶学的内容及与其他科学的关系	10
V. 结晶学发展简史	11
VI. 结晶学在国民经济和地质勘探事业中的作用	12
第二章 晶体的形成	13
I. 形成矿物晶体的方式	13
II. 形成矿物晶体的过程	15
III. 影响晶体生长的外部因素	18
IV. 晶体的溶解与再生	20
V. 晶体生长的研究对矿床地质的意义	22
第三章 晶体的几何形态	23
I. 晶面的发展顺序	23
II. 面角恒等定律, 晶体的测量	24
III. 晶体的理想形态, 晶体的投影	26
第四章 晶体的对称	32
I. 对称的概念	32
II. 对称操作和对称要素	33
III. 对称要素组合定理	35
IV. 晶体的分类	37
V. 实际晶体对称的分析方法	37
第五章 单形与聚形	42
I. 引言	42
II. 单形	42
III. 四十七种单形及其在各晶系中的分布	45
IV. 聚形	51
V. 实际晶体单形分析	52
VI. 研究晶体形态的方法和意义	52
第六章 晶体定向和晶面符号	53
I. 引言	53
II. 晶体定向与晶体常数	53
III. 晶面符号, 整数定律	55
IV. 各晶系晶体定向及晶体常数的特点	60
V. 晶带及晶带定律	79

第七章 晶体的規則連生实际晶体的內部缺陷及其外部表現	82
I. 平行連生	82
II. 双晶	82
III. 孪生	89
IV. 实际晶体內部的缺陷及其外部表現	90
第八章 晶体构造的几何理論及其 X-射綫分析	93
I. 引言	93
II. 布拉維十四种空間格子	94
III. 晶体构造的对称要素与空間群	97
IV. 晶体构造的 X-射綫分析	99
第九章 晶体化学	102
I. 决定晶体构造的因素	102
II. 晶格类型与化学鍵	113
III. 晶体形态与其內部构造的关系	124
第十章 晶体的物理性質	127
I. 晶体的光学性質	127
II. 晶体的力学性質	132
III. 晶体的热学性質	135
IV. 晶体的电学性質	135
实习講义	138

第一章 緒 言

I. 引 言

在古时；無論中外都把水晶（即具多面体形态的石英）称为晶体。水晶的多面体形态是天生的。

后来这一名詞推广了，凡具有多面体形态的一切固体，人們就称之为“晶体”。

石英、石盐、方解石、金刚石等都是晶体(图1)。

晶体的分布甚广。在自然界、在工厂里、在实验室里、在我們生活的周围，到处都有晶体。工厂里的原料和产品；实验室的固态试剂与化学反应的固态产物；我們吃的糖、盐、藥、脚下踏的砂土，甚至于树木以及我們身上的眼角膜也有一部分是由晶体构成的。

在自然界产出的矿物中，絕大部分是成为晶体的，無論是金屬矿物如方鉛矿、黄銅矿，还是非金屬矿物如螢石、高岭石，以及造岩矿物如长石、角閃石、輝石等。都成晶体状态产出。矿物組成了岩石、矿石。成固态的地壳是由岩石、矿石构成的。因此可以说晶体是地壳上部的主要組成单位。

有些晶体很大，如北京地質学院的一个重 637 市斤的水晶晶体，在烏拉尔伊尔門上有一个采石場，它的位置就坐落在一个天河石晶体上。但經常遇到的晶体是比較小的，有些要用显微鏡才能看到，如金屬中以及岩石中的晶体；土壤和粘土中的矿物晶体甚至还要在电子显微鏡下放大几万倍方能看到。

有一些矿物的晶体长成規則的多面体形态（参看图1），有一些矿物晶体則可能不具多面体形态。如花崗岩中就有长石、石英、云母三种矿物，每一个矿物顆粒都是一个晶体，但其中石英晶体不具多面体形态了，这是由于石英生长的晚一些，在其生长的時候已无自由空間，故不能呈現多面体形态。

从上面的观察可以看到：有些晶体具有規則的几何外形，而有些晶体由于生长条件的关系，可以不具多面体的形态（不具規則的几何外形），那么什么是“晶体”呢？

II. “晶体”的定义

事物的本質，要到它的内部去寻找。对晶体也是这样。

晶体的根本特点，在于它具有規律的内部构造。图2所画的是石盐(NaCl)和方解石(CaCO₃)构造的一小部分，在晶体中，原子間距离很小，一般用极小的单位埃(\AA) =

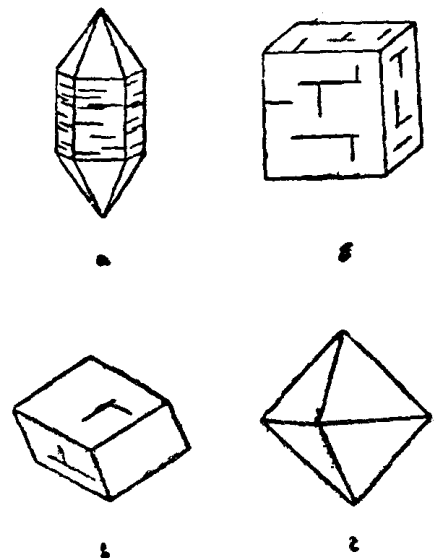
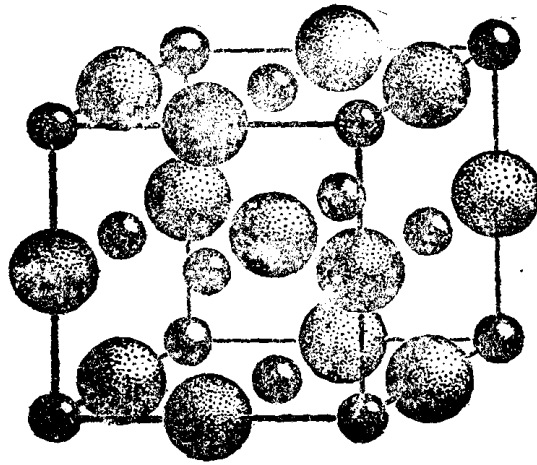


图 1

a—石英；b—石盐；c—方解石；
d—金刚石。

10^{-8}cm) 来度量, 在石盐的构造中钠离子与氯离子的距离为 2.814Å , 这样小的距离只有用 X 光才能测量。

a)



b)

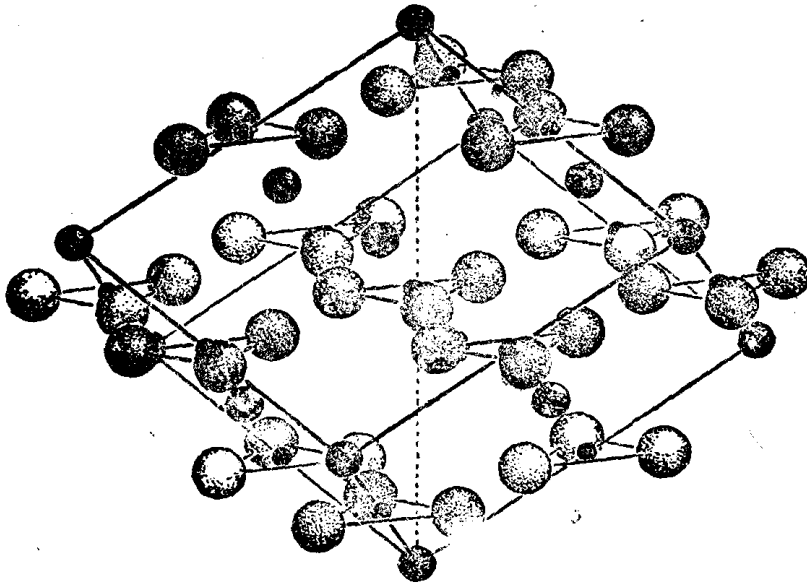


图 2 石盐 (a) 与方解石 (b) 的晶体构造

晶体的整个构造是这样的部分的重复。晶体内部构造的最明显的特点是质点分布是有规律的, 不是杂乱无章的。质点分布的规律性又表现在相同的质点作有规律的重复。晶体中相同的质点在空间的各个方面上按一定周期重复出现。

我们观察晶体构造中相当的点(即质点种类相同, 周围的环境也相同的点), 则发现它们在空间是作格子状的排列的。这种格子就称为空间格子。

空间格子是表示晶体构造规律性的几何图形。

空间格子的一般形式如图 3 所示。

空间格子有如下几种要素:

1. 结点——空间格子的点; 它代表晶体构造中相当的点。在实际的晶体构造中, 占据结点位置的可能是相同的原子, 也可能是相同的离子或分子;

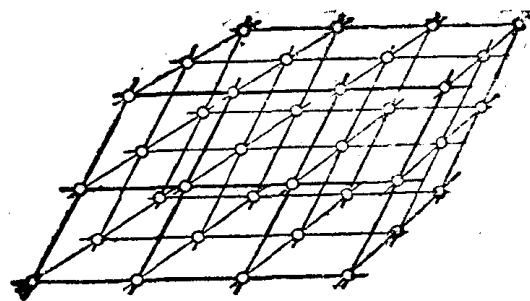


图3 空间格子

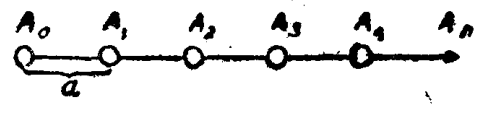


图4 行列

2. 行列——結点在直綫上排列而成(图4)；一条行列中相邻結点之間的距离称为該行列的結点間距(图4中的a)；在同一行列中結点間距不变，平行的行列中結点間距相等，不平行的行列中結点間距一般不等；

3. 面網——結点在平面上排列而成(图5)；結点在面網上分布在平行四边形的角頂上；面網中单位面积內的結点数目称为網面密度，平行面網的網面密度是相等的，不平行的面網則一般不等；相邻的平行的面網之間的垂直距离，称为面網間距；

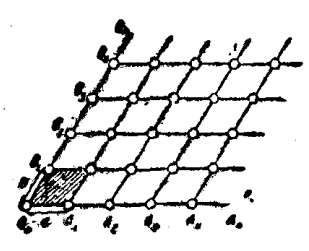


图5 面网

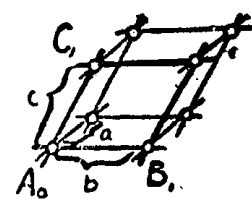


图6 平行六面体(晶胞)

4. 平行六面体(又称晶胞)——空間格子的一个单位(图6)；是由三对平行而且相等的面构成的，結点就分布在它的角頂上(对简单的空間格子而言)。

整个的空間格子可以看成是平行六面体在三度空間重复的結果，晶体是由平行六面体面对面平行地迭起来而成的，尤如牆由砖砌成的一样。結点就分布在平行六面体的角頂上(这是对简单格子而言的，复杂格子将在第十章中叙述)。

所有的晶体构造中都可以分析出这种空間格子，沒有例外；不过具体的形式不一样。因此，晶体内部是具有格子构造的；或者说，晶体的构造是格子构造。

結晶物質(晶質)是具有格子构造的物質；反之，称为非晶質。

晶体的定义是：

晶体是具有格子构造的固体。

由晶体的定义可以看出晶体的本質不在于它的規則的几何外形而在于其他具有格子构造。

質点不作規律排列的“固体”，即不具格子构造者，如玻璃、松香和琥珀等，称为非晶質体。

图7 用图解式表示出晶体与非晶体在构造上的差异。

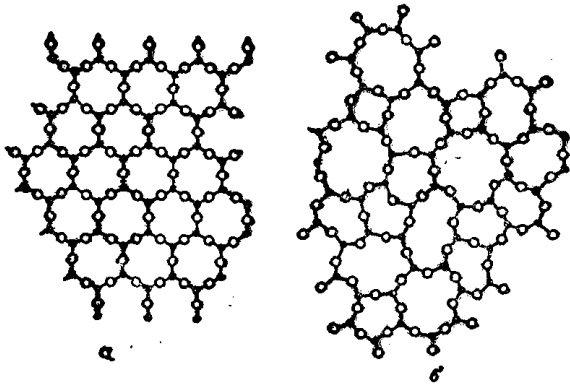


图 7 晶体(a)与非晶質体(b)构造的差异

(1) 晶体能自发地形成多面体形态。非晶質体是无定形的。

晶体在合适的情况下(自由生长)可以自发地形成几何多面体的形态。

晶体上的平面称为晶面，晶面相交成的直綫称为晶稜，晶稜会聚的点称为角頂。

这是晶体的格子构造在其外形上的反映。

晶面就是格子的最外边的面網，一般是網面密度較大的面網；晶稜就是格子的最外的行列；角頂相当于結点(参看图 8)。

晶体的外形不是人为的，因而也不是任意的，因为它受晶体的内部构造的控制。具体講，晶面的分布服从于四个定律，即：面角恒等定律、对称定律、整数定律、晶带定律。这些定律就构成了几何結晶学的主要内容，以后将要講到。

(2) 晶体具有均匀性和异向性。

因为晶体是具有格子构造的固体，質点分布各处相同，所以同一晶体的各个不同的部分性質是相同的，这就是晶体的均匀性。

例如，同一晶体的不同部分的密度等都应相等(对純淨的晶体而言)。

同一格子中，在不同的方向上質点的排列一般是不相同的，因此，同一晶体的晶体的性質在不同的方向上不一样(随方向而异)，这就是晶体的异向性。

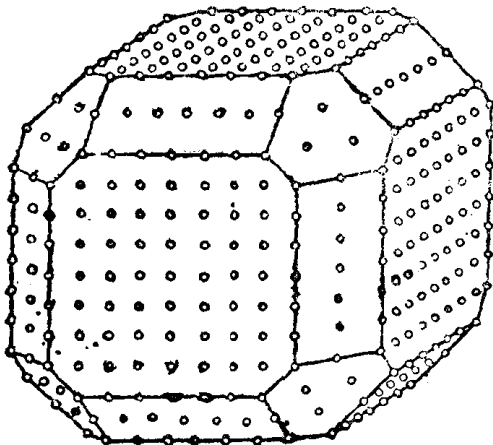


图 8 晶体外形与空間格子要素的关系的示意图

在玻璃中質点分布杂亂无章，有如液体，因此我們称玻璃这类“固体”为过冷液体，不称为固体。

只有晶体才配得上称为固体，才是真正的固体。

III. 晶体的主要特性

晶体的最基本的、最特殊的性質是具有格子构造。由于这一内在原因使晶体具下列的一些特点。現就其中主要的簡述如下：

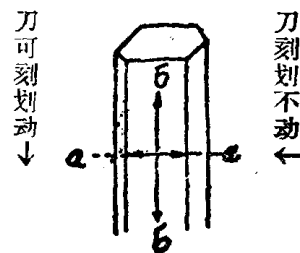


图 9

如矿物二硬石(蓝晶石), 不同方向就有明显不同的硬度, 沿 a—a 方向小刀刻划不动, 沿 b—b 方向则可划动(图9)。这是因为在格子构造中, 不同方向的行列疏密不同原故。云母和石盐有完好的解理, 能沿一定的几个方向裂开成光滑的断面(图10), 这也是异向性的一种表现形式。

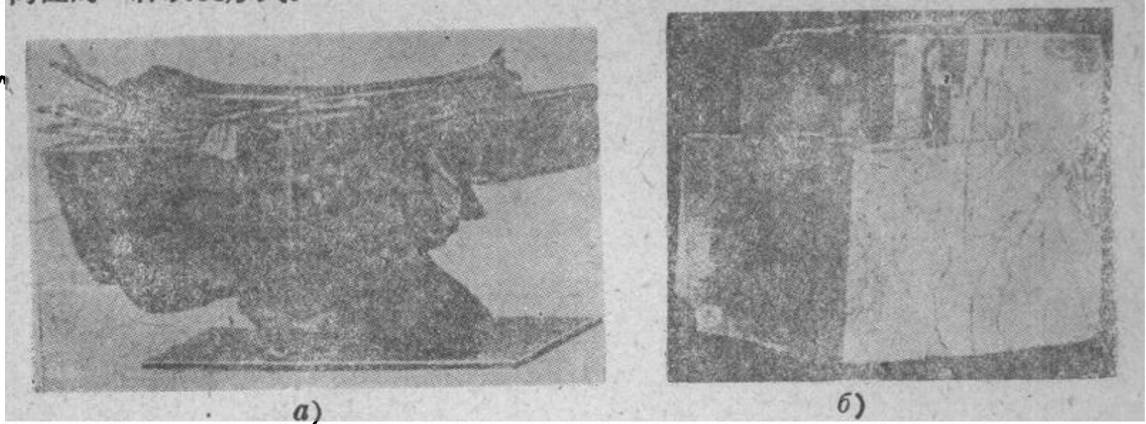


图 10 云母(a)与石盐(b)的解理

均匀性和异向性是晶体的格子构造在其性质上的反映。晶体的均匀性与异向性不是矛盾的, 同一晶体的各个不同部分的性质相同, 是对同一方向而言。

此外, 晶体具有异向性, 并不排斥这样一种可能性, 即在同一晶体中某几个方向上, 由于质点排列相同而具有相同的性质; 这就是晶体的对称性, 关于这一点将在第四章中谈到。

(3) 晶体具有对称性。

在晶体上可以发现在某些方向内性质是相同的。在晶体的外形上常有相等的晶面、晶棱和角顶重复出现, 在相同的晶面上常有方向和形状相同的花纹以及相同方向上的相同的物理性质等, 这就是晶体的对称性。这是由于晶体的内部构造是相同的质点按一定规律的重复。这种规律的本身就具有对称性。晶体的对称常是复杂和多样的, 这点我们可以假想平行六面体的形状是各种各样的, 可以具有各种的角度和具有相等或不相等的棱, 则我们看到的晶体的外形和物理性质的对称性的多样性就可以解释了。

(4) 晶体有一定的熔点, 非晶质体没有一定的熔点。

当冰(是一种晶体)在温度升高而熔解时会发生如下的现象(图11)。

当温度上升到 0°C (在常压下冰的熔点) 的时候, 冰的温度不再升高, 冰开始融

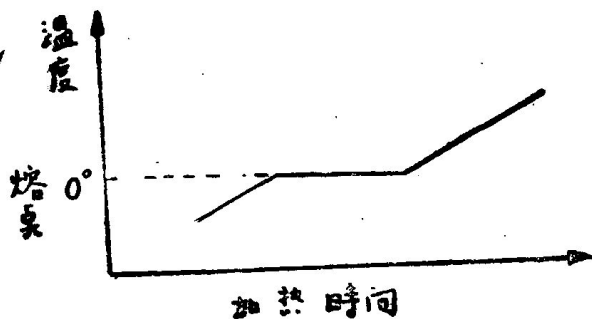


图 11 晶体的加热曲线

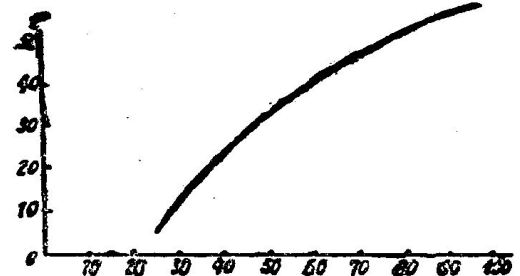


图 12 非晶质体的加热曲线

化，直到冰完全融化成水，温度才开始上升。非晶质体如玻璃则不然，在加热时(图11)先变软然后融化成液体，没有一个明显的溶解温度，温度是逐渐上升的没有停顿的时刻。

这是因为：

1. 同一晶体的各个部分质点排列相同，破坏其不同部分所需温度是一样的，故有一定的熔点；而非晶质体中各部分质点排列疏密不一，融化各个部需要不同的温度，因此没有一定的熔点。

2. 破坏晶格需要一定能量，在晶体融化的时候要吸热，如零度的冰转变成零度的水之时，就要消耗一部分溶解潜热，反之，晶体生成时，如水结冰，就要放热。晶体内部所储藏的能量较物质处于液态和气态时的要小，因此晶体具有最小的内能。由于晶体具有最小的内能，因此，晶体与非晶质体比较是处于稳定状态的。非晶质体有转化为晶体的趋向。

以上是晶体内部格子构造规律在晶体各方面性质上的反映。

IV. 结晶学的内容及与其他科学的关系

结晶学是研究晶体的发生、成长、外部形态、内部构造、物理性质和其相互关系的科学，结晶学又可分为如下几个部分：

1. 物理化学结晶学：这部分是研究晶体发生的条件，成长的规律，和环境对它们的影响，因之它和物理化学有密切关系。

2. 几何结晶学：是研究晶体外部形态和物理性质分布的几何特点，如晶面、晶稜和角顶分布的对称规律等，它们都与数学有密切关系，同时，几何结晶学的规律也是研究晶体构造与物理性质的基础。

3. 构造结晶学：是研究晶体内部构造的规律性，其重要研究工具是X-射线，它也是建筑在广泛的数学和物理学的基础上。

4. 晶体化学：是研究晶体内部构造和化学成分之间的制约关系，如研究不同大小质点排列的规律和它们之间作用力的类型等，因之和化学有密切关系，而晶体化学则是地球化学的基础。

5. 物理结晶学：是研究晶体各种物理性质和与其成分和构造间的关系，因之它又与固体物理学有密切关系。

从结晶学的内容中可以看出物理化学、数学、化学、物理学都是结晶学的基础科学，而结晶学又是矿物学，岩石学，地球化学和矿床学的基础科学，它特别和矿物学有极为密切的关系。在以前结晶学是矿物学的一部分，主要是研究矿物晶体的外形；后来才独立成为一门科学，研究的范围除了矿物晶体之外，也研究化学的无机化合物与有机化合物的晶体。并且除了研究晶体的外形，还研究晶体的内部构造以及物理性质等等。结晶学的知识是现代矿物学不可缺少的基础；由于绝大多数矿物是晶体，因此在研究矿物的形态、成分、构造、物理性质、成因以及用途的时候必须充分运用结晶学方面的成就。

V. 結晶学发展簡史

結晶学的发展也是随生产力的发展和需要而发生、成长起来的；同时它的发展过程也和人們認識事物的过程相适应的。即由表面現象到內部本質，由簡單到复杂。

第一阶段：17世紀前人們在生产劳动实践中对自然界晶体的美丽的形态和性質早有了解，但知識零散，且其多半把晶体用作裝飾品，如金刚石的晶体一向是統治者和貴族們的宠兒。

第二阶段：17世紀到20世紀初，是几何結晶学发生、成长至成熟的阶段，晶体构造的理論也相应的成长起来。

由于生产实践經驗的积累，在紛亂的各式各样晶体外形中，找出了一条綫索——面角恒等的規律。这个現象虽曾被許多学者所論及，但总结起来的还是丹麦人斯丹諾（在1669年）。这就为晶体的对称性和整数定律等規律的研究奠定了基础，而且研究的領域扩展到了矿物界里。在几何結晶学逐日趋于完善的同时，学者們逐步地探索晶体內部的規律性，这就是晶体构造理論的形成。例如，1855年法国結晶学家布拉維就推导出晶体的14种空間格子和在1885年我国的結晶学家弗德洛夫的230种空間群等，但是限于仪器設備，这些理論虽有严密的数学和几何結晶学的基础，而在实际晶体上无法驗証。19世紀后半叶結晶学才成为一門独立科学。

第三阶段：20世紀初至今，深入到晶体构造和晶体化学中去，且几何結晶学理論仍在不断深入和发展。

1895年发现了 x -射綫。德国学者劳埃在1912年用 x 光通过晶体而发生了繞射現象証明了晶体內部格子构造的存在，这样就打开了研究晶体內部构造的广闊途径，在此基础上由于冶金事业和生产发展的需要更促进了晶体化学理論的发展。

由于生产的发展，天然矿物原料尚不能滿足工业需要，因之人工培养晶体的方向也蓬勃发展起来。

晶体內部构造与晶体化学和几何結晶学的发展也是相輔相成，相互促进的，如今天对称的概念已比过去深入和提高了。

祖国劳动人民在生产斗爭中对晶体也早已有所了解，有关矿物晶体外形的描述、晶体的性能以及晶体的生长現象的觀察記載皆散見于一些書籍中。如：在公元前十二世紀中就有了“形盐”、“散盐”、“苦盐”、“貽盐”等含有結晶学意义的名称，在公元前二世紀中就有了“草木花多五出，雪花独六出”的名言，在公元五世紀中就指出了芒硝的形象（“形似麦芒”）、雌黄的完善解理（“拆得千重，軟如烂金”），在公元六世紀就提出了“石英晶体六面如削”，在公元七世紀就指辰砂的双晶說“形似芙蓉”，在公元八世紀就指出了食盐晶体的平行連生，在公元十一世紀就有人詳細地描述了鈣芒硝的晶体，又有人用图說明了辰砂的箭鏃和解理，在十六世紀的李时珍曾按晶体的形状、硬度、解理分辨了石膏、硬石膏和方解石。

解放后，由于社会制度的改变，生产的高速发展，特别是地質勘探事业、冶金工业以及一些尖端技术的需要結晶学也迅速地发展起来，結晶学的各个領域的研究工作都蓬勃的展开了。

晶体形态的研究工作已經展开，我国各地产出的晶体也开始作精細的測量；晶体图册將陸續編出。在1959年就開設“晶体的測量”一門課，并且用国内新发现的某种矿物填补了32品类中的一个品类（五角四面体品类）的空白。

晶体构造的研究工作，在我国許多高等学校与研究机关中展开，并且取得一些成就。例如葡萄石的研究，就为世界結晶学文献中新增加了一种构造单位。

晶体物理性質的研究工作也在許多研究单位展开，我国学者黃琨所著的“晶体点陣的动力学”一書曾获得1956年科学奖金一等奖，并且即將譯为俄文。

随着工业上尖端技术的需要，晶体的人工培养工作也在許多单位中展开，并且也已經获得了不少成就。

社会主义建設对結晶学提出了越来越高的要求，同时也提供了发展的优越条件。

VI. 結晶学在国民經济和地質勘探事业中的作用

結晶学在国民經济中有着不可忽視的作用。那里用得着晶体，那里就需要結晶学的知識。由于結晶物質分布的广泛性，現在已沒有一个工业部門不利用結晶物質的。随着工业农业上現代技术的发展，将要更多地应用具有各种特殊性能的晶体；因此結晶学就成为在国民經济建設中的一門重要的学科。結晶学在国民經济中的作用可以分三方面談。

1. 許多天然的矿物晶体就是重要的工业原料。如金刚石、刚玉、石榴子石等高硬度晶体就是主要的鑽、磨材料；冰洲石、螢石是极貴重的光学材料；水晶是作超声波的原料等等。在应用这些晶体的时候就要运用結晶学的知識。同时，結晶学的研究将能发现晶体的更多的有用性能。

2. 运用結晶学知識来指导生产过程。如冶金部門就运用晶体化学的知識来控制冶炼具有特殊性能的鋼鉄、合金等等。

3. 运用結晶学的知識，人工培养許多有特殊性能的晶体。如石英、刚玉、酒石酸鉀鈉、尖晶石、碳化硅以及波拉松（一种成分为BN硬度超过金刚石的晶体）等等。

結晶学在地質勘探事业中也有重要意义，前面已說明了它是許多地質专业課程的基础科学（专业基础課）。結晶学的知識广泛地应用于矿物学、岩石学、矿床学、地球化学以及找矿勘探中的重砂分析部分。結晶学的知識是大多数重要的岩矿鑑定方法（如偏光显微镜、反光显微镜、x射綫分析等）的基础；在闡明矿产的成因时，也广泛地应用結晶学的知識。

第二章 晶體的形成

晶体并不是一成不变的，它也有发生、发育与消灭的历史，在地壳中各个地段皆在进行着晶体的发生、生长或溶解、破坏；晶体的形成的实质是在一定条件下物质质点按格子构造的规律排列的过程。而晶体的溶解破坏则是质点由规则排列状态转变为不规则排列的过程。

I. 形成矿物晶体的方式

大多数的物质均能在一定条件下形成晶体。晶体是在“物相”转变的时候形成的。物相有三种，即气相、液相和固相。只有晶体才是真正的固相，因此只有当物相由气相液相或固相转变成固相的时候才形成晶体。

在自然界和实验室里形成矿物晶体的方式有几种。

1. 由液相过渡到固相

从熔体或溶液中结晶。这种方式在自然界极为普遍。现就从熔体和溶液中结晶的现象分别叙述：

a. 从熔体中结晶，当温度低于该晶体的熔点时晶体开始析出，也就是说，只有当熔体过冷却时晶体才能发生。

水在温度低于摄氏零度时结晶而形成冰；熔融的金属液体结晶成金属的晶体，以及岩浆在地下深处或在地表逐渐冷却而生成各种晶体组成的火成岩，都是晶体从熔体中结晶的例子。

b. 从溶液中结晶：当溶液达到过饱和溶液时，才能生成晶体。溶液是通过下列方式来达到过饱和而沉淀出晶体的：①温度降低：如热液越远离岩浆源则温度渐次降低；②水分蒸发：如天然盐湖中滴水水份蒸发盐类矿物结晶出来；③起化学变化生成难溶的物质；④外来物质的加入：如含饱和的 SiO_2 水溶液流到有石英颗粒的围岩中时（如花崗岩），则依围岩中石英颗粒长大成新的石英晶体。

自然界岩浆活动的后期产生含有各种金属物质的热水溶液（热液），由热液中沉淀各种金属矿物和非金属矿物，如方铅矿、闪锌矿、萤石、方解石等，就是由溶液中生成晶体的例子。

2. 由气相过渡到固相

从气相直接过渡到固相称升华。产生这种作用的条件是要有足够低的蒸气压。

在火山口附近常由升华作用生成 S 、 I 、 NaCl 的晶体。这样的作用在地下深处亦有发生，如有些矿物就可以在岩浆作用后期由气体中直接生成，象萤玉、绿柱石、电气石等。

雪花也是由气态生成的晶体（图13），是水蒸气上升，骤冷结晶而成的。

3. 由固体再结晶

由于循环变化引起固态情况下矿物成分的改组、原矿物晶粒变大或生成新矿物。