

高等工业学校試用教材

结晶学教程

潘兆櫓 彭志忠 合編

地质出版社

高等工业学校试用教材

結 晶 学 教 程

潘光櫓 彭志忠 合編

地质出版社

1957·北京

本書系根據1954年中華人民共和國高等教育部批准的礦產地質及勘探專業用的結晶學教學大綱編寫而成。組織編寫者為北京地質勘探學院結晶礦物教研室副主任陳光遠副教授，編寫者為該教研室講師潘兆櫓和彭志忠兩同志。經高等教育部審查，同意作為高等工業學校試用教材。

結 晶 學 教 程

編 著 者 潘 兆 櫓 彭 志 忠

出 版 者 地 質 出 版 社

北京宣武門外永光寺西街3號

北京市書刊出版業營業許可證出字第050號

發 行 者 新 華 書 店

印 刷 者 地 質 印 刷 廠

北京廠安門內教子胡同甲32號

印數(京)1—2,300册 1957年11月北京第1版

開本31"×43¹/₂" 1957年11月第1次印刷

字數 290,000 插頁 10

定價(10)2.00元

結晶学教程初版序言

一、自教学改革以來，國內一直缺乏合用的我國自編的結晶学教科書。本書系在高等教育部的委託下，为滿足当前高等学校的教学需要而編寫的。

二、本書系根据1954年高教部批准礦產地質及勘探專業用的結晶学教学大綱而編寫的，編寫中并結合了北京地質勘探学院結晶礦物教研室學習苏联教学中的一些經驗。主要參考資料有苏联專家 П. В. 加里宁1953年在北京地質学院講授結晶学的講稿，Г. М. 波波夫、И. И. 沙弗蘭諾夫斯基著“結晶学”，E. E. 弗林特著“結晶学原理”，及O. M. 安舍列斯著“結晶学原理”。

三、本書主要系根据礦產地質及勘探專業64学时的學習要求編寫的。对于石油及天然氣、物理探礦、水文地質及工程地質等專業的特殊要求，也曾給予适当的照顧（如在晶体化学中，为石油專業需要加入有机晶体構造一節；为水文地質及工程地質專業需要加入了“某些晶体的可移动晶格”一節）。結晶学学时較少的專業，采用本書时，可斟酌情况指定必讀章節。

四、本書分大小字体，主要内容采用大体字，大体字部分前后連貫，可供一般閱讀。小体字对个别章節作進一步申述，可供个别学生進一步鑽研以及教师參考。

本書版面字数約为20万字，其中大体字16万字，小体字4万字，总分量与苏联高等学校通用的教科書相当。

五、因鑑于晶体構造、晶体化学以及晶体的發生和成長諸篇目前中文參考書不多，且对地質專業学生學習礦物学及地球化学需要較大，故内容稍予增多。

六、本書由北京地質勘探學院結晶礦物教研室副主任陳光遠副教授組織編寫，幾何結晶學部分（第三章至第八章）由講師潘兆櫓編寫，其餘各章由講師彭志忠編寫，教研室主任王炳章教授對本書的編寫提了許多寶貴的意見，並供給有關我國結晶學發展史的大部分資料。在編寫過程中，教研室同志們曾給予多方面的協助。本書初稿經北京地質勘探學院陳光遠、潘兆櫓、彭志忠及東北地質學院礦物教研室副教授竇成勳共同討論，並由原編寫者根據討論意見進行修改，修改後又經北京地質勘探學院結晶礦物教研室結晶學小組全體同志以及北京礦業學院金祥法同志進行討論。定稿前東北工學院蕭序剛同志曾對初稿提供了意見，並此致謝。

七、本書初稿曾經中國科學院地質研究所何作霖教授以及北京大學地質地理系王嘉蔭教授審閱，並提出修改意見，特此致謝。

八、本書定稿前曾根據以上意見進行修改，但因編寫倉促，且限于編者水平，其中如有錯誤或不當的地方，請讀者批評指正。

目 錄

結晶学教程初版序言	3
第一篇 緒 論	9
第一章 晶体的概念与結晶学的主要內容	9
引言	9
晶体的格子構造	11
晶体的性質	17
結晶学的內容及与其他科学的关系	24
結晶学發展簡史	27
結晶学在國民經濟中的作用	36
第二篇 晶体的形成	38
第二章 晶体的發生与成長	38
晶体形成的方式	38
晶体形成的过程	43
晶体形成过程所遵循的法則	50
影响晶体生長的因素	57
晶体生長速度对晶体形态、大小以及純淨度的影响	65
晶体的溶解与再生	65
晶体的培养	68
第三篇 几何結晶学	78
第三章 面角恆等定律 晶体的測量与投影	79
晶面發展順序的法則——布拉維法則	79
面角恆等定律	80

	晶体测量.....	82
	晶体的投影.....	85
	吳氏網.....	93
第四章	晶体的对称.....	96
	对称的概念.....	96
	晶体的对称.....	98
	晶体的对称要素与对称操作.....	99
	对称要素的組合.....	107
	晶体一切可能对称型的推導.....	112
	晶类、晶系.....	121
	实际晶体的对称.....	124
第五章	晶体的理想形态——單形和聚形.....	127
	引言.....	127
	單形.....	129
	聚形.....	151
第六章	整数定律 晶体定向 晶面符号.....	155
	引言.....	155
	整数定律.....	155
	晶面符号.....	159
	晶体定向.....	162
	各晶系晶体的定向和晶体常数.....	166
	晶体常数及晶面符号的計算.....	172
	各晶类晶体定向实例.....	175
第七章	晶帶定律.....	189
	晶帶的概念.....	189
	晶帶符号(晶稜符号).....	190
	晶帶定律.....	191
	晶帶符号(晶稜符号)与晶面符号的关系.....	192
第八章	实际晶体 晶体的連生.....	196
	实际晶体.....	196

晶体的連生.....	199
第四篇 晶体構造的几何理論与 X-射綫分析法	215
第九章 晶体構造的几何理論	215
引言.....	215
晶体構造几何理論的發展簡史.....	215
費多洛夫的工作.....	219
布拉維十四种空間格子.....	227
空間群.....	239
第十章 晶体構造的 X-射綫分析	243
X-射綫的產生	245
X-射綫在晶体中的繞射	247
劳埃法.....	253
粉末法.....	257
布拉格法.....	262
旋轉法.....	263
研究單晶体結晶構造的一般途徑.....	265
第五篇 晶体化学	267
第十一章 决定晶体構造的因素	268
原子半徑与离子半徑.....	268
最緊密排列原理与配位數.....	270
离子的極化作用.....	277
决定晶体構造的因素.....	279
晶体的化学成分与其对称之間的关系.....	280
第十二章 化学鍵与晶格类型	282
金屬晶格.....	282
离子晶格.....	285
原子晶格.....	291
分子晶格.....	293

	可移动晶格的概念.....	297
	各晶格类型之间的关系.....	299
第十三章	同質多象、类質同象及晶变現象.....	301
	同質多象.....	302
	类質同象.....	303
	晶变現象.....	306
第六篇	物理結晶学	309
第十四章	晶体的光学性質.....	309
	引言.....	309
	双折射和光性指示体.....	312
	各晶系晶体的主要光学性質.....	315
	晶体的光学性質在偏光顯微鏡下的研究.....	321
	偏光面的旋轉.....	329
	晶体的光学性質与其内部構造的关系.....	331
第十五章	晶体的力学、热学及电学性質.....	333
	晶体的力学性質.....	333
	晶体的热学性質.....	346
	晶体的电学性質.....	348

第一篇 緒 論

第一章 晶体的概念与結晶学的主要內容

引 言

結晶学是研究晶体的科学。但什么是“晶体”呢？我們首先必須弄清楚晶体的定义。

“晶体”这个字希臘字寫作 $\kappa\rho\upsilon\zeta\tau\alpha\lambda\lambda\omicron\varsigma$ ，意思是指“因冷而凝結的”；因而古希臘人將冰称为 $\kappa\rho\upsilon\zeta\tau\alpha\lambda\lambda\omicron\upsilon$ 。后來則演化成把石英晶体（水晶）称为 $\kappa\rho\upsilon\zeta\tau\alpha\lambda\lambda\omicron\varsigma$ ，他們認為水晶是变成了石头的冰^①。水晶常具有規則的外形（圖 1, a）。除了水晶之外，許多自然產物都具有这类規則的几何外形（圖 1）。这些規則的几何外形皆是晶体自發形成的，而不是人为磨成的。因此，后來“晶体”这个名詞广泛地用于具有規則多面体外形的天然物体。并且認為晶体的定义應該是这样的：

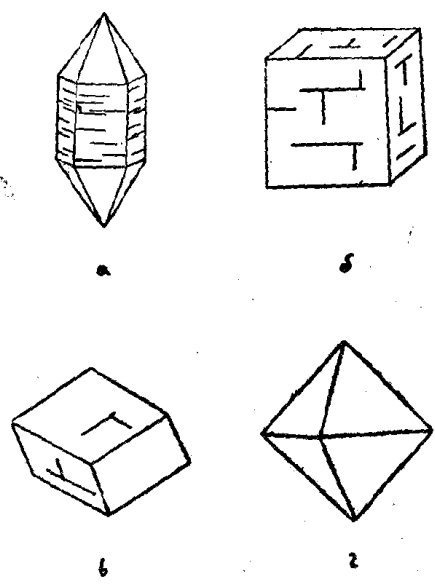


圖 1. 晶体的外形
a. 石英 SiO_2 ; b. 石鹽 NaCl ; g. 方解石 CaCO_3 ; z. 磁鉄礦 Fe_3O_4

“晶体就是自然界中具有多面体外形的固体”^②。現在晶体的概念大

①我國古代亦有此說，“千年之冰，化为水晶”。
②这个定义是不嚴謹的，晶体的現代定义詳見第15頁。

大的擴大了，一切具有規則內部構造的固體，即原子、離子、或分子作有規律排列的固體，都稱之為晶體。

晶體，或者說結晶物質，具有極其廣泛的分布，無論是在自然界、實驗室或工廠里，晶體都是我們最常見到的東西。自然界的礦物和岩石絕大部分都是結晶的物質，我們腳下所踏着的砂粒或土壤，我們住房的牆壁和屋頂，甚至於樹木的某些部分都是結晶物質。化學實驗室的許多有機和無機化合物以及許多化學試劑和化學沉澱都是晶體。工廠中的許多原料與制成品都是結晶物質。金屬器材和耐火材料等都是由一些小晶體構成的。我們所吃的如糖、鹽和藥品也都是晶體。

可以說，我們是生活在一個晶體世界里。這個世界是複雜而多樣的。晶體的形態差別甚大（圖1），顏色各異，大小懸殊。大的晶體可以重達數十噸，長達數十米。挪威偉晶岩中的微斜長石（ KAlSi_2O_6 ）的晶體重可達100噸，大可達 10×10 米，在烏拉爾的伊爾門上有一個采石場，它的位置就座落在一個天河石的晶體上。北京地質學院陳

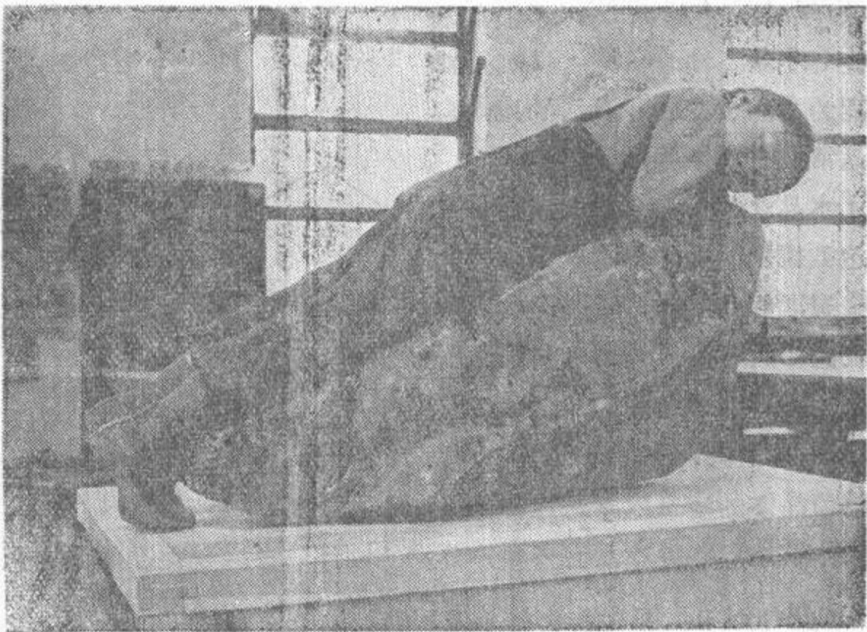


圖 2. 石英晶體

列着一塊我國出產的石英(圖2),重達673市斤。一般常見的晶体長約數毫米到几厘米。為數最多的還是一些極小的晶体,它們要在放大鏡下或顯微鏡下才能分辨,如岩石中的礦物晶体(圖3)和金屬器材中的金屬顆粒就是。還有許多晶体甚至在顯微鏡下還不能鑑別,只有用X-射綫分析^①才能判斷。如某些粘土礦物的晶体就是如此。

花崗岩中(圖3)的石英晶体,由于与其他礦物—長石、云母等緊靠着生長,長成不規則的形态,而不具有多面体的形态。但如果我們把形狀不規則的結晶顆粒或者是磨成圓球形的晶体置于一定的環境里,只要在這環境里,晶体能自由生長,則它們將長成多面体的形态^②,由此可見,晶体多面体的外形不是晶体的本質,它只是晶体的某種內部特点的反映。許多事實,包括晶体的多面体外形和晶体的一切性質(參看第17頁)都說明了晶体內部存在有更帶有根本性質的特点;就是這種特点,才決定了晶体的奇異的外形以及一些獨特的性質。



圖3. 花崗岩在顯微鏡下
a. 正長石; b. 斜長石; c. 石英; d. 云母

晶体的本質在于其具有格子構造。今闡明于下。

晶体的格子構造

晶体的構造現在已經能用X-射綫研究了。到現在已經有几千种晶体的內部構造經過了詳細的研究。今舉几种最簡單的晶体構造的例子于下(圖4):圖4,a表示金屬銅Cu的構造;圖4,b表示石鹽NaCl

①參看第十章,晶体構造的X-射綫分析。

②這種現象,稱為晶体的再生,參看第65頁。

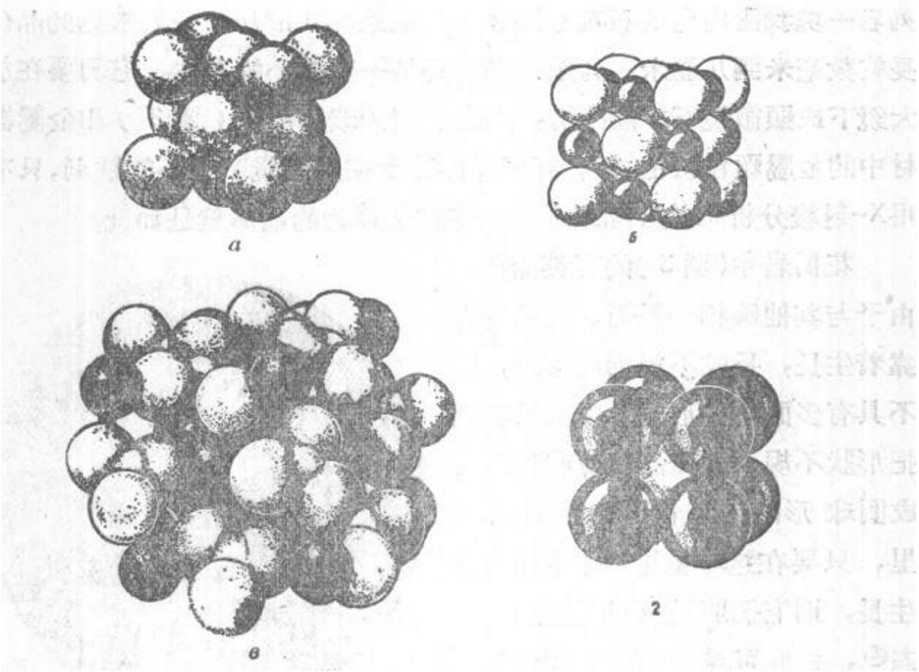


圖 4. 晶体的内部構造

a. 自然銅 Cu; b. 石鹽 NaCl; c. 方解石 CaCO_3 ; d. 氯化銫 CsCl .

的構造，其中大球代表氯离子 Cl^- ，小球代表鈉离子 Na^+ ；圖 4, c 是方解石 CaCO_3 的内部構造，在方解石的構造中，除了鈣离子 Ca^{+2} 之外，另有絡陰离子 $[\text{CO}_3]^{-2}$ ；最后，圖 4, d 表示化合物氯化銫 CsCl 的構造。晶体中的質点之間是靠化学鍵联系起來的（參看第十一章）。

圖中所表示出的只是晶体構造的極小的一部分，譬如說，NaCl 構造中 Na^+ 与 Cl^- 的最短距离为 2.814 \AA ¹。在直徑只為 1 毫米的小晶体中，象圖中所示的小立体的数目將多於 10^{18} 个，但是，所有这些小立方体中質点排列的方式都是完全一样的。

由圖中的例子可以看出晶体構造中最明顯的特点，就是其中的質点（原子、离子、有时为分子）作有規律的排列。規律的排列表現在

1. Å —讀作埃，等於 10^{-8} 公分。

相同的質点在空間有周期性的重复出現。

为了簡便起見，我們僅就氯化鈯的構造加以分析。又为了便于研究，我們以另一种方式表示它的構造，以大小相等但顏色不同的球代表氯离子和鈯离子的中心位置，則氯化鈯的構造表示成圖 5, a。为了看出構造的規律，我們在圖 5, a 中比在圖 4, r 中多画了几个小立方体。由圖可以看出，無論是氯离子或者是鈯离子，在構造中在任何方向上都是每隔一定的距离重复出現一次。

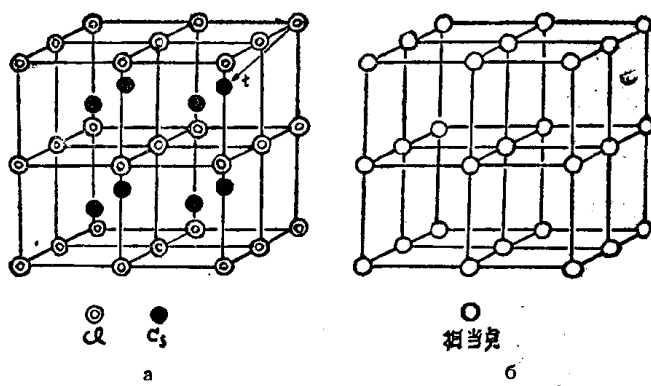


圖 5. 氯化鈯的晶体構造 (a) 与空間格子 (b)

为了更進一步的發掘出晶体構造的这种規律性，我們对它作某种抽象。先在晶体構造中任找一几何点，这一点取在氯离子的中心或鈯离子的中心，或是取在它們兩個之間的某个地方都可以，然后在構造中找出与上一点相当的几何点。相当点的条件是，如果原始的几何点取在質点的中心，則相当点所占的質点的种类是相同的，也就是占据同种質点的中心；其次是这些質点周圍的环境以及方位是相同的，也就是說这些質点周圍的相同方向上要有相同的質点。

在氯化鈯的構造中，若原始几何点选在氯离子的中心，則相当点的分布如圖 5, b，因为在 CsCl 的構造中，所有的氯离子皆位于相当的位置，它們不但同为氯离子，而且所有的氯离子周圍的环境和方位都是一样的。譬如，在 T 方向上等距离地方都有一个鈯离子。

如果原始的几何点取在鈯离子的中心或在其他地方，那末所找到

的相当点的分布亦如图 5,6 所示。

由此可见，相当点的分布可以体现晶体构造中所有的质点重复的规律性。因为相当点在三维空间作格子状的排列，所以我们称之为空间格子。空间格子的一般形状如图 6。

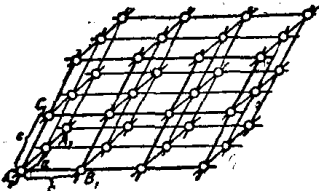


图 6. 空间格子

为了研究晶体内部构造中质点重复的规律而不受晶体大小的限制，我们设想相当点在三维空间是作无限的排列的，因而空间格子是无限的。

空间格子中的所有点，都是代表晶体构造的相当点，我们又称它为结点。因此结点并不代表任何质点，它只有几何意义。

结点在直线上排列就造成行列（图 7）。空间格子中任两结点連結起来就是一条行列的方向。行列中相邻结点的距离称为该行列的结点间距（图 7 中之 a ）。在同一行列中行列间距是相等的，在平行的行列中行列间距亦是相等的。同一空间格子中不同方向的行列的结点间距一般是不等的。有的结点分布密，另一些则较稀。

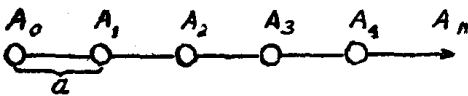


图 7. 空间格子的行列

A_0, A_1, A_2, \dots 为结点； a —结点间距

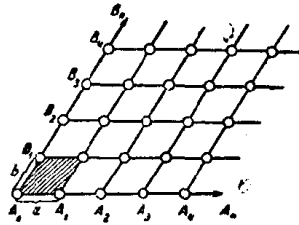


图 8. 空间格子的面网

结点在平面上分布则成面网（图 8）。在空间格子中通过不在一直线上的任何三个结点的平面就是面网。面网上结点是分布于一些平行四边形的角顶的。面网上结点的分布可以由其上的两条不平行的行列所决定。不平行的面网的网面密度一般是不同的，所谓网面密度是指单位面积内结点的数目。

在空间格子中可以画出一个单位来，其形状为平行六面体（图

9)，因为它的六个面对平行，而且相等。这种平行六面体称为晶胞。对于简单的空间格子来说，结点就分布在平行六面体的面顶；复杂的空间格子在平行六面体的面中心或体中心还有结点分布（参看234页）。

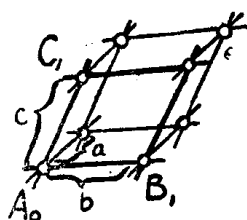


圖 9. 平行六面体，与圖 6 比較

平行六面体的形状与大小可以由不在一个平面上的三条行列的交角以及它们的结点间距来决定。

结点、行列、面网与平行六面体是空间格子的要素。空间格子的定义可写成这样：

空间格子是表示晶体构造的规律性的几何图形，是由相当点在三维空间无限排列而成的。空间格子是由点所构成的，这些点分布于相等的、位置平行而且充满着空间的平行六面体的顶点^①。

在所有的晶体的构造中都可以找到这样的空间格子。所以晶体的构造称为格子构造或称结晶格子。

凡是具有格子构造的物质都称为结晶物质或简称晶质。

物质在空间所占的有限部分，在科学上称为物体，晶质在空间的有限部分，称为晶体，由此我们可以对晶体作如下的定义。

晶体是具有格子构造的固体。

质点（原子、离子、分子）作空间格子状规则排列的所有固体均称为晶体，晶体是空间格子的有限部分。

相反地，有些状似固体的物质，如玻璃、琥珀、松香等等，它们的构造中物质质点不作规则排列，即不具格子构造，称为非晶质体。从物质构造的角度来看，非晶质体中质点的分布与液体中的相同。因而非晶质体宁可称之为过冷却的液体而不称之为固体。

只有晶体才配得上称为固体。

①关于空间格子的进一步的了解参看第九章（228页）。

液体与晶体的構造不同之点，可以圖解式地表示于圖10。在石英晶体中矽周圍的氧的排列是一样的，这种規律，叫作近程規律。不但如此，在石英晶体中矽和氧的这种排列方式在空間有規律地重复而形成結晶格子，这种規律称为远程規律。晶体既具有近程規律，又具有远程規律。

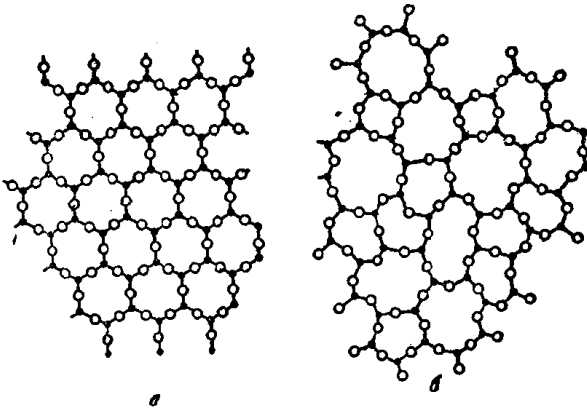


圖10. 石英 SiO_2 晶体 (a) 与石英玻璃 (b) 的構造圖解，黑球代表 Si，白点代表 O，（此圖为圖解式的，与实际情况有所出入）

在石英玻璃（过冷液体）中，沒有远程規律，只有近程規律。即各个質点周圍的环境是相同的，但方位不同，不形成結晶格子。

在气体中近程規律与远程規律全无。

有些液态的有机化合物，具有長形或是片狀的分子；这种有机液体的水滴有时也如大多数晶体一样，在光学上顯示異向性^①。有些人称这种液体为“液态晶体”。“液态晶体”的内部構造有兩種：1. 長形分子的長軸近于平行地排列着，但分子之重心是作无規則排列的，并且，除了沿長軸方向之外，分子沿其他方向并不作平行排列；2. 有机分子形成平行的層，但在層中分子作无規則排列。

“液态晶体”这一名詞是不太恰当的，因为在“液态晶体”的内部構造中，并不具格子構造。

① 參看本章晶体的性質一節。