# 第九章 物态和物态变化

物理学是一场奋战，强大的对手是自然。

——约·惠勒[[1]](#footnote-1)



物质是由分子组成的。分子在不停地做无规则运动，它们之间存在着相互作用力。这两种作用相反的因素决定了分子的三种不同的聚集状态：固态、液态和气态。物质处于不同状态时具有不同的物理性质。

人类对物质属性的认识是从宏观到微观不断深入的过程。应该说，人们对新材料或传统材料新功能的开发和研制从来没有停止过。从远古的石器时代，到后来的青铜器时代、铁器时代……新材料在人类文明进程中都扮演了重要的角色。

# 第九章 1 固体

### 思考与讨论

把一些常见的固体物质分为两组：一组是玻璃、蜂蜡、硬塑料等；另一组是盐粒、砂糖、石英等。

两类固体物质的外表各有什么特征？

## 晶体和非晶体

固体可以分为晶体和非晶体两类。石英、云母[[2]](#footnote-2)、明矾、食盐、硫酸铜、蔗糖、味精等是晶体。雪花是水蒸气凝华时形成的晶体，它们的形状虽然不同，但都是六角形的图案。食盐晶体总是立方体形，明矾晶体总是八面体形，石英晶体（俗称水晶，图9.1-1）的中间是一个六棱柱，两端是六棱锥。

**图9.1-1 水晶**

**图9.1-2 几种晶体的几何形状**

玻璃、蜂蜡、松香、沥青、橡胶等是非晶体。非晶体没有确定的几何形状。

蔗糖受潮后会粘在一起形成糖块，看起来没有确定的几何形状。但是用放大镜观看，仍可发现组成糖块的一个个晶体粒。粘在一起的糖块是**多晶体（polycrystal）**，单个的晶体颗粒是**单晶体（monocrystal）**。

由于多晶体是许多单晶体杂乱无章地组合而成的，所以多晶体也没有确定的几何形状。常见的金属是多晶体，利用金相显微镜可以看到金属的细微结构（图9.1-3）。

**图9.1-3 显微镜下铝-锂-锰合金的断裂图**

晶体管、集成电路的工作与材料的微观结构有关，材料内原子的排列不能是杂乱无章的，所以制作晶体管、集成电路只能用单晶体，例如单晶硅、单晶锗。如何以较低的成本生产高纯度、大尺寸的半导体单晶体，是发展微电子工业的关键之一。

**图9.1-4 单晶硅在微电子工业中应用广泛**

除了形状是否规则外，晶体和非晶体在物理性质上也有所不同。我们在初中已经学过，晶体有确定的熔点，非晶体没有确定的熔点，这就是区别之一。此外，其他物理性质也有差异。

根据单晶体与多晶体的区别，你认为多晶体是否会有确定的熔点？

### 实验

把熔化了的蜂蜡薄薄地涂在薄玻璃片上。把一枝缝衣针烧热，然后用针尖接触蜂蜡层的背面，不要移动，观察蜂蜡熔化区域的形状（图9.1-5甲）。

**图9.1-5 蜂蜡熔化区域的形状**

把玻璃片换成单层云母片，再做以上实验。

在玻璃片上和云母片上，蜂蜡熔化区域形状的不同说明了什么？

有些晶体沿不同方向的导热或导电性能不同；有些晶体沿不同方向的光学性质不同。这类现象称为**各向异性（anisotropy）**。非晶体沿各个方向的物理性质都是一样的，这叫做**各向同性（isotropy）**。

由于多晶体是许多单晶体杂乱无章地组合而成的，所以多晶体是各向同性的。

### 思考与讨论

通过晶体呈现的特殊物理性质，你认为晶体在微观结构上可能有什么特点？

## 晶体的微观结构

为什么晶体的形状和物理性质会与非晶体不同？人们认为很可能是它们的微观结构不一样。从17世纪到19世纪，陆续出现了一些假说，认为各种晶体内部的微粒是按各自的规则排列着的，但是由于当时检测技术的限制，缺少实验证据，所以这些想法只能是假说。

到了20世纪初，通过X射线在晶体上衍射的实验，这种假说才得到证实。在20世纪70年代，人们又用电子显微镜观察到了铀、钍原子的像。到了1982年，扫描隧道显微镜的问世，使人类第一次观察到原子在物质表面的排列状况。

关于晶体对X射线的衍射，《选修3-4》中会有粗浅的描述。

在各种晶体中，原子（或分子、离子）都是按照一定的规则排列的，具有空间上的周期性。图9.1-6是食盐晶体中氯离子和钠离子分布的示意图。

**图9.1-6 食盐晶体中氯离子和钠离子分布的示意图**

有的物质在不同条件下能够生成不同的晶体。那是因为组成它们的微粒能够按照不同规则在空间分布。例如，碳原子如果按图9.1-7甲那样排列，就成为石墨，而按图9.1-7乙那样排列，就成为金刚石。石墨是层状结构，层与层之间距离较大，原子间的作用力比较弱，所以石墨质地松软，可以用来制作粉状润滑剂；金刚石中碳原子间的作用力很强，所以金刚石有很大的硬度，可以用来切割玻璃。

原子（或者分子、离子）并不是在图9.1-6和图9.1-7所画的那些点上静止不动。它们在不停地振动，图中所画的那些点，是它们振动的平衡位置。

同种物质也可钱以晶体和非晶体两种不同的形态出现，也就是说，物质是晶体还是非晶体，并不是绝对的。例如，天然水晶是晶体，而熔化以后再凝固的水晶（即石英玻璃）就是非晶体。有些非晶体在一定条件下也可以转化为晶体。

**图9.1-7 石墨和金刚石的微观结构**

## 科学漫步

**一、“越小物质”的秘密**

纳米（nanometer）是长度的单位。1 nm=10-9 m，也就是说，一纳米相当于十亿分之一米，它只有头发直径的十万分之一，肉眼无法分辨。纳米科学技术的研究对象就是尺寸处在1～100 nm之间的物质世界，纳米材料是纳米科学技术重要的组成部分。

什么是纳米材料呢？我们知道，物质是由原子、分子等微粒组成的，它们按一定规律组成一个个小单元，这些小单元结合在一起形成了肉眼可见的物体。对于通常材料来说，分子等微粒按一定规律组成的小单元仍然包含着成千上万个原子、分子等。用机械的方法把物质粉碎、研磨，可以得到很细的粉末，但实际上一粒这样的粉末仍比这里说的“小单元”大得多。

如果用化学的方法，使组成物质的每个小单元只包含几个，至多几十个原子、分子，直径只有1～100 nm，就会发现，这样的物质有很多新的特性。例如，通常的金块呈黄色，但是10 nm的金颗粒组成的金块却是绿色的，而1 nm的金颗粒组成的金块是红色的！通常说的纳米材料，指的就是直径1～100 nm的颗粒或直径1～100 nm的细纤维构成的材料。

录音带、录像带、磁卡、计算机磁盘等都采用磁性颗粒作为磁记录介质。磁性纳米微粒尺寸小，因此，用纳米磁性材料制造的磁记录器件，单位面积就可以记录更多的信息，记录密度大大提高。此外，由于一个纳米微粒就可能是单个的磁畴，所以纳米磁记录材料的矫顽力很高，可以大大提高信噪比，改善记录质量。

某些纳米颗粒组成的物质对光的吸收作用大大增强。在感光材料、有机颜料、光电导休等方面，如果应用纳米材料，效能会有极大的提高。

在力学性能方面，纳米金属材料、纳米陶瓷材料及纳米复合材料等也具有很多奇特的性能，例如纳米陶瓷的韧性比普通陶瓷强，因而不易破碎。

纳米材料还会改变材料的表面活性和生物活性。用某些纳米材料制造冰箱和洗衣机的内壁，微生物不易在表面生存，从而不留异味、易于清洗。纳米材料在催化剂和医用材料方面也有广阔的应用前景。

人类在探索微小物质世界的进程中还在不断地进取着。

**二、能“记忆”形状的合金**

1932年，瑞典人奥兰德在金镉合金中首次观察到“记忆”效应，即当这种合金的形状改变后，一旦加热到一定的温度，它又会恢复原来的形状。人们把这种合金称为形状记忆合金。

为什么会有形状记忆效应？原来这种合金的晶体结构能随温度变化。假设它的单位晶体结构为立方体，当温度降低时，其微观结构发生变化，成菱形块。当然，这样的微观变化用肉眼是看不出来的。在温度升高后，单位晶体结构恢复为立方体，各单位晶体结构之间的相对位置也都复原。合金的宏观形状也恢复为原来的形状。若在温度较高时用这种合金制作一条金属棒，在低温时用力将它弯曲，当温度升高时，整体形状又变成直棒。

目前形状记忆合金已经在许多领域得到应用。例如，人造卫星上的揽物面天线可以用记忆合金制作。发射之前，将天线折叠起来装进星体，当人造卫星到达预定轨道后，只需加温，折叠的天线因具有记忆功能而展开，恢复抛物面的形状。

再如，钛镍合金的生物相容性很好，利用其形状记忆效应可以固定断骨。使用步骤大致如下。

先按以后的使用温度（例如人的体温37℃）下需要的形状制造合金夹骨板，安装则在较低温度（0～5℃）下进行。这时可以把夹骨板变成便于操作的形状。当温度升高至人体温度时，它便自行恢复至设定的形状，同时产生适当的形状恢复力。除了夹骨板外，医学应用实例还有很多，如血栓过滤器、脊柱矫形棒、牙齿矫形丝、脑动脉瘤夹、髓内针、人工关节等。

还有一种记忆合金，在较低温度下是一种形状，加热后变成另一种形状，冷却后又能恢复低温时的形状。这样的合金在加热和冷却这样两个过程中具有形状记忆功能，因此有更广泛的应用。

## 问题与练习

1．有一块物质薄片，某人为了检验它是不是晶体，做了一个实验。他以薄片的正中央*O*为坐标原点，建立*xOy*平面直角坐标系，在两个坐标轴上分别取两点*x*1和*y*1，使*x*1和*y*1到*O*点的距离相等。在*x*1和*y*1上分别固定一个测温元件，再把一个针状热源放在O点，发现*x*1点和*y*1点的温度在缓慢升高，但两点温度的高低没有差异。于是得出结论，这块薄片是非晶体。

请你说明：以上实验结论的形成，存在着什么科学性问题？

2．食盐晶体由钠离子和氯离子组成，如果用圆球来表示离子，食盐晶体的结构可以用图9.1-8表示。图9.1-6是食盐中钠离子和氯离子空间分布的示意图，那个图把相邻离子的中心用线连接起来，组成了一个个大小相等的立方体。现在要估算相邻两个钠离子中心的距离，除了知道食盐的密度*ρ*=2.17×103 kg/m外，还要知道哪些数据？请用字母表示这些已知数据，推导出相邻两个钠离子中心距离的表达式。

提示：图9.1-6中立方体的个数与离子数目相等。

**图9.1-8 食盐晶体结构示意图**

3．内陆盐矿中开采的氯化钠称为岩盐，岩盐的颗粒很大，我们能清楚地看出它的立方体形状。把大颗粒的岩盐敲碎后，小颗粒的岩盐仍然呈立方体形状。

图9.1-9表示岩盐晶体的平面结构：红点为氯离子，灰点为钠离子，如果把它们用直线连起来，将构成一系列大小相同的正方形。作分界线AA1，使它平行于正方形的对角线，作分界线BB1，使它平行于正方形的一边。在两线的左侧各取一个钠离子：M和N，为了比较这两个钠离子所受分界线另一侧的离子对它作用力的大小，分别以M、N为圆心，作两个相同的扇形，不考虑扇形以外远处离子的作用。

**图9.1-9 食盐晶体的平面结构**

（1）如果*F*表示两个相邻离子之间引力的大小，问：M、N所受扇形范围内的正负离子对它作用力的合力是*F*的多少倍？为使问题简化，设所有离子都是质点，而且它们相互作用遵从平方反比规律。

（2）根据计算结果解释：为什么敲碎的岩盐总是呈立方形状，而不会沿图中AA1分界线断开？

实际晶体中的作用力要复杂得多，但这里的分析对理解自然现象还是有用的。

1. 约·惠勒（John Wheeler，1911～ ），美国普林斯顿大学教授，理论物理学家，“黑洞”等名词的创造者。 [↑](#footnote-ref-1)
2. 云母是一种矿物，化学成分为铝硅酸盐，可以剥成一片片的薄层。有些云母的绝缘性能很好，在过去没有塑料的年代，云母常在电器中用做绝缘物。 [↑](#footnote-ref-2)