



C

了解固体

Liaojie guti

四川人民出版社

了解固体

朴孙 庆生

四川人民出版社

一九八〇·成都

封面设计：曹辉禄

了 解 固 体 朴 孙 庆 生

四川人民出版社出版 (成都盐道街三号)

四川省新华书店发行 第七二三四工厂印刷

开本787×1092毫米1/32印张2.375 插页1字数41千

1980年2月第1版 1980年2月第1次印刷

印数, 1—5,800册

书号: 13118·25

定价: 0.22 元

内 容 提 要

这是一本介绍固体基本知识的科普书籍。它主要讲述了固体的性质与结构；人类对固体内部规律的认识过程；物质在极低温度下的“奇异”性质及其应用前景。

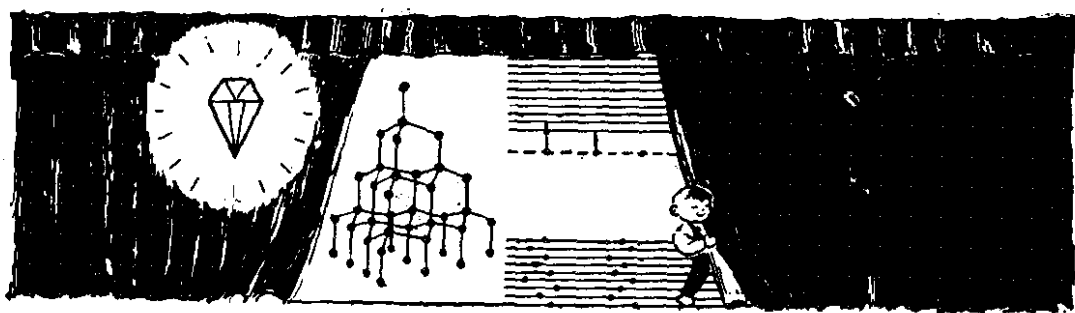
本书文字通俗易懂，插图较多，较适宜于广大工农兵读者、干部以及中学生阅读。

目 录

1. 固体和它的结构.....	(1)
固体的力学性质.....	(1)
固体的热学性质.....	(4)
晶体和非晶体.....	(6)
晶体的空间点阵.....	(9)
石墨与金刚石.....	(13)
探测固体结构的重要工具——X射线.....	(16)
单晶和多晶.....	(18)
2. 寻找固体的内部规律.....	(21)
经典电子论.....	(22)
经典电子论的局限性.....	(27)
这说明什么.....	(30)
金属电子的量子理论.....	(31)
能带理论.....	(37)
半导体的能带理论.....	(43)
小结.....	(48)
3. 物质在低温下的特殊性质.....	(51)
绝对温度.....	(52)
低温下的“奇异”现象.....	(53)

超导技术的应用.....	(57)
超导电力输电线.....	(58)
超导电机.....	(59)
在受控热核聚变中的应用.....	(62)
高速磁悬浮列车.....	(64)
磁流体发电.....	(65)
寻找“高温”超导体.....	(67)

固体和它的结构



在我们的周围，有着千千万万种物体。雄伟的高山、奔腾的河流、高大的厂房、广阔的田野……，它们都是由物质构成的。而这本小册子所要讨论的固体，就是物质的一种常见的形态。矿石、水晶以及常见的金属……，它们统统都是固体。让我们打开帷幕，来揭示它的奥秘吧。

固体的力学性质

当固体受到外力作用的时候，形状会发生一定的变化，这在技术上叫作“形变”。你看！挑在肩上的扁担，在两端重物的作用下，压得弯曲了，这就是形变。当人们把重物放下后，扁担又恢复了它原来的形状，刚才所发生的形变就消

失了。这种在外力取消之后会消失的形变，叫作“弹性形变”。固体在弹性形变的范围内，有一条规律，即形变的大小和外力的大小成正比。弹簧秤就是利用了弹簧的形变制成的一种工具。

象弹簧、橡筋等等物体在外力作用下，所出现的形变很容易察觉，这是我们都熟知的事情。然而，还有一些不太容易察觉的现象，那就是我们觉得非常坚硬的物体，它们在外力的作用下，也是要发生形变的。例如公路、桥梁乃至铁轨，当汽车或火车从它上面通过的时候，也会发生形变，这时公路、铁轨所发生的形变，也是弹性形变，当汽车或火车开过之后，它们又恢复了自己原来的形状。

如果我们增加外力，就会发现物体的弹性形变也跟着增加。例如，弹簧下面的负荷越重，它的伸长就越显著。若是所加的负荷超过了一定的限度，我们就会发现，即使把重物去掉以后，弹簧也不会完全恢复它原来的形状。这也就是说，随着负荷的增加，弹簧的形变已经从量的变化发展到了质的变化。这时候，形变不再是弹性形变了。这种在外力撤掉以后，仍会保留下来或者部份地保留下来的形变，叫作“范性形变”，又叫作“塑性形变”。

当然，弹簧发生了范性形变，就意味着这个弹簧报废了。可是，范性形变却不一定总是坏事情。在很多场合下，我们非常希望固体材料所发生的形变是范性形变。如工人师傅生产铝锅、饭盒、水壶时，每冲压一次，材料就发生一次

范性形变，最后得到了预先做好的模具的形状。反之，如果铝板的形变是弹性形变的话，那么每冲完一次，被冲成饭盒、水壶的铝板又恢复成平整的铝板，那才糟糕呢！

事实上，不同的材料具有不同的特性。有的材料弹性较好（也就是说，它容易发生弹性形变）；而有的材料却是范性较好（即它的“可塑性”好）。同一种材料，条件变了（例如温度变了），它所表现出来的弹性也就有所不同。例如一般来说，钢的弹性比铝好。对钢的锻打和冲压就比铝件困难。在对钢铁坯件进行锻打或轧制时，一般要先将它烧红，就是由于它在高温情况下，容易出现范性形变的缘故。俗话说：“趁热好打铁”，就是这个意思。这说明了我国劳动人民，早就在生产斗争、阶级斗争和科学实验这三项实践中，认识到了固体材料的这个特性。现在生产上利用轧钢机，可把钢锭轧制成各种不同型号的钢板、钢带、钢管……，满足工业、农业、国防和科研各条战线日益增长的需要；用冲压、轧制、拉制等不同方法，还能将各种金属制成不同形状的器具、工件、零件以及极细的金属丝等等。制造这些产品都是应用了金属的“可塑性”这一特点。

现在，随着生产的发展，随着工艺和设备条件的不断完善，不但锡、铝等软金属可以在室温下挤压，而且即使对硬铝、紫铜、黄铜、镍、低碳钢，甚至是不锈钢等硬金属也可以在室温下挤压（当然，这对加工工艺的要求就更高了）。这就是金属加工的新工艺——冷挤压。冷挤压是少切削、无

切削加工的先进方法之一，它和原来的切削工艺相比较，具有节省原材料、提高生产率、提高制件的机械性能等优点。解放以来，我国冷挤压技术发展迅速，目前已可对铝、锡、银、紫铜、无氧铜、黄铜、锡磷青铜、锌及锌合金、纯铝、防锈铝、硬铝、镍、低碳钢、中碳钢和不锈钢等金属进行冷挤压生产，甚至对轴承钢、高速钢也可进行一定变形量的冷挤压。现在，冷挤压已在我国汽车、拖拉机、电机、电讯器材、仪表、航空、军工、轻工业等部门获得广泛的应用。

固体的热学性质

世界是物质的，物质是运动的。世界上的任何物质都在永不停止地运动着。停在路边的汽车，没有开动的机器……，看起来它们是静止的，但实质上它们却不停地运动着。我们知道，物体是由原子、分子构成的，而固体中的原子、分子则在它们自己的平衡位置附近不停地振动着。这种振动叫作热振动。温度越高，这种振动就越剧烈，每个原子或分子偏离自己的平衡位置就越远，结果就使得物体的体积在温度升高时增大。反过来，温度下降时体积就缩小。这就是固体热胀冷缩的原因。

不同的材料，热膨胀的本领各不相同。但一般来说，温度的变化所引起的体积变化都很小。可是这个变化所引起的力却是非常巨大的。从成都到北京的铁路全长 2048 公里。

如果我们将冬夏之间的温差按 30°C 计算，那么可知它在夏天的全长就比冬天的全长多660米。如果钢轨之间没有一定的空隙，那么铁轨到了夏天就会变得弯曲起来，这对于列车的通行来说，当然是不允许的。正是由于这样的原因，必须在钢轨与钢轨之间留有一定的空隙，使得它在温度升高时，具有伸长的余地，从而保证钢轨不会弯曲。在建筑桥梁、架设电线的时候，也都要考虑类似的问题。在焊接灯丝的电极时，只有选择膨胀本领与玻璃相近的金属，才能避免灯泡与电极之间因温度变化而漏气。在制造很多精密仪器时，应该选用膨胀本领小的材料，例如石英、锻钢等等。

当然，热胀冷缩现象，只是无数的自然现象之一，它也是事物的客观规律。我们要认识它、掌握它，并利用它来为人们服务。工人师傅用烧红的铆钉，把大块的钢板铆在一起（图1），就是利用铆钉在冷却时要收缩，而钢板（图中的A，B）又阻碍了它的收缩，结果就产生了很大的压力，将

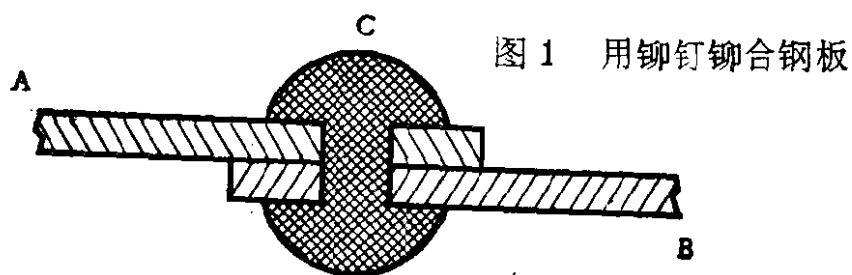


图1 用铆钉铆合钢板

钢板A和B紧紧地压在一起。除此之外，利用热胀冷缩现象制成的双金属片在技术上也应用得很广泛。这是把两种金属片铆在一起制成的。当温度升高时，两种金属片由于膨胀程

度不同，就会使双金属片发生弯曲。比较大的电器开关上，就常常装有这样的双金属片。如果电流长时间地超过额定值（但超过得不很多），由于温度过高，双金属片就会弯曲而将电路断掉（这和保险丝的作用不完全相同。保险丝是在电路短路，或者电流大大超过额定值时，迅速将电路断掉的保险装置，而且不会自动接通）。在电动机的磁力起动器上，也有这样的双金属片。当电机处于过负荷状态时，温度必然会升高，这时，双金属片便会弯曲，从而断开电路，实现对电动机的自动保护。

温度的变化，除了会影响固体的体积外，对固体的其它性质（例如硬度、韧性……）也有影响。各种金属在一定的温度下都会熔化。制作电灯泡的灯丝，就要选用熔点特别高的金属钨。车床上的车刀，在高速切削的情况下，温度是非常高的。我们必须选用耐高温、硬度大的材料，把它焊接在车刀头部作为刀口。而现代的高速飞行器、火箭导弹、原子能反应堆等等新技术，就更为迫切地需要寻找耐高温、耐辐射、强度高、质地轻的合金材料。这就促使人们对过去不太熟悉的稀土金属钛、锆、钼、铌等等进行了重要的研究。下面，我们就来进一步看看各种固体的结构和特性吧！

晶 体 和 非 晶 体

固体可以分成两大类，一类叫作晶体，另一类叫作非晶

体。常见的食盐、砂糖、以及水晶、云母等等，都是晶体。它们都有着规则的几何形状。而松香、电木、玻璃、蜂蜡等等物体却不具有这种特点，它们全都是非晶体。

晶体除了具有规则的几何形状之外，还有着许多重要的特点。例如：它们的物理性质是和方向有关的；它们熔解时的温度不变，等等。而非晶体却不具有这些特点。为了说得更明确一些，让我们来做这样一个实验吧（图2）：

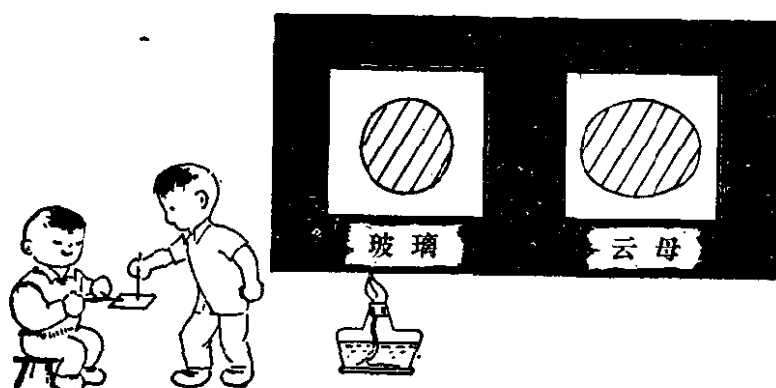


图2 玻璃在各个方向上的导热本领是一样的，而云母却显然不是这样

找一块普通的玻璃和一块云母，在它们上面都均匀地涂上一层蜡，然后沿水平方向放置。另外，我们还要再找一个钉子或普通的针，并用钳子把它夹住，放在火里烧红。然后，将烧红了的钉尖与玻璃片一接触，我们很快就看到接触点周围的蜡熔化了，而且熔化了的蜡是呈圆形的。这个实验告诉我们，对于玻璃来说，在各个方向上的导热本领是一样的。

而云母呢，情况就不同了。熔化了的蜡呈椭圆形。在某

些方向上，热比较容易传递，结果石蜡就熔化得多些；而在另外一些方向上，由于热的传递较困难，石蜡就熔化得少些。这说明了云母的导热本领是和方向有关的。

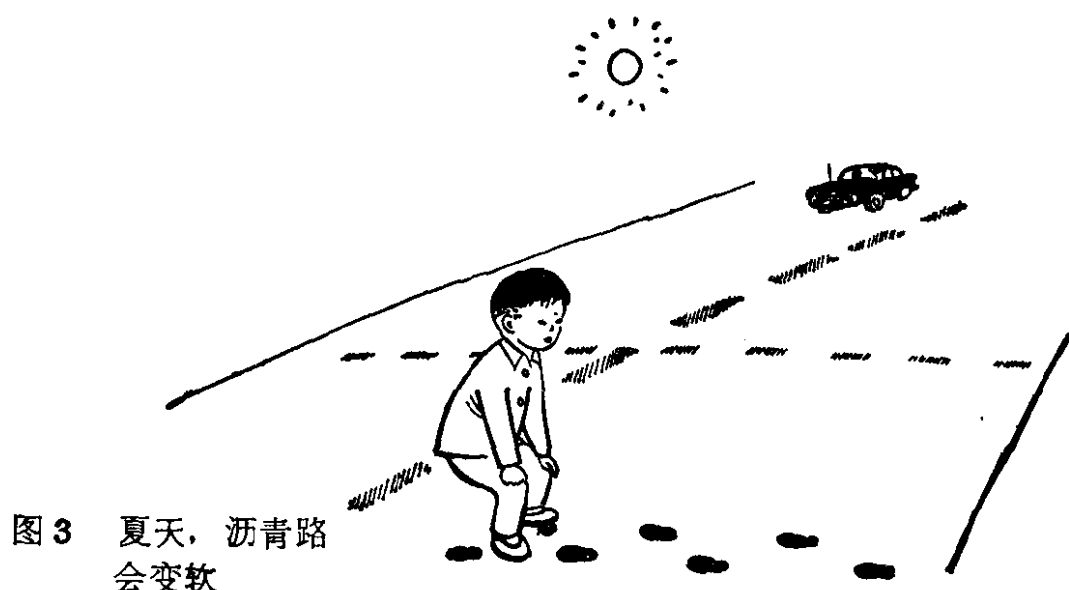
实际上，对于晶体来说，并不只是导热本领才和方向有关。晶体的许多物理性质（例如导电本领、透光本领等等）都与方向有关。这种物理性质与方向有关的现象，在物理学上有一个专门的名称，叫作“各向异性”。晶体是各向异性的。而非晶体呢（例如上面讲的玻璃），由于它们的物理性质与方向无关，所以我们说它是各向同性的。

除此之外，在晶体和非晶体之间，还有另一个很重要的区别。我们知道，晶体在熔解的时候，温度是固定不变的，比如说冰吧（它是晶体），它在熔解时温度保持为摄氏零度而不变。各种不同的金属（它们也都是晶体）都有自己一定的熔解温度。这个熔解温度就叫作熔点。铁的熔点是摄氏1539度，铜的熔点是摄氏1084度，而平时用在电路上的保险丝呢（它是一种合金，也属于晶体），它的熔点只有摄氏几十度。

但是非晶体却不具有这个特点。天热的时候，我们会发觉沥青路变软了（图3）。而且天越热，路面就软得越厉害。我们简直无法说出它到底是固体呢还是液体。如果我们干脆把沥青拿到炉子上去加热，那末我们便会发现，从它开始软化直到最后变得完全可以流动，温度是一直在上升的。也就是说，它没有一定的熔点。

同样地，如果把一块玻璃（它是非晶体）放在坩埚里加

热，它会在不知不觉中开始软化，最后形成同坩埚一样的形状，变成很浓的液体。继续加热下去，它的粘滞性就越越来越小了，而且在高温下就可以象水一样，容易从一个容器倒入另一个容器。在整个过程中，它的温度是一直在上升的。没有一定的熔解温度，是非晶体的共同特点。



讲到这里，人们很自然地就会想到，为什么晶体和非晶体的性质会有这样的差异呢？看来，我们应该认真地研究一下，物体的宏观性质与它们的微观结构之间，有着怎样的本质的联系。

晶体的空间点阵

晶体与非晶体性质上的差异，决定于它们内部的具体结构。同样由二氧化硅（ SiO_2 ）构成的石英，当氧原子和硅原

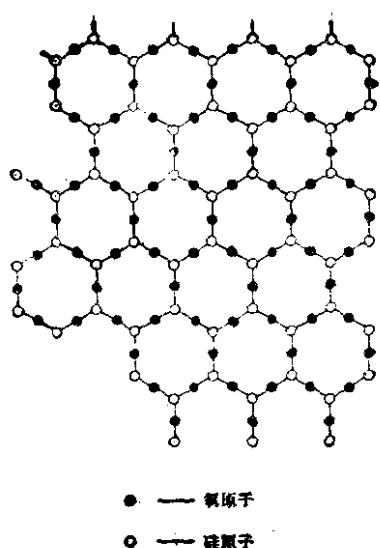


图 4 石英晶体的
平面示意图

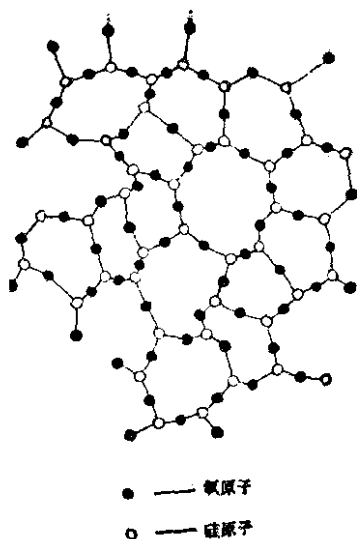


图 5 石英玻璃结
构示意图

子排成图 4 所示的队形时，就构成了石英晶体。如果这些微观粒子象图 5 似的，没有一定几何规则地堆积起来，就构成了石英玻璃，它是非晶体。由此可见，固体的宏观性质决定于它的微观结构，决定于它自身的特殊的矛盾。

一般来说，构成晶体的物质微粒（分子、离子或原子）是依照一定的规律在空间中排成整齐的行列的，构成了所谓的“空间点阵”。不同的晶体，具有不同的空间点阵。晶体的宏观的性质，和它的空间点阵有着密切的联系。例如：作铅笔芯用的黑色软石墨，和能够切割玻璃、与金属的透明的金刚石，它们都是晶体，而且都是由碳原子构成的。但是这两种物质的物理性质有着很大的差异，原因就在于，它们的碳原子排列的队形完全不同，而且碳原子之间的相互作用力

也不完全相同。

在金刚石晶体中，每一个碳原子和它周围的四个碳原子都是等距离的（图6），使得金刚石晶体具有了坚固的结

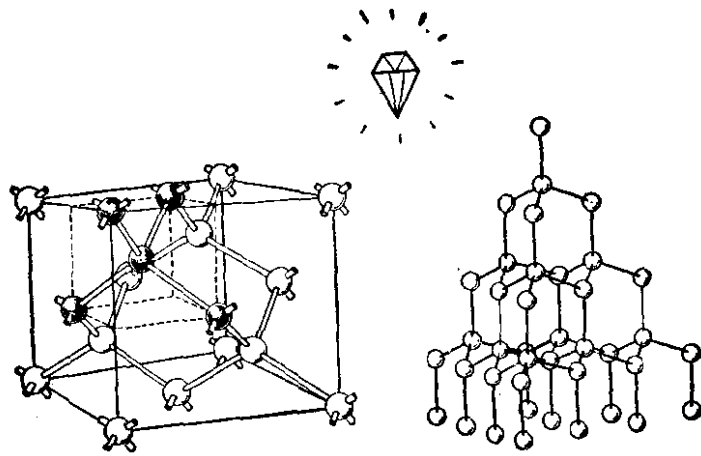


图6 金刚石的空间点阵（左右两图实质上是一样的）

构。另外，在金刚石晶体中，碳原子和碳原子之间的作用力很强，结果这样排列起来的金刚石的晶体，它的硬度在各种物质中是最大的。这样的性质，使它在工业上有着许多重要的

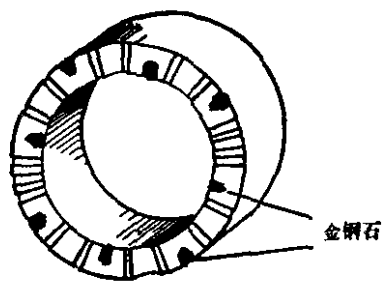


图7 金刚石钻头

用途。例如地质勘探队用的金刚石钻头（图7），汽车和航空工业生产上使用的金刚石车刀和钻孔器等等。另外，要求走得很准确的航海表，用它来作为支点宝石；它还可以用来研磨和加工砂轮；也可以用来制成拉模或抽丝金刚石模具（用激光在宝石上打出小孔），