

水晶的结晶习性与生长规律研究¹⁾

华素坤 仲维卓

(中国科学院上海硅酸盐研究所, 上海 201800)

本文研究了水晶中 Si-O 四面体在不同温度下其结晶方位的变化, 制作了一个可以演示 α - β 水晶的变化模型, 提出水晶生长基元为 Si-O 四面体五联分子结构。该基元在晶轴 c 方向构成共轭螺旋结构, 在晶体形貌上为三方偏方面体, 该单形的结晶习性异常活跃, 在各族晶面上都有显露。其结晶形貌可以作为识别晶体左、右形标志。根据结晶习性提出了籽晶最佳取向和生长的物理、化学条件, 并为彩色水晶研究提供了科学依据。

水晶是一种理想的压电和光学材料, 主要用于制造无线电通信元件和有线电路的滤波元件, 是理想的稳频、控频材料。它在计频、计时、广播通信、精密仪器和导航设备等方面得到了广泛的应用。另外, 它在民用电子产品中如彩电、钟表、计算机、录相系统、音响设备、按钮电话和移动通信等方面也应用甚广, 同时也是光学仪器中极为重要的材料。近年来又开发了水晶的新用途, 即利用其压电性能制造精密的力敏、热敏、气敏和化学敏元件而应用于环境保护、安全检测等方面。人工水晶制作工艺品的浪潮正在掀起, 彩色水晶为人们所喜爱, 如用茶色水晶制造的眼镜已被视为珍品。目前世界上对水晶的年需量为 2500t 左右。随着新技术的发展和人们生活自动化程度的提高, 水晶的用量会与日俱增。

国内外对水晶的研究历史悠久。关于水晶结晶形貌的研究已积累了大量资料, 但大多侧重于晶体几何形态的描述, 缺乏对生长动态过程的了解, 对水晶结晶的形成机理探讨的很少, 因此对晶体表面与内部结构之间的本质联系, 长期未得到阐明。笔者从 1958 年开始从事人工水晶工作, 从晶体内部结构出发, 研究了晶体的结晶习性与品质, 注意了晶体的形貌特征与生长的物理、化学条件之间的关系, 确定了晶体的形貌与内部结构之间的联系, 对其生长规律取得一定的认识。

物理

一、主要研究内容

1. 测定了不同结晶温度条件下, 水晶中 Si-O 四面体结构基元结晶方位的变化, 制作了一个可以直接显示从低温 (α) 相到高温 (β) 相的活动结构模型。它可以表演在不同温度条件下水晶结构连续变化的全过程(见图 1)。

2. 提出了水晶生长基元为 Si-O 四面体五

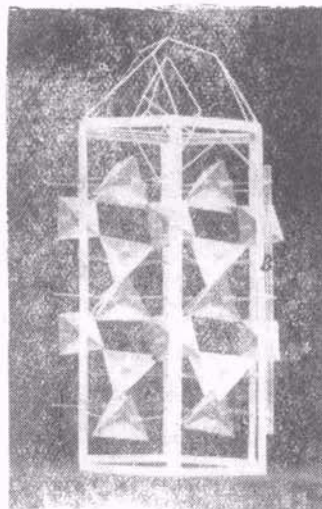


图 1 α 水晶的结构模型

(结构基元为 Si-O 四面体, 拉动把手 B 至不同距离, 可以显示不同温度下水晶的结构特征; 在不同温度下, Si-O 四面体绕晶轴 X 转动一个角度, 573°C 为零度, 360°C 为 12.5 度, 室温为 17 度)

1) 该项成果获 1990 年国家自然科学奖三等奖。

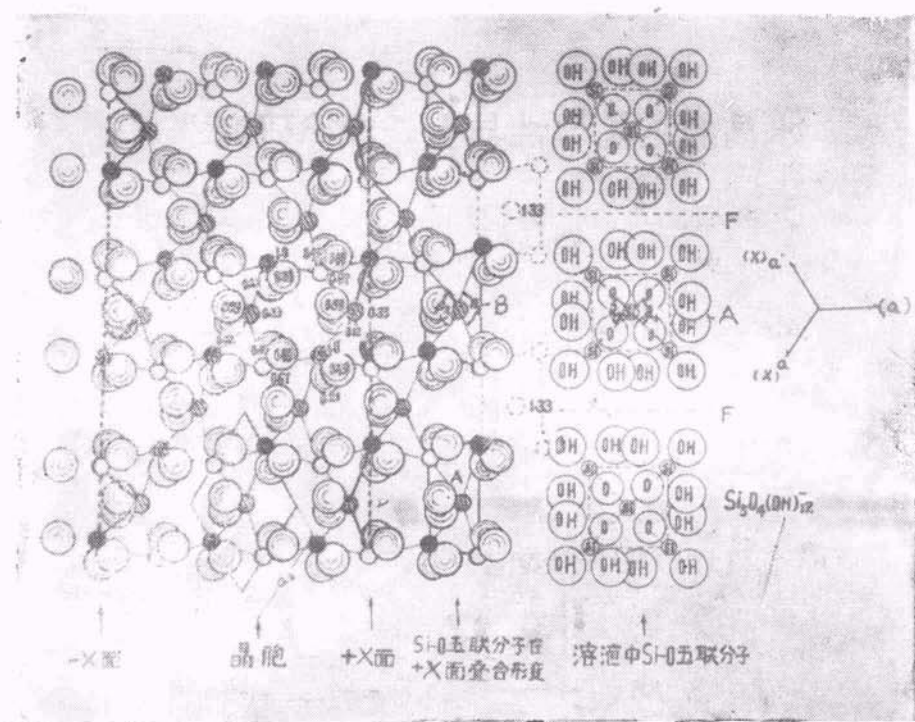


图 2

(在溶液中水晶生长基元为 Si-O 四面体五联分子,其表面已 OH^- 化,形成 $\text{Si}_2\text{O}_4(\text{OH})_{12}$,然后向晶体 $+X$ 面叠合,逐步发生脱水反应: $\text{Si}_2\text{O}_4(\text{OH})_{12} \rightarrow 5\text{SiO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$, 进入晶格形变成为偏四面体晶胞结构)

联分子 $[\text{Si}_2\text{O}_4(\text{OH})_{12}]$, 从而合理地解释了水晶生长的各向异性(见图 2)。

3. 提出了三方偏方面体单形在水晶生长过程中起主导作用的论点。三方偏方面体的结构基础是 Si-O 四面体沿 c 轴方向共轭螺旋排列,故该单形在生长过程中异常活跃,对生长时的物理、化学条件的影响很敏感,并在各族晶面上都有显露。故晶体表面上的偏三方结构花纹的结晶方位特征,可以作为识别晶体左、右形的标志。

4. 研究了水晶表面结构形态变化与生长时物理、化学条件之间的关系,从而使晶体的表面结构与内部结构得到由表及里的有机联系。

二、研究成果的应用

1. 利用水晶的结晶习性指导了优质水晶生长。水晶中的缺陷主要与三方偏方面体单形的发育有关,缺陷主要是沿着该单形的晶面或晶

面之间的沟槽分布,严重时会产生沿着晶轴 Z 的平行裂纹。根据三方偏方面体的结晶习性,优选生长的物理、化学条件,从而解决了我国人工水晶初期出现的沿 Z 轴开裂的问题,加快了水晶工业化的进程。

2. 根据生长基元为 Si-O 四面体五联分子的机理,设计了 YZ 片籽晶新切型。1975年3月我们首次提出 YZ 片籽晶新切型,并试验成功,从而解决了当时激光打靶急需的检波片和超声全息换能用的大面积换能片,填补了国内空白。直到1983年,才见到美国有这种切型的专利报道。

3. 利用晶体的结晶形貌特征,迅速、简便地对晶体定向,确定晶体的左、右形和双晶,并对其缺陷进行了研究。水晶的品质因子(Q)主要取决于沿着三方偏方面体的面缺陷,故可以根据晶体表面结构上三方偏方面体的结晶习性来了解晶体中缺陷的形成。另外,根据水晶的表面结构上的方位可以迅速地识别晶体的左、右

挖 掘 与 开 拓¹⁾

——关于在物理教学中引入物理学史的几点看法

赵 凯 华

(北京大学,北京 100871)

在教学中引入历史和专门研究科学史不是一回事,专门研究历史,要求对史料作详细的考证工作.物理课程中引用史料,则是为教学的目的服务的,既不能平铺直叙地就事论事,也不宜只是津津乐道于一些掌故轶事.是否要和为什么要在物理教学中引入历史?如何引入?这些都是很复杂的问题.美国 MIT 的 French 教授发表过一篇演讲(Pleasure and Danger of Bringing History into Physics Teaching),对这个问题的许多方面包括各种可能的作法中成功的经验和失败的教训等,作了精辟的分析,此讲稿的译文曾发表在《大学物理》杂志上(1986年第2期),想必很多同志已看过.我没有能力全面论述这个问题,只想随便谈几点看法,作为引玉之砖.

一、历史与逻辑的统一

这个问题虽属老生常谈,因为它重要,所以

形,这给器件的加工带来很大的方便,可以省去传统的用氢氟酸腐蚀的繁琐工序.该方法已列入国家光学水晶标准.我国水晶年产量已达280t,因此,利用晶体形貌定向可以节省大量的劳动力并降低成本.

4. 根据水晶的结晶习性指导了彩色水晶的研制.根据水晶内部结构与结晶习性有效地确定了茶色水晶掺杂离子的种类和掺杂量,选取了最合理的籽晶切型和生长工艺.茶色水晶从1982年开始研制,于1987年完成中间试验,1987年7月通过中国科学院和江苏省科学技术委员会联合组织的鉴定.彩色水晶生长方法

我还是想说几句.

个体认识活动的逻辑过程与认识发展的历史过程,就其总体和梗概而言,是一致的.教学中学生的难点,往往也是物理学发展史上长期未能克服的困难.历史上关键性的突破和前辈物理学家伟大贡献的精髓,也正是物理教学的重点.分析研究历史与逻辑的这种一致性,对改进我们的教学会有极大的帮助.力学的创立和发展是这方面非常典型的例子.

人们说:力学是物理学的语言.物理学从古代自然哲学脱胎出来而成为一门独立的学科后,什么是它的语言?伽利略认为宇宙之书是用数学语言写成的.笛卡儿说,科学的本质是数学.16和17世纪经典力学的创立和发展的过程,也正是物理科学数学化的过程.科学数学化的要点有二:(1)科学知识的演绎综合,即

1) 本文是作者1990年10月在一次国家教育委员会召开的物理学史与物理教学研讨会上的发言稿,提纲是与陈秉乾、陈熙谋一起讨论的.

于1989年获国家专利,曾在1987年日内瓦召开的第15届国际发明和新技术展览会上获银质奖.新开发的黑茶晶用于制造光泽度标准板,具有高的稳定度,年变化率小于0.3个光泽度单位,于1990年通过国家技术监督局组织的鉴定,属于国际领先水平.

对人工水晶结晶习性与生长规律的研究成果可为研究其他晶体提供借鉴,因为晶体的结晶习性不仅反映了晶体的结构特征,而且还与生长时的物理、化学条件密切相关.将晶体的结晶习性与缺陷联系起来,就为选取最佳生长条件提供科学的理论依据.