



仪器仪表工人 技术培训教材

刚玉晶体制造

机械工业部仪器仪表工业局 统编

机械工业出版社

仪器仪表工人技术培训教材

刚 玉 晶 体 制 造

机械工业部仪器仪表工业局 统编



机械工业出版社

本书是为人造刚玉、宝石轴承类工人技术培训的需要而编写的。

内容包括：晶体的基本概念，硫酸铝铵的制备， $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 料粉的制备，氢、氧气的制备，烧结机，刚玉晶体生长工艺及质量检验，溶液中结晶的基本理论，硫酸铝铵的热解变体过程，焙烧炉的设计基础，纯水制备，水的电解理论，刚玉晶体的结构和特性，刚玉晶体的结构缺陷和定向生长、刚玉晶体的退火等。

全书共分十三章，前五章可供初级工人技术培训之用，第六章至第十三章供中级工人技术培训之用。

本书由苏州晶体元件厂主编，由卢逸生、刘港源、陶雷同志编写，钟永成、刘石璧、孙淑文同志审稿。

2R38/36
12

刚 玉 晶 体 制 造

机械工业部仪器仪表工业局 统编

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 1/32 ·印张 $12\frac{3}{4}$ 字数 284 千字
1985年11月重庆第一版·1985年11月重庆第一次印刷

印数 0.001—1,520 ·定价 2.70 元

*

统一书号：15033·5833

前 言

贯彻中共中央、国务院《关于加强职工教育工作的决定》，对广大工人进行系统的技术培训，是智力开发的一件大事，是一项战略性的任务。有计划地开展这项工作，教材是关键。有了教材才能统一教学内容，才能逐步建立起正规的工人技术教育体系，提高工人的技术素质，以适应四化建设的需要。为此，我们在全中国仪器仪表行业有关的重点企业中，组织了有长期从事技术、教育工作经验的工程技术人员和教师，编写了这套仪器仪表专业工种的初级、中级工人技术培训教材，共七大类四十六本。

这套教材编写的依据是原国家仪器仪表工业总局一九八一年颁发的《工人技术理论教学计划、教学大纲（仪器仪表专业工种初、中级部分）》。学员学完初级技术理论教学计划规定的课程，可系统地达到部颁《工人技术等级标准》中本工种三级以下的“应知”要求；学完中级技术理论教学计划规定的课程，可系统地达到本工种六级以下的“应知”要求。在教材编写过程中，注意了工人培训和仪器仪表行业的特点，力求做到既要理论联系生产实际，学以致用，又要循序渐进。考虑到工种工艺学的特殊性，避免不必要的重复，对工种工艺学初级、中级教材采用合一册或上、下册的形式。通过教学计划和大纲，体现初级、中级培训的阶段性和连续性。

这套教材的出版，得到了北京、天津、上海、江苏等省

市仪表局机械厅和有关企业、学校、研究单位的大力支持，在此特致以衷心的感谢。

由于时间仓促，加上编写经验不足，教材中难免存在缺点和错误，我们恳切地希望同志们在使用中提出批评和指正，以便进一步修订。

机械工业部仪器仪表工业局
工人技术培训教材编审领导小组
一九八二年十二月

目 录

绪论	1
一、晶体的基本概念	1
二、刚玉晶体的基本特性和应用	2
三、刚玉晶体人工合成简史	4
第一章 硫酸铝铵的制备	8
1-1 硫酸铝铵的合成	8
一、硫酸铝铵的性质	8
二、合成原料和方法	9
三、合成设备和工艺	10
1-2 硫酸铝铵的提纯	14
一、提纯的基本原理	14
二、设备和工艺	19
三、质量分析	22
1-3 去离子水	26
一、离子交换树脂	28
二、离子交换法的原理与设备	31
三、制备工艺	37
四、测试方法	41
1-4 安全操作	43
复习题	44
第二章 γ - Al_2O_3 料粉的制备	46
2-1 γ - Al_2O_3 料粉制备的基本原理	46
一、焙熔刚玉晶体生长对料粉的要求	46
二、硫酸铝铵的热解过程	47
三、焙烧工艺流程	49
2-2 焙烧	49

一、低温脱水炉	49
二、高温焙烧炉	51
三、焙烧的温度制度	52
四、硫酸铝铵的焙烧工艺	53
五、温度测量	56
2-3 着色	57
一、着色剂的作用	57
二、添加物对颜色的影响	58
三、对各种着色剂的要求	62
四、着色溶液的配制	63
五、彩色宝石所用着色剂及其加入量的计算	65
2-4 γ - Al_2O_3 料粉的筛选与储藏	67
一、 γ - Al_2O_3 料粉的筛选	67
二、筛粉机的构造	68
三、 γ - Al_2O_3 料粉的储藏	70
2-5 安全操作	70
复习题	71
第三章 氢、氧气的制备	72
3-1 氢、氧的性质和用途	72
一、氢气的性质和用途	72
二、氧气的性质和用途	74
3-2 氢、氧的制取方法	76
一、实验室制取方法	76
二、工业制取方法	77
3-3 电解水的基本原理	78
3-4 设备	84
一、设备简介	84
二、电解槽	88
三、电气设备	94

3-5 氢、氧气制备工艺	97
一、准备工作	97
二、操作	97
三、停车	99
四、维修保养	99
五、故障和原因	100
六、安全操作	102
3-6 氢、氧气的纯度测定	105
复习题	110
第四章 烧结机	111
4-1 焙熔法晶体生长	111
4-2 烧结机的构造	115
一、下粉系统	117
二、燃烧器	121
三、结晶炉	126
四、下降系统	133
五、气体管道系统	135
六、氧气的稳压与自动加压	137
4-3 烧结机的安装与调试	140
复习题	142
第五章 刚玉晶体生长工艺及质量检验	144
5-1 刚玉晶体生长的工艺过程	144
5-2 晶体生长若干问题	147
一、氢氧焰	147
二、接种与扩大技术	152
三、等径生长	157
5-3 晶体的常见缺陷	162
一、晶体的炸裂	162
二、断裂	163

三、散射颗粒	164
四、杂质分布及色带	167
5-4 刚玉晶体的质量检验	169
一、晶体的剖开	170
二、质量检验的项目	171
三、检测工具	172
四、特种刚玉晶体的检测	173
复习题	173
第六章 溶液中结晶的基本理论	174
6-1 溶液	174
6-2 溶解度和溶解度曲线	176
6-3 饱和与过饱和	182
6-4 结晶速度与杂质	184
6-5 分配系数与杂质	185
6-6 硫酸铝铵结晶的原料与配比	189
6-7 硫酸铝铵结晶时氨水的作用	191
6-8 过滤	194
复习题	197
第七章 硫酸铝铵的热解变体过程	199
7-1 氧化铝及其变体	199
一、氧化铝水化物的加热变化	199
二、铝盐的加热变化	200
三、氧化铝的变体	202
7-2 硫酸铝铵的热解过程	203
一、硫酸铝铵的三个热解过程	203
二、硫酸铝铵热解的相变(变体)过程	205
7-3 氧化铝料粉相组成与焙烧制变的关系	206
一、温度与料粉变体组成的关系	206
二、焙烧的保温时间与料粉变体组成的关系	207

7-4 氧化铝料粉中变体的组成及其状态与晶体生长的关系	214
一、料粉中的变体组成与晶体生长的关系	214
二、料粉的状态与晶体生长的关系	215
三、料粉表面对气体的吸附与晶体生长的关系	216
7-5 γ - Al_2O_3 性能的测定	217
一、灼烧失重法	218
二、差热分析法	220
三、容重的测定	222
复习题	223
第八章 焙烧炉的设计基础	225
8-1 焙烧炉的要求	225
8-2 焙烧炉的种类	226
8-3 耐火材料和保温材料	229
一、工业炉对耐火材料的基本要求	229
二、常用的耐火材料	230
三、常用的保温材料	232
四、焙烧炉对耐火材料和保温材料的要求及选用	232
8-4 电热元件	233
一、金属电热元件材料	233
二、非金属电热元件材料	234
三、电热元件的选用	235
8-5 焙烧炉的设计	238
一、炉膛尺寸的计算	238
二、炉子安装功率的计算	240
三、电热元件联接方式的选择	242
四、金属电热元件的结构要求	243
五、电热元件尺寸的计算	243
六、电热元件的表面功率	248
七、焙烧炉参数的计算	248

8-6 温度控制	250
一、热电偶	251
二、温度指示和调节	255
三、温度的校正	257
复习题	262
第九章 纯水制备	263
9-1 纯水制备的原理和方法	263
9-2 去离子水制备	272
一、电渗析器的结构	273
二、电渗析器存在的问题	276
三、操作工艺	279
四、混合床	280
复习题	280
第十章 水的电解理论	281
10-1 电离学说	281
10-2 电解质溶液导电原理	284
10-3 电解理论	287
10-4 电极反应	295
10-5 极化和超电压	299
10-6 电解水的超电压	306
10-7 物质的消耗与计算	308
复习题	313
第十一章 刚玉晶体的结构和特性	315
11-1 键的型式和晶格类型	315
11-2 离子晶体结构的基本因素	318
11-3 刚玉晶体的形态与结构	322
一、三方、六方晶系的晶胞	322
二、刚玉晶体的形态和构造	323
三、刚玉晶体的晶胞	325

四、刚玉晶体的晶面指数表示法	327
五、结晶学取向的计算	329
11-4 刚玉晶体的特性	334
11-5 刚玉晶体的颜色	339
复习题	341
第十二章 刚玉晶体的缺陷和定向生长	343
12-1 刚玉晶体的结构缺陷	343
一、点缺陷	343
二、线缺陷(位错)	345
三、面缺陷(镶嵌)	348
四、刚玉晶体的缺陷	349
12-2 结晶学取向与晶体生长	354
一、结晶学取向与成品率的关系	355
二、开裂面与二次轴的关系	355
三、塑性变形和镶嵌结构与结晶学取向的关系	356
四、结晶学取向与光学性能的关系	359
12-3 刚玉晶体的定向	359
一、光学定向	360
二、X射线定向法	369
三、二次轴的测定	375
四、晶种的制备	377
复习题	379
第十三章 刚玉晶体的退火	380
13-1 晶体的内应力和脆性	380
13-2 退火原理与装置	383
13-3 退火工艺	390
复习题	393

绪 论

一、晶体的基本概念

“晶体”这个名词来自希腊语，意思是指“因冷而凝结的”。因而古希腊人将冰称为“晶体”。后来，又把石英（水晶）称为“晶体”，认为水晶是变成了石头的冰。我国古代也有“千年之冰，化为水晶”之说。

水晶常具有规则的外形。其他许多自然矿物也都具有自发形成的规则外形，见图0-1。因此，“晶体”这个名词又广泛地用于具有规则多面体外形的天然物体上，并且将晶体定义为自然界中具有多面体外形的固体。

晶体的内部构造，起初仅是从外形去推测。后来，随科

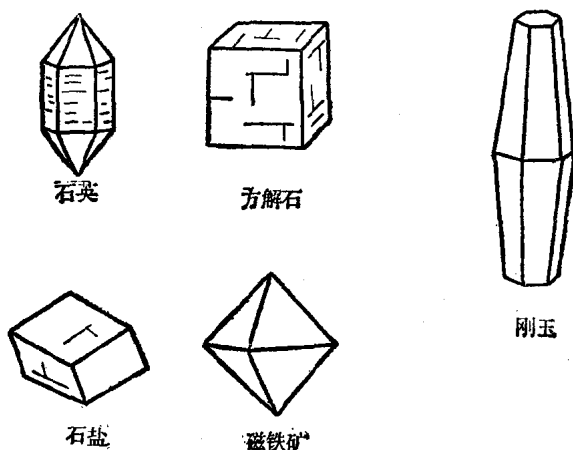


图0-1 自然矿物外形图

学技术的发展，特别是应用了 x -射线才得到精确的描述。任何物质都由原子、分子或离子组成，晶体也是如此。这些原子、分子、离子称为构成晶体的基元。这种基元有的仅是单个原子，有的含有好几个原子或分子。无机物晶体中基元所含的原子或分子多达100个，蛋白质就更多，达10000个以上。

一个理想的晶体，是由结构基元在空间按一定的周期排列而成的。这些基元在空间所在的位置构成空间点阵，或称空间格子。因此，晶体的严格定义应该是：晶体是由原子、离子、分子按一定周期规则排列而成的固体。非晶体的原子、离子、分子排列没有明确的周期性，例如玻璃、琥珀、松香等。晶体外形的对称性是组成晶体的基元在内部规则排列的反映。

晶体具有极其广泛的分布。无论在自然界里、实验室或工厂里，晶体是最常见的固体物质。矿物和岩石中极大部分是结晶物质。我们脚下的土壤、砂粒，甚至是树木的某些部分都是晶体。许多有机和无机化合物都是晶体。工厂中的许多原料与制成品都是晶体。如电子工业中的锗、硅，电子钟表中的石英振荡器，光学仪器中的红外、紫外透镜和分光棱镜等。最常见的金属器材、耐火材料和磨料，也都是由一些小晶体构成的。我们日常生活中所必需的糖盐和一些药品也都是晶体。因此，可以毫不夸张地说，人们是生活在一个千奇百怪、色彩绚丽的晶体世界里。

二、刚玉晶体的基本特性和应用

刚玉是千千万万的晶体中的一种，其化学组成为 Al_2O_3 ，刚玉晶体（俗称人造宝石）是 $\alpha-Al_2O_3$ 单晶体，它是属离子晶体范畴，由两个铝离子 Al^{3+} 和三个氧离子 O^{2-} 作为一个基元，在空间周期排列而成。纯净的刚玉晶体是无色透明的，

俗称白宝石。含有微量铬的刚玉晶体呈淡红色，俗称红宝石。含有微量铁和钛的刚玉晶体呈蓝色，俗称蓝宝石。

刚玉晶体远在十九世纪末就有人企图用人工方法合成。至今，在人工晶体中，刚玉晶体的产量是首屈一指的。为什么刚玉晶体得到人们如此重视？原因是它具有很多优异的性能。

人们对刚玉晶体的兴趣是从它的坚硬、纯净、透明、颜色鲜艳、光彩夺目开始的，被大量用于制作装饰品，供人们佩带。

矿物学家为了说明各种矿物的硬度，依次选了十种矿物作为硬度的标准。这个标准是由摩斯首先提出的，称之为摩氏硬度。刚玉排列第九，即莫氏9级硬度，仅次于10级的金刚石。刚玉晶体的硬度高，耐磨性能好，摩擦系数小，磨耗后还能保持光泽。

刚玉晶体的化学性能稳定。在常温下，不受酸碱腐蚀，不溶解于水。在300℃以上，才能被氢氟酸、氢氧化钾、磷酸侵蚀。所以在通常情况下，刚玉及制品可以永远保存，并不失其光彩色泽。

刚玉晶体是很好的耐高温材料。它的熔点高达2030~2050℃。

刚玉晶体可作为耐高温的绝缘材料。在500℃时，它的导电率为 2.7×10^{-10} 欧姆 $^{-1}$ ·厘米 $^{-1}$ ，介电系数 ϵ 为9.8。

刚玉晶体具有上述特性，必然就有广泛的应用。主要用途是制造各种精密仪器仪表、钟表和其他精密机械的轴承或耐磨、耐高温元件。

在仪器仪表工业中，刚玉晶体用于制作电工仪表、航空仪表、航海仪表、水文表、气象仪表、计量仪表中的支承轴承。轴承的型式有球形、锥形、通孔、平面等。

在钟表工业中，刚玉晶体常用来制作通孔钻、托钻、圆

盘钉、卡钻（马脚钻）。由刚玉晶体制成的轴承，使用寿命之长是其它材料所无法比拟的，同时也使钟表的走时精度大大提高。

刚玉晶体制成的录音、放声系统中的录音针、唱针，测绘仪器中的绘图笔尖，自动记录仪上的记录笔尖，纺织工业中的导纱器、转子横销，控制人造纤维的领圈，食品工业中制造奶粉用的喷嘴等，都表明它具有使用寿命长、性能好的特点。

在尖端技术上，刚玉晶体可用作大规模集成电路的外延基片，红外接收、探测器的窗口，耐高温、耐腐蚀的监控窗口和导光材料，高效电弧管材料。

在掺杂0.05% Cr^{3+} 离子浓度后，刚玉晶体就成为固体激光的一种重要工作物质。

因此，刚玉晶体是用途最广的晶体材料。

三、刚玉晶体人工合成简史

刚玉晶体在自然界里很难找到，一般都是一些微小颗粒。颗粒大，质地纯净，透明度好的更为罕见，具有星光的更为名贵。至今，全世界从自然界中获得的最大刚玉晶体，也仅有屈指可数的几颗。它们之中有称为亚洲之星的蓝色星光宝石，重量为330克。天然宝石极为名贵，价格每克几十美元至几十万美元，是名符其实的宝石。

刚玉晶体在自然界这样稀少，颗粒又小，而人们又如此需要它，因此很早人们就企图以人工合成的方法获得晶体。

在1902年以前，人们对刚玉晶体合成的研究都没有得到实际的应用，因为当时所获得的晶体过于微小，无法加工应用。

直到1902年，法国科学家维纳尔发表了用纯净的氧化铝作原料，氢氧焰为燃料的焰熔炉培育红宝石大晶体的新方

法。从此以后这种方法被推广，被称之为维纳尔法，又称焰熔法。这种方法的出现，使红宝石的大量生产成为可能。

刚玉晶体的人工合成工业在西欧发展最快。法国、瑞士、德国相继建立许多人造宝石工厂。四十年代以后，苏联、日本、美国、英国、捷克斯洛伐克等国也逐渐建立起规模较大的人造宝石工厂或车间。目前，世界上人造宝石（刚玉晶体）的总产量计算已不是以克拉、公斤计算，而是几十吨、几百吨了。

焰熔法生长的刚玉晶体，不论是白色或红色的都能满足仪器仪表工业、钟表制造工业的质量要求。但是，随着尖端技术的特殊要求，以焰熔法培育出来的晶体材料，在结构的完整性、光学均匀性等方面都不能满足尖端技术的需要。因此，人们又采用了提拉法、水热法来合成高质量的刚玉晶体。采用导模法进行异形刚玉晶体的生长，如片子、管子。为了获得质量好，面积更大的窗口材料，还应用了温度梯度法获得大尺寸的晶体。美国已采用热交换法生长出了直径318毫米，厚度127毫米，重量达47.7公斤的大晶体。

人造宝石制造，即刚玉晶体的人工合成，在我国是一项新兴的工业，1958年以前还属空白。

一九五七年五月，在上海开始试制红宝石，当时设备简陋，没有氢气，以煤气和氧气作燃料，所培育的刚玉晶体只有绿豆般大小。一九五八年苏州人造宝石厂和苏州珠宝厂又进一步进行了试制，采用了瓶装氢气和氧气作燃料，培育出重达20~30克梨状红宝石，其间还试制了若干种彩色宝石。六十年代初，国际上激光红宝石问世。一九六二年，我国成功地试制了激光红宝石。以后，随着仪器仪表工业及钟表制造工业的发展，国家各工业部门在六十年代初期先后新建扩