

何雪梅 沈才卿 编著

宝石人工合成技术



Chemical Industry Press



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

宝石人工合成技术

何雪梅 沈才卿 编著



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

宝石人工合成技术/何雪梅, 沈才卿编著. —北京:
化学工业出版社, 2004. 10
ISBN 7-5025-6183-8

I. 宝… II. ①何…②沈… III. 宝石-人工合
成-技术 IV. TQ164

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 103582 号

宝石人工合成技术

何雪梅 沈才卿 编著

责任编辑: 邢 涛

责任校对: 吴桂萍

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社 出版发行
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010)64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 17 $\frac{3}{4}$ 字数 287 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6183-8/TB·90

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

随着社会的进步和科学技术的发展,人工合成宝石技术日益趋向成熟并得到了飞速的发展。伴随着人工合成宝石品种和数量的不断增多以及市场的日益扩大,人工合成宝石已逐步发展成为宝石学科的一个重要分支,在宝石材料领域中占据着相当重要的地位。人工合成宝石作为天然宝石的替代品,正以其特有的魅力博得人们的青睐,越来越多的人开始接受并喜欢人工合成宝石,这又进一步促进了人工合成宝石行业的发展。目前,我国已拥有集人工合成宝石科研、生产和销售为一体的规模庞大的队伍,人工合成宝石已发展成为一个新兴的产业。

本书较为详细和系统地阐述了人工合成宝石的概念、分类、原理和方法,并着重介绍了人工合成的钻石、翡翠、祖母绿、金绿宝石、红宝石、蓝宝石、星光红和星光蓝宝石、欧泊、绿松石、青金石、水晶类宝石、尖晶石类宝石、金红石类宝石、钛酸锶、立方氧化锆(CZ)、钇铝榴石(YAG)、钆镓榴石(GGG)、夜光宝石等的生产工艺、设备及产品特征。同时,简略介绍了各种人工合成宝石的鉴别方法。附录中还列出了各种人工合成宝石中英文名称对照表、各种人工合成宝石的性质、鉴别特征一览表和相应的生辰石等。

全书共分十二章,在力求内容丰富、系统完整的基础上,尽力做到深入浅出、通俗易懂,便于不同层次的读者掌握和理解。本书主要面向从事宝石业的生产、鉴定、教育、科研和贸易人员使用,也可供广大宝石爱好者参考。

在本书的编写过程中,何彦龙、张蕴韬同志分别为本书第三章、第九章、第十一章和第十二章的资料搜集和整理做了大量工作;冯雪梅、张静文、付红梅等同志参与了本书的校对工作;张蕴韬、张静文、杨崑同志在本书的图表制作方面做了大量的工作。在此一并表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,差错难免,敬请广大读者批评指正。

编著者

2004年5月

目 录

第一章 概论	1
第一节 人工合成宝石的概念、分类及定名.....	3
一、人工合成宝石的概念.....	3
二、人工合成宝石的分类.....	4
三、人工合成宝石的定名原则.....	5
第二节 人工合成宝石的方法.....	6
一、焰熔法.....	6
二、水热法.....	6
三、助熔剂法.....	7
四、晶体提拉法.....	7
五、熔体导模法.....	7
六、区域熔炼法.....	7
七、冷坩埚熔壳法.....	8
八、高温超高压法.....	8
九、化学沉淀法.....	8
十、其他方法.....	8
第三节 宝石人工合成的四个阶段及产品的检验.....	9
一、宝石人工合成的四个阶段.....	9
二、人工合成宝石产品的检验.....	9
第四节 人工合成宝石的价值和价格	11
一、人工合成宝石的价值	11
二、人工合成宝石的价格	12
第五节 人工合成宝石的发展历程	13
第二章 焰熔法生长宝石晶体	19
第一节 焰熔法生长宝石晶体工艺	23
一、焰熔法生长宝石晶体的工作原理	23
二、焰熔法生长宝石晶体工艺过程	24

三、焰熔法生长优质宝石晶体的关键因素	26
四、焰熔法生长宝石晶体的优缺点	28
第二节 焰熔法合成刚玉类宝石	29
一、合成刚玉类宝石原料的选择与提纯	29
二、合成刚玉类宝石粉料的制备	30
三、合成刚玉类宝石晶体生长	32
四、合成刚玉类宝石的退火处理	34
第三节 焰熔法合成金红石类宝石	34
一、原料的选择与制取	35
二、 TiO_2 粉料的制备	36
三、焰熔法合成金红石晶体的工艺条件	36
四、焰熔法合成金红石晶体的退火处理	37
第四节 焰熔法生长尖晶石类和钛酸锶类宝石	37
一、焰熔法生长尖晶石类宝石晶体	37
二、焰熔法生长钛酸锶类宝石晶体	39
第五节 焰熔法生长宝石的鉴别	40
一、焰熔法生长宝石的共同特征	40
二、焰熔法合成刚玉类宝石的鉴别	41
三、焰熔法生长尖晶石类、金红石类、钛酸锶类宝石的鉴别	44
第三章 水热法生长宝石晶体	47
第一节 水热法生长宝石晶体概述	49
一、水热法宝石晶体生长的分类	49
二、水热法宝石晶体生长所需的设备	52
三、水热法生长宝石晶体的优缺点	53
第二节 影响宝石晶体生长的因素	54
一、溶液的过饱和度	54
二、矿化剂(溶剂)的性质和浓度	55
三、对流挡板	55
四、生长区温度与温差	56
五、压力和充填度(装满度)	57
六、杂质	57
七、籽晶取向	57
八、培养料	58

第三节 水热法合成水晶晶体	58
一、水热法合成水晶的原理及工艺过程	59
二、水热法合成水晶的工作条件和工艺参数	62
三、彩色合成水晶的水热法生长	65
四、水热法合成水晶的晶体缺陷	70
五、水热法生长水晶晶体的鉴别特征	72
第四节 水热法合成刚玉类晶体	74
一、水热法合成刚玉类宝石的基本原理	75
二、水热法生长刚玉类晶体的工艺要求	76
三、水热法合成刚玉类宝石实例	79
四、水热法合成刚玉类宝石晶体的特征及鉴别	81
第五节 水热法合成祖母绿晶体	85
一、水热法合成祖母绿的工作原理	85
二、水热法合成祖母绿的工艺条件	86
三、世界主要水热法生长祖母绿晶体公司的生长工艺比较	88
四、水热法合成祖母绿晶体的特征及鉴别	89
第六节 水热法合成海蓝宝石晶体	91
一、水热法合成海蓝宝石的基本原理	91
二、水热法合成海蓝宝石的工艺条件	92
三、水热法合成海蓝宝石晶体的特征及鉴别	94
第四章 助熔剂法生长宝石晶体	95
第一节 助熔剂法生长宝石晶体基本理论	97
一、助熔剂法生长宝石晶体的原理	97
二、助熔剂法分类	98
三、助熔剂的选择	101
四、助熔剂法生长宝石晶体的优缺点	104
第二节 助熔剂法合成祖母绿晶体	105
一、自发成核缓冷法合成祖母绿晶体	106
二、吉尔森籽晶法合成祖母绿晶体	110
第三节 助熔剂法合成红宝石及生长 YAG 晶体	112
一、助熔剂法合成红宝石晶体	112
二、助熔剂法生长 YAG 晶体 (钇铝榴石 $Y_3Al_5O_{12}$)	114
第四节 助熔剂法生长宝石晶体的鉴别	115

一、助熔剂法生长宝石晶体的特征·····	115
二、助熔剂法合成祖母绿晶体的鉴别·····	117
三、助熔剂法合成红宝石晶体的鉴别·····	118
第五章 晶体提拉法生长宝石晶体·····	121
第一节 晶体提拉法生长宝石晶体工艺·····	123
一、晶体提拉法生长宝石晶体的原理·····	124
二、晶体提拉法生长宝石晶体的装置·····	124
三、晶体提拉法中影响晶体质量的主要因素·····	127
四、晶体提拉法的优缺点·····	129
五、晶体提拉法生长宝石晶体的实例·····	129
第二节 晶体提拉法生长宝石晶体的鉴别·····	131
一、晶体提拉法生长宝石晶体的特征·····	131
二、晶体提拉法生长宝石晶体的鉴别·····	132
第六章 熔体导模法生长宝石晶体·····	135
第一节 熔体导模法生长宝石晶体概述·····	137
一、熔体导模法生长宝石晶体简介·····	137
二、导模法生长晶体的工艺过程·····	138
三、导模法生长晶体的工艺原理·····	139
第二节 熔体导模法生长宝石晶体工艺条件·····	141
一、导模法生长宝石晶体装置·····	141
二、导模法生长宝石晶体实例·····	142
第三节 熔体导模法生长宝石晶体特点及鉴别·····	144
一、导模法生长宝石晶体的特点·····	144
二、导模法生长宝石晶体的鉴别·····	145
第七章 冷坩埚熔壳法生长宝石晶体·····	147
第一节 冷坩埚熔壳法生长晶体的基本原理·····	150
第二节 冷坩埚熔壳法合成立方氧化锆晶体工艺·····	153
一、合成立方氧化锆晶体的工艺过程·····	153
二、合成立方氧化锆晶体的工艺要点·····	154
第三节 合成立方氧化锆宝石晶体的鉴别·····	156
一、合成立方氧化锆的晶体特征·····	156
二、合成立方氧化锆的结构及物理化学特征·····	157
三、合成立方氧化锆与钻石的简易鉴别法·····	158

第八章 区域熔炼法合成宝石晶体	161
第一节 区域熔炼法合成宝石工艺	163
一、区域熔炼法的基本原理	163
二、浮区法的工艺条件	163
三、浮区法生长宝石晶体实例	165
第二节 区域熔炼法合成宝石的鉴别	166
第九章 高温超高压法合成宝石	169
第一节 金刚石的人工合成	171
一、金刚石的合成方法分类	171
二、金刚石单晶的合成技术和发展历史	172
三、晶种触媒法合成金刚石单晶	174
四、合成金刚石的后处理	182
五、晶种触媒法合成金刚石的优缺点	184
六、晶种触媒法合成钻石晶体的特征	185
七、晶种触媒法合成钻石的鉴别	187
第二节 翡翠的人工合成	190
一、人工合成翡翠的依据	190
二、人工合成翡翠的工艺流程	191
三、人工合成翡翠的特征	194
四、人工合成翡翠的鉴别	194
第十章 化学沉淀法合成宝石	197
第一节 人工合成欧泊	199
一、人工合成欧泊的原理	199
二、人工合成欧泊的工艺流程	200
三、合成欧泊的鉴别	201
第二节 人工合成绿松石、青金石和孔雀石	203
一、绿松石、青金石、孔雀石的人工合成工艺	203
二、合成绿松石、合成青金石、合成孔雀石的鉴别	205
第三节 化学气相沉淀法合成金刚石膜	207
一、化学气相沉淀法合成金刚石的历史及方法简介	207
二、热丝 CVD 方法合成金刚石薄膜	208
三、等离子增强 PECVD 方法合成金刚石薄膜	209
四、CVD 方法合成金刚石薄膜存在的缺陷	210

五、CVD方法合成金刚石薄膜在宝石业上的应用	211
六、CVD方法合成金刚石薄膜的鉴别	211
第四节 化学气相沉淀法合成碳硅石晶体	212
一、合成碳硅石的历史	212
二、合成碳硅石技术	214
三、合成碳硅石的宝石学特征	217
四、合成碳硅石的快速鉴定	221
第十一章 玻璃、陶瓷、塑料等宝石仿制品的制作与鉴别	225
第一节 玻璃仿宝石制品	227
一、玻璃的定义	227
二、玻璃仿宝石制品的分类	228
三、各色透明玻璃的制作	228
四、半透明至不透明仿宝石玻璃的制作	229
五、玻璃仿宝石制品的鉴别特征	231
第二节 陶瓷仿宝石制品	234
一、陶瓷仿宝石制品及其制作	234
二、陶瓷仿宝石制品的鉴别	235
第三节 塑料仿宝石制品	235
一、塑料仿宝石制品的制作	236
二、塑料仿宝石制品的鉴别	237
第四节 人工合成发光宝石	238
一、发光宝石的研究历史与现状	238
二、夜光宝石的发光原理	239
三、庆隆夜光宝石的合成方法	241
四、庆隆夜光宝石质量的影响因素	241
五、庆隆夜光宝石的用途	242
第十二章 拼合宝石和再造宝石	245
第一节 拼合宝石	247
一、拼合宝石概述	247
二、拼合宝石的分类	248
三、常见拼合石的制作及鉴别	251
第二节 再造宝石	258
一、再造琥珀的制作	258

二、再造琥珀的特点.....	259
三、再造琥珀的鉴定.....	259
附录一 人工合成宝石中英文名称对照表.....	261
附录二 主要人工合成宝石性质及鉴别特征一览表.....	264
附录三 诞生石.....	268
主要参考文献.....	269

第一章

概论

- 第一节 人工合成宝石的概念、分类及定名
- 第二节 人工合成宝石的方法
- 第三节 宝石人工合成的四个阶段及产品的检验
- 第四节 人工合成宝石的价值和价格
- 第五节 人工合成宝石的发展历程

宝石以其特有的晶莹剔透、色彩缤纷、光彩夺目的属性，一直成为人们追求和寻觅的对象。在西方，宝石饰物从某种意义上来说是衡量一个人财富和社会地位的标志之一；在我国古代，宝石也是财富和权利的象征。随着社会的发展和进步，时至今日，宝石已成为大众消费品，进入了平常百姓家。这里所说的宝石大多为取自自然界的一些矿物，这些矿物晶莹剔透，具有独特的美和神奇的魅力。但是，天然宝石资源并不是取之不尽、用之不竭的，随着天然宝石的不断开采，其储量将会不断减少，并逐渐呈现枯竭之势，而人们对宝石的需求量却在不断地增加。这种需求与供给之间越来越大的矛盾促使人们尝试着用人工合成的方法制造宝石，以弥补天然宝石资源不足的缺陷。多年来，在人们坚持不懈的努力下，人工合成宝石诞生了。

随着科学技术的发展，人工合成宝石技术得到了飞速的发展，人工合成宝石的品种和数量也在不断增多，人工合成宝石的市场正在日益扩大。迄今为止，人工合成宝石已成为宝石学的一个重要组成部分，并迅速发展成为集科研、生产和销售为一体的产业。

第 一 节

人工合成宝石的概念、分类及定名

一、人工合成宝石的概念

人工合成宝石（简称为人工宝石）是相对于天然宝石而言的，是为缓解天然宝石供需矛盾而产生和发展的，是人工制做而非天然产出的宝石。根据中华人民共和国 2003 年 11 月 1 日实施的国家标准“珠宝玉石名称（GB/T 16552—2003）”的规定，人工宝石（artificial products）的定义是：完全或部分由人工生产或制造用作首饰及装饰品的材料统称为人工宝石。换句话说，人工合成宝石是指人们运用现代科学技术的基本原理和方法，选用

适宜的原材料，通过合理的工艺、技术流程，在实验室或工厂里制造出来的用作首饰及装饰品的材料。

二、人工合成宝石的分类

按照我国国家标准规定，人工合成宝石包括合成宝石、人造宝石、拼合宝石和再造宝石。

(1) 合成宝石 (synthetic stones) 完全或部分由人工制造且自然界有已知对应物的晶体或非晶质体，其物理性质、化学成分和晶体结构与所对应的天然珠宝玉石基本相同。定名时必须在其所对应的天然珠宝玉石名称前加“合成”二字，如“合成红宝石”、“合成祖母绿”等。例如：合成红宝石和合成蓝宝石的化学成分为 Al_2O_3 ，矿物名称为刚玉，六方晶系，硬度 9，密度 $3.90 \sim 4.00 \text{ g/cm}^3$ ，折射率 $1.762 \sim 1.778$ 。由此可见，其物理性质、化学性质及光学特征均与天然红宝石和蓝宝石基本相同，因此可被称为合成宝石。据不完全统计，现今世界上已研究成功并投入批量生产的合成宝石多达 30 多种，其中特别重要的有十余种。2003 年我国国家标准中列入的合成宝石品种为 18 种。

(2) 人造宝石 (artificial stones) 由人工制造且自然界无已知对应物的品质或非晶质体称为人造宝石。定名时必须在其材料名称前加“人造”二字，如“人造钆镓榴石 (GGG)”、“人造钇铝榴石 (YAG)”，但“玻璃”、“塑料”除外。人造宝石具有宝石的属性，可以用作宝石饰物，主要用于代替或仿造某种类型的天然宝石，如人造钛酸锶、人造钇铝榴石、人造钆镓榴石以其高色散的特性，常用于仿钻石。另外，近年来我国生产的加稀土元素改造的高折射率玻璃基质宝石以及玻璃基质的仿猫眼宝石、仿绿松石和仿珊瑚等材料，也属人造宝石范畴。

值得指出的是：合成立方氧化锆以前曾一直被列入人造宝石范畴，但根据珠宝玉石国家标准释义“立方氧化锆这类物质曾发现于天然锆石的包裹体中”，并且美国宝石学院 (GIA) 的《宝石参考指南 (Gem Reference Guide)》一书也将传统的所谓“人造立方氧化锆”划归为合成宝石。因此，人工生产的立方氧化锆应称之为“合成立方氧化锆”，属合成宝石范畴。

(3) 拼合宝石 (composite stones) 由两块或两块以上材料经人工拼合而成, 且给人以整体印象的珠宝玉石称拼合宝石, 简称“拼合石”。有两种定名方式, 一是逐层写出组成材料名称, 并在组成材料名称之后加“拼合石”三字, 如“蓝宝石、合成蓝宝石拼合石”; 二是以顶层材料名称加“拼合石”三字, 如“蓝宝石拼合石”。

此外, 由同种材料组成的拼合石, 在组成材料名称之后加“拼合石”三字, 如: “锆石拼合石”。而对于分别用天然珍珠、珍珠、欧泊或合成欧泊为主要材料组成的拼合石, 分别用拼合天然珍珠、拼合珍珠、拼合欧泊或拼合成欧泊的名称即可, 不必逐层写出材料名称。

(4) 再造宝石 (reconstructed stones) 通过人工手段将天然珠宝玉石的碎块或碎屑熔接或压结成具整体外观的珠宝玉石。定名时在所组成天然珠宝玉石名称前加“再造”二字, 如“再造琥珀”、“再造绿松石”等。

本书重点介绍人工宝石中占绝大多数的合成宝石和人造宝石两大类。对于拼合宝石及再造宝石, 由于其所占比例较少, 本书仅作简单介绍。

三、人工合成宝石的定名原则

有关人工宝石的名称, 在行业内外一直比较混乱。为了规范市场, 我国的国家标准中制定了相关的定名原则, 并特别提出了一些“不参与定名因素”, 归纳起来主要有 4 条:

(1) 禁止使用生产厂或制造商的名称直接定名, 如“查塔姆 (Chatham) 祖母绿”, “林德 (Linde) 祖母绿”等;

(2) 禁止使用生产国名或地名参与定名, 如“苏联钻”、“奥地利钻”等;

(3) 禁止使用易混淆或含混不清的名词定名, 如“鲁宾石”、“红刚玉”、“合成品”等;

(4) 不允许用生产方法参与定名。如“焰熔法红宝石”、“水热法祖母绿”等。

关于仿宝石 (imitation stones), 国家标准的定义是: 用于模仿天然珠宝玉石的颜色、外观和特殊光学效应的人工宝石以及用于模仿另外一种天然珠宝玉石的天然珠宝玉石可称为仿宝石。“仿宝石”一词不能单独作为珠宝玉石的名称使用。定名时应在所模仿天然珠宝玉石名称前, 冠以“仿”字,

如“仿祖母绿”，“仿珍珠”等；或者应尽量确定给出具体珠宝玉石名称，且采用下列表示方式，如“人造钇铝榴石”或“仿祖母绿（人造钇铝榴石）”、“玻璃”或“仿水晶（玻璃）”。

“仿宝石”一词使用时应注意以下几点。

（1）仿宝石不代表珠宝玉石的具体类别。

（2）当使用“仿某种珠宝玉石”（例如“仿钻石”）这种表示方式作为珠宝玉石名称时，意味着该珠宝玉石：①不是所仿的珠宝玉石（如上例，“仿钻石”不是“钻石”）；②具体模仿材料有多种可能性（如“仿钻石”：可能是玻璃、合成立方氧化锆、合成碳硅石或水晶等）。

第二节 人工合成宝石的方法

随着社会的进步和科学技术的发展，人工合成宝石的方法和手段也在不断增多和更新，有的宝石还可以用多种方法合成。目前，常用的人工合成宝石方法有以下几种。

一、焰熔法

焰熔法是使原料粉末在氢氧焰中，边投入边熔融而结晶生成宝石晶体的方法。由于此法是法国的 A. 维尔纳叶（A. Verneuil）在 1902 年发明的，所以又称“维尔纳叶法”。这是目前合成宝石的主要方法之一。现今的合成红宝石、合成蓝宝石、合成彩色尖晶石、合成金红石、合成星光红宝石、合成星光蓝宝石及人造钛酸锶等宝石大多用此法制得。

二、水热法

水热法也称热液法，是在密封的高压容器内，从水溶液中生长出晶体