



普通高等教育“十二五”规划教材



材料化学

彭正合 主编

彭天右 王成刚 等 编著



科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材
高等学校化学类专业规划教材·名校名师系列

材 料 化 学

彭正合 主编

彭天右 王成刚 等 编著



科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书共 11 章,内容包括材料的结构与物性,纳米、复合、杂化材料,电、磁、光和化学功能材料,功能转换与智能材料,分子材料与分子器件,特种功能材料。本书介绍了材料的功能特性及其物理效应、化学行为、应用领域及合成方法,强调了降低对称性有利于彰显材料的功能特性。

本书适用于理工科院校和科研院所研究生、高年级本科生的必修或选修课程,也可供相关科研和管理工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料化学/彭正合主编. —北京:科学出版社,2013.6

普通高等教育“十二五”规划教材 高等学校化学类专业规划教材·名校名师系列

ISBN 978-7-03-037866-8

I. ①材… II. ①彭… III. ①材料科学-应用化学-高等学校-教材
IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 128469 号

责任编辑:丁 里 / 责任校对:郑金红
责任印制:阎 磊 / 封面设计:迷底书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 6 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013 年 6 月第一次印刷 印张:20 3/4

字数:526 000

定价:49.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《材料化学》编写委员会

主 编 彭正合

编 委(按姓氏汉语拼音排序)

邓克俭 黄开勋 雷家珩 吕康乐

潘志权 彭天右 彭正合 王成刚

王会生 夏江滨 张 静



“材料化学”作为高年级本科生和研究生的一门必修或选修课程,越来越受到国内外高等学校和科研院所的青睐,二十年前国内凤毛麟角的局面已被一派繁花似锦所取代。1993年,受已故秦子斌教授的安排和指导,我为武汉大学化学系高年级本科生开设了“材料化学”课程,还为中南民族大学无机化学等专业的硕士研究生讲授过两届。在武汉大学化学与分子科学学院季振平教授及其继任程功臻教授的重视和支持下,这门课程一直延续至今,并得到后来的主讲教师、我的学生咎菱和彭天右两位教授的不断改进和优化,授课对象也扩充到了其他院系。

六年前,武汉大学教务处将“材料化学”作为重点教材建设立项,我即着手教材编写工作的周全规划。为使书稿达到应有水准,特邀请教学经验丰富的华中科技大学黄开勋、武汉工程大学潘志权、武汉理工大学雷家珩、华中师范大学王成刚、中南民族大学邓克俭等教授多次讨论,确立了本书编写的指导思想、使用对象和详细大纲,并作了明确的编写分工。鉴于工作进展情况,后来又邀请了本校夏江滨、张静、李仁杰等教授加盟,终于完成了这项工作。

材料化学是关于材料及其应用的化学科学。本书首先将材料定义为“材料是指人类用来制造一切设施、工具、装备、器物 and 用品的化学物质”,然后又说明“化学是一门中心的、实用的和创造性的科学,是在原子和分子水平上研究物质的组成、结构、性质及结构与性质关系并探讨其应用的科学,是研究物质的化学变化和物质之间的化学反应、发明新化学反应的途径和方法并探讨其应用的科学,是设计、合成、表征新物质并探讨其应用的科学”。由此可见,材料化学所涉及的范围之广博、内涵之丰富、理论之深奥,实非我等作者可以胜任这本教材的编写工作。尽管如此,我们还是鼓足勇气尽力而为了。

教材应当做到:介绍成熟的相关科学知识和最新的闪光点,讲述准确的基本概念和基本原理,传授解决问题的逻辑思维和科学方法,拓展学生的思维空间,启迪学生发挥创新能力。因此,考虑到化学家关心和擅长的是先进新材料、高技术材料,在选题上罗列出来的主要是功能材料。怎样才能将所选内容用一根主线串起来呢?想来只有对称性了,因为功能材料必须具有各向异性,而各向异性来自于低对称性,对称性低才能在某一个方向突现其特性,称为“对称性降低原理”。

为什么生物由生命初始的球形单细胞不断分裂最后长成对称性很低的个体呢?完美的晶体必须掺杂或存在其他缺陷才有可能成为有用的功能材料,从 C_{60} 到碳纳米管再到石墨烯,对称性依次降低,导致三者依次从无用到有用再到有大用。为激光的诞生作出特殊贡献的红宝石实际对称性低于 C_{3v} 群,具有优异铁电、热释电和压电效应的铁电相钛酸钡的对称性属于 C_{2v} 群,就是两个典型的实例。显然,功能分子和晶体材料只有对称性降低才能有用,材料化学家若能多思考这样的问题,肯定大有益处。

1998年,在重庆全国“功能材料”会议期间,我曾在会议专家组座谈会上极力建议:在功能材料的设计与合成过程中,应当注重超分子化学的分子识别原理。分子识别或许可以说明材料的许多物理效应和化学行为,并为新材料的研究提供很好的思路。那些看起来是物理吸附

的问题,看起来只是空间容度或者尺寸微度问题,如分子筛和纳米材料,或许存在分子识别的本质特征。

原计划编写 12 章,遗憾的是其中“生物与医用功能材料”一章暂时无缘纳入本书。呈现在读者眼前的这 11 章的作者依次是:第 1 章,彭正合;第 2 章,张静;第 3 章、第 4 章,彭天右;第 5 章,雷家珩;第 6 章,潘志权、王会生、彭正合;第 7 章,夏江滨、彭正合;第 8 章,彭正合、夏江滨;第 9 章,邓克俭、吕康乐、彭正合;第 10 章,王成刚、彭正合;第 11 章,夏江滨。另外,许多作者的助手和学生承担了不少工作。

我们力图用化学家的立场、观点和方法处理所选题材,但面对的却是每一章甚至每一小节的内容都可以写成一部专著或者教科书的实际情况,而且对每一类材料几乎都必须介绍其物理效应而又不能写成材料物理。别无选择,我们只能在努力扩充知识空间、强化理论厚度的基础上,尽可能解决好这些十分犯难的问题。在此,只能用“学海真无涯,精力实有限”来概括我们的编写工作。

本书参考的专著、教材和各种刊物上的论文很多,也有些内容来自于相关网站、学位论文或者私人通信,因篇幅所限仅在参考文献中列出了其中很少的一部分,我们在此对参考过的所有文献的作者和出版者表示衷心感谢!

承蒙台湾大学彭旭明院士亲自为本书筛选和提供了他的分子导线研究成果——关于金属原子串配合物的 6 篇代表作,我们有幸将其摘要作为分子导线写进了第 10 章,这些顶尖的成果无疑将成为本书的一大亮点,我们在此特向他表示衷心感谢!本书承蒙科学出版社和丁里编辑的大力支持、鼓励和帮助才得以顺利问世,我们在此表示深深的谢意!

文学艺术美于情、自然科学美于真,教科书还要美于善。囿于学识和时间,书中疏漏和不妥之处在所难免,恳请读者给予批评指正!

彭正合

2013 年 3 月于珞珈山



前言

第 1 章 绪论	1
1.1 材料的界定和分类	1
1.1.1 材料的界定与划代	1
1.1.2 材料的分类	1
1.1.3 结构材料和功能材料的定义	2
1.2 功能材料及其类型	2
1.2.1 功能材料备受重视的五十年	2
1.2.2 功能材料的特点	3
1.2.3 功能材料的分类	3
1.2.4 功能转换及智能材料	5
1.2.5 功能材料的应用	5
1.3 功能材料设计的对称性原理	5
1.3.1 群及其表示的基本概念	6
1.3.2 对称元素与对称操作	7
1.3.3 结构与性能关系的对称性原理	8
1.4 材料化学及其研究内容	11
1.4.1 什么是材料化学	11
1.4.2 材料化学的研究内容	11
1.4.3 新材料研究的发展趋势	13
思考题	14
第 2 章 结构与物性	15
2.1 物态与物性	15
2.1.1 正常条件下的物态	15
2.1.2 极端条件下的物态	16
2.1.3 特殊条件下的物态	17
2.2 固体材料中的化学键	17
2.2.1 离子固体	18
2.2.2 金属固体	18
2.2.3 分子固体和超分子固体	20
2.2.4 共价固体	21
2.3 晶体的结构	21
2.3.1 点阵与平移群	21
2.3.2 晶胞及其表征	23

2.3.3 宏观对称性与点群	25
2.3.4 微观对称性与空间群	28
2.3.5 晶体对称性对其物性的制约	30
2.3.6 晶体的缺陷	30
2.4 晶体的物理性质	34
2.4.1 硬度	34
2.4.2 解理性和断裂性	34
2.4.3 颜色	34
2.4.4 各向异性的功能特征	35
2.5 固溶体	36
2.5.1 固溶体类型及特征	36
2.5.2 研究固溶体组成的卫格定律和雷特格定律	38
2.5.3 固溶体材料的性能	38
2.6 非晶态固体	38
2.6.1 无机玻璃	39
2.6.2 水泥材料	40
2.6.3 有机高分子	40
2.7 准晶态材料	42
2.7.1 准晶的结构特征	42
2.7.2 准晶的理论模型	42
2.7.3 准晶的应用	44
思考题	45
第3章 纳米材料	46
3.1 纳米材料与纳米科技	46
3.1.1 纳米科技的发展简史	46
3.1.2 纳米材料的定义及其分类	47
3.2 纳米材料的基本物理效应	48
3.2.1 量子尺寸效应	48
3.2.2 体积/小尺寸效应	49
3.2.3 表面效应	49
3.2.4 库仑堵塞与量子隧穿效应	50
3.2.5 宏观量子隧道效应	50
3.2.6 介电限域效应	50
3.3 纳米微粒——零维纳米材料	51
3.3.1 纳米材料的制备方法概述	51
3.3.2 纳米粉体的制备方法示例	52
3.3.3 纳米微粒的结构与形貌	53
3.3.4 纳米微粒的特异性能	55
3.4 纳米纤维材料——一维纳米材料	59
3.4.1 一维纳米材料的制备	59

3.4.2 一维纳米材料的结构与形貌	61
3.4.3 一维纳米材料的性能与应用	64
3.5 纳米薄膜材料——二维纳米材料	65
3.5.1 二维纳米材料的结构与类型	65
3.5.2 二维纳米材料的性能与应用	66
3.6 纳米块状材料——三维纳米材料	67
3.6.1 三维纳米材料的结构特点	67
3.6.2 三维纳米材料的性能	68
3.7 纳米组装体系	70
3.7.1 一维纳米线阵列的制备及性能	70
3.7.2 纳米薄膜镶嵌体系	72
思考题	73
第4章 复合材料及杂化材料	74
4.1 复合材料概述	74
4.1.1 复合材料的概念	74
4.1.2 复合材料的分类	74
4.2 新型复合材料用增强材料	76
4.2.1 纤维增强体	76
4.2.2 颗粒增强体	77
4.2.3 片状增强体	77
4.3 聚合物基复合材料	77
4.3.1 概述	77
4.3.2 纤维增强聚合物基复合材料	78
4.3.3 晶须增强聚合物基复合材料	81
4.3.4 颗粒填充聚合物基复合材料	81
4.3.5 聚合物基层状复合材料	81
4.4 金属基复合材料	82
4.4.1 概述	82
4.4.2 纤维增强金属基复合材料	83
4.4.3 晶须增强金属基复合材料	85
4.4.4 颗粒增强金属基复合材料	85
4.5 陶瓷基复合材料	86
4.5.1 概述	86
4.5.2 纤维增强陶瓷基复合材料	86
4.5.3 短纤维、晶须增韧陶瓷基复合材料	89
4.5.4 颗粒弥散强化陶瓷基复合材料	89
4.6 杂化材料	90
4.6.1 杂化材料概述	90
4.6.2 杂化材料的分类及制备方法	90
4.6.3 有机-无机杂化材料的制备方法	93

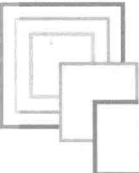
4.6.4 有机-无机杂化材料的性能与应用	97
思考题	100
第5章 电功能材料	101
5.1 材料的电学与电子学	101
5.1.1 物质的导电性	101
5.1.2 固体能带理论	103
5.1.3 物质的介电性	104
5.1.4 铁电晶体及其自发极化	105
5.2 半导体	106
5.2.1 半导体及其分类	106
5.2.2 本征半导体	106
5.2.3 掺杂半导体	107
5.2.4 PN结及其导电特性	108
5.2.5 半导体材料的应用	109
5.2.6 半导体晶体结构	110
5.2.7 单晶硅及半导体芯片	111
5.3 超导体	114
5.3.1 超导体的基本物理性质	115
5.3.2 超导理论简介	116
5.3.3 超导材料的应用	117
5.4 快离子导体	118
5.4.1 快离子导体的结构特点	118
5.4.2 几种典型的快离子导体	118
5.4.3 快离子导体的应用	120
5.5 电流变体	122
5.5.1 电流变体的组成和分类	122
5.5.2 电流变效应理论模型	122
5.5.3 电流变体的应用	124
5.6 电子陶瓷	125
5.6.1 电子陶瓷的显微结构	125
5.6.2 电子陶瓷的应用	126
思考题	133
第6章 磁功能材料	134
6.1 材料的磁性概述	134
6.1.1 重要的磁学概念	134
6.1.2 物质的磁性及其特征	136
6.1.3 铁磁体与磁滞回线	137
6.1.4 磁畴与磁各向异性	138
6.2 永磁材料	140
6.2.1 永磁材料的性能指标	140

6.2.2 铁氧体系和铝镍钴系	142
6.2.3 稀土钴系和稀土铁硼系	143
6.2.4 永磁薄膜和双相纳米晶	144
6.2.5 黏结永磁体	145
6.3 软磁材料	146
6.3.1 软磁材料的性能要求	146
6.3.2 富铁软磁体	148
6.3.3 富镍软磁体	149
6.3.4 非晶和纳米晶软磁体	150
6.4 半硬磁材料	151
6.4.1 概述	151
6.4.2 α/γ 相转变型合金	152
6.4.3 淬火硬化钢	153
6.5 磁致伸缩材料	153
6.5.1 磁致伸缩效应及材料类型	153
6.5.2 材料的制备方法	155
6.5.3 应用领域	155
6.6 磁流体和磁流变体	157
6.6.1 磁流体	157
6.6.2 磁流变体	158
思考题	160
第7章 光功能材料	161
7.1 光及其与物质和外场的相互作用	161
7.1.1 光的本性及其范畴	161
7.1.2 分子和晶体的电子能级	162
7.1.3 光与物质的相互作用	164
7.1.4 光与外场的相互作用	166
7.2 激光光源材料	166
7.2.1 激光及其光源概貌	167
7.2.2 激光器的分类	167
7.2.3 激光光源材料	168
7.3 发光材料	169
7.3.1 发光机理及材料分类	169
7.3.2 无机发光材料	170
7.3.3 有机荧光材料	171
7.3.4 有机电致发光材料与器件	172
7.4 导光材料	174
7.4.1 光纤的传输原理及特点	174
7.4.2 光纤材料分类	176
7.4.3 主要光纤材料及其制备工艺	176

7.4.4 光纤材料的应用	178
7.5 非线性光学材料	178
7.5.1 非线性光学原理与效应	178
7.5.2 非线性光学材料及其分类	180
7.5.3 材料的应用领域及技术要求	182
7.6 太阳能电池材料	183
7.6.1 光电池概貌	183
7.6.2 染料敏化太阳能电池	183
7.6.3 有机及高分子太阳能电池	186
思考题	188
第8章 功能转换与智能材料	189
8.1 形状记忆材料	189
8.1.1 形状记忆效应	189
8.1.2 重要的形状记忆材料	191
8.1.3 形状记忆材料的应用	193
8.2 压电与电致伸缩材料	194
8.2.1 压电效应与电致伸缩效应	194
8.2.2 压电材料及其应用	196
8.2.3 电致伸缩材料及其应用	198
8.3 热-电转换材料	200
8.3.1 热电效应	200
8.3.2 热电材料及其应用	201
8.3.3 热释电效应	202
8.3.4 热释电材料及其应用	203
8.4 铁电材料	204
8.4.1 铁电效应	204
8.4.2 影响电滞回线的因素	206
8.4.3 铁电材料及其应用	206
8.4.4 铁电材料的制备方法	207
8.5 磁光材料	208
8.5.1 磁光效应	208
8.5.2 磁光器件及其应用	210
8.5.3 磁光材料的分类	211
8.6 声光材料	212
8.6.1 声光效应	212
8.6.2 表征材料声光性能的参数	213
8.6.3 声光材料及其应用	214
思考题	215
第9章 化学功能材料	216
9.1 催化材料概述	216

9.1.1 催化剂和催化作用	216
9.1.2 催化剂的类型	217
9.1.3 酶催化作用	218
9.1.4 人工酶及手性催化剂	220
9.1.5 光电催化材料	222
9.1.6 催化剂作用机理与选择	222
9.2 工业催化材料	223
9.2.1 工业催化剂及其载体	223
9.2.2 沸石分子筛催化剂	225
9.2.3 过渡金属催化剂	228
9.2.4 工业催化的设计与前瞻	230
9.3 光催化与环保催化材料	231
9.3.1 光催化降解有机污染物	231
9.3.2 光催化杀菌和消毒	232
9.3.3 光催化材料的创新	234
9.3.4 汽车尾气催化材料	235
9.4 电催化与化学电池材料	237
9.4.1 化学电池与电化学催化	237
9.4.2 锂/亚硫酸氯电池及其催化剂	238
9.4.3 锂离子电池及其正极材料	240
9.4.4 燃料电池及其催化材料	241
9.4.5 光电化学反应催化和光敏剂	243
9.5 储氢材料	245
9.5.1 氢能源与储氢	245
9.5.2 化学吸附型储氢	245
9.5.3 物理吸附型储氢	247
思考题	247
第10章 分子材料与分子器件	249
10.1 概述	249
10.1.1 分子-超分子-分子器件	249
10.1.2 分子自组装	250
10.1.3 分子功能特性	251
10.2 电功能分子材料	252
10.2.1 电荷转移型化合物	252
10.2.2 单一小分子化合物	255
10.2.3 一维组装的金属配合物	257
10.2.4 酞菁类金属配合物	258
10.3 分子磁体	260
10.3.1 电荷转移盐	260
10.3.2 单分子磁体	261

10.3.3 自旋交叉型配合物	263
10.4 光功能分子材料	265
10.4.1 二阶非线性光学分子材料	265
10.4.2 三阶非线性光学分子材料	266
10.4.3 变色材料	267
10.4.4 发光材料与器件	269
10.5 分子器件	273
10.5.1 分子导线	273
10.5.2 分子开关	276
10.5.3 分子马达	279
10.5.4 分子计算机展望	284
思考题	284
第 11 章 特种功能材料	286
11.1 超硬材料	286
11.1.1 材料硬度的测试方法及其指标	286
11.1.2 典型的超硬材料	287
11.2 耐高温和耐低温材料	290
11.2.1 耐高温材料	290
11.2.2 耐低温材料	293
11.3 耐腐蚀材料	296
11.3.1 耐腐蚀材料分类	296
11.3.2 材料的耐腐蚀性能及划分标准	297
11.3.3 代表性的耐腐蚀材料	297
11.4 抗辐射材料	300
11.4.1 辐射的分类及辐射量	300
11.4.2 电磁辐射的危害及防护	302
11.4.3 抗辐射材料概述	303
11.4.4 抗辐射材料的分类及特征	304
11.5 隐身材料	305
11.5.1 隐身技术与隐身材料	305
11.5.2 雷达隐身材料	306
11.5.3 红外隐身材料	307
11.5.4 可见光隐身材料	308
11.5.5 声波隐身材料	309
11.5.6 电子隐身及兼容型隐身材料	309
思考题	309
参考文献	310
附录	313
附录 I 32 个晶体学点群的符号和对称元素	313
附录 II 230 个空间群的 Schönflies 符号和国际符号	314



第1章 绪 论

值此现代文明,人类涉足的空间越来越大、所处的世界似乎变得越来越小,究其原因在于材料科学不仅随数理科学和工程技术同步飞速发展,而且在某些方面或许更超前,其中,化学家的智慧对新材料尤其是先进材料的研发功不可没。本章简要介绍材料及其分类、功能材料及其设计的对称性原理、新材料的发展趋势和材料化学的研究内容,为后续章节做一概括性的铺垫。

1.1 材料的界定和分类

1.1.1 材料的界定与划代

材料是人类赖以生存和进化的物质基础,是社会、经济、文化、科学、技术得以发展的物质条件,是人类文明得以延续、进步和融合的里程碑。对于古代文明,历史学家通常用人类所使用的重要材料来进行断代,如石器时代、陶器时代、青铜器时代、铁器时代。然而对于此后的历史,却无法再用某一类先进材料进行断代,不能说现在我们处在聚合物时代、半导体时代、新陶瓷时代或者复合材料时代。

什么是材料?简单地讲材料是指人类用来制造一切设施、工具、装备、器物 and 用品的化学物质。显然被称为材料的化学物质,可以是天然物质也可以是合成的物质;可以是单一的化学物种也可以是混合、复合或杂化而得到的多物种的集合体。本书所指的材料是此处界定的专门术语,绝非研究者通常所说一般意义的“材料”或者“原料”。材料与原料的区别在于:材料由一种或多种原料制成,功能主要属于物理,在使用中保留其组成、结构甚至形态;原料则由一种或多种物质合成,功能属于化学,在使用中失去其组成、结构和形态。

猿猴跟随父母能学会就地取材当作工具使用,但永远不会制造工具,充其量能将石块、树枝、草茎等制成合适的大小,以便获取食物。人类不仅会使用工具、利用天然材料制造工具,还会发明和制备新材料,即使是远古时期人类加工石器的物理方法也绝非猿猴所能学会,更何况陶器的烧制、金属的冶炼都是化学过程。这表明,人类对材料化学的了解和研究始于史前文明。

通常将土石、竹木、骨头、皮革、花草等天然材料称为第一代材料;陶瓷、金属等通过烧结和冶炼所得的烧炼材料称为第二代材料;塑料、纤维、橡胶等人工合成的材料称为第三代材料;按照使用要求定向设计、合成、剪裁及复合的可设计材料称为第四代材料;性能随外场、环境、时间而变化的智能材料(功能转换材料)称为第五代材料。

1.1.2 材料的分类

人类既从大自然中选择天然物质进行加工、改造以获得适用的材料,又发明和研制合金、玻璃、合成高分子材料来满足生活和生产的需要。人类所使用的材料五花八门,有天然的也有人工合成的,有无机物、有机物也有无机-有机复合或杂化的材料。若按这些类型来介绍和研究材料问题,则意义不大。材料科学领域中,除通常所说而又难以界定的传统材料和新材料

两大类外,一般将材料按以下五种方式分类:

- (1) 按结构特征划分 晶体、非晶态(无定形)、液晶、流变体、气体等材料。
- (2) 按物质形态及尺寸划分 块体、层状、薄膜、纤维、多孔、粉体、超细粉体、纳米材料、分子和超分子材料。
- (3) 按化学组成划分 金属、无机非金属、有机高分子、复合及杂化材料。
- (4) 按应用领域划分 建筑、仪表、电子、电信、电工和信息材料。
- (5) 按功用划分 结构材料和功能材料。

1.1.3 结构材料和功能材料的定义

为深刻理解材料的功能,必须正确区分几个相关的概念。材料科学家和化学家都知道“结构决定性质”,即材料的性质完全由其结构决定。所谓结构,包括材料的化学组成、晶体结构、分子构型、电子结构、原子或离子几何排列的有序与无序等在内的广义结构。性质是指材料所具备的物理、化学、生物学行为的全体集合,包括宏观性质和微观性质,以微观为主。性能是由材料性质决定的某种或某些能力,以宏观为主。功能是材料的特殊或显著性能在给定应用条件下的集中体现,专指宏观性质。

有些材料具备抵抗外力作用而保持自己的形状、结构不变的优良力学性能(如强度和韧性),可用来修建房屋、桥梁、铁路,制造机器、车辆、船舶、飞行器,这些材料通常称为建筑材料和机械制造材料,统称为结构材料。有些材料具备优良的物理、化学或生物学性能,可用来制造具有信息传导、储存、记录、转化或变换能量的功能元器件,这些材料按其性能通常称为磁性材料、电阻材料、光学材料等,统称为功能材料。据此可作以下定义:

- (1) 结构材料 具有特定的强度、硬度和/或韧度等物理特性,起结构支撑作用的材料。
- (2) 功能材料 具有优良的电学、磁学、光学、热学、声学、力学、化学和生物学功能及其相互转化功能,用于非结构目的的高技术材料。

值得注意的是,如此定义的结构材料和功能材料这两大集合之间存在着一个不大的交集,即有些材料可能同属于二者。还有一些材料,并不一定能划分在结构材料和功能材料范畴。

1.2 功能材料及其类型

1.2.1 功能材料备受重视的五十年

1965年美国莫顿(Morton)博士提出了功能材料的概念,逐渐受到各国材料科学界的极大重视,并普遍接受了“功能材料”这一术语。尽管功能材料与结构材料的发展历史一样悠久,但其产量和产值却远不如结构材料。近五十年来材料的发展出现了新动向:结构材料与功能材料的关系已发生了根本性的变化,迄今功能材料的类型和品种越来越多、应用范围越来越广,在科学技术、机械制造、国民经济和国防建设中的作用也越来越重要。

随着电力技术的革新,电工合金、电功能材料和磁功能材料获得了较大进展。20世纪50年代以来,微电子技术的进步带动了半导体材料的迅猛发展。60年代出现的激光技术开启了光学和光功能材料的新篇章。70年代光电子材料、80年代形状记忆合金和储能材料得到了迅速发展。以原子核反应、太阳能利用、储氢储能、温差发电材料为代表的新能源材料以及生物和医学工程材料是崛起的另外两大类功能材料。

同先前的大型重工业显著不同的是,电子工业、激光工业、传感器技术、新能源技术、工业

机器人和工厂自动化、生物及医学工程等许多高新技术产业并不需要大量的结构材料,而是要求具有特殊物理学、化学、生物学和医学功能的小而新的专用功能材料。这些新技术的发展强烈刺激现代材料向功能材料方向发展。空间技术、海洋技术、生物和医学工程技术等尖端技术的开发也迫切要求研发与之适应的新型结构材料和功能材料。集成电路技术所取得的巨大成就引起了研究者对超微量物质作用的极大重视。石油危机造成的严重能源问题促使各国政府制定了大力发展原子能、太阳能和核聚变能的能源长远政策。能源等资源短缺和环境污染等问题促使各国的材料研发政策发生了根本性变化。

上述各种因素引起人们研发材料的意识转变,即从20世纪70年代以前对材料“量”的追求转变为对“质”的追求,意味着材料研发的重点已从结构材料转向功能材料。功能材料和结构材料一样重要,今后将互相促进、并驾齐驱地发展。

1.2.2 功能材料的特点

功能材料与结构材料相比较,其最大的区别是两者性能和用途不同。另外,结构材料常以材料形式为最终产品,并对材料本身进行性能评价。与之相反,功能材料通常以元件形式对其物理性能进行评价,或者说材料和元件“一体化”。功能材料的性能对最终产品、系统的功能特性起着举足轻重的作用。与结构材料相比,功能材料虽然在国民经济总产值中所占的比重很小,但影响巨大。功能材料制成的元器件对于保证飞机、航天器、电子设备、汽车、武器等庞大而复杂系统的正常运转至关重要。

在功能材料中,如半导体材料、光电子材料、仪器仪表材料等还具有多功能、多品种、附加值高、市场规模小、产品更新快等特点。在上述功能材料的定义中,包含了弹性材料等属于力学性能范畴的非结构材料,排除了一般结构材料 and 高温合金、结构陶瓷等高级结构材料,也排除了普通玻璃、通用塑料、耐火砖等一般非力学性能的普通材料或一般工艺辅助材料。

在近代工程技术中,所有机器、装置和产品都可粗略地划分为力能和智能两个方面。相对而言,力能部分为巨大的机构,犹如人体的骨骼,用来承受力量、保持构造恒定;而智能部分是很纤细的,犹如人体的神经系统,用来保持整体的功能正常运转。用于制造力能机械或机械动力或结构件的材料称为结构材料;而用于制造智能机械(如仪器仪表)或机械的智能部分(如功能元件)的材料称为功能材料。前者主要应用它的力学性能,后者则是利用它的物理性能或其他性能。

材料本身就是一个复杂的系统,当在材料上施加外部作用时,材料的内部组成和结构将发生变化,其结果是在给定条件下材料行为或性能的显示。在给定的应用中,材料性能所发挥的作用即材料的功能。材料的性能实质上是由组成材料的原子、分子、空穴、电子、声子等在外力和外场中的行为以及它们之间的相互作用所反映出来的各种特性。由于一种材料往往具有多种功能,即使同一种功能从不同角度考虑也有不同的分类。例如,弹性材料本属结构材料范畴,如果作为力与位移的转换,或从机械能的存储角度看就应把弹性合金视为一种功能材料。

1.2.3 功能材料的分类

关于功能材料目前还没有一个公认的分类方法,既可依据材料实质上的差异来区分,也可从形式上的不同来区分,还可专门从材料服役的技术领域来分类。