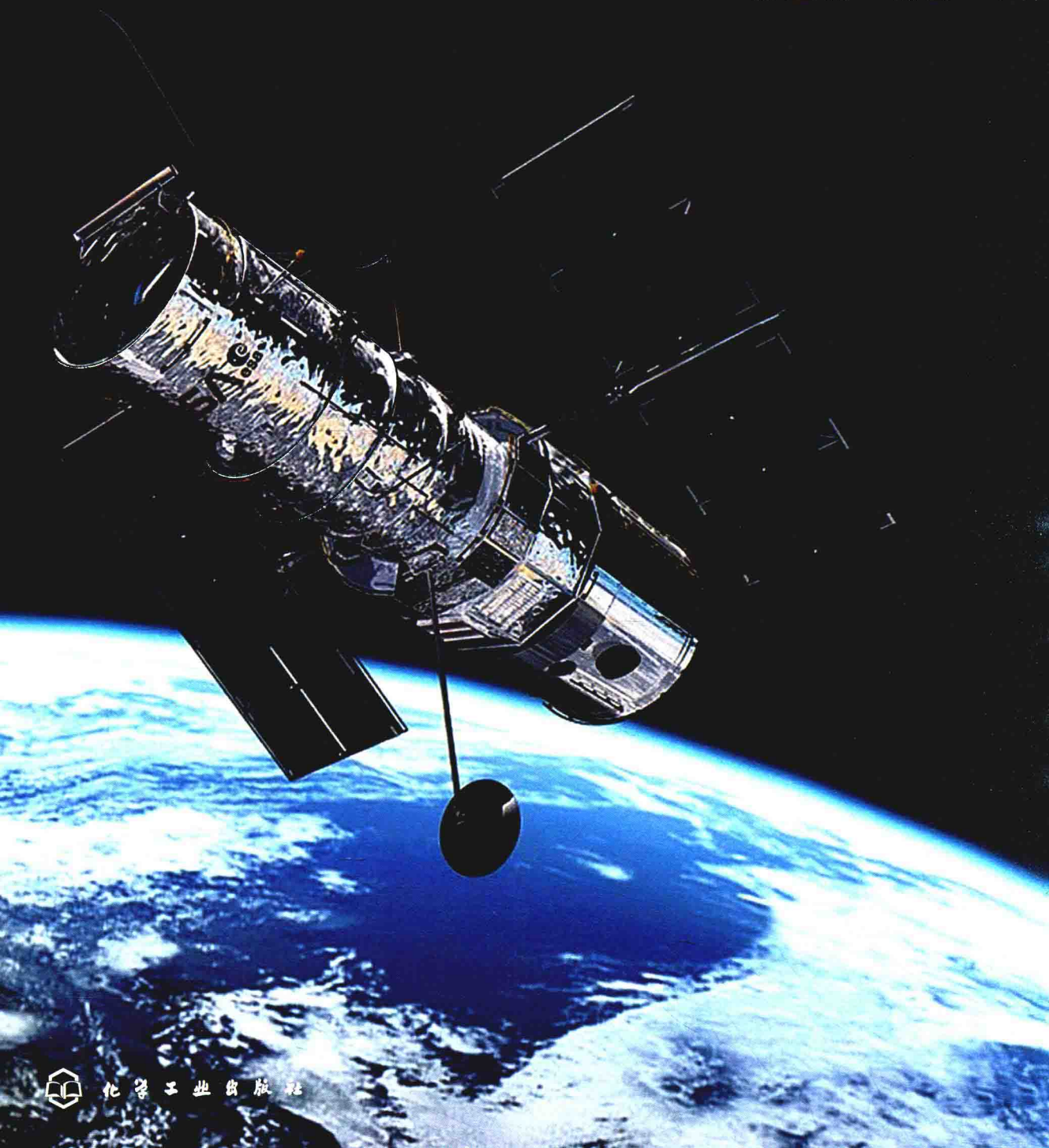


功能材料图传

郝士明 编著



A Pictorial History of Function Materials

功能材料图传

郝士明 编著



化学工业出版社

·北京·

《功能材料图传》是关于材料发展史的科普图书。功能材料是1965年才由材料总体中独立出来的一个特殊群体，它以具有物理、化学、能量、信息、生物医学等各种特殊性能为特点。它的出现，使材料对人类文明发展的贡献更加突出，更加被人类寄以对未来发展的期望。但是，功能材料的历史却并非从1965年始。本书详细回顾了功能材料从无到有的过程，它最初的源头是中国古代对天然磁铁矿的应用。但人造功能材料的发端则始于意大利的伽利略。本书从光学、电磁学、智能、信息、能源、生物医用、分离功能等几个大方面介绍了功能材料的发展演变过程，及其在人类文明进步中的作用。本书以莫顿1965年提出功能材料概念为标志，划分为“前传”和“本传”，而对21世纪初的突出发展以及对今后的展望，则列入“后传”，力图清晰显现这个发展过程的时间坐标。此外，本书也力图明确展示在功能材料发展过程中，科学家、工程师、工匠等人物的个体形象和具体作用，体现个人与历史的特定关联，以弥补普通科技读物的缺失。为展示全部事件的时序，书中设置了年表，以有助于求得事件的逻辑联系和相关规律。

各行业高中以上程度的读者都能很好地理解本书的内容。

图书在版编目(CIP)数据

功能材料图传 / 郝士明编著. —北京: 化学工业出版社, 2016. 10

ISBN 978-7-122-27933-0

I. ①功… II. ①郝… III. ①功能材料 - 普及读物
IV. ①TB34-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第203908号

责任编辑: 窦臻
责任校对: 李爽

文字编辑: 咎景岩
装帧设计: 尹琳琳 郝士明

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印装: 北京瑞禾彩色印刷有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张22 字数544千字 2017年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 99.00元

版权所有 违者必究

序

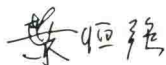
材料是现代文明的三大支柱之一，包括结构材料和功能材料。结构材料始终是基础设施的重要物质支撑，经济建设和国家安全都离不开它。功能材料以其光、电、磁、热、声等性能与人们生活息息相关，而且发展势头迅猛，新材料层出不穷，成为经济转型的新兴亮点。

本书从应用普遍的功能材料开始，论述到科技前沿的智能材料、超导材料、低维材料和人工微结构材料，既解释了组织结构与性能关系的原理，又介绍了功能材料的广泛应用。文字深入浅出，插图精美且丰富，给人以视觉和思想上美好的享受。本书还注意从功能材料产生与发展的历史脉络上剖析材料研制的科学背景和人文氛围，给现代科学工作者从事创新以启迪。本书并没有局限在材料本身，而是尽量与能源、机械制造、信息、生物等领域深度交叉，说明功能材料所发挥的性能对经济、国防、社会生活多方面的贡献。

本书还提供了功能材料大事年表和有关科学家的索引，这大大扩展了读者的视野，又方便了读者的检索。这是工作量很大的事，体现了作者的良苦用心。

郝士明教授从事材料科学的研究与教学多年，又是一位丰产和资深的科普作家。在本书里，他以渊博的学识，纵贯历史的视野，总览自然与科学、人文与社会的大局观，为读者呈现了一个“平面的功能材料博物馆”。

科学理念是社会文明不可或缺的部分。对方兴未艾的功能材料的解读将成为广大读者与材料科学工作者神奇的桥梁。



中国科学院金属研究所研究员

中国科学院院士

2016年4月7日

前言

功能材料从材料总体中分离出来，是材料科学达到成熟阶段的诸多标志性事件之一。这是由美国贝尔实验室一位非材料专业的教育委员会主席莫顿博士于1965年提出的，他还创造了“功能材料（functional material）”一词。莫顿虽然是一位无线电专家，但他的主张却很快得到了各国材料界的认同。此后多年，纳米科技、智能材料等名称的提出也都是非材料学者所为。提出实现光纤通信标准的高锟是一位电力通信专家，与光纤材料制造也全不相干。这些似乎说明一个道理：材料领域外的学者们更敏感于材料性质变化的意义。这可能与身处“庐山之外”有某种因缘吧？

功能材料的发展史，当然不是自1965年起始，要久远得多。由于它涉及的性能极其广泛，而且还有与日俱增之势，因此相关学科也更加繁多，历史其实也十分漫长。所以，撰写一本与功能材料历史有关的书，会令很多人望而却步。而且越是功能材料领域的专家，就越会多一份慎重。这就是至今尚缺乏这类作品的原因。从退休之后，我开始逐渐远离原来的研究，而成为了一个材料史爱好者。也就是由一名力图创造材料知识的人，变成了一个对前辈和同行们卓越贡献的欣赏者。这种角色转换，其实也有很多乐趣。有时也会产生要把一些心得体会与同龄人、学生、后辈和青年人共享的冲动。这就是老年爱好者进一步演变成科普积极分子的心路历程。

爱好者多会有不计毁誉的冒失行为，这想必能够得到专家们的谅解，在这种自我宽慰的心理驱使下，我开始想把退休后学习材料发展史的体会整理成书。这一想法恰好赶上了2012年中国科协科普部和教育部科技司对科普创作的大力提倡；因而科普写作受到了东北大学各级领导的积极支持和热情襄赞。特别是拙作《材料图传》出版后，得到同行和读者们的肯定性评价，我的信心也得以提升，于是决心把有关功能材料发展历史的学习体会也以图书形式总结出来，这就是本书撰写的由来始末。

我虽然一生都没有离开过材料领域，但与功能材料只有很浅的机缘。一是年轻时我曾给金属材料专业本科生讲过一门“金属与合金的物理性能”的课程；二是中年在日本攻读博士学位时，导师指定的研究题目是“铝镍钴永磁材料的两相分解原理解析”。这些经历成了后来我功能材料情结的起源，希望能做点与它有关的事情。不过，当真的要把这些浅

见微识扩展到整个功能材料领域时，内心还是充满了惶恐。所以，写作还主要是靠退休后的继续学习，也感到学习兴趣居然有向信心转化的神奇作用。这期间，我在学习中还注意到，我国科技书籍和相关教材，在知识叙述上一般存在如下两个问题：一是欠缺时间记载，二是缺乏人物行为。多数论著一开始就是概念、分类，使知识呈现出一种“平面感”，而缺少了时间维度；另外，由于经常缺少创造这些知识的主体：科学家、工程师、工匠的出场，知识少了些“烟火气”，多了些“冰冷感”。越是叙述近期知识，这些问题越是明显。我想借此机会，对这两点缺憾有所弥补。

在介绍历史性成就时，著名研究机构、著名学术权威一般不容易漏掉。但是，非著名学术团体的非著名人物，就有可能缺失。例如，在介绍2001年超导临界温度高达39K的 MgB_2 金属化合物材料的发现时，对发现者及其大学都很少有人提及，其原因只可能是这所大学和发明人都名气太小。人们似乎这么快就忘记了：29年前1987年高温超导世界性大会战中，获得诺贝尔物理学奖的IBM科学家缪勒和柏诺兹，当时也是名不见经传的超导界新人。我们任何时候都不应该轻视新生力量和年轻人，述史者尤其应该如此。

这本“图传”是当前“读图时代”的产物，网络上广泛流传的大量图片资源，成为本书的主要选材对象。特别是对各时期功能材料的发展做出重大贡献人士的肖像，全部来自于网络。因为历史等原因，这些引用均没能获得相应的授权。除了向这些图片的原作者表示衷心的感谢之外，也表示深切的遗憾和歉意。对参考书目中的相关作者，也一并致以崇高的敬意和衷心的感谢。

面对如此巨大的题材、如此重要的目标，本书的结构很难安排。最终只好坚持了服务于阅读的设想：最大程度地方便阅读，使读者可以随时起止。可能因此牺牲了很多更科学的选择，也只能无奈抱憾。此外，写作过程中作者深切地感到了才疏学浅，深望读者诸君、海内外学者，对于书中的差错和失误不吝赐教，及时指出，以冀有机会修正，不胜感激。

2016年5月

作者谨识于

钱昆画后

1 功能材料前传

- 1.1 光学材料
- 1.2 磁性材料
- 1.3 电性材料
- 1.4 半导体与其他材料



伟大的意大利科学家
伽利略 (Galileo Galilei)
(1564—1642)

目 录

序 (叶恒强) / III

前言 / IV

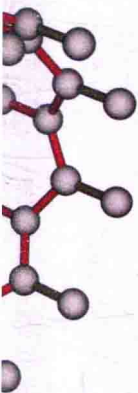
1 功能材料前传

1.1 光学材料 / 002

- 1.1.1 伽利略开启的伟业 / 004
- 1.1.2 开普勒的贡献 / 006
- 1.1.3 透镜色差困难 / 008
- 1.1.4 赫维留斯等的努力 / 010
- 1.1.5 折射望远镜艰难前行 / 012
- 1.1.6 牛顿开辟新路 / 014
- 1.1.7 中国对反射镜材料的贡献 / 016
- 1.1.8 反射镜大放异彩(上) / 018
- 1.1.9 反射镜大放异彩(中) / 020
- 1.1.10 反射镜大放异彩(下) / 022
- 1.1.11 反射镜材料的新变革 / 024
- 1.1.12 反射镜新材料的大成功 / 026
- 1.1.13 透镜色差的消除 / 028
- 1.1.14 折射望远镜突向顶峰 / 030
- 1.1.15 透镜指向微观世界 / 032
- 1.1.16 显微镜为何进步缓慢? / 034
- 1.1.17 显微镜的划时代发展 / 036
- 1.1.18 显微镜成为材料研究武器 / 038
- 1.1.19 摄影技术的发明与材料(上) / 040
- 1.1.20 摄影技术的发明与材料(中) / 042
- 1.1.21 摄影技术的发明与材料(下) / 044
- 1.1.22 最早的科学摄影与材料 / 046
- 1.1.23 光学玻璃大发展 / 048
- 1.1.24 显微摄影与材料科学 / 050

1.2 磁性材料 / 052

- 1.2.1 最早应用的功能材料 / 054



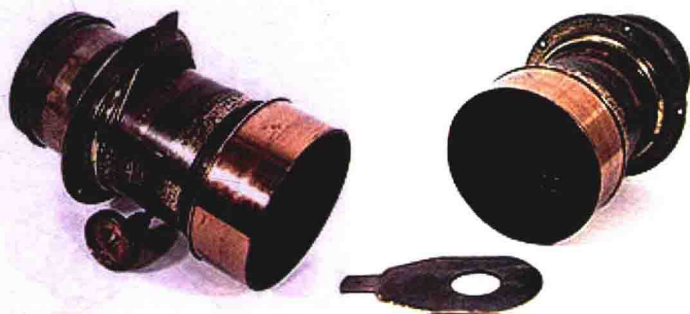
- 1.2.2 人造永磁材料应用——永磁发电机 / 056
- 1.2.3 专用永磁材料发明 / 058
- 1.2.4 高性能铝镍钴永磁的诞生 / 060
- 1.2.5 铁氧体永磁材料的发明 / 062
- 1.2.6 永磁材料的持续快速发展 / 064
- 1.2.7 最早的软磁材料 / 066
- 1.2.8 软磁材料的升级 / 068
- 1.2.9 精密软磁材料的发明 / 070
- 1.2.10 磁致伸缩材料 / 072
- 1.2.11 因瓦合金发明获诺贝尔奖 / 074

1.3 电性材料 / 076

- 1.3.1 用量第二的导电功能材料 / 078
- 1.3.2 铝导线的快速崛起 / 080
- 1.3.3 热电转换现象的发现 / 082
- 1.3.4 热电转换材料的应用 / 084
- 1.3.5 压电现象的发现 / 086
- 1.3.6 电发热体材料的开发 / 088
- 1.3.7 电光转换材料 / 090
- 1.3.8 电光转换材料技术 / 092
- 1.3.9 超导现象的发现 / 094
- 1.3.10 超导材料的开发 / 096
- 1.3.11 认识超导电性 / 098

1.4 半导体与其他材料 / 100

- 1.4.1 半导体的发现 / 102
- 1.4.2 对半导体认识的拓展(上) / 104
- 1.4.3 对半导体认识的拓展(中) / 106
- 1.4.4 对半导体认识的拓展(下) / 108



目录

- 1.4.5 半导体性能的新认识 / 110
- 1.4.6 半导体的理论研究 / 112
- 1.4.7 半导体 pn 结的发现 / 114
- 1.4.8 半导体三极管的发明 / 116
- 1.4.9 半导体质量性能的进步 (上) / 118
- 1.4.10 半导体质量性能的进步 (下) / 120
- 1.4.11 半导体集成电路的发明 / 122
- 1.4.12 催化剂的发明与发展 / 124
- 1.4.13 聚合物合成催化剂发明 / 126
- 1.4.14 液晶的发现 / 128
- 1.4.15 人工晶体的探索 / 130
- 1.4.16 生物医学材料先驱 / 132

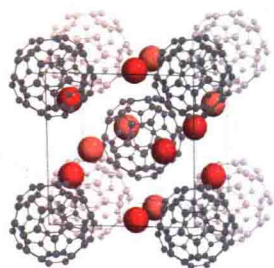
2 功能材料本传

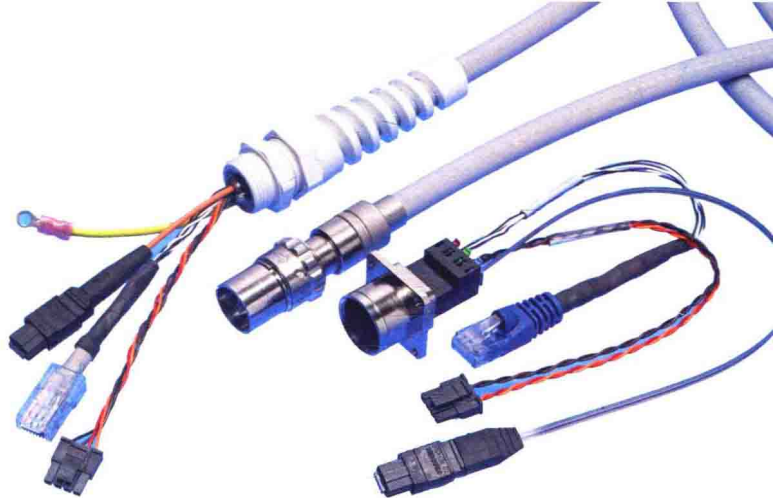
2.1 智能型材料 / 136

- 2.1.1 发现形状记忆效应 / 138
- 2.1.2 形状记忆合金的应用 / 140
- 2.1.3 形状记忆合金的航空航天应用 / 142
- 2.1.4 形状记忆合金的医学应用 / 144
- 2.1.5 铁磁形状记忆材料 / 146
- 2.1.6 形状记忆聚合物的发现 / 148
- 2.1.7 形状记忆聚合物的应用 / 150
- 2.1.8 形状记忆聚合物的医学应用 / 152
- 2.1.9 陶瓷的形状记忆效应 / 154
- 2.1.10 形状记忆陶瓷的应用 / 156
- 2.1.11 稀土巨磁致伸缩材料的出现 / 158
- 2.1.12 巨磁致伸缩材料的应用 / 160
- 2.1.13 Fe-Ga 合金的优势 / 162
- 2.1.14 压电材料的新发展 / 164
- 2.1.15 聚合物压电材料 / 166
- 2.1.16 什么是铁电材料? / 168
- 2.1.17 热释电材料 / 170

2.2 特殊结构的材料 / 172

- 2.2.1 非晶态金属的发现 / 174
- 2.2.2 非晶态金属材料的开发 / 176





- 2.2.3 非晶态金属材料的应用 / 178
- 2.2.4 块体金属玻璃的发明 / 180
- 2.2.5 块体金属玻璃的塑性变形 / 182
- 2.2.6 块体金属玻璃的功能特性 / 184

2.3 非金属功能材料 / 186

- 2.3.1 聚合物分离膜——海水淡化 / 188
- 2.3.2 聚合物分离膜——气体分离 / 190
- 2.3.3 聚合物分离膜——环境保护 / 192
- 2.3.4 液晶材料研究的发展 / 194
- 2.3.5 液晶理论的新里程碑——软物质 / 196
- 2.3.6 液晶显示器的发明 / 198
- 2.3.7 液晶显示器在进步 / 200
- 2.3.8 导电塑料的发明 / 202
- 2.3.9 导电塑料的应用 / 204
- 2.3.10 陶瓷分离膜的出现 / 206
- 2.3.11 分子筛和多孔材料 / 208
- 2.3.12 人工晶体的发展 / 210
- 2.3.13 两种特殊陶瓷 / 212
- 2.3.14 各类陶瓷传感器 / 214

2.4 电磁材料新发展 / 216

- 2.4.1 稀土化合物永磁材料 / 218
- 2.4.2 钕铁硼永磁材料的发明 / 220
- 2.4.3 钕铁硼支持暗物质探索 / 222
- 2.4.4 稀土永磁材料新进展 / 224
- 2.4.5 高 T_c 超导材料的发现 / 226
- 2.4.6 高 T_c 超导材料的世界会战 / 228
- 2.4.7 超导材料的应用——弱电 / 230
- 2.4.8 超导材料的应用——强电 / 232

目 录

- 2.4.9 MgB_2 超导体的发现 / 234
- 2.4.10 铁系氧化物高 T_c 超导材料 / 236
- 2.4.11 聚合物超导体的发现 / 238

2.5 信息材料 / 240

- 2.5.1 信息存储材料的发展 / 242
- 2.5.2 信息存储技术的进步 / 244
- 2.5.3 III-V 族半导体的制备与设计 / 246
- 2.5.4 半导体发光二极管 / 248
- 2.5.5 半导体材料激光器 / 250
- 2.5.6 光导纤维通信的实现 / 252
- 2.5.7 光导纤维的发展 / 254
- 2.5.8 光子晶体 / 256

2.6 能源材料 / 258

- 2.6.1 生物质能源材料 / 260
- 2.6.2 储氢材料史 / 262
- 2.6.3 氢燃料电池 / 264
- 2.6.4 锂离子电池 / 266
- 2.6.5 半导体太阳能电池 / 268
- 2.6.6 有机太阳能电池 / 270

2.7 生物医用材料 / 272

- 2.7.1 生物医用材料的发展 / 274
- 2.7.2 金属生物医用材料 / 276
- 2.7.3 陶瓷生物医用材料 / 278
- 2.7.4 高分子生物医用材料 / 280
- 2.7.5 人造器官的发展 / 282





3 功能材料后传

- 3.1 晶体的新结构——介晶 / 286
- 3.2 超材料 / 288
- 3.3 结构功能一体化趋向 / 290
- 3.4 功能材料梯度化趋向 / 292
- 3.5 指向能源与环境 / 294
- 3.6 光子革命与材料 / 296
- 3.7 光子检测技术 / 298
- 3.8 光学显微镜分辨率的突破 / 300
- 3.9 石墨烯 / 302
- 3.10 永磁高铁 / 304

功能材料大事年表 / 306

参考书目 / 326

人物索引 / 330

后记 / 339

本书只涉及材料发展史的一个局部。如果仅从材料数量来看，这部分也许是微不足道的。以至于在材料发展的长河中，最初很少有人单独关注它们的存在；后来，人们开始重视它们了，却又觉得那不过是些发生未久的事情，还谈不上什么历史。这里所说的就是后来被称作**功能材料**的部分。

“功能材料”这个名称，是1965年由美国的无线电科学家莫顿博士提出的，至今已有半个世纪了，已经可以正式地回顾一下历史了。何况，这50余年仅仅是有了正式名称之后的时间；作为功能材料，它已经存在了两千多年。在公元前5世纪中国古代文献就已经有了使用天然磁性物质的记载。所以，本书这部分首先讲述1965年以前的历史。这既是功能材料名称出现之前的历史，也与“材料科学”成熟之前的历史阶段大体吻合。故名之曰“功能材料前传”。按分类，这里把具有特殊的光、电、磁、热、声等物理性能，或化学、生物医学性能特征的材料统称为功能材料。

但是这个时期的起点却很难选择。如果以使用天然磁性物质的时间作为起点，有如下缺点：一是时间比较模糊，难以精确；二是缺乏关键人物，主体不清；三是“材料”这个概念本应与人工制造的物质的含义相联系的。所以经过对比分析，选择了以伽利略发明望远镜的1609年作为起点。这具有时间精确、人物清晰、材料属于人工制造等特点。另外，也曾考虑过以英国科学家罗杰·培根发明透镜的1250年作为起点，上述特点也基本齐备。但是，如果论及玻璃这种材料正式体现其功能价值、对人类历史产生深远影响的事件，却非伽利略创造性地将玻璃透镜应用于望远镜莫属。也许，第一个造出望远镜者另有其人；但是，伽利略是独立设计并制造出望远镜，并且利用它延伸了人类观察，激活了人类智慧，延拓出无数发明创造的第一人。所以，由于望远镜的发明以及其他贡献，人们称伽利略为“近代科学之父”，是道理昭然的。

选择伽利略还有一个理由。在伽利略的时代，学科还没形成，很多科学家现在看来都是跨学科的。譬如，伽利略是天文学家、物理学家、力学家等等。当时还没有材料学和材料学家。天然建筑材料如石头、木头等的梁、柱计算是由力学家们完成的。伽利略在1589年还发明了比重秤，测出了各种合金的相对密度；他还做过悬臂梁实验和拉伸强度测定。所以1638年伽利略的《关于力学的两门新科学的对话和数学证明》一书出版，被认为是“材料力学”开始成为独立学科的标志。如果要在16~17世纪之交选一位与“材料”有关的科学家，伽利略也是最合适的。最后，还必须说，伽利略开启的是光线的学问，由光线传来遥远空间以及浩茫古代的信息。到本书最后还将看到，功能材料不仅可以见证光线研究的开始，而且还将一直陪伴我们走向现代“光子革命”。

基于以上原因，本书选择了1609年伽利略的望远镜发明，作为功能材料登上历史舞台的标志性事件。透镜玻璃被用作光学仪器的关键部位，是功能材料在尚未被命名之前历史阶段的辉煌起点。

1.1 光学材料

- 1.1.1 伽利略开启的伟业
- 1.1.2 开普勒的贡献
- 1.1.3 透镜色差困难
- 1.1.4 赫维留斯等的努力
- 1.1.5 折射望远镜艰难前行
- 1.1.6 牛顿开辟新路
- 1.1.7 中国对反射镜材料的贡献
- 1.1.8 反射镜大放异彩（上）
- 1.1.9 反射镜大放异彩（中）
- 1.1.10 反射镜大放异彩（下）
- 1.1.11 反射镜材料的新变革
- 1.1.12 反射镜新材料的大成功
- 1.1.13 透镜色差的消除
- 1.1.14 折射望远镜突向顶峰
- 1.1.15 透镜指向微观世界
- 1.1.16 显微镜为何进步缓慢？
- 1.1.17 显微镜的划时代发展
- 1.1.18 显微镜成为材料研究武器
- 1.1.19 摄影技术的发明与材料（上）
- 1.1.20 摄影技术的发明与材料（中）
- 1.1.21 摄影技术的发明与材料（下）
- 1.1.22 最早的科学摄影与材料
- 1.1.23 光学玻璃大发展
- 1.1.24 显微摄影与材料科学



19~20世纪4次建造当时世界上最大折射、反射望远镜的美国天文学家海尔（G.E.Hale）（1868—1938）

伽利略望远镜的发明开启了一个新时代，而且使天文学科处于近代各科学的领先地位。伽利略之后，很多哲学家、数学家的业余爱好居然是竞相制作更好的望远镜；很多富人和贵族的善举是支持建造更大的望远镜。17世纪伟大的丹麦哲学家斯宾诺莎在被迫害后一直靠磨制望远镜物镜为生，并因此结识了著名望远镜发明家、物理学家惠更斯。有人认为，斯宾诺莎的过早去世与吸入过多玻璃粉尘有关。20世纪初的富商约翰·胡克赞助了当时世界上最大口径254厘米天文望远镜的建设，条件却只是用他的名字命名这一望远镜。这种时尚居然延续几世纪而不衰。

当然，望远镜的改善不只是缺少资金与人力，建造更好、更大的望远镜，还有一个更重要的问题：必须解决物镜材料问题。17世纪初，玻璃透镜为伽利略、开普勒的望远镜发明提供了基本条件。但是30年后却发现，玻璃透镜难以获得更高分辨率。色差造成的成像模糊成为难以逾越的障碍。减小物镜色差唯一的办法，就是尽量增长物镜焦距。17世纪诞生了一批长达40多米的折射望远镜。这样长的望远镜已无法制作镜筒，望远镜的操控也因此非常困难。到18世纪初期折射望远镜已几乎走到了尽头。

伟大的牛顿认识到透镜色差起因于色散，透镜就是厚度连续变化的棱镜，有色差是必然的，牛顿因此得出色差无法克服的悲剧性结论。但是，牛顿没有止步在利用透镜成像这条道路上。他明白，还有一条成像之路可走，那就是凹面镜成像。现在已无法知道，当时牛顿是否了解，遥远的中国人早在公元前5世纪就利用青铜制作凹面镜（阳燧）收集日光，在焦点处点燃易燃物以取火了。不过，现代欧洲人确实承认：铜镜（包括凹面镜）是古代中国人发明的。1668年牛顿设计并亲自制作了以青铜凹面镜为物镜的反射式望远镜，所以完全避免了色差。主要缺点是物镜要受一定遮挡，影响收集光线；铜镜的反光率也不高，当时只有19%左右，所以成像不够明亮。

但牛顿开辟了一条彻底解决色差之路，让人们看到了希望。改善铜合金，增大反射率；增大物镜口径，提高集光量是反射望远镜的目标。18世纪英国天文学家赫歇尔在这条道路上走得最远，成就最大。他先后制作了口径15厘米、23厘米、30厘米、102厘米的青铜反射望远镜，集光量比牛顿制作的增大了1600倍。由于获得了最佳青铜成分，反射率也提高很多。赫歇尔给天文学带来了空前的大发展。

玻璃透镜并没有退出物镜舞台。18世纪中期一位英国律师霍尔创造性地利用不同材料的色散差异设计了消色差透镜，后经多龙德的实践，在18世纪晚期已经成功地制出了消色差物镜，并在19世纪带来了折射望远镜的再度辉煌。辉煌的顶点是由美国望远镜建造巨人海尔主持创造的。在克拉克父子两代光学玻璃大师的努力下，于19世纪末创建了叶凯士天文台口径102厘米的空前的折射望远镜记录。消色差物镜也使显微镜从此走出了落后于望远镜的困境，在19世纪创造出显微镜的辉煌时期。照相机镜头也是在消色差透镜的基础上才走向成熟的。19世纪是光学玻璃大发展的时期，造就了第一个功能材料群体问世的辉煌历史。

到19世纪中期，青铜反射物镜也走到了尽头。法国物理学家傅科等创造了在玻璃上蒸镀银膜的技术，使玻璃又重回物镜舞台，但这次它仅是金属膜的支撑体。美国海尔在20世纪初利用这种新技术，不断创造出一个个反射望远镜之最，直到口径达到508厘米之巨。

1.1.1 伽利略开启的伟业

1609年伽利略使用一个凸透镜和一个凹透镜制作了他称之为 *perspicillum* 的仪器，后来，以拉丁文称之为：*telescopium*，意大利文为：*telescopio*。均为望远镜之意。这是一个对人类文明，对科学技术有无穷深远影响的发明。是玻璃这种材料，即后来称之为功能材料者，第一次显示出无穷魅力。伽利略用玻璃最早开启了人类的科学技术伟业。

伽利略处于科学初期，除望远镜的发明外，在科学诸多方面都做出了杰出贡献。

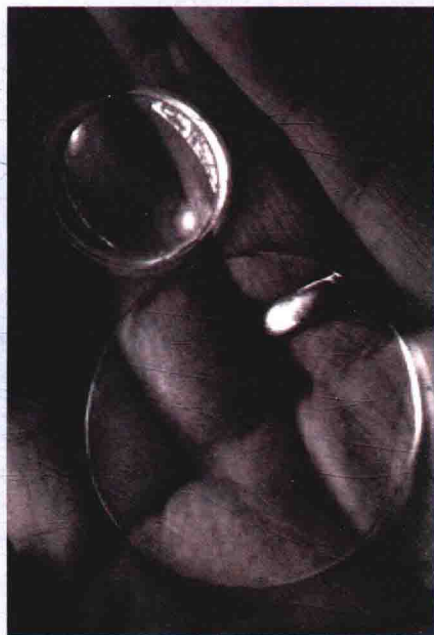


意 伽利略 (G. Galileo)
(1564-1642)

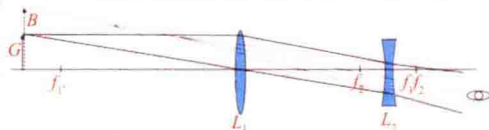


伽利略望远镜
口径4.4厘米，
长1.2米，
放大32倍，
视野非常狭窄。

1609年伽利略设计制作的望远镜



成就伽利略伟业的两块玻璃透镜：
物镜(凸透镜, 大)；目镜(凹透镜, 小)



伽利略望远镜的放大原理