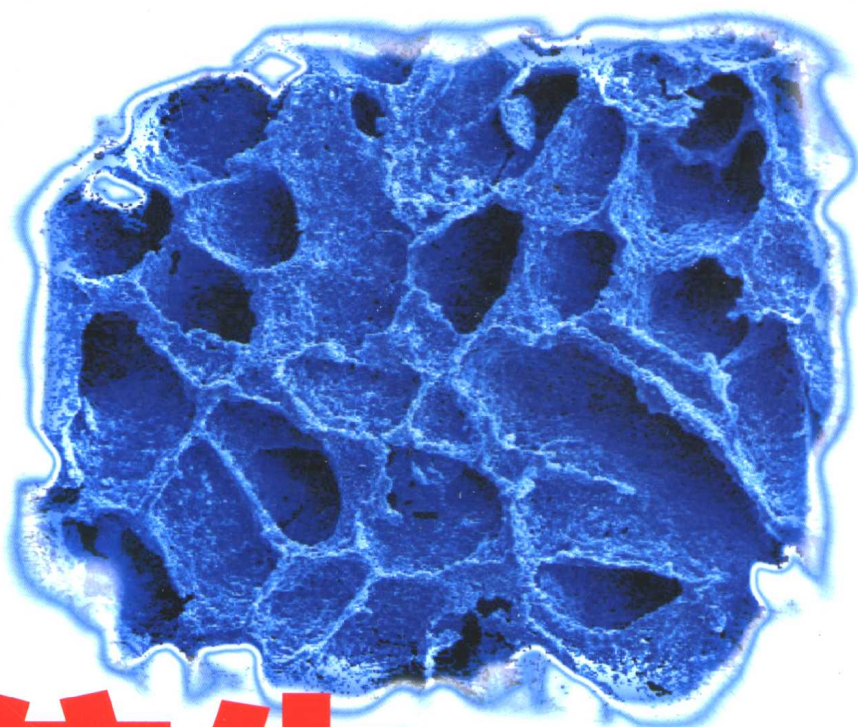


国家科普知识重点图书

高新技术科普丛书



仿生材料

崔福斋 郑传林 编著

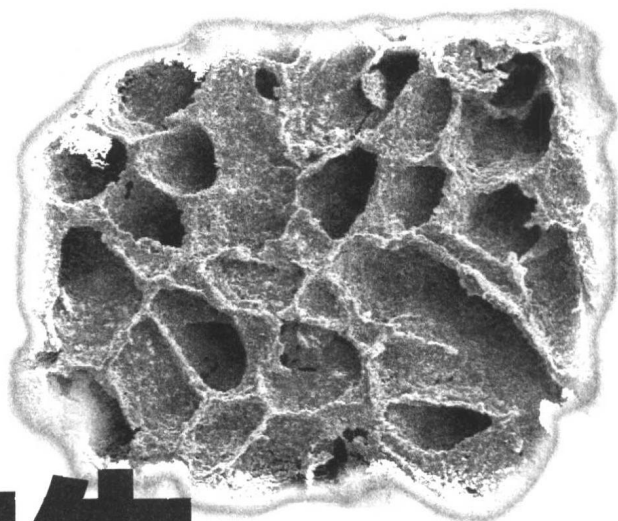
Chemical Industry Press



化学工业出版社

国家科普知识重点图书

高新技术科普丛书



仿生材料

崔福斋 郑传林 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

仿生材料/崔福斋, 郑传林编著. —北京: 化学工业出版社, 2004. 4
(高新技术科普丛书)
ISBN 7-5025-5445-9

I. 仿… II. ①崔…②郑… III. 仿生-材料科学-普及读物 IV. TB3-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 027401 号

高新技术科普丛书

仿 生 材 料

崔福斋 郑传林 编著

总 策 划: 陈逢阳 周伟斌

责任编辑: 邢 涛

责任校对: 陶燕华

封面设计: 关 飞

*

化学工业出版社出版发行

(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

聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 720 毫米×1000 毫米 1/16 印张 13¼ 字数 122 千字

2004 年 5 月第 1 版 2004 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5445-9/TB·34

定 价: 25.00 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

序

数万年来，人类一直在了解、开发、利用我国周围的自然界，同时不断地认识着自身，科学技术也从一开始就随着人类的生存需求而产生和发展着。人类发展史充分验证了邓小平“科学技术是第一生产力”的论断。科学技术的发展，促进了人类文明和社会的发展。

21 世纪是信息时代，21 世纪是生命科技的世纪，21 世纪是新材料和先进制造技术迅速发展和广泛应用的时代，21 世纪是高效、洁净和安全利用新能源的时代，21 世纪是人类向空间、海洋、地球内部不断拓展的世纪，21 世纪是自然科学发生重大变革、取得突破性进展的时代。科学技术的发展、新技术的不断涌现，必将引起新的产业革命，对我国这样的发展中国家来说，既是挑战，也是机遇，而能否抓住发展机遇，关键在于提高全民族的科学文化水平，造就一支具有科学精神、懂得科学方法、具有知识创新和技术创新能力的高素质劳动者队伍。所以，发展教育和普及科学知识、弘扬科学精神、提倡科学方法是我们应对世纪挑战的首要策略。为此，1999 年 8 月，江总书记在视察中国科学院大连化学物理研究所时进一步强调了科普工作的重要性：“在加强科技进步和创新的同时，我们应该大力加强全社会的科学普及工作，努力提高全民族的科学文化素质。这项工作做好了，就可以为科技进步和创新提供广泛的群众基础。”

为了普及和推广高新技术，化学工业出版社组织几位两院院士和专家编写了《高新技术科普丛书》。本套丛书的特点是：介绍当今科学产业中的一些高新技术原理、特点、重要地位、应用及产业化的现状与发展前景；突出“新”，介绍的新技术、新理论和新方法不仅经实践证明是成熟、可靠的，而且是有应用前景的实用技术；力求深入浅出，图文并茂，知识性、科学性与通俗性、可读性及趣味性的统一，并充分体现科学思想和科学精神对开拓创新的重要作用。

《高新技术科普丛书》涉及与我国经济和社会可持续发展密切相关的高新技术，第一批9个分册包括绿色化学与化工、基因工程技术、纳米技术、高效环境友好的发电方式——燃料电池、最新分离技术（如超临界流体萃取、吸附分离技术、膜技术）、化学激光、生物农药等。本套丛书以后还将陆续组织出版多种高新技术分册。相信该套科普丛书对宣传普及科技知识、科学方法和科学精神，正确地理解、掌握科学，提高全民族的素质将会起到积极的作用。

洛角祥

2000年9月

前言

自然界中存在的天然生物材料有着人工材料无可比拟的优越性能。迄今为止，再高明的材料科学家也做不出具有高强度和高韧性的动物牙釉质；海洋中长出的色彩斑斓、坚固又不被海水腐蚀的贝壳。地球上所有生物都是由一些简单且廉价的无机和有机材料通过组装而形成。从材料化学的观点来看，由生物纤维到细胞、组织直至各种器官，仅仅利用极少的几种元素，主要是碳、氢、氧、氮等组合而成，便能发挥出多种多样的功能，这实在令人叹服！仿生材料的研究是人类向自然学习的重要步骤，也是生物科学给材料科学大发展带来的机遇。

近 20 年来，化学和生物科学的一些原理、理论和技术（分子自组装、天然生物材料的结构-功能关系、酶催化反应原理、生物矿化理论、细胞工程技术、基因工程技术和微生物的新陈代谢原理）逐步应用到材料科学的研究中。这种学科的交叉渗透，极大地丰富了材料科学的内容，推动了材料科学的发展。从 1992 年，美国的秋季材料研讨会增加了“受生物系统启发的材料研究”（Materials Research Inspired by Biological Systems）这一分会，标志着材料的仿生研究受到广泛的关注。美国国家自然科学基金会组织百余位一流专家撰写的关于 21 世纪材料发展战略和 2003 年欧盟材料研究白皮书中，都高度重视向自然学习来发展新材料。

材料仿生包括模仿天然生物材料的结构特征的结构仿生、模仿生物体中形成材料的过程仿生活和模拟生物材料和系统功能的功能仿生。

最近几年,由于细胞工程、基因工程和微生物学的发展和向材料科学的渗透,对细胞和基因的操作以及微生物被应用到材料科学的研究中,更加显示了仿生材料诱人的发展前景。

本书试图对仿生材料进行尽可能全面的介绍。第1章介绍了仿生材料发展概况,第2章描述了天然生物材料如贝壳珍珠层、骨、牙珐琅质、毛发、蛛丝、竹的微结构和结构仿生。并对骨骼的哑铃状结构、植物根部网状结构、木材的年轮结构、动物的毛皮状结构、大脑皮质的褶皱特征以及相应的仿生材料做了介绍。讨论了仿生复合材料设计制备和仿生聚合物的方法。第3章介绍了过程和制备仿生,包括生物矿化、生物纳米材料和信息材料自组装及仿生加工。第4章介绍了功能仿生,涉及到仿生智能材料和生物传感器等。第5章对仿生材料的发展前景进行了分析和描述。指明目前仿生材料还处于初始阶段,有广泛的发展空间。

本书在讨论的基础上,第1章、第4章、第5章由崔福斋编写,第2章、第3章由郑传林编写。

由于仿生材料是一门交叉科学,涉及范围非常广泛、研究发展日新月异,再加之作者精力与学识有限,书中疏漏甚至错误在所难免,敬请读者批评指正。希望本书能引起读者对仿生材料的兴趣。

感谢研究生张伟、胡堃、刘东旭、赵苏、赵海玉、蒋佳、何翔、陈俊、王毓江、喻阳海,刘建林、贾俊等在本书编著过程中提供的帮助。

崔福斋

2004年2月

内容提要

生物是一个神奇的工程师，它举手投足之间就能把一些极其普通的元素组合成优异性能和精妙结构的科学艺术作品，其神妙足以令当世最杰出的材料科学家汗颜。正是生物的这种魔术般的材料制备艺术激发了科学家们的灵感，把材料科学引入到了一个仿生的新世界。

本书是“高新技术科普丛书”之一，扼要介绍了材料仿生，包括模仿天然材料的结构特征的结构仿生、模仿生物体中形成材料的过程仿生活和模拟生物材料和系统功能的功能仿生。

本书适用于在生物材料、复合加工和纳米科技领域从事研发工作的研究人员、技术人员、管理人员等阅读，同时，也可供大专院校相关专业的师生参考。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 仿生学	3
1.2 仿生材料	5
1.2.1 定义和研究范围	6
1.2.2 仿生材料发展的依据和现状	7
1.2.3 在现有生物材料的基础上通过仿生制备进行改进	8
1.2.4 新的仿生材料的设计和制备	10
1.2.5 新型基因技术的引入	11
第 2 章 成分和结构仿生	13
2.1 骨成分仿生和仿生膜层制备	15
2.1.1 骨的成分	16
2.1.2 用于成分仿生的羟基磷灰石	17
2.1.3 骨修复和替代材料	20
2.1.4 仿生膜层制备	22
2.2 天然生物材料表面形态仿生	25
2.3 天然生物材料的结构和结构仿生	26

2.3.1	天然生物材料的结构特点和仿生概念	26
2.3.2	贝壳微观结构及结构仿生	29
2.3.3	骨的微结构及结构仿生	43
2.3.4	牙珐琅质的微结构、生长过程、性能 及仿生制备	53
2.3.5	毛发的分级结构和蛋白质工程	77
2.3.6	蛛丝结构及其仿生材料	92
2.3.7	竹子的结构及其仿生材料	94
2.3.8	骨骼的哑铃状结构及其仿生材料	96
2.3.9	植物根部网状结构和仿生材料	97
2.3.10	木材的年轮结构及其对仿生高分子材料的启示 ...	99
2.3.11	其他仿生结构	100
2.4	复合材料仿生说	101
2.4.1	复合材料发展中存在的问题和仿生的提出	101
2.4.2	复合材料的仿生设计	102
2.4.3	仿生复合材料制备新方法	105
2.5	仿生聚合物	111
2.5.1	模板聚合物	112
2.5.2	仿生受体聚合物	121
2.5.3	仿生聚合物的应用实例	122

第 3 章 过程和加工制备仿生	125
3.1 生物体中有机物的形成过程及过程仿生	127
3.2 生物体中无机物的形成过程及过程仿生	129
3.2.1 生物矿化	129
3.2.2 纳米微粒的仿生合成	133
3.2.3 薄膜和涂层的仿生合成	133
3.2.4 复杂结构无机材料的仿生合成	136
3.3 纳米生物材料自组装	138
3.3.1 分子自组装合成技术介绍	138
3.3.2 纳米生物材料自组装实例	141
3.4 DNA 的自组装对制备信息材料的启示	151
3.5 仿生制造	154
第 4 章 功能仿生和性能仿生	157
4.1 生物的功能、现象和特性实例	159
4.2 仿生智能材料	161
4.2.1 智能材料的设计原理	162
4.2.2 智能材料种类和应用	163
4.3 生物传感器	172
4.3.1 电化学生物传感器	173

4.3.2 仿生传感器	175
4.3.3 纳米传感器	176
4.3.4 生物传感器的市场化进程	177
4.4 视网膜仿生传感器举例	179
4.4.1 视网膜结构与功能	179
4.4.2 视网膜仿生传感器	181
第5章 展望	185
5.1 材料仿生研究的新途径探索	187
5.2 仿生材料发展展望	188
主要参考文献	194

第1章

绪论

仿生学
仿生材料

1.1

仿生学

进入 21 世纪以来，人类的科学研究正逐步强调从无机的周围世界转向包括自身的生命现象之中去。生物经过亿万年的进化其不仅适应自然而且其程度接近完善，其一些奇妙的功能远远超过人类自身先前的设计并成为解决疑难工程问题的答案。人们试图模仿动物和植物的结构、形态、功能和行为或者从中得到启发来解决所面临的技术问题，这就是仿生学的思想。这一思想就是在生物学和技术之间架起一座桥梁，通过再现生命现象的原理，找到解决问题的途径和方案。

仿生的目的就是分析生物过程和结构用于未来的设计。仿生学的思想是建立在自然进化和共同进化的基础上的。人类所从事的技术就是要达到最优化和个组元之间的协调。而模拟生物环境的功能无疑是一个好机会。

其实，人类早已认识到生物具有很多超出人类自身的功能和特性。

如水母能预知风暴；蝙蝠能感受到超声波；鹰眼能从 3000m 高空敏锐地发现地面运动着的小动物；蛇具有超强

的夜视能力等。

人类很早就有了仿生的思想。据传说，我国古代著名工匠鲁班，上山伐树时，被丝茅草割破了手。他觉得奇怪，一棵小草怎么会这样厉害？经过仔细观察，他发现丝茅草叶子的边缘长着许多锋利的细齿。于是鲁班发明了木工用的锯子。据推测，古代木船的发明，是从鱼类的游泳得到了启示。在发明飞机的过程中，人们也从虫、鸟的飞行中学到了许多有用的知识。

现在，科学家们正带着定向、导航、探测、能量转换、信息处理、生物合成、结构力学和流体力学等众多的科学难题，到生物界中去寻找启示和答案。并且已经应用于建筑、机械、材料、分子、能量、信息与控制等。例如，模仿贝壳修造的大跨度薄壳建筑，模仿股骨结构建造的立柱，既消除了应力集中的区域，又可用最少的建材承受最大的载荷；模仿海豚皮肤的沟槽结构，把人工海豚皮包覆在船舰外壳上，可减少航行湍流，提高航速；在搞清森林害虫舞毒蛾性引诱激素的化学结构后，合成了一种类似有机化合物，在田间捕虫笼中用千万分之一微克，便可诱杀雄虫；模仿生物电器官生物发光，肌肉直接把化学能转换成机械能；信息与控制的仿生，是研究与模拟感觉器官、神经元与神经网络以及高级中枢的智能活动等方面生物体中的信息处理过程，例如根据象鼻虫视动反应制成的“自相关测速仪”可测定飞机着陆速度；根据鲨复眼视网膜侧抑制网络的工作原理，研制成功可增强图像轮廓、提高反差、从而有助于模糊目标检测的一些

装置等。

仿生学 (Bionics) 是研究生物系统的结构、形状、原理、行为以及相互作用, 从而为工程技术提供新的设计思想、工作原理和系统构成的技术科学, 是一门生命科学、物质科学、信息科学、脑与认知科学、工程技术、数学与力学以及系统科学等学科的交叉学科。在生命、物质和信息等科学快速发展的今天, 仿生学将为我国科学技术创新提供新思路、新原理和新理论。仿生学的研究将加强我国科学和技术的源头创新, 进一步推动我国经济和社会实现跨越式发展。目前, 我国仿生学研究主要集中在以下方面: (1) 仿生结构与力学; (2) 仿生材料; (3) 仿生功能器件及控制; (4) 分子仿生; (5) 人工智能与认知等。其中, 仿生材料研究是材料科学家极为关注的一项内容。仿生材料的研究代表了材料发展的一个重要方向, 这在以能源、信息、生命科学和新材料为社会支柱的今天显示出尤为重要的地位。

1.2 仿生材料

天然生物材料, 如贝壳、蚕丝、骨骼、肌肉等都是经历了亿万年的进化, 在细胞参与下形成的。这些天然生物材料的基本组成单元很平常, 但往往具有适应其环境及功能需要