



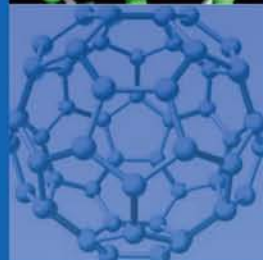
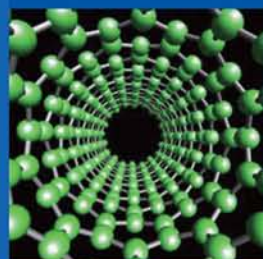
国际制造业先进技术译丛

Mc
Graw
Hill
Education

纳米科学与工程中的 纳米结构化

NANOSTRUCTURING OPERATIONS
IN NANOSCALE SCIENCE
AND ENGINEERING

[美] Kal Renganathan Sharma 著
赵铭姝 宋晓平 译



Kal Renganathan Sharma 是一名注册专业工程师 (PE)，现任美国德州基督教大学化学工程系、机械工程系和土木与环境工程系的兼职教授。他毕业于印度理工学院，在美国西弗吉尼亚大学获得博士学位。他在印度和美国的高校讲授多门课程，并出版了6本专著，发表了13篇期刊论文和其他大量文章。他是美国约翰威立国际出版公司、热物理学与热传导期刊 (Journal of Thermophysics and Heat Transfer)、化学工程期刊 (Chemical Engineering) 和化学工程通信期刊 (Chemical Engineering Communications) 的审稿人，并在多个重要国际学术会议上担任过共同召集人和分会主席。

国际制造业先进技术译丛

纳米科学与工程中的 纳米结构化

**Nanostructuring Operations in Nanoscale
Science and Engineering**

[美] Kal Renganathan Sharma 著
赵铭姝 宋晓平 译



机械工业出版社

本书阐述了现代纳米结构化的原理、方法、应用、合成和表征，介绍了纳米技术在微型化组件中的应用，以及纳米工程和生命科学领域的最新进展。书中对 37 种纳米结构化方法和 16 种纳米结构材料进行了讨论，内容涵盖富勒烯、碳纳米管、分子机器、量子点、纳米传感器、超分子化学、树状聚合物、纳米复合物、仿生薄膜以及纳米生物技术等新兴领域，并阐明了时域中的纳米尺寸效应。本书还给出了 500 余道复习思考题供读者复习思考。

本书可供材料科学与工程、化学、机械工程等领域的技术人员阅读使用，也可供相关专业的在校师生学习参考。

译 丛 序

一、制造技术长盛永恒

先进制造技术是20世纪80年代提出的，它由机械制造技术发展而来，通常可以认为它是将机械、电子、信息、材料、能源和管理等方面的技术，进行交叉、融合和集成，综合应用于产品全生命周期的制造全过程，包括市场需求、产品设计、工艺设计、加工装配、检测、销售、使用、维修、报废处理、回收利用等，以实现优质、敏捷、高效、低耗、清洁生产，快速响应市场的需求。因此，当前的先进制造技术是以产品为中心，以光机电一体化机械制造技术为主体，以广义制造为手段，具有先进性和时代感。

制造技术是一个永恒的主题，与社会发展密切相关，是设想、概念、科学技术物化的基础和手段，是所有工业的支柱，是国家经济与国防实力的体现，是国家工业化的关键。现代制造技术是当前世界各国研究和发展的主题，特别是在市场经济高度发展的今天，它更占有十分重要的地位。

信息技术的发展并引入制造技术，使制造技术产生了革命性的变化，出现了制造系统和制造科学。制造系统由物质流、能量流和信息流组成，物质流是本质，能量流是动力，信息流是控制；制造技术与系统论、方法论、信息论、控制论和协同论相结合就形成了新的制造学科。

制造技术的覆盖面极广，涉及机械、电子、计算机、冶金、建筑、水利、电子、运载、农业以及化学、物理学、材料学、管理科学等领域。各个行业都需要制造业的支持，制造技术既有普遍性、基础性的一面，又有特殊性、专业性的一面，制造技术具有共性，又有个性。

目前世界先进制造技术沿着全球化、绿色化、高技术化、信息化、个性化和服务化、集群化六个方向发展，在加工技术上主要有超精密加工技术、纳米加工技术、数控加工技术、极限加工技术、绿色加工技术等，在制造模式上主要有自动化、集成化、柔性化、敏捷化、虚拟化、网络化、智能化、协作化和绿色化等。

二、图书交流源远流长

近年来，国际间的交流与合作对制造业领域的发展、技术进步及重大关键技术的突破起到了积极的促进作用，制造业科技人员需要及时了解国外相关技术领域的最新发展状况、成果取得情况及先进技术应用情况等。

国家、地区间的学术、技术交流已有很长的历史，可以追溯到唐朝甚至更

远,唐玄奘去印度取经可以说是一次典型的图书交流佳话。图书资料是一种传统、永恒、有效的学术、技术交流方式,早在20世纪初期,我国清代学者严复就翻译了英国学者赫胥黎所著的《天演论》,其后学者周建人翻译了英国学者达尔文所著的《物种起源》,对我国自然科学的发展起到了很大的推动作用。

图书是一种信息载体,图书是一个海洋,虽然现在已有网络通信、计算机等信息传输和储存手段,但图书仍将以严谨性、系统性、广泛性、适应性、持久性和经济性而长期存在。纸质图书有更好的阅读优势,可满足不同层次读者的阅读习惯,同时它具有长期的参考价值和收藏价值。当然,技术图书的交流具有时间上的滞后性,不够及时,翻译的质量也是个关键问题,需要及时、快速、高质量的出版工作支持。

机械工业出版社能够在先进制造技术的引进、消化、吸收、创新方面为广大读者做出贡献,为我国的制造业科技人员引进、纳新国外先进制造技术的出版资源,翻译出版国际上优秀的制造业先进技术著作,从而提升我国制造业的自主创新能力,引导和推进科研与实践水平的不断进步。

三、选译严谨质高面广

1) 精品重点高质 本套丛书作为我社的精品重点书,在内容、编辑、装帧设计等方面追求高质量,力求为读者奉献一套高品质的丛书。

2) 专家选译把关 本套丛书的选书、翻译工作均由国内相关专业的专家、教授、工程技术人员承担,充分保证了内容的先进性、适用性和翻译质量。

3) 引纳地区广泛 主要从制造业比较发达的国家引进一系列先进制造技术图书,组成一套“国际制造业先进技术译丛”。当然其他国家的优秀制造科技图书也在选择之内。

4) 内容先进丰富 在内容上应具有先进性、经典性、广泛性,应能代表相关专业的技术前沿,对生产实践有较强的指导、借鉴作用。本套丛书尽量涵盖制造业各行业,例如机械、材料、能源等,既包括对传统技术的改进,又包括新的设计方法、制造工艺等技术。

5) 读者层次面广 面对的读者对象主要是制造业企业、科研院所的专家、研究人员和工程技术人员,高等院校的教师和学生,可以按照不同层次和水平要求各取所需。

四、衷心感谢不吝指教

首先要感谢许多积极热心支持出版“国际制造业先进技术译丛”的专家学者,积极推荐国外相关优秀图书,仔细评审外文原版书,推荐评审和翻译的知名专家,特别要感谢承担翻译工作的译者,对各位专家学者所付出的辛

勤劳动表示深切敬意，同时要感谢国外各家出版社版权工作人员的热心支持。

希望本套丛书能对广大读者的工作提供切实的帮助，欢迎广大读者不吝指教，提出宝贵意见和建议。

机械工业出版社

译者序

纳米技术，从诞生到现在给我们的生活带来的变革，不亚于“电力”代替“蒸汽”的变革。纳米技术在信息、能源、交通、医药、食品、纺织、环保、生物等诸多领域的应用，不仅大幅度地提升了我们的生活质量，而且衍生出新兴的高科技产业交叉领域。通俗地讲，纳米技术就是通过物理或化学方法，将物质“粉碎”成纳米级微粒，这种微粒比头发丝的十万分之一还要细，要在 20 万倍以上的电子显微镜下才能看得清楚。普通的材料，通过纳米化处理，将会具有更多的“神奇”特性。利用纳米材料特殊的电、磁、光、热、机械、化学、物理、力学、生物等性质，可以实现材料的多功能化，开发出新型微小器件，在电子工程、信息工程、能源工程和生物环境工程等方面发挥重要的作用。因此，掌握纳米科学与工程中的纳米结构化技术至关重要。目前国内关于纳米材料和纳米技术的书籍大多是针对纳米材料的制备方法、性能表征和应用进行讨论，能够全面介绍纳米技术的诞生、发展、应用以及新型纳米材料的制备、特性应用，纳米尺度效应的原理以及表征纳米结构的技术手段的书籍还较少。

本书首先介绍了纳米技术的诞生、发展以及应用，使读者了解纳米技术的重要性和前瞻性，然后简述了富勒烯和碳纳米管的制备、表征及其应用；其次系统阐述了纳米科学与工程中的纳米结构化方法，重点列举了纳米技术在材料、生命和生物学中的突出表现，并深入阐明了时域中的纳米效应，使读者能够理解纳米结构化的实际应用和理论基础，最后简单介绍了表征纳米结构的实用化技术手段。本书每章前后分别附有学习目的和复习思考题，有助于读者明晰每章的重要内容，更好地掌握纳米技术的相关知识。比如，读者将会学到如何开发高性能生物芯片，如何借鉴生物仿生学开展研究工作，以及如何设计分子机器等。

本书不仅涵盖了现代纳米结构化原理、方法、表征以及利用纳米技术开展微型化组件的应用，还重点阐述了纳米工程和生命科学领域的最新进展，罗列了富勒烯、碳纳米管、分子机器、量子点、纳米传感器、超分子化学、树状聚合物、纳米复合物、仿生薄膜和仿生材料等相关知识点。纳米材料及其制备应用与纳米效应理论推导分章讲述，使读者各取所需，具有一定的特色和创新性。

阅读本书，使读者能够更好地理解纳米材料和纳米技术与我们的生活密切相关，纳米材料已成为当今世界各国研究者的热点领域之一。发展具有竞争力的纳米新技术和纳米材料新产品，加快纳米技术与信息技术、生物技术、能源、环境、海洋和空间等高新技术相结合，提高纳米技术在相关产业中的技术含量，具

有重要的应用价值。

本书不仅适用于纳米材料领域的研究者，也适用于材料科学与工程、化学、机械工程和环境工程领域的高年级本科生和研究生。对于从事新型功能材料领域的工程技术人员来说，也是一本很好的参考读物。

本书的翻译工作由西安交通大学的赵铭姝（前言、第1~7章以及全书的图表、公式）和宋晓平（第8、9章）承担，并对译稿进行了校核，全书最后由赵铭姝统稿完成。由于译者水平有限，错误之处在所难免，欢迎读者批评指正。

译者

序

预测表明，在未来的10~15年内，将有超过一百万的科学家、工程师、技术专家和相关专业人士从事与纳米科学和纳米技术相关的工作，到2015年，纳米技术产品的市场规模将达到约3万亿美元。受过纳米技术培训的工程师将会得到更高的薪酬，甚至可以与计算机硬件和化学工程师的待遇相当。事实上，几乎在我们社会经济环境中的每一个领域，纳米科学和技术都有重要的进展。

例如，我们可以期待以下进展：通过混合动力电动汽车和高度节能运输系统的发展降低通勤交通的成本；有效地收集太阳能，在沙漠地区构建高性价比的新型光伏电池；制备比铜和铝的热导率更高的新型材料；对我们医疗政策进行有效的模式转换；在纳米磁性材料中取得重大进步；取得分子计算机方面的发展。

微处理器和个人计算机的变革是我们成功将纳米技术应用于小型化组件的主要成果，现在计算速度每隔18个月翻一番，单个硅芯片中包含了越来越多的晶体管单元。现在遗传技术也表现出类似的进展，因为我们大幅度地提高了处理DNA的效率。在纳米尺度上，当发生量子力学效应时，若将其有效地利用，则能够提供完全不同于熟识的宏观作用的新型应用。

全碳空心笼状分子、富勒烯及其“细长的表亲”——碳纳米管（CNT）是稳定的同素异形体，此外，石墨烯、石墨和金刚石作为基本材料，在新型纳米应用领域中表现出令人惊奇的特性。材料的形貌是一个神奇的领域，与其结构相关的性质在产品开发 and 工艺过程中令人十分感兴趣，它可以使材料在可持续、环保的领域中具有先进的功能。

如果能够实现这些所有令人兴奋的先进功能，那么下一代的年轻科学家、工程师和技术人员一定要受过良好的纳米科学和技术教育，并且这种教育将会集成到化学工程专业的本科生课程中。面对这个挑战，阅读本书读者将会受到卓有成效的影响，该书颇受欢迎。如果到了下一个世纪，我们也始终需要可持续发展，那么必须要采用这样的纳米技术。

Harold Kroto

化学和生物化学系
美国佛罗里达州立大学
塔拉哈希，佛罗里达
kroto@chem.fsu.edu
www.kroto.info

前 言

我与 S. Swaminathan 博士一起，作为 2005 年 5 月在印度坦加布尔 SASTRA 大学召开的第二届国际纳米技术与医疗保健研讨会的联席会议召集人，进行会议的指挥管理。印度总统 A. P. J. Abdul Kalam 博士在 2006 年 9 月将纳米技术和先进生物材料中心归并给印度国家。在 2005—2006 年以及 2006—2007 年，我在印度给研究生讲授纳米技术和纳米制备技术的概述。

2008 年的夏天，Irvin Osborne Lee 博士，得克萨斯州普雷里维尤农工大学化学工程系主任，与我计划将纳米技术的先进性整合到化学工程课程任务中，它涉及一个关于纳米技术的相互关联课程单元（ICC）项目。三个学校合作——得州大学卡城分校、得州农工大学金斯维尔分校以及普雷里维尤农工大学。很显然在纳米结构化操作领域中，还没有一本较好的教科书。本书旨在满足学生关于全球纳米技术、业内从业者在纳米结构化操作中的需求。本书还包括了热传导时域中纳米效应的一章。在每章末尾都提供了复习思考题，全书约 550 题。

若没有多年来作者受到的大量培训和充足的经费支持，不可能完成本项目。我要首先感谢我的高中科学和数学教师，是他们教会我独立思考。在位于印度金奈的印度理工学院完成我的本科学习时，一些杰出的学者，尤其是 M. S. Ananth（现任印度理工学院主管）、Y. B. G. Varma 教授、Durga Prasad Rao 博士、Neelakantan 博士、Venkatram 博士、Krishnaiah 博士、C. A. Sastry 教授、Ramachandra Rao 教授和 Baradarajan 博士，使我在当时的一些新兴领域受到了良好的训练，如今对这些领域我们已不再陌生。作为西弗吉尼亚州摩根敦市的西弗吉尼亚大学的研究生，我有幸在 Dady B. Dadyburjor 教授（现任主席）、E. V. Cileto 教授（现任院长）、W. B. Whiting 教授（J. Prausnitz 的学生）、J. A. Shaeiwitz 教授、R. Yang 教授（Lapidus 学生）、John W. Zondlo 教授和 R. Turton 教授（O. Levenspiel 学生）的指导下学习。John W. Zondlo 资助我参加了在荷兰马斯特里赫特市召开的会议并发表了我的第一篇会议论文。在就读博士研究生时，R. Turton 资助我从西弗吉尼亚州摩根敦飞至加利福尼亚州旧金山，参加会议并发表了数篇会议论文。

我在马萨诸塞州印第安奥查德的孟山都塑料技术公司工作时，受 Victoria Franchetti Haynes 博士领导。她非常支持纳米结构化在操作方面的创新。她资助我参加了在 1990 年伊利诺斯州芝加哥召开的 AIChE 学术会议，以及在 1991 年加利福尼亚州洛杉矶和 1992 年佛罗里达州迈阿密召开的技术研讨会，并提交了论

文。1995 年 10 月，我在纽约市波茨坦克拉克森大学化学工程主席 R. Shankar Subramanian 的资助下，进行了一次跨大西洋飞行，作为他的博士后研究人员得到了意大利都灵的伽利略公司的 BDPU 测试认证，并在德国弗莱堡进行示踪颗粒的研发。

我作为西弗吉尼亚大学兼任助理教授，参加了 1996 年在加利福尼亚圣迭戈召开的化学工程世界大会，我提交的论文得到 Nason Pritchard 基金的支持。在 1998 年和 1990 年，我在 19 个重要会议上提交了 90 篇会议论文。特别感谢乔治梅森大学先进工程统计主任 Edward J. Wegmann 和我的家人以及朋友，由于篇幅所限，不能提及所有资助过我的人。特别感谢西弗吉尼亚大学机械 & 航空工程系副主任 Nithi T. Sivaneri 教授的资助。

在我教学生涯中，曾在印度韦洛尔科技大学担任系主任；在印度金奈 SAS-TRA 大学任职教授期间，得到了泰米尔纳德邦政府前任部长 Hon. G. Viswanathan 和前任董事夫人 Kanchi Sankaracharyas Sri. R. Sethuraman 的资助。在捐赠基金支持下，我出席了历届年会，以及 2003 年在路易斯安那州新奥尔良和 2006 年在乔治亚州亚特兰大召开的会议并提交了论文。

再次特别感谢 Irvin Osborne-Lee 博士，他资助我参加了 2007 年 11 月在犹他州盐湖城召开的第 99 届 AIChE 年会，2008 年 4 月在新奥尔良召开的 ACS 和 AIChE 会议，2008 年 8 月在佛罗里达州杰克逊维尔召开的夏季热传输会议和纳米技术会议，以及 2008 年 10 月在阿肯色州小岩城召开的美国化学学会中西南地域会议。

Kal Renganathan Sharma , PE

目 录

译丛序	
译者序	
序	
前言	

第1章 引言	1
学习目的	1
1.1 商用产品	2
1.2 费曼假想——房间底部具有足够的空间	4
1.3 关于分子组装器的 Drexler-Smaller 公开辩论	6
1.4 纳米技术的发展史	8
1.5 应用	10
1.6 纳米技术的挑战	13
1.6.1 微型化物理极限的基本原理	13
1.6.2 纳米结构的热力学稳定性	14
1.6.3 纳米结构的表征	15
1.7 小结	15
复习思考题	16
参考文献	18
第2章 富勒烯	19
学习目的	19
2.1 发现	19
2.2 燃烧火焰合成法	21
2.3 晶体生长	22
2.4 烧结	24
2.5 有机合成法	24
2.6 超临界齐聚反应	25
2.7 太阳能过程	26
2.8 电弧过程	28

2.9 应用	30
2.9.1 超导体	30
2.9.2 吸附剂	30
2.9.3 催化剂	32
2.9.4 复合材料	32
2.9.5 电化学体系	32
2.9.6 合成钻石	33
2.10 小结	34
复习思考题	35
参考文献	37
第3章 碳纳米管 (CNT)	38
学习目的	38
3.1 发现	38
3.2 CNTs 的制备	39
3.2.1 电弧放电法	39
3.2.2 激光烧蚀法	40
3.2.3 化学气相沉积法 (CVD)	42
3.2.4 高压一氧化碳裂解法 (HIPCO)	45
3.2.5 垂直排列管的表面介导生长	46
3.3 CNTs 的物理性质	47
3.4 应用	49
3.5 CNTs 的形貌	50
3.6 小结	53
复习思考题	54
参考文献	56
第4章 纳米结构化方法	57
学习目的	57
4.1 真空合成	58
4.2 气相蒸发技术	59
4.3 光波照射下制备三角形纳米棱柱	61
4.4 凝聚相合成法	62
4.5 删减法 and 添加法制备	63
4.6 量子点的加工	68

4.7 溶胶-凝胶加工	69
4.8 聚合物薄膜	69
4.9 低温球磨	70
4.10 原子光刻	72
4.11 电沉积	73
4.12 等离子体压实	75
4.13 直写光刻	77
4.14 纳米流体	80
4.15 嵌段共聚物自组装的纳米结构	80
4.16 脉冲激光沉积	83
4.17 小结	85
复习思考题	87
参考文献	90
第5章 材料科学中的纳米技术	92
学习目的	92
5.1 适应的课程	92
5.2 聚合物纳米复合材料	93
5.3 铁磁流体	97
5.4 形状记忆合金	98
5.5 纳米线	99
5.6 液晶	101
5.7 非晶态合金	101
5.8 纳米陶瓷	103
5.8.1 盐中氢氧化物的沉淀	105
5.8.2 无压烧结	105
5.9 热障涂层	106
5.10 陶瓷纳米复合材料	107
5.11 小结	110
复习思考题	111
参考文献	113
第6章 生命科学中的纳米技术	115
学习目的	115
6.1 分子计算	115

6.2 分子机器	116
6.3 超分子化学	117
6.4 生物芯片	118
6.5 纳米阵列的数据分析	131
6.6 序列对比与动态编程	134
6.7 隐马尔科夫模型及其应用	135
6.8 基因寻找和蛋白质二级结构	136
6.9 给药的应用	137
6.10 小结	139
复习思考题	141
参考文献	143
第7章 仿生纳米结构	144
学习目的	144
7.1 概述	144
7.2 自组装的平衡动力学	146
7.3 仿生材料	147
7.4 仿生薄膜	150
7.5 仿生膜	153
7.6 磁性颜料	155
7.7 仿生传感器	156
7.8 小结	157
复习思考题	158
参考文献	160
第8章 时域中的纳米尺寸效应	161
学习目的	161
8.1 概述	161
8.2 寻找广义傅里叶热传导定律的6个理由	162
8.3 半无限笛卡儿和无限圆柱体和球形介质	163
8.3.1 切比雪夫缩减或可伸缩的幂级数	165
8.3.2 坐标系的相对论转换的方法	167
8.3.3 无限圆柱体介质内坐标系的相对论转换方法	171
8.3.4 无限介质中的球面坐标的相对论转换	174
8.4 有限平板和泰特尔悖论	178

8.4.1 有限平板的最终时间条件	179
8.4.2 有限球体服从恒定的壁温	182
8.4.3 有限圆柱体服从于恒定的壁温	184
8.5 小结	187
复习思考题	188
参考文献	190
第9章 纳米结构的表征	192
学习目的	192
9.1 概述	192
9.2 小角度 X 射线衍射 (SAXS)	192
9.3 透射电子显微镜 (TEM)	195
9.4 扫描电子显微镜 (SEM)	198
9.5 扫描探针显微镜 (SPM)	199
9.6 微波光谱	201
9.7 俄歇电子显微镜 (AEM)	202
9.8 拉曼显微镜	203
9.9 原子力显微镜 (AFM)	204
9.10 氦离子显微镜 (HeIM)	205
9.11 小结	207
复习思考题	208
参考文献	209