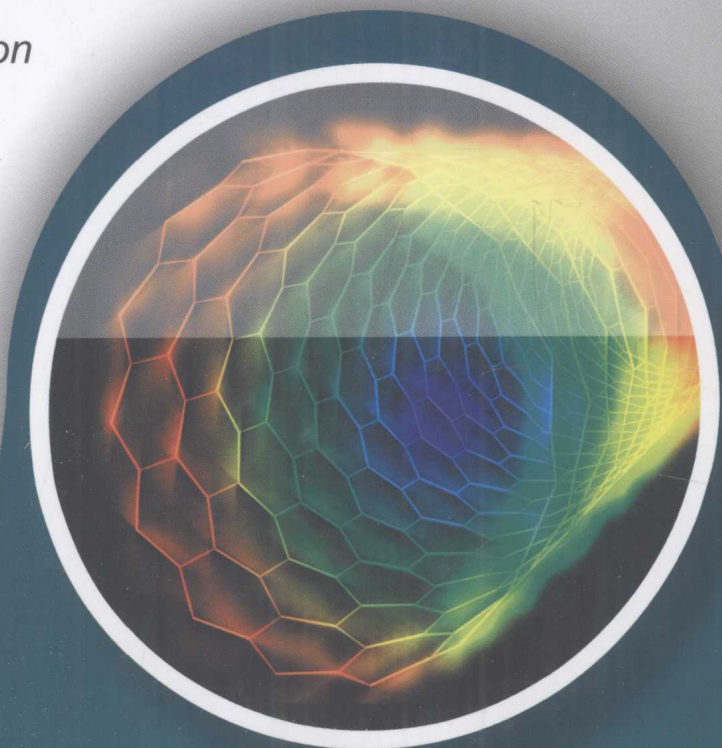


碳的纳米形态及其应用

Carbon Nanoforms and Applications

Maheshwar Sharon

Madhuri Sharon



Carbon Nanoforms and Applications

碳的纳米形态及其应用

Maheshwar Sharon

Madhuri Sharon

科学出版社

北 京

图字:01-2010-4563 号

Maheshwar Sharon, Madhuri Sharon
Carbon Nanoforms and Applications

ISBN: 978-0-07-163960-6

Copyright © 2010 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including without limitation photocopying, recording, taping, or any database, information or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

This authorized Bilingual edition is jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) and Science Press. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan.

Copyright © 2010 by McGraw-Hill Education (Asia), a division of the Singapore Branch of The McGraw-Hill Companies, Inc. and Science Press.

版权所有。未经出版人事先书面许可,对本出版物的任何部分不得以任何方式或途径复制或传播,包括但不限于复印、录制、录音,或通过任何数据库、信息或可检索的系统。本授权双语版由麦格劳-希尔(亚洲)教育出版公司和科学出版社合作出版。此版本经授权仅限在中华人民共和国境内(不包括香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾)销售。

版权© 2010 由麦格劳-希尔(亚洲)教育出版公司与科学出版社所有。

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

碳的纳米形态及其应用 = Carbon Nanoforms and Applications: 英文/(印)沙伦(Sharon, M.) 等著. —北京:科学出版社, 2010. 8

ISBN 978-7-03-028452-5

I. ①碳… II. ①沙… III. ①碳-纳米材料-研究-英文 IV. ①TB383

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 147084 号

责任编辑:田慎鹏 霍志国/责任印制:钱玉芬

封面设计:耕者设计工作室

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>

北京天时彩色印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 8 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2010 年 8 月第一次印刷 印张:34 3/4

印数:1—2 000 字数:700 000

定价:118.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

导 读

碳是我们耳熟能详的元素，以各种形式存在于自然界和人工合成的物质之中，也是构成有机物的基本元素。它是自然界第四丰富的元素，极普通而又很神奇，从璀璨夺目的金刚石钻戒到朴实无华的石墨笔芯，从作为能源命脉的石油煤炭到“低碳”概念的温室气体二氧化碳，无不和人们的生活密切相关。随着1985年球形富勒烯的发现和1991年线形纳米碳管的发现，碳元素又呈现出微观的优异特质，在纳米世界中绽放出奇异的色彩。

除了上述的纳米形态之外，人们又相继发现了卷心形态的碳纳米元葱、壁状的碳纳米墙、牛角状的碳纳米角、螺旋状的碳纳米线圈、单原子层的石墨烯等。这些碳材料，由于其特异的纳米形态及结构，表现出多种多样的特性，具有广泛的应用价值。如我们熟知的由60个碳原子组成的足球形态的C₆₀，结构独特稳定，在超导、催化、光学、润滑、医药等领域具有可观的应用前景。随后发现的碳纳米管，具有极为稳定的物理和化学特性，根据其直径大小及管壁卷曲结构不同而呈现半导体或导体特性，其导体具有超强的导电能力。此外碳纳米管还具有优异的机械性能，在外力的作用下极易弯曲，可曲折并能在去掉外力时立即恢复原状，同时其拉伸强度为各材料之最，因此其应用极其广泛。在微观方面，可被用于制造纳米级导线、场效应管、镊子、探针及传感器等器件；在宏观方面，可被应用于制造电子枪、燃料电池、超级电容器、导电性复合材料、高强度树脂、储氢器等，成为近年来材料领域的研究热点。再如由碳纳米管螺旋而成的碳纳米线圈，它除了具有碳纳米管的特性外，还具有其螺旋形态所具有的特性，如弹簧一样的伸缩性、特别是它具有产生和吸收电磁波的特性，因此碳纳米线圈可成为微纳机电系统的有效构造基元，可以用来制作微纳米级的非线性光学器件、电磁波发生源、磁场源、冷电子发射源、电感线圈、弹簧、微纳米级力学振荡传感器及电磁传感器等关键构件，也可应用于制造宏观电磁波吸收材料。2004年兴起的由单层碳原子组成的石墨烯研究热潮，又将碳纳米材料的研究推向了一个新的阶段。石墨烯由于具有超强的导电性、高强度和超薄性，在制造微电子器件、传感器、储能器等方面将大有作为。

碳纳米材料的制备技术可以说是随着纳米技术的发展而日益成熟起来的。目前主要用于制备碳纳米材料的方法可以归纳为五类，即前躯体的直接热分解法、热化学气相沉积法、等离子体辅助化学气相沉积法、电弧放电法以及激光蒸发法。这些方法各具特色，也都有各自的缺点。比如电弧放电法可以制备高结晶性的碳纳米管和富勒烯，但是产量会受到限制；而热化学气相沉积法可以大量制备

碳纳米管，但是管壁的缺陷较多。根据制备材料的形态、特性和产量可以选择最优的制备方法或各种方法的组合。同时制备技术的不断创新和改进，势必会进一步推进碳纳米材料的发展，创造出越来越多高功能、新特性、高质量、新形态的碳纳米材料。

《碳的纳米形态及其应用》一书，正是在这样一个急需对各种纳米形态碳进行归纳总结，为人们勾勒出一个完整系统的纳米碳研究体系，从而进一步提高和加强人们对碳材料认识的背景下出版的，该书作者对当今世界的一些主要的碳纳米材料的研究成果进行归纳总结，包括其制备技术，特性分析和应用前景。取材广泛，重点突出，论述深入浅出，文笔明朗流畅。特别是该书对相关材料进行了有机的加工和整理，列出了一系列的表格，对现行的方法、材料、产品、系统等及其相关特性、用途和其他信息进行归纳或比较。该书不仅为专业从事碳材料研究的科技工作者提供了大量和系统的研究信息和基础资料，也为一般读者认识碳纳米材料提供了广泛和必要的基础知识。

该书共分5大部分。第一部分介绍了各种碳纳米形态，包括金刚石和类金刚石、石墨、碳纤维、炭黑、活性炭、碳纳米元葱、碳纳米管、纳米碳球、纳米碳纤维等。

第二部分总结了碳纳米材料的制备方法、特点和碳纳米材料的生长机制。重点描述了电弧放电法、化学气相沉积法、脉冲激光蒸发沉积法。包括其装置、成长条件、典型碳纳米材料的制备结果及其生长条件的影响。值得一提的是，作者对碳纳米材料的成长所需的催化剂（金属/氧化物或有机金属）进行了详尽的归纳和总结，列出了各种催化剂组合和对应的碳纳米形态及其出典。为选择合适的制备方法和最佳催化剂组合，优化反应条件提供了极有价值的参考。同时，该书也介绍了用天然前驱体（樟脑、松节油、菜油、芥末油、桉树油、蓖麻油等）制备碳纳米材料的方法和形成的碳纳米形态及其应用。最后，该书又介绍了利用废塑料制备碳纳米材料的方法，这无疑对提高废旧塑料的有效利用，保护环境提供了一个可能的方式和途径。

第三部分介绍了碳纳米材料的特性评价及其方法和原理。主要介绍了使用透射电子显微镜、扫描电子显微镜、X线衍射、拉曼光谱等对碳纳米材料进行测试分析的基本原理和主要结果。最后综合描述了碳纳米材料的一些主要特性，包括高电导率、高拉伸强度、高柔韧性、高热导率、低热膨胀系数、优秀的场致电子发射特性和高纵横比等。

第四部分介绍了碳纳米材料的应用。这是该书重点着墨的部分之一。主要介绍了在场致电子发射、燃料电池、锂电池、太阳能电池、超级电容器、储氢、吸波及传感器方面的应用。全面介绍了纳米碳管的场致电子发射的特点、原理和应用；燃料电池的原理、结构组成、种类、优缺点及碳纳米材料作为电极的应用；超级电容器的原理、设计、使用注意事项及碳纳米材料的应用；储氢的方法、各

种碳纳米材料（碳纳米管、碳纤维、富勒烯、活性炭）的储氢能力及比较、储氢的测量方法、储氢机理及未来发展方向；锂电池的工作原理、碳纳米材料作为阳电极的优点及锂和碳材料的相互作用；太阳能电池的基础知识、异质结的形成及其界面特性、电流特性、典型电池及碳材料太阳能电池；微波吸收材料的分类、吸波测量、碳材料及其复合物的吸波特性及微波吸收材料作为电磁屏蔽、商业电子器件防干扰及雷达波吸收的应用；传感器的基本工作原理、碳材料用于传感器的类型包括物理传感器（如探针传感、重力传感及共振传感）、电化学传感器和生物传感器，如酶传感、糖分传感、农药和重金属传感、DNA 传感等。

最后一部分介绍了碳纳米材料在生物系统中的应用，这是至今为止比较全面的对该领域应用的归纳和总结，也是作者着重论述的内容之一，包括医疗器具及药物、食品、化妆品、抗菌、组织再生、神经修复、治疗癌症等，也介绍了纳米材料的毒性和生物兼容性。具体介绍了细胞的功能及纳米技术在生物系统的应用前景；碳纳米材料在生物系统中的应用，如诊断器具、水净化、探针、生物制药、可植入组织的材料和器件等；碳纳米材料在治疗恶性肿瘤中的贡献，如碳纳米材料对恶性细胞的杀伤效果、毒性和非毒性、癌症的早期诊断和治疗、靶向药物输送和治疗、多靶向器件、治疗剂、治疗效果的实时评价系统及对未来的展望；碳纳米材料在微型注射器上的应用，碳纳米材料的形态特点、纯化、物理特性、在药物输送方面的进步及可能存在的问题；碳纳米材料的抗菌效果，如碳纳米颗粒的生态毒理学、羧基富勒烯的体外作用、富勒烯衍生物在体内的作用、水溶性富勒烯衍生物在细胞中的定位、对血管内皮细胞的杀伤等及其应用，如水净化、对植物和藻类的效果、碳纳米管杀菌剂、具有纳米结构的绷带、表面和织物；碳纳米材料在食物和化妆品方面的应用，如富勒烯和碳纳米管在该领域的应用及众所关注的毒性问题；碳纳米管的生物毒性包括对肺、皮肤、细胞的毒性和评价及其生物兼容性，包括利用功能化和分散化提高兼容性、利用神经细胞和造骨细胞确认非毒性和兼容性等；碳纳米管用于制作组织再生模架，包括细胞的寻踪和标识、组织行为的监视和调节，作为组织的结构支架、其毒性和兼容性等；神经修复方面的应用，包括神经退行性变疾病及其治疗、纳米医药的优点、碳纳米管在神经修复方面的应用等。

综上所述，该书从应用的角度出发，深入浅出地介绍了当今一些主要碳纳米材料的制备、特性、实际应用和前景。当然，由于作者的研究方向和领域的限制，未能将一些典型的碳纳米材料如石墨烯、碳纳米线圈和纳米角等纳入其中。尽管如此，该书为读者搭建了一个全面了解碳纳米材料的形态、相关基本知识和其发展动态的知识框架，不失为纳米技术研究者的一本有益的参考书。

碳纳米材料所表现出的由于各自纳米结构不同而形成的特异性能，在很大程度上相互关联并相互补充，在微电子、电磁、材料、化工、能源、医药、纺织等领域都在或即将发挥巨大的作用。可以预见，在 21 世纪，碳纳米材料作为关键

的功能材料之一，无论在科学研究上，还是在实际应用上将得到飞速的发展，含有各种形态炭的新一代高功能元器件和复合材料将不断涌现。相信碳纳米材料这一纳米科技的奇葩将在本世纪中大放异彩，独领风骚。

潘路军

大连理工大学物理与光电工程学院

序 言

1990 年，当人们突然能够大量获得 C_{60} 分子和其他富勒烯，并且可以探测这些独特碳材料的物理化学方面的性质时，一种被伸长了的富勒烯的异形体，也是其最诱人而神奇的衍生物之一——碳纳米管被发现了。富勒烯以及碳纳米管的发现开辟了碳材料研究的许多新的领域，不仅将碳材料的研究带入了纳米尺度，同时也展现了先进材料广阔的新前景。

虽然富勒烯和碳纳米管的发现至今已有 20 余年，在此期间我们也认识了关于它们的很多新知识，但是仍有无穷的未知领域需要探索。这些材料引人入胜，魅力如初。事实上，这些新兴材料在力学、电学和磁学方面广阔的应用前景仍待实现。

本书利用一系列精彩的章节来介绍人们至今已经取得的成果，通过了解这些知识无疑会使人们激发出新的思想火花，并将会进一步推动对基于单纯碳原子的这一令人惊叹的材料科学的新理解。本书包括基础科学知识介绍、分析技术和应用。

本书还介绍了碳材料在生物方面应用的美好前景。各章节对该领域进行了较为理想的介绍，给出了这一战略性的、令人振奋的碳纳米尺度科学的明晰和总体的知识。

Harold W. Kroto 先生
诺贝尔奖获得者
佛罗里达州立大学
化学和生物化学系

(潘路军 译)

关于作者

Maheshwar Sharon 是孟买伊利诺理工大学的退休教授，并且是 CSIR 和 UGC 的名誉教授。他目前是印度哈拉施特拉邦比耳大学的兼职教授，领导着一个纳米技术研究中心，该中心有 16 位学者，他们分别致力于纳米科学和纳米技术不同方面的研究。在孟买的伊利诺理工大学，Sharon 博士是第一个开始研究并提倡纳米技术的教授。他是皇家化学学会、电化学学会的成员，国家科学院院士、印度阿拉哈巴德和碳学会的终生成员。

Madhuri Sharon 目前是孟买大学的兼职教授，S. I. C. E. S 大学的校长，一家民营的单元素纳米技术有限公司的董事长，这是印度第一家商业生产碳纳米材料并且从事玻璃行业生产的民营企业。她还是 Gufic 生物公司的副总经理和印度信实工业有限公司的董事。作为孟买大学的兼职教授，Sharon 博士正带领着她的团队在纳米生物技术的不同领域进行努力的探索。

(潘路军 译)

前 言

在研究开发及技术应用领域，纳米技术已成为一个重要的研究方向。世界各地的许多大学开始设置与纳米技术相关的各个领域的研究生课程，这些课程主要针对工程硕士、理学硕士和博士研究生。科学家们一直在致力于开发和研究各种类型的金属纳米材料，例如钨、胶体金和银，但在这些材料中，碳纳米材料在应用领域中似乎将起到领先地位。

碳纳米材料较重要的研究领域包括制备、表征和应用。碳纳米材料可应用于场致电子发射器件，并可能发展为用于计算机和其他设备的纯平显示器技术。碳纳米材料可应用于储氢、燃料电池和超级电容器，并且在这些领域具有非常良好的应用前景，值得一提的是，在不久的将来，它在电动车中的应用也可能成为现实。因为碳具有生物兼容性，所以在生物技术系统应用方面，碳纳米材料引起了人们广泛的关注，它可用于药物传输、恶性肿瘤治疗、饮用水净化等。

鉴于碳纳米材料在各科学领域的应用，都可能成为纳米技术的一个重要组成部分。许多针对理学硕士、工程硕士和博士开设的纳米科学课程的大纲中，有2~3章都是介绍碳纳米材料的。综合以上因素，写这本《碳纳米形态及其应用》是很有必要的。本书开篇描述了各种形态的碳纳米材料，指出发展一种新的对碳物质进行分类的必要性。讨论了为什么碳纳米结构具有p型特性，即使它们本身是本征材料。还讨论了与微米颗粒相比，它们为什么具有更高的反应活性。

碳纳米材料技术的一个重要部分是材料的制备，因此我们用了几个章节来讨论碳纳米材料制备的不同技术。本书也包括一些表征碳纳米材料性质的常用技术。还有几个章节讨论了碳纳米材料的物理化学应用，特别是在燃料电池、超级电容器、氢的存储、微波吸收、场致电子发射以及锂电池等方面的应用。其余章节里介绍了碳纳米材料在生物系统中的应用，例如有些章节是关于恶性肿瘤的医治、药物传输以及碳纳米物质的抗菌作用。本书还介绍了碳纳米材料作为组织支架以及碳纳米物质被用来治疗神经变性方面疾病的可能性。

Maheshwar Sharon 教授

Madhuri Sharon 博士

印度孟买

(潘路军 译)

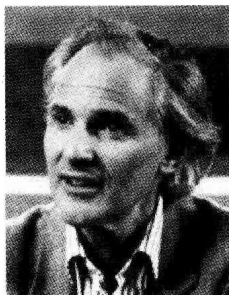
Foreword

When macroscopic amounts of the molecule C_{60} and other fullerenes suddenly became available in 1990 and it was possible to probe the chemistry and physics of this unique material, one of the most fascinating and surprising spin-offs was the discovery of the nanotubes, which are the elongated cousins of the fullerenes. The fullerenes and nanotubes have given rise to vast new areas of carbon materials research. Not only did the discoveries shed totally new light on the structure of carbonaceous materials on a nanoscale, but they have also opened up vast new vistas of advanced materials behavior.

Although some 20 years have now passed since the original discoveries and vast amounts of new knowledge have been learned, there is still an infinite amount that is still not understood, and the fascination with these materials is almost as great now as at first. Indeed, the amazing promise of these novel materials in advanced tensile properties, as well as electrical and magnetic behavior, has still to be realized.

This book contains an excellent range of chapters covering much of the present state of our knowledge, and it will undoubtedly catalyze new studies, resulting in the development of further new understanding of pure carbon atoms, an amazing materials science. The book covers areas of fundamental science as well as analytical techniques and applications.

The fascinating promise for biologic advances is also covered. The chapters in this compendium provide an ideal introduction to the field and give a clear overall understanding of the strategically exciting field of carbon nanoscale science.



Sir Harold W. Kroto
Nobel Laureate
Florida State University
Department of Chemistry & Biochemistry
Tallahassee, Florida 32306-4390
Tel: 850 644 8274
Email: kroto@chem.fsu.edu
Web: www.kroto.info or www.vega.org.uk

Preface

Nanotechnology has become one of the essential topics in research and developing technologies for their applications. Many universities around the world are initiating postgraduate courses leading to MTech, MSc, and PhD degrees in various areas related to nanotechnology. Scientists have been developing and working on nanomaterials of various types of metals, such as tungsten, colloidal gold, and silver, but among these materials, carbon nanomaterials (CNMs) appear to take a lead in their applications.

The important areas are synthesis, characterization, and application of CNMs. The application of CNMs as an electron field emitter is almost at the verge of being developed as a technology for flat-screen displays used in computers and other devices. Storage of hydrogen and the development of fuel cells and supercapacitors using CNMs are also becoming very promising areas; very soon they will also become reality in their application in developing electric-driven vehicles. Because carbon is biologically compatible, CNMs are attracting attention for their application in biotechnologic systems such as drug delivery, treatment of malignancy, purification of drinking water, and so on.

Thus, considering the applications of CNMs in various disciplines of science, they are very likely to become a major part of nanotechnology. The syllabi of many nanoscience courses leading to MSc, MTech, and PhD programs include CNMs in two to three course papers. Keeping this in mind, it was thought appropriate to write a book called *Carbon Nanoforms and Applications*.

The selection of writers for the book was done very carefully. All of the authors who have contributed their chapters for the book are scientists working in their areas for several years. They have detailed their experiences in their chapters.

The book starts with a description of various forms of CNMs and deals with the necessity of developing a new classification of carbon, discussing why nanoforms of carbon are found to possess p-type character even though they are intrinsically pure and why they show high reactivity compared with macrosized particles.

Synthesis of CNMs is an important part of this technology; hence, several chapters are devoted to discussing various techniques used for the synthesis of CNMs. Techniques that are normally adopted to characterize these materials have also been included. A few chapters are devoted to discussing the physicochemical applications of CNMs, with special emphasis on fuel cells, supercapacitors, hydrogen storage, microwave absorptions, electron field emission, and lithium batteries. Other chapters are devoted to the application of CNMs in biosystems. For example, there are chapters on treating malignancy, delivering drugs, and antimicrobial activity of nanocarbon. Other topics covered are carbon nanomaterials as a scaffold for tissue culture and the possible role of nanocarbon in neurodegenerative diseases.

Prof. Maheshwar Sharon
Dr. Madhuri Sharon
Mumbai, India

目 录

前言	ix
序言	xi

第一部分 碳的纳米形态

1 碳纳米世界简介	3
-----------------	---

第二部分 碳纳米材料的合成

2 电弧放电法制备碳纳米材料	29
3 化学气相沉积和碳纳米材料的制备	39
4 制备碳纳米材料的催化剂	63
5 脉冲激光沉积法制备碳纳米材料薄膜	75
6 热沉积法制备碳纳米材料薄膜	93
7 制备碳纳米材料的自然前躯体	101
8 废弃塑料作为制备碳纳米材料的前躯体	125

第三部分 碳纳米材料的特性

9 利用扫描电镜观测碳纳米材料的形貌特性	135
10 利用 X 射线衍射表征碳纳米材料特性	149
11 利用拉曼光谱表征碳纳米材料特性	163
12 纳米材料的新特性	175

第四部分 碳纳米材料的应用

13 碳纳米材料的场致发射	191
14 在燃料电池中用碳纳米材料作电极	209
15 双电层电容器和碳纳米材料	229
16 储氢碳纳米材料	247
17 碳纳米管在锂电池中的应用	267
18 碳材料太阳能电池	279
19 碳纳米材料的微波吸收	309
20 碳纳米传感器	323

第五部分 碳纳米材料在生物系统中的应用

21	生物系统和纳米技术.....	347
22	碳纳米材料在生物系统中的应用.....	357
23	碳纳米材料在治疗恶性肿瘤中的应用.....	379
24	碳纳米材料作为纳米注射器：即将实现的技术.....	405
25	碳纳米材料在抗菌中的作用.....	421
26	食品、化妆品和碳纳米技术.....	437
27	碳纳米管的毒性和生物兼容性.....	451
28	碳纳米管：组织再生用模架.....	469
29	碳纳米管：利用高功能纳米机器人对神经元进行连接从而加速神经 的再生来治疗神经组织退化的疾病.....	485
参考文献.....		501
索引.....		523

(潘路军 译)

Contents

Foreword	ix
Preface	xi

Part I Nanoforms of Carbon

1 Introduction to the Nanoworld of Carbon	3
---	---

Part II Synthesis of Carbon Nanomaterials

2 Synthesis of Carbon Nanomaterials with the Arc Discharge Method	29
3 Chemical Vapor Deposition and Synthesis of Carbon Nanomaterials	39
4 Catalysts for Synthesis of Carbon Nanotubes	63
5 Preparation of Thin-Film of Carbon Nanomaterial by Pulsed-Laser Deposition	75
6 Thermal Vapor Deposition for Thin Film of Carbon Nanomaterial	93
7 Natural Precursors for Synthesis of Carbon Nanomaterial	101
8 Waste Plastic as Precursors for Synthesizing Carbon Nanomaterials	125

Part III Characterization of Carbon Nanomaterials

9 Characterization of Carbon Nanomaterials by Scanning Electron Microscopy	135
10 Characterization of Nanomaterials by X-Ray Diffraction	149
11 Characterization of Carbon Nanomaterials by Raman Spectroscopy	163
12 Novel Characteristics of Nanocarbon	175

Part IV Applications of Carbon Nanomaterials

13	Electron Field Emission from Carbon Nanomaterials	191
14	Carbon Nanomaterial as an Electrode in Fuel Cells	209
15	Electric Double-Layer Capacitors and Carbon Nanomaterials	229
16	Hydrogen Storage by Carbon Nanomaterials	247
17	Application of Carbon Nanotubes in Lithium-Ion Batteries	267
18	Carbon Solar Cells	279
19	Absorption of Microwaves by Carbon Nanomaterials	309
20	Carbon Nanosensors	323

**Part V Applications of Carbon Nanomaterials
in Biosystems**

21	Biosystems and Nanotechnology	347
22	Applications of Carbon Nanomaterials in Biosystems	357
23	Contribution of Carbon Nanomaterial in Solving Malignancy	379
24	Carbon Nanomaterial as a Nanosyringe: A Near-Future Reality	405
25	Antimicrobial Effects of Carbon Nanomaterials	421
26	Food, Cosmetics, and Carbon Nanotechnology	437
27	Toxicity versus Biocompatibility of Carbon Nanotubes	451
28	Carbon Nanotubes: A Paradigm Scaffold Fabricating Tissues	469