

COMPREHENSIVE
NANOSCIENCE AND TECHNOLOGY

纳米科学与技术大全

3

纳米结构表面 Nanostructured Surfaces

David L. Andrews
Gregory D. Scholes
Gary P. Wiederrecht



原版引进



科学出版社

图字：01-2012-4158

This is an annotated version of

Comprehensive Nanoscience and Technology, Volume 3, Nanostructured Surfaces

By David L. Andrews, Gregory D. Scholes, Gary P. Wiederrecht.

ISBN: 9780123743909

Copyright © 2011 Elsevier B. V. All rights reserved.

Authorized English language reprint edition published by the Proprietor.

Printed in China by Science Press under special arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR, Macaw SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书简体中文版由 Elsevier (Singapore) Pte Ltd. 授权科学出版社在中国大陆地区（不包括香港、澳门特别行政区以及台湾地区）出版与发行。未经许可之出口，视为违反著作权法，将受法律之制裁。

图书在版编目(CIP)数据

纳米结构表面 = Nanostructured Surfaces: 导读版: 英文 / (英)

安德鲁斯 (Andrews, D.) 等编著. —北京: 科学出版社, 2012

(纳米科学与技术大全: 3)

ISBN 978-7-03-034658-2

I. ①纳… II. ①安… III. ①纳米技术—英文 IV. ①TB303

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 119183 号

责任编辑: 孙红梅 田慎鹏 / 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>

北京通州皇家印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 7 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2012 年 7 月第一次印刷 印张: 33 1/4

字数: 788 000

定价: 168.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《纳米科学与技术大全》导读版编委会

吴晓春	研究员	国家纳米科学中心
陈春英	研究员	国家纳米科学中心
郭延军	高级工程师	国家纳米科学中心
何 军	研究员	国家纳米科学中心
唐智勇	研究员	国家纳米科学中心

第三卷编者名单

Gary P. Wiederrecht

Center for Nanoscale Materials, Argonne National Laboratory, Argonne, IL, USA

John C. Polanyi

University of Toronto, Toronto, ON, Canada

Alexandre Bouhelier

Insitut Carnot de Bourgogne, Universite' de Bourgogne, Dijon, France

Teri W. Odom

Northwestern University, Evanston, IL, USA

导 读

纳米科学与技术是上世纪 90 年代以来最为引人注目的研究领域之一，纳米科学与技术与表面科学有着天然的联系，很多纳米科学的研究方向是表面科学的自然延伸，而对纳米尺度上的物理化学过程的深入认识，对表面科学也产生了深刻的影响。表面科学的建立可以追溯到 20 世纪上半叶 Langmuir 的年代，伴随着近代科学体系的建立，科学家们开始关注表面及界面的物理化学现象。表面科学的发展是与研究表面现象的方法与手段的进步密不可分的。近二十年来，科学技术的发展又使人们对表面现象有了更加深入的认识。今天的表面科学家们所掌握的手段，是二十年前的科学家们无法比拟的，无论是在理论上还是技术上都有长足的发展。在理论研究方面，人们对表面、界面现象的理解不断地深入，等离子激元、光子晶体等体系得到重视和深入研究，模拟计算也因计算机软硬件的飞速发展而逐渐成为与实验同等重要的研究手段。在表征手段方面，电子显微术、扫描探针技术、飞秒激光技术等重要的表面分析技术都在不断进步，表面的表征在空间分辨率、时间分辨率及能量分辨率等方面都在不断提高，科学家们得以越来越清晰地观察表面发生的过程。这些都对表面科学的发展起到了重要的促进作用。更加引人注目的是，纳米科学与技术的发展使表面科学家的研究拥有了在纳米尺度下控制表面组成和结构的工具。利用自上而下的加工方法，或是自下而上的组装可以可控地构建人工纳米结构表面。这样的人工纳米结构表面为研究者提供了理想的研究体系，在理论研究和应用研究领域都已经取得了很多激动人心的研究进展，纳米结构表面的科学与技术已经成为一个十分活跃的研究方向。

《纳米结构表面》是 Elsevier 出版集团于 2010 年底出版的五卷本丛书《纳米科学与技术大全》的第三卷。本卷分为 14 章，有重点、分专题地对纳米表面结构领域的重要问题进行了详细介绍。本卷的四位主编中，加拿大人 John C. Polanyi 是著名的物理化学家，在化学动力学领域做出了杰出的贡献，在 1986 年与 Dudley R. Herschbach 和李远哲一起共同获得诺贝尔化学奖。本卷另一位主编 Gary P. Wiederrecht 也是本套丛书的主编，是纳米光子学领域非常活跃的科学家，获得过 R&D100 大奖、美国总统青年学术奖 (PECASE) 等重要学术荣誉。本卷第三位主编是来自法国的 Alexandre Bouhelier，为现任美国光学学会 OSA 期刊 Optics Express 副主编。本卷的第四位主编 Teri W. Odom 是美国西北大学的年轻教授，也获得过 MIT Technology Review TR100 等重要学术荣誉。本卷的其他执笔人也都是活跃在科研最前沿的高水平学者。堪称豪华的编写阵容是本书质量和水平的保障。

全面但有所侧重是本书的一个重要特点。本书并非把与纳米结构表面相关的问题蜻蜓点水式地做面面俱到的讲解，而是有系统、有重点地选取近年来发展比较迅速的研究热点问题、学科间有共性的重要基本问题以及有广阔发展前景的重要应用问题进行专题阐述。

除 Polanyi 外，本卷另外的三位主编均为光学、光子学方面的专家，这也使得本卷在内容上更加偏重光与物质的相互作用以及纳米结构表面的光学现象及其理论与应用。本卷有将近一半的篇幅，第 3.05 至 3.09 章，以及 3.11 章都是介绍纳米结构表面上的光学现象，使得本书在这一方向上相对更加系统和全面。3.05 章和 3.06 章分别介绍了各种金属

纳米结构的光学性质和表面纳米光子学理论。这两章的内容是理解纳米表面上各种奇特的光学现象的基础。3.11 章也是偏重基础的一章,介绍表面纳米结构的非线性光学效应,重点介绍倍频效应这一最基本的非线性光学效应。3.07~3.09 章则向读者展示了纳米结构表面在光学方面的广阔应用前景。3.07 章展示了如何利用纳米结构的光学和电子学特性提高发光二极管这一重要器件的性能。3.08 章则带领读者进入一个新颖的领域,介绍液晶纳米结构光学超材料。而 3.09 章则介绍了表面增强拉曼光谱这一引人关注的表征方法。自表面增强拉曼散射现象在 20 世纪 70 年代被发现以来,就因其超高的检测灵敏度而受到广泛关注,随着纳米科学和表面科学的发展,科学家们逐渐揭开了表面增强效应的机理,而对表面纳米结构的精细控制是提高增强因子,解决方法的均匀性、稳定性问题的关键。

本卷的 3.01~3.04 章以及 3.14 章是偏重于表面化学的章节,其中 3.01 章介绍了纳米科学应用于催化这一传统领域的新进展,重点介绍了最常用的金属纳米材料——金纳米颗粒负载在其他材料表面后的催化作用。3.02~3.04 章都是关注于表面自组装这一重要现象的章节。对分子及纳米颗粒在表面的组装机理进行研究并在此基础上对组装行为进行控制是纳米科学的重要方向,是自下而上地构建纳米结构的基础。3.02 章重点关注分子在表面的自组装现象,而 3.03 章重点介绍生物分子参与的纳米颗粒的组装现象及其调控。3.04 章则关注手性分子在表面的行为,3.14 章详细介绍了纳米粒子的溶液化问题,即通过对纳米粒子表面的修饰使其能够均匀地在液相中稳定存在。这是很多纳米材料投入实际应用的技术基础。

3.10 章在本书中相对比较独立,介绍了高温超导这一极为重要的物理现象与表面纳米结构的联系。对于不从事超导研究的读者,这一章的内容可能会感到陌生,但无论是物理背景还是化学背景的读者,都会在这一章中找到与自己所熟悉的领域的联系。

本卷的 3.12 章和 3.13 章介绍了表面科学的一个重要分支——纳米摩擦学及其应用。其中 3.12 章由清华大学摩擦学国家重点实验室胡元中研究员和马天宝博士执笔,全面系统地介绍纳米摩擦学的原理及应用。而 3.13 章则更加侧重于应用,重点对碳材料固体润滑剂的表面研究进行了系统介绍。

如前面所提到的,本书并非面面俱到,还有一些重要的与纳米结构表面相关的方向没有涉及。例如表面纳米结构的自旋电子学,纳米结构生物相容性表面,自上而下——自下而上相结合的表面纳米结构制备方法等。其中一些方向在本套丛书的另外几卷中有所涉及。这与纳米科学的学科交叉特点相关,纳米科学与技术已经渗透到现代科学研究的方方面面,纳米结构表面也不断地在一个又一个领域显示出重要性,开启一个又一个新的研究方向。这使得要在一本书中毫无遗漏地把所有纳米结构表面相关的重要问题全部讲清楚、讲透彻几乎成了不可能完成的任务。但是,纳米结构表面的物理与化学研究有着内在的联系和规律,从事纳米及表面相关科学与技术研究的人员,不论具体从事哪个方向,都可以通过阅读本书获得收获。

本书的另一特点是注重理论,条理清晰,深度适中。虽然本书作者众多,但总体上风格比较统一,各章节都很重视基本理论的介绍和讲解。本书面向的对象主要是从事纳米科学技术研究的科研人员和研究生,而学科交叉是纳米研究的重要特点。从事纳米研究的研

究人员和研究生来自物理、化学、材料、电子、生物等众多领域，知识背景不尽相同，而在研究中，往往要学习并理解自己原来所学学科之外的知识。最新的学科进展需要跟踪最新的期刊文献，而如果希望尽快对一个方向有比较全面深入的了解，阅读学术专著是一个比较好的选择。在这一点上，本书的定位是明确、成功的。

本书成书于 2010 年底，所引用的文献截止至 2009 年，反映了本世纪前 10 年纳米结构表面研究的最新研究进展。本书定位明确，注重原理的讲解，在可预见的将来，纳米科学的快速发展并不会使本书的价值有所衰减，本书的内容将会具有长久的价值。

郭廷军
国家纳米科学中心

主 编 简 介

David Andrews 是东英吉利亚大学化学物理教授，他领导的理论小组在基础光子学、荧光、能量输运、非线性光学和光机械力方面进行了广泛的研究。他发表了 250 篇研究论文和 10 本以他的名字出版的其他书籍，他经常应邀在国际会议上做报告。在北美和欧洲，他先后组织并主持了许多有关纳米科学和技术的国际会议。Andrews 教授是英国皇家化学学会（RSC）、物理研究所以及光学和光子学国际工程学会（SPIE）的成员。在业余时间，他很享受与家人朋友一起相处，他也是一个热衷于英国风景的画家。他的其他兴趣主要有音乐、绘画艺术和写作。

Greg Scholes 是多伦多大学化学系教授。他目前的研究集中在利用合成、理论和超快激光光谱学阐明决定纳米体系电子结构、光学性质和光物理性质的内在机制。基于他的突出贡献，2009 年入选加拿大皇家学会科学院，2007 年荣获加拿大皇家学会化学卢瑟福（Rutherford）奖章，2007 年获得国家自然科学基金（NSERC）Steacie 基金，2006 年获得加拿大化学学会 Keith Laidler 基金以及 Alfred P. Sloan 基金（2005～2006 年）。Scholes 博士现任物理化学杂志的资深主编和纳米光子学杂志副主编。他喜欢篮球、远足、摄影，喜欢和家人朋友相处。

Gary Wiederrecht 是阿贡国家实验室纳米材料中心的纳米光子学小组组长。他的研究兴趣集中在纳米粒子及其周期性组装体的光化学和光物理、杂化纳米结构、光化学能量转换以及光致电荷分离引起的非线性光学响应。在实验技术上，他擅长超快光谱和扫描探针显微技术，包括近场光学显微技术。他获得了能源部青年科学家 R&D100 奖和青年科学家和工程师总统奖。他撰写或合作撰写了约 80 篇同行评审的研究论文，并与世界多国的科学家都有合作研究。他喜欢旅游、自然，喜欢与家人相处。

（吴晓春 译）

序 言

在纳米尺度可控构建表面结构的能力，在众多学科引发了数不清的新发现。本卷重点介绍了其中具有代表性的研究进展，涵盖从纳米结构金属表面上光与物质的相互作用，到通过表面及溶液分子自组装形成的纳米尺度图案控制表面摩擦的广泛内容。

作为例子，在表面等离子激元研究领域，利用金属纳米结构可以在纳米尺度对光的行为进行调控，纳米加工手段的进步促进了该领域的发展。表面等离子激元对界面十分敏感，因此可控地设计并加工金属表面的能力对于调制表面等离子激元响应是至关重要的。本书用了几章的篇幅从理论及实验方法上概述了如何控制表面等离子激元以及基于这种控制的实际应用。Schatz 及合作者撰写的章节（3.06 章）介绍了模拟纳米结构表面光学响应的常用近似计算方法，由简单到复杂地介绍了从单个孤立的纳米孔到纳米孔阵列的电磁性质和行为。Wurtz 等人撰写的章节（3.05 章）展示了怎样通过精细的周期结构改变表面等离激元的性质，以及怎样通过非线性效应及外部电学控制主动地动态调控等离子激元。Duyne 和合作者（3.09 章），以及 Diaz 和 Khoo（3.08 章）分别讨论了表面上图案化的金属纳米颗粒的两项应用——成为理想的表面增强拉曼散射（SERS）基底，以及成为用于调控液晶光学性质的平台。

Brevet 撰写的章节（3.11 章）重点介绍非线性光学现象，全面地综述了纳米结构的倍频效应。特别是金属纳米颗粒在产生表面二次谐波时会产生共振增强及延迟效应。在这些基础性章节之外，De La Rue 及合作者撰写的章节（3.07 章）关注于纳米结构表面在器件方面的应用，重点介绍了发光二极管及在提高其光提取效率方面所面临的源于社会及经济因素的挑战。作者描述了怎样利用光子晶体增强光发射，从而制造可低成本大批量生产的更亮的光源。

除了上述讲述纳米结构表面光与物质相互作用的章节，本书其余章节重点讲述由自组装或材料的内禀性质形成的特征尺度小于 100nm 的图形化表面。Baddeley 和 Held 撰写的章节（3.04 章）重点介绍手性纳米材料的组装，而 Luo 及其合作者撰写的章节（3.03 章）则重点介绍生物介导的组装。纳米结构表面的表征也是同等重要的，Hu 和 Ma（3.12 章），以及 Ohmae（3.13 章）介绍了纳米结构表面的摩擦学性质。Rao 等人（3.14 章）撰写的章节十分详细地综述了如何在有机及无机纳米结构表面修饰组装分子，这样的修饰组装对纳米材料的溶液化十分重要，有十分广泛的应用。这些工作是很多纳米结构应用及产生新现象的基础。

Alexandre Bouhelier and Teri W. Odom

（郭延军 译）

前 言

纳米技术及其基础科学正以前所未有的速度发展。随着一系列纳米制造和操纵技术的发展，纳米科技正逐渐成熟为一个既能产生新的科学研究又能带来广泛商业应用的充满活力的领域，每年市场价值达万亿美元。在纳米尺度上制造和控制物质为探索量子、纳米光子以及纳米机电效应等奇特现象提供了前所未有的机遇。此外，因纳米材料将描述分子和宏观物质截然不同的理论联系起来，研究人员由此提出了许多关于物质电子和光学性质的新观点。表面现象的重要性越来越显著。在纳米尺度上，熟知的化学活性和比表面积之间的关系成为决定物理性质的主要因素。

在此背景下，这本旨在满足对一个动态的、权威的、容易获得信息来源且涵盖内容广泛的综合性著作问世了。全书共分五卷，包括材料科学、化学、物理学和生命科学等一系列学科，由国际专家组成的优秀团队进行撰写和编辑。针对广大的跨学科读者，每章旨在以权威、易读且客观的方式为跨学科领域的科学家和科技人员进入该领域提供不可或缺的入门切入点。本书从合成、结构和应用方面集中介绍了主要的纳米材料，对结构完整、综合性较强且广泛交叉引用的文章中的纳米材料和相关技术进行了综述。

随着纳米科技工作者数量的迅速攀升，有诸多受人高度尊敬的作者乐于为此书做出贡献，这给我们带来了不断的惊喜。此书是对现有文献的重要补充，作者们在精心准备每一个章节的同时抓住了本领域的兴奋点。在此谨对辛苦细致工作的各卷编辑、所有编写者及他们的如期完稿致以诚挚的感谢。最后，我们对参与这个项目的众多 Elsevier 工作人员的职业技能和敬业精神表示诚挚的感谢和赞赏，特别感谢 Fiona Geraghty、Megan Palmer、Laura Jackson、Greg Harris，尤其是 Donna De Weerd-Wilson 自始至终的督导。我们很喜欢与他们一起工作，彼此之间合作也很愉快。

David L. Andrews
Gregory D. Scholes
Gary P. Wiederrecht

(吴晓春 译)

Editors-in-Chief Biographies

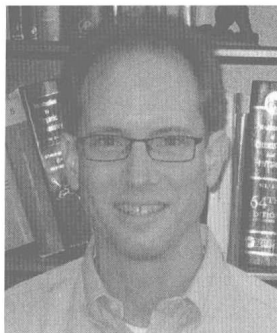


David Andrews is Professor of Chemical Physics at the University of East Anglia, where he leads a theory group conducting wide-ranging research on fundamental photonics, fluorescence and energy transport, nonlinear optics and optomechanical forces. He has 250 research papers and ten other books to his name, and he is a regularly invited speaker at international meetings. In North America and Europe he has organized and chaired numerous international conferences on nanoscience and technology. Professor Andrews is a Fellow of the Royal Society of Chemistry, the Institute of Physics, and the SPIE – the international society for optics and photonics. In his spare time he enjoys relaxing with family and friends; he also is a keen painter of the British landscape. His other interests generally centre on music, art and graphics, and writing.



Greg Scholes is a Professor at the University of Toronto in the Department of Chemistry. His present research focuses on elucidating the principles deciding electronic structure, optical properties, and photophysics of nanoscale systems by combining synthesis, theory, and ultrafast laser spectroscopy. Recent awards honoring his research achievements include election to the Academy of Sciences, Royal Society of Canada in 2009, the 2007 Royal Society of Canada Rutherford Medal in Chemistry, a 2007 NSERC Steacie Fellowship, the 2006

Canadian Society of Chemistry Keith Laidler Award, and an Alfred P. Sloan Fellowship (2005–2006). Dr. Scholes serves as a Senior Editor for the *Journal of Physical Chemistry* and Associate Editor for the *Journal of Nanophotonics*. He enjoys basketball, hiking, photography, family and friends.



Gary Wiederrecht is the Group Leader of the Nanophotonics Group in the Center for Nanoscale Materials at Argonne National Laboratory. His research interests center on the photochemistry and photophysics of nanoparticles and periodic assemblies, hybrid nanostructures, photochemical energy conversion, and non-linear optical responses resulting from photoinduced charge separation. His experimental expertise is in the areas of ultrafast optical spectroscopy and scanning probe microscopy, including near-field scanning optical microscopy. He has received an R&D100 award, the Department of Energy Young Scientist Award, and the Presidential Early Career Award for Scientists and Engineers. He has authored or co-authored approximately 80 peer-reviewed research articles, and works collaboratively with scientists around the world. He enjoys traveling, nature, and spending time with his family.

VOLUME EDITORS

Alexandre Bouhelier

Institut Carnot de Bourgogne, Université de Bourgogne,
Dijon, France

Frank Caruso

The University of Melbourne, Parkville, VIC, Australia

Duncan H. Gregory

University of Glasgow, Glasgow, UK

Brent P. Kreuger

Hope College, Holland, MI, USA

Thomas Nann

University of East Anglia, Norwich, UK

Teri W. Odom

Northwestern University, Evanston, IL, USA

John C. Polanyi

University of Toronto, Toronto, ON, Canada

John A. Rogers

University of Illinois, Urbana, IL, USA

Takao Someya

The University of Tokyo, Tokyo, Japan

Yugang Sun

Center for Nanoscale Materials, Argonne National Laboratory,
Argonne, IL, USA

Rienk Van Grondelle

VU University, Amsterdam, The Netherlands

Zeev Valentine Vardeny

University of Utah, Salt Lake City, UT, USA

Gilbert C. Walker

University of Toronto, Toronto, ON, Canada

List of Contributors to Volume 3

C. J. Baddeley

University of St. Andrews, St. Andrews, UK

J. M. Bingham

Northwestern University, Evanston, IL, USA

P.-F. Brevet

Université Claude Bernard Lyon 1, Villeurbanne, France

M. J. Campolongo

Cornell University, Ithaca, NY, USA

X. Chen

Queensland University of Technology, Brisbane, QLD, Australia

W. L. Cheng

Cornell University, Ithaca, NY, USA

R. M. De La Rue

University of Glasgow, Glasgow, UK

S. A. De La Rue

University of Glasgow, Glasgow, UK

A. Diaz

The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA

A. Ghosh

Jawaharlal Nebru Centre for Advanced Scientific Research, Bangalore, India

A. Gomathi

Jawaharlal Nebru Centre for Advanced Scientific Research, Bangalore, India

S. K. Gray

Argonne National Laboratory, Argonne, IL, USA

M. R. Hartman

Cornell University, Ithaca, NY, USA

G. Held

University of Reading, Reading, UK

Y.-Z. Hu

Tsinghua University, Beijing, People's Republic of China

J. S. Kahn

Cornell University, Ithaca, NY, USA

I. C. Khoo

The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA

K. M. Kosuda

Northwestern University, Evanston, IL, USA

D. Luo

Cornell University, Ithaca, NY, USA

T.-B. Ma

Tsinghua University, Beijing, People's Republic of China

J. M. MacLeod

Università degli studi di Trieste, Trieste, Italy

K. Matsumoto

Kyushu Institute of Technology, Kitakyushu, Japan

J. M. McMahon

Northwestern University, Evanston, IL, USA

P. Mele

Kyushu Institute of Technology, Kitakyushu, Japan

X. Obradors

Institut de Ciència de Materials de Barcelona, CSIC, Bellaterra, Spain

N. Ohmae

Kobe University, Kobe, Japan

A. Palau

Institut de Ciència de Materials de Barcelona, CSIC, Bellaterra, Spain

R. J. Pollard

The Queen's University of Belfast, Belfast, Northern Ireland, UK

A. Pomar

Institut de Ciència de Materials de Barcelona, CSIC, Bellaterra, Spain

T. Puig

Institut de Ciència de Materials de Barcelona, CSIC, Bellaterra, Spain

F. Rahman

University of Glasgow, Glasgow, UK

C. N. R. Rao

Jawaharlal Nehru Centre for Advanced Scientific Research, Bangalore, India

F. Rosei

Université du Québec, Varennes, QC, Canada

F. Sandiumenge

Institut de Ciència de Materials de Barcelona, CSIC, Bellaterra, Spain

G. C. Schatz

Northwestern University, Evanston, IL, USA

S. J. Tan

Cornell University, Ithaca, NY, USA

R. P. Van Duyne

Northwestern University, Evanston, IL, USA

G. A. Wurtz

University of North Florida, Jacksonville, FL, USA

K. L. Wustholz

Northwestern University, Evanston, IL, USA

A. V. Zayats

The Queen's University of Belfast, Belfast, Northern Ireland, UK

H. Zhu

Queensland University of Technology, Brisbane, QLD, Australia

Contents of All Volumes

Volume 1

Nanomaterials

- 1.01 Electronic Structure of Organic Materials Investigated by Quantum Chemical Calculations
- 1.02 Carbon Nanotubes: Electronic Structure and Spectroscopy
- 1.03 Laser Action in Organic Semiconductors
- 1.04 An Overview of Organic Light-Emitting Diodes and their Applications
- 1.05 Organic Spintronics
- 1.06 Structured Organic Non-Linear Optics
- 1.07 Quantum Dots: Theory
- 1.08 Quantum Dots: Synthesis and Characterization
- 1.09 Core-Shell Nanocrystals
- 1.10 Inorganic Nanowires
- 1.11 Inorganic Nanotubes beyond Cylindrical Matter
- 1.12 ZnO Nanorods and their Heterostructures for Electrical and Optical Nanodevice Applications
- 1.13 Noble Metal Nanoparticles: Synthesis and Optical Properties
- 1.14 Magnetic Nanoparticles
- 1.15 Colloidal and Self-Assembled Quantum Dots for Optical Gain
- 1.16 Optical Properties of Nanostructured Silicon
- 1.17 Solar Cells and Photocatalysts
- 1.18 Rare-Earth Doped Upconversion Nanophosphors

Volume 2

Biological Nanoscience

- 2.01 Nanoparticles for Photodynamic Therapy
- 2.02 Energy Transfer in Photosynthetic Light-Harvesting Complexes: From Spectroscopy to Quantitative Models
- 2.03 Photonic Nanoparticles for Cellular and Tissular Labeling
- 2.04 DNA-Conjugated Nanomaterials for Bioanalysis
- 2.05 Förster Resonance Energy Transfer
- 2.06 Chemistry and Materials Development of Protein-Based Nanoparticles
- 2.07 Tissue Engineering
- 2.08 Engineering Biomimetic Membranes with Hydrogels
- 2.09 Protein Nanomechanics
- 2.10 Biological Imaging Using Near-Field Scanning Optical Microscopy
- 2.11 Single-Molecule and Nanoscale Approaches to Biological Signaling
- 2.12 Solar Energy Conversion – Natural to Artificial