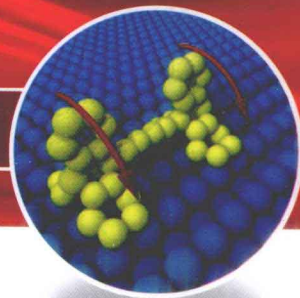




· 导读版 ·

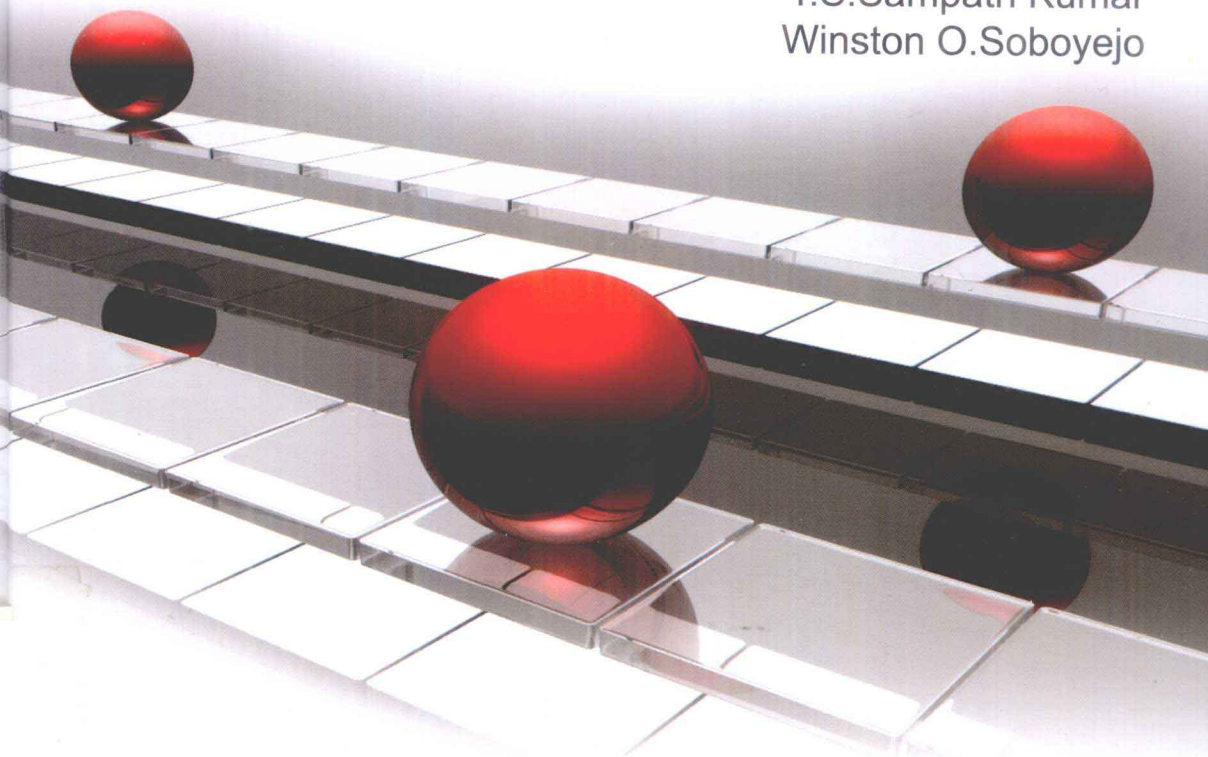
材料科学与应用进展



Biomaterials
A Nano Approach

生物材料 纳米方法

Seeram Ramakrishna
Murugan Ramalingam
T.S.Sampath Kumar
Winston O.Soboyejo



材料科学与应用进展

Biomaterials

A Nano Approach

生物材料

纳米方法

Seeram Ramakrishna

Murugan Ramalingam

T. S. Sampath Kumar

Winston O. Soboyejo



科学出版社

北京

图字:01-2011-5018 号

This is an annotated version of

Biomaterials: A Nano Approach

by Seeram Ramakrishna, Murugan Ramalingam, T. S. Sampath Kumar, Winston O. Soboyejo

ISBN: 978-1-4200-4781-3

Copyright © 2010 by CRC Press

All rights reserved. Authorized Licensed Edition from English language edition published by CRC Press, Part of Taylor and Francis Group LLC.

No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopy, recording, or any information storage and retrieval system, without permission in writing from the publisher.

Licensed for sale in the Mainland of China only, booksellers found selling this title outside the Mainland of China will be liable to prosecution

本授权版本图书仅可在中国大陆范围内销售, 中国大陆范围以外销售者将受到法律起诉

Copies of this book sold without a Taylor and Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal

本书封面贴有 Taylor and Francis 公司防伪标签, 无标签者不得销售

图书在版编目(CIP)数据

生物材料: 纳米方法 = Biomaterials: A Nano Approach: 英文 / (新加坡) 罗摩克里希 (Ramakrishna, S.) 等编著. — 北京: 科学出版社, 2012

(材料科学与应用进展)

ISBN 978-7-03-032735-2

I. ①生… II. ①罗… III. ①生物材料-研究-英文 IV. ①Q81

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 230954 号

责任编辑: 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>

北京佳信达欣艺术印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 1 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2012 年 1 月第一次印刷 印张: 25 3/4

字数: 500 000

定价: 128.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

导 读

进入 21 世纪, 纳米技术的蓬勃发展将生物材料领域的研究带入了一个更微观的尺度, 从原子水平、纳米尺度对细胞器、骨、牙等生物组织结构及生物材料进行研究。具有交叉学科特色的纳米生物材料研究领域应运而生, 并从无活性的第一代纳米生物材料, 快速发展到最新一代的纳米系统及集成纳米系统阶段。新一代的纳米生物材料还将不断诞生, 其不断发展和完善必将会显著地提高人类的生活品质, 延长人类的寿命。

该书涵盖内容包括最基础的生物材料概述、人体生物学基础, 以及最新的纳米生物材料及组织再生应用研究, 主要系统地介绍了生物材料的发展历史、当前现状和未来发展趋势, 用大量的图、表讲述了生物材料的腐蚀和降解特性、生物材料的生物力学特性、纳米现象与纳米技术、各类生物材料及再生医学应用等, 以大量最新的研究案例来突出纳米生物材料的重要性和潜在的应用价值, 并用纳米生物材料的概念整合材料科学与工程、纳米技术、生物工程和生物科学。该书共分 10 章, 每章都进行了清晰而深入的讨论。其中前 5 章为概述性讲解, 第 1 章涉及生物材料发展历史及其最新进展; 第 2 章涉及人体解剖学和生理学的基础知识; 第 3 章讨论了生物材料的生物力学问题; 第 4 章介绍了生物材料存在的问题及各种生物系统; 第 5 章针对纳米现象及纳米生物材料在生物医学领域应用非常重要的安全因素等进行了探讨。从第 6 章开始, 该书对各类纳米生物材料及相关应用案例进行了系统的总结和深入阐释。第 6 章讲解各种不同的金属材料及其分类, 重点讲述金属类生物材料生物医学应用的特殊制备技术及其应用潜力; 第 7 章讲解生物陶瓷材料及其制备和表征技术, 重点讲述各种具有纳米结构的生物陶瓷的制备、表征及体外、体内实验结果; 第 8 章讲解非降解的和可降解的聚合生物材料及其合成和表征技术, 重点阐述聚合纳米纤维制备方法、纳米纤维聚合物支架的制备方法; 第 9 章讲解复合材料及其细胞生物学行为, 重点讲述纳米生物材料—纳米复合生物材料及其传统、仿生的制备方法; 第 10 章讲解组织工程应用中的纳米材料及其适用性, 重点讲述组织工程细胞来源、支架系统以及细胞与支架的相互作用关系。

该书以教科书的体例编写, 非常适合作为高等院校相关专业如材料科学与工程、生物工程、生物材料、纳米技术、生物医学工程、药学和口腔医学等专业或

领域的教材，同时其研究案例独特，且包含最新数据的图表编排，并提供延伸阅读，使该书对从事上述专业或领域科研人员和开发人员也会产生极大的吸引力。

魏世成 博士、教授

北京大学前沿交叉学科研究院生物医用材料与组织工程研究中心

北京大学口腔医学院交叉学科实验室生物材料与器械研究中心

序

进入纳米技术时代，生物材料领域正不断地创造新产品来减轻人类的苦难，因而正在发展成为最有前景的领域之一。生物材料领域的相关报道已屡见不鲜，纳米技术与生物技术的融合和显著的进步，给生物材料领域注入了新的活力，其中包括由组织再生催生的新一代生物材料的发展。另外一个崭新的方向是设计纳米材料，用于制备药物胶囊、定位病灶、传递小分子质量到大分子质量的药物至特定的组织部位，这将极大地有利于癌症的攻克以及其他疾病的治愈。

尽管目前有很多生物材料教科书籍仍然值得阅读，其中的一些书籍在过去的数十年里已推出了多个版本，但是这些书中还没有一本书重点强调新兴纳米技术的研究成果。在生物材料应用领域，纳米技术应用的推动力是纳米生物材料在尺度上与生物体的组织结构（从蛋白质到细胞及细胞结构）相似。本书对生物材料进行了综合的讨论，科学合理地推断纳米技术可能发挥的重大作用。本书的主题是试图带动新的研究（由生物材料领域专家来撰写），激发人们更多地关注纳米生物材料的研究，而不是简单地介绍纳米生物材料。我相信有了他们的辛勤付出，拥有巨大潜能的纳米技术将会开启一个令人兴奋的崭新的纳米生物材料领域，该领域的产生不仅是为了实现对生物系统有目标的修复和重建，更是为了促进科学和技术的进步。

塞丽娜·M. 贝斯特

剑桥医用材料中心

英国剑桥大学

材料科学杂志《医学材料》编辑

(李秋鸿 译)

前 言

生物材料是一门蓬勃发展、要求严格的学科。众所周知，微米级尺度的特性在生物材料与周围环境相互作用以及成功应用方面扮演了非常重要的角色。最新的研究表明，生物材料的纳米级尺度特性，与其微米级的尺度相比，在增强生物材料的性能方面起到了非常重要的作用，因此，未来的生物材料将会利用纳米科学与技术来有效调节细胞微环境。本书以一个涉及多学科的主题，详尽地阐释了纳米生物材料的基本概念和各种合成方法，包括纳米生物材料的制备以及表征技术。本书一开始概述了生物材料发展的历史和现阶段的进展，这对于初学者来说是很有用的。生物材料领域的最新进展之一，就是利用纳米技术来获得功能有所改善的先进生物材料，因此本书的主旨就是要介绍纳米技术的基本概念，以及如何应用纳米技术制备新型的纳米生物材料。本书详尽地介绍了纳米尺度的金属及合金材料、生物陶瓷材料、聚合生物材料以及复合生物材料，这些材料因具有众多的优良特性而被广泛应用于生物医学领域，因此本书将会填补纳米技术、材料科学和生物医学科学之间的空隙。除了合成纳米材料的传统方法外，本书还以详尽的案例全面地介绍了应用广泛的生物仿生和组织工程纳米材料的最新进展，还对由于纳米特性而在细胞—生物材料和组织—植入物界面上发生的分子水平的现象进行了更详细的介绍。

本书共 10 章。为了满足各种需要，每章都有清晰和深入的讨论。第 1 章概述了生物材料的发展历史及其最新进展。第 2 章对人体解剖学和生理学的基础知识介绍，能够帮助非生物专业的研究人员了解人体细胞、组织、器官及人体系统的组成。这章还以适当的体内和体外实验案例讨论生物材料引起的生物学反应。第 3 章讨论了生物材料的力学问题，特别论述细胞和组织的力学形变。第 4 章介绍了生物材料存在的问题及各种生物系统，重点介绍生物材料的断裂、韧性、疲劳、磨损及其摩擦学。第 5 章深入地阐释了纳米现象以及目前在生物医学领域非常重要的具有纳米结构的生物材料，对纳米材料的安全因素以及环境因素也做了简要探讨。第 6 章讨论了各种不同的金属材料及其分类，以及针对生物医学应用的特殊制备技术。这章还讨论了能改善材料的生物学性能，具有纳米结构的金属材料的应用潜力。第 7 章介绍了一系列的生物陶瓷材料及其制备和表征技术。重点介绍了各种具有纳米结构的生物陶瓷的制备、表征及体外、体内实验结果。第 8 章介绍了不可降解的和可降解的聚合生物材料及其合成和表征技术。该章还以适当的案例重点阐述了聚合纳米纤维目前的制备方法，介绍了有着生物学和生物医学用途的纳米纤维聚合物支架的制备方法。第 9 章讨论复合材料及其细胞生物

学行为。该章还介绍了一类新兴的纳米生物材料——纳米复合生物材料及其传统、仿生的制备方法。第 10 章讨论了组织工程应用中的纳米材料及其适用性。该章详尽描述了组织工程的基本概念及其重要性、细胞来源、支架系统以及细胞与支架的相互作用。总的来说，本书为读者提供了一个便于理解生物材料，特别是应用于人体健康保健的纳米生物材料的历史、现在和未来趋势的框架，所以本书可作为一本独立的教科书，供生物材料及纳米生物材料专业的学生和研究人员参考。我们希望您在阅读本书时得到愉快的享受。

Seeram Ramakrishna
Murugan Ramalingam
T. S. Sampath Kumar
Winston O. Soboyejo

(李秋鸿 译)

致 谢

本书作者真诚感谢以下单位或部门同行和学生们的支持和鼓励：新加坡国立大学纳米科学与纳米技术研究院纳米生物工程实验室、美国佛罗里达大学纳米科学技术中心、印度理工学院冶金与材料工程系和美国普林斯顿大学材料科学技术学院，以及我们的朋友及家人。我们还要感谢英国剑桥大学医用材料中心的塞丽娜·M. 贝斯特、美国杜克大学的 Kam W. Leong、以色列理工学院的 Alexander L. Yarin、美国佛罗里达大学纳米科学技术中心的 James J. Hickman 和 Peter Molnar、美国国家标准与技术研究院的 Marcus Cicerone、中国同济大学工程力学系的黄争鸣、新加坡国立大学的 S. H. Teoh、德国慕尼黑工业大学的 E. Wintermantel、美国哈佛大学药学院的 V. Renugopalakrishnan、美国 spark 生物技术的 K. Pandurangao Rao、印度中央皮革研究院的 Suseela Rajkumar、新加坡国立大学的 Susan Liao，以上各位参与讨论了本书的不同主题，并为本书改进提高提出了不少宝贵的建议。匿名审稿人也对本书提出了很多不错的意见，在此作者要特别感谢他们。

我们的出版商 CRC 出版社对我们的工作给予了极大的支持和耐心。我们要特别感谢 CRC 出版社的编辑人员，特别是《材料科学与化学工程》的编辑 Allison Taub，以及修订文本格式、表达风格的项目协调员 Cathy Giacari。我们希望在此正式感谢在本书文本和图表中标注的所有的出版商及作者，感谢他们允许我们在本书中使用这些资料。以上的列表并不完整，对未被提及者我们深表歉意。

(李秋鸿 译)

关于本书

对本书的描述

这是一本教科书，提供了全面的简介、基本概念、各种合成或制备方法，以及完善的表征技术、纳米生物材料的潜在应用。对生物材料及纳米生物材料领域的学生、研究人员和企业家，本书是一本理想的手册。

特点

- 一本全面讲解生物材料历史、现在和未来发展趋势的教科书。
- 涵盖纳米生物材料及其潜在应用。
- 一系列的研究案例证实了纳米生物材料的重要作用。
- 写作方式通俗易懂，含有 100 多张插图，主要是针对刚刚毕业的学生以及中级研究员。
- 包含最新数据的图表。
- 用纳米生物材料的概念整合材料科学与工程、纳米技术、生物工程和生物科学。

目录列表

- 第 1 章 生物材料概述
- 第 2 章 人体生物学基础
- 第 3 章 生物材料的降解和腐蚀
- 第 4 章 生物材料的摩擦学和植入失败
- 第 5 章 纳米现象
- 第 6 章 金属生物材料
- 第 7 章 陶瓷生物材料
- 第 8 章 聚合生物材料
- 第 9 章 复合生物材料
- 第 10 章 应用于组织再生的纳米生物材料
- 术语表
- 练习（每章末尾）
- 参考文献（每章末尾）

读者

1. 材料科学与工程、生物工程、生物材料、纳米技术、生物医学工程、药学和牙科学的高年级本科生和研究生。
2. 材料科学与工程、生物工程、生物材料、纳米技术、生物医学工程、整

形外科和牙科学的大学教师和研究员。

3. 研究开发人员，如生物医学、制药、生物纳米技术企业家。

适用课程

1. 生物材料
2. 纳米生物材料
3. 材料制备技术
4. 纳米技术
5. 组织工程
6. 生物工程
7. 生物医学工程
8. 整形外科

Seeram Ramakrishna
新加坡国立大学

Murugan Ramalingam
美国佛罗里达大学

T. S. Sampath Kumar
印度马德拉斯理工学院

Winston O. Soboyejo
美国普林斯顿大学

(李秋鸿 译)

作 者

Seeram Ramakrishna 博士是新加坡国立大学机械工程与生物工程专业教授，他还是新加坡国立大学的副校长（研究策略），新加坡国立大学纳米科学与纳米技术研究院的创始人。他目前的研究兴趣包括生物材料、组织工程和纳米技术。他正投身于材料科学、制造技术和纳米生物材料的设计，挖掘其在人类卫生保健方面的潜能。他的研究成果已刊登在 400 多种出版物上。ISI 基本科学指数 (ESI) 根据引用情况把他列为世界上最顶尖的 110 名材料科学家之一。他的研究成果包括许多同行评阅的杂志出版物、书本章节、书籍和专利。他是 15 个国际杂志董事会成员，同时还是生物医学公司——Stem Life 和 Biomers International 的科学顾问董事会成员。

Murugan Ramalingam 博士是日本东北大学原子分子材料科学高等研究机构生物材料与组织工程学助理教授。在加入 WPI 之前，他曾工作于美国国家标准技术研究所、美国盖瑟斯堡、美国科学研究委员会，参与了美国国家研究委员会联合国家卫生研究所/NIST 项目。他的主要研究兴趣是多相生物材料的发展，包括利用从传统方法到仿生、组织工程的方法。他发表了很多同行评阅的文章，参与写作了很多书籍的某些章节，并申请了很多与微米/纳米生物材料与组织工程相关的专利。

T. S. Sampath Kumar 博士是印度马德拉斯理工学院冶金与材料工程专业教授。他的研究兴趣包括纳米生物陶瓷、功能降解生物材料、新型陶瓷涂层、陶瓷基药物传递系统。他现在是印度生物材料与人工器官协会的秘书。他还是印度生物材料与人工器官协会杂志《印度生物材料与人工器官的趋势》副主编（2002—2005），自 1991 年到现在一直在该编辑部工作。他出版了 3 期杂志，同时作为特邀编委出版了一期《印度金属协会学报》。

Winston O. Soboyejo 博士 1985 年在英国伦敦国王学院获得机械工程理学学士，1988 年在剑桥大学获得材料科学博士学位。1988 年至 1992 年在道格拉斯公司研究实验室担任研发科学家。他在爱迪生焊接研究院做过短期首席研究工程师，之后他在 1992 年加入俄亥俄州立大学材料科学与工程系。1997—1998 年在麻省理工学院机械工程与材料科学与工程系做“访问马丁路德金副教授”。1999 年，他去了普林斯顿大学担任机械与航空宇宙工程学教授，同时还是普林斯顿材

料科学与技术研究院的教职工。他获得了国家青年研究者奖（美国国家科学基金会和美国海军研究局），以及颁发给材料科学青年教师的 Bradley Stoughton 奖。Soboyejo 教授是 ASME 和尼日利亚科学院的会员。他已经发表了 250 篇杂志文章，撰写一本名为《工程材料的机械性质》的教科书。他最近还写了有关先进结构材料的文章，编辑了 18 期杂志与会刊的特刊。

（李秋鸿 译）

Foreword

As we enter the era of nanotechnology, the field of biomaterials is becoming one of the most promising areas with assured novel products to alleviate the pain and suffering of mankind. Even though activity in this field is not new, there is currently fresh energy in this subject brought about by the convergence and remarkable advances in nanotechnology and biotechnology. This includes the development of the next generation of biomaterials by the so-called tissue regeneration approach. Another upcoming strategy is to design nanomaterials to encapsulate, target, and deliver from small molecules to large molecules to a specific tissue site, which could contribute immensely to the eradication of cancer morbidity or the cure of other diseases.

Although many well-known textbooks on biomaterials are currently available, some with multiple editors and editions over several decades, none of these books seem to address to a significant extent the outcome of the emerging nanotechnology. The driving force for the exploitation of nanotechnology in biomaterial applications is the similarity of the length scale in the biological structures, which range from proteins to cells and cellular structure. *Biomaterials: A Nano Approach* provides a comprehensive discussion on biomaterials and scientifically plausible extrapolation to likely occurrences of situations where nanotechnology could play a significant role. The subject matter of the book, written by experts in the field of biomaterials, is intended to stimulate new research investigations and to inspire a much greater appreciation for the need to investigate nanobiomaterials rather than just exposure. I am sure that their efforts, combined with emerging capabilities in nanotechnology, shall define an exciting new field of nanobiomaterials that not only targets repair and reconstruction of biological systems, but also science and technology in general.

Serena M. Best
Cambridge Center for Medical Materials
University of Cambridge, U.K.
Editor, Journal of Materials Science: Materials in Medicine

Preface

Biomaterials are the subject of intense and demanding development. It is well known that the microscale properties of biomaterials play a key role in their interaction with the surrounding environment and the success of their application. Recent investigations have shown that nano aspects of biomaterials also play an important role in terms of enhancing their properties, due to their smaller size, than their microscale counterparts. Future biomaterials will therefore use nanoscience and nanotechnologies to actively modulate cellular microenvironments. To this end, *Biomaterials: A Nano Approach*, a multidisciplinary theme, deals with basic concepts and various processing methodologies involved in the preparation of biomaterials at the nanoscale and their characterization techniques specifically for biomedical applications. This book begins with an overview of biomaterials from its historical development to current advances being useful for beginners learning about biomaterials. One of the most recent developments in biomaterials has been the exploitation of nanotechnology for the processing of advanced biomaterials with enhanced functional properties; thus, a basic concept of nanotechnology and how it can be applied in the processing of novel nanobiomaterials are described, which is the mainstay of this book. It provides extensive coverage and a good interpretation on nano aspects of metals and alloys, bioceramics, polymeric biomaterials and their composites, which possess a wide spectrum of properties favorable for a diverse range of biomedical applications; therefore, it intends to fill the communication gap between nanotechnology, materials sciences and biomedical sciences. Apart from conventionally processed nanomaterials, the book thoroughly examines the latest advances in biomimetic- and tissue-engineered nanomaterials for a variety of applications with illustrated examples. It also provides more details on the molecular-level events that happen at the cell-biomaterials and tissue-implant interfaces owing to the nano characteristics.

This book consists of 10 chapters. To meet varied needs, each chapter provides clear and in-depth discussions. Chapter 1 provides an overview of the historical developments to current advances in biomaterials. In Chapter 2, the essentials of anatomy and physiology of the human body for non-biologists to understand about the cell, tissue, organ, and organization of the body system are examined. This chapter also discusses biological responses to biomaterials with suitable *in vitro* and *in vivo* case studies. Chapter 3 deals with the mechanical aspects of biomaterials with particular emphasis on cell and tissue deformation. Chapter 4 addresses the failure of biomaterials and various biological systems with particular emphasis on fracture, toughness, fatigue, wear, and their tribology. Chapter 5 provides an in-depth understanding of nanoscale phenomena and state-of-the-art nanostructured biomaterials with

Acknowledgments

The authors gratefully acknowledge the support and encouragement from the colleagues and students in the following departments: Nanobioengineering Laboratories, National University of Singapore Nanoscience and Nanotechnology Initiative, Singapore; NanoScience Technology Center, University of Central Florida, USA; Department of Metallurgy and Materials Engineering, Indian Institute of Technology Madras, India; and Princeton Institute of Science and Technology of Materials, Princeton University, USA, as well as friends and family. We wish to thank Serena M. Best, Cambridge Centre for Medical Materials, University of Cambridge, U.K.; Kam W. Leong, Duke University, USA; Alexander L. Yarin, Technion-Israel Institute of Technology, Israel; James J. Hickman, NanoScience Technology Center, University of Central Florida, USA; Peter Molnar, NanoScience Technology Center, University of Central Florida, USA; Carl G. Simon, National Institute of Standards and Technology, USA; Marcus Cicerone, National Institute of Standards and Technology, USA; Zheng-Ming Huang, Department of Engineering Mechanics, Tongji University, China; S. H. Teoh, National University of Singapore, Singapore; E. Wintermantel, Technical University of Munich, Germany; V. Renugopalakrishnan, Harvard Medical School, Harvard University, USA; K. Pandurangao Rao, Spark Biotech, USA; Suseela Rajkumar, Central Leather Research Institute, India; and Susan Liao, National University of Singapore, Singapore, who discussed different topics of the book and made valuable suggestions that greatly helped to improve the text. Other valuable suggestions were made by anonymous referees, whom the authors would like to convey our special thanks.

Our publisher, CRC Press, has been extraordinarily supportive and patient with our process. Our special thanks go to the editorial staff at CRC Press, especially Allison Taub, editor of *Materials Science and Chemical Engineering*, and Cathy Giacari, project coordinator, who greatly amended the text format, technical corrections, and presentation style. We also wish to thank and formally acknowledge all the publishers and authors indicated in the text and figures, who granted us permission to use their material in this book. This list is incomplete and we apologize to anyone we omitted.

About The Book

Book Description

Biomaterials: A Nano Approach is a textbook that provides a thorough introduction, basic concepts, several processing methodologies, well-established characterization techniques, and potential applications of a broad range of biomaterials at the nanoscale. This book is an ideal companion for students, researchers, and industrial scientists who specialize in biomaterials and nanobiomaterials.

Features

- A self-contained book for understanding past, present, and future trends in biomaterials
- Extensive coverage of a range of nanobiomaterials with their potential applications
- A series of case studies that demonstrate the vital role of nanobiomaterials
- Written in an accessible way with over 100 illustrations, aimed at novice graduates and intermediate researchers
- Incorporates useful tables with current data
- Integrates the materials science and engineering, nanotechnology, bioengineering, and biosciences in the name of nanobiomaterials

Short Table of Contents

Chapter 1	Overview of Biomaterials
Chapter 2	Basics of Human Biology
Chapter 3	Degradation and Corrosion of Biomaterials
Chapter 4	Failure and Tribology of Biomaterials
Chapter 5	Nanoscale Phenomena
Chapter 6	Metallic Biomaterials
Chapter 7	Ceramic Biomaterials
Chapter 8	Polymeric Biomaterials