



WILEY

智能传感技术丛书

Smart Membranes and Sensors:
Synthesis, Characterization, and Applications

智能薄膜和传感器技术 ——合成、特性及应用

[意] 安娜洛萨·古利亚扎 (Annarosa Gugliuzza) 主编
张宏 王卫兵 徐倩 等译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

智能传感技术丛书



智能薄膜和传感器技术 ——合成、特性及应用

Smart Membranes and Sensors: Synthesis, Characterization,
and Applications

[意] 安娜洛萨·古利亚扎 (Annarosa Gugliuzza) 主编

张宏 王卫兵 徐倩 等译

RFID

机械工业出版社

本书是一本全面介绍当今智能薄膜和传感器技术的著作,从用于智能膜的传感材料、具有刺激响应功能的表面、直接分子分离、膜传感器及其突破性应用等方面对当今的智能薄膜及其传感器技术进行了全面的介绍,涵盖了膜的材料、膜的特性及表征、膜的制备以及膜的应用等内容。

本书适合智能传感器研究人员,薄膜技术研究人员,智能设备、可穿戴设备研发人员阅读参考,也可供高等院校相关专业师生参考。

Copyright © 2014 by Scrivener Publishing LLC.

All Rights Reserved. This translation published under license. Authorized translation from the English language edition, entitled Smart Membranes and Sensors: Synthesis, Characterization, and Applications, ISBN: 978 - 1 - 118 - 42379 - 0, by Annarosa Gugliuzza, Published by John Wiley & Sons. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyrights holder.

本书中文简体字版由 Wiley 授权机械工业出版社独家出版,未经出版者书面允许,本书的任何部分不得以任何方式复制或抄袭。

版权所有,翻印必究。

北京市版权局著作权合同登记 图字:01-2015-5649号。

图书在版编目(CIP)数据

智能薄膜和传感器技术:合成、特性及应用/(意)安娜洛萨·古利亚扎(Annarosa Gugliuzza)主编;张宏等译。—北京:机械工业出版社,2019.4

(智能传感技术丛书)

书名原文:Smart Membranes and Sensors: Synthesis, Characterization, and Applications

ISBN 978-7-111-62409-7

I. ①智… II. ①安…②张… III. ①智能传感器 IV. ①TP212.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第060473号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:任鑫 责任编辑:任鑫 责任校对:陈越

封面设计:马精明 责任印制:张博

北京铭成印刷有限公司印刷

2019年7月第1版第1次印刷

169mm×239mm·21.5印张·412千字

标准书号:ISBN 978-7-111-62409-7

定价:99.00元

电话服务

客服电话:010-88361066

010-88379833

010-68326294

封底无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

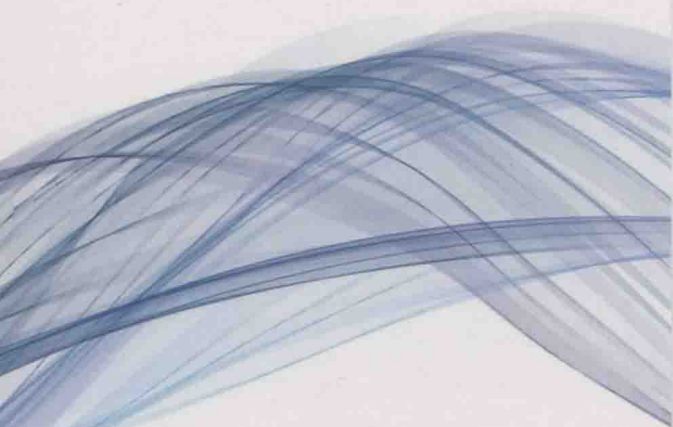
机工官博:weibo.com/cmp1952

金书网:www.golden-book.com

机工教育服务网:www.cmpedu.com

关于作者

Annarosa Gugliuzza博士于1999年获得了化学科学博士学位。自2001年以来，她一直是意大利ITM-CNR国家研究委员会膜技术研究所的化学和材料科学高级研究员。她是一名膜技术专家，对具有很高的组织、结构、动力学和相关性能的纳米复合功能膜的自组装技术非常感兴趣。她编辑出版了多本著作，并在同行评审的期刊、书籍和百科全书上发表了60余篇文章。



关于本书

《智能薄膜和传感器技术——合成、表征及应用》将膜和传感器材料这两个概念有机地结合在一起，其内容由工作在这两个领域前沿科学家的研究成果组成，其重点是利用传感器材料进行智能膜的制造，并对远程医疗、微流体、靶向药物传递、(生物)分离、片上实验室、纺织品、能量存储和释放、环境监测、农业食品安全、化妆品、建筑、汽车等许多尖端技术领域产生相关影响。

本书包括以下创新特点：

- 介绍了传感器膜材料的智能化及合适的组装和表征技术。
- 展示了如何使用传统的原材料来实现超智能功能的器件。
- 介绍了控制“感觉-反应-行动”机制的特定关键事件。
- 在生物医学、食品和纺织品市场等重要战略领域，研究了类传感器膜的潜力，并从生活质量、安全性和创新性等方面分析了智能膜的使用所带来的好处。

译者的话

科学技术是第一生产力，科技生产力来源于真正的发明和创新。膜技术作为一种新兴的复合技术，涵盖了化学、物理学、流体力学和分子生物学等多门学科和多个技术领域，其兴起和发展为科技创新提供了新的动力，为新型纳米材料和超高灵敏度传感器的制作提供了手段，并将成为未来一个时期技术发展的源泉。

本书是一本全面介绍当今智能薄膜和传感器技术的著作，从四个方面对当今的智能薄膜和传感器技术进行了全面的介绍，内容涵盖了用于智能膜的传感材料、具有刺激响应功能的表面、直接分子分离、膜传感器及其突破性应用。

从技术方面来看，本书的内容包括了纳米尺度的材料处理、材料表面改性、微流体动力学、生物传感技术、化学反应特性表征，以及物理、生物化学、仿生、微机械加工等众多技术领域。每一个专题都对相关领域的技术背景和最新发展做了详细、深入的介绍。作者首先通过文献综述对相关领域的发展过程及最新的研究现状进行全面、详细的分析，并给出了该领域中存在的尚未解决或者是需要继续改进的相关问题。在此基础上，作者就拟解决的问题提出了相应的解决思路和设想，并由此展开了相应的理论分析，从而推导出相应的问题解决方案，其中包括问题解决的理论依据、相应的数学模型以及必要的验证性分析。为了进一步验证问题解决方案的效果，作者进一步介绍了方案的具体实施过程，给出了详细的实际结果，并对实际结果进行深入、详尽的分析，以此为读者提供一个全面、完整的膜及膜传感器技术的研究、开发过程。

作者所做工作及相关技术的介绍主要是从学术研究和技术开发角度进行的，所介绍的内容是全面、客观和严谨的，但同时也对相关领域的技术基础给出了相对完整的说明，使得其内容更加具有通俗性和可读性。作者的宗旨是通过相关内容的介绍，使得读者能够对相关领域的基本概念、技术原理、发展历程以及最新的研究现状有一个全面了解，并通过具体开发案例的深入介绍，使读者了解该领域中所采用的技术方法、技术手段以及进行问题分析和解决问题的技术路径。因此，本书不仅从内容的广度上给读者带来全面的概览性视野，还从理论和技术深度上带给读者深入的审视性透视。

本书对读者应用技术能力和技术水平的提高是十分有益的。

本书由张宏、王卫兵、徐倩等翻译，其中的第1~5章、第7、8章由张宏翻译，第10~14章由王卫兵翻译，第6章由徐倩翻译，第9章由刘秀明翻译。

IV 智能薄膜和传感器技术——合成、特性及应用

刘瑞玲、张霖、张立超、郭文兰、张维波、代德伟、金胜利、石林、白小玲、韩再博、闫宏宇、田皓元、卢江、王卓也参与了本书的部分翻译工作。全书由王卫兵统稿并最终定稿。在本书的翻译过程中，全体翻译人员为了尽可能准确地翻译原书的内容，对书中的相关内容进行了大量的查证和佐证分析，以求做到准确无误。鉴于本书的内容涵盖面广，覆盖的技术领域众多，专业性强，并且具有相当的深度和难度，因此翻译中的不妥和错误之处在所难免，望广大读者予以批评指正。

译者
于哈尔滨

原书前言

毫无疑问,人类是具有最佳感知能力的有机体,因为人是最复杂的热、冷、声音、光和气味的受体系统。实际上,在人体中,物理或化学药剂是通过生物膜传导到人体的,同时电信号通过神经网络传送到大脑,大脑再神奇地将每一个响应信号转换为一个感知活动。

基于这种认知,在过去几年,许多科学家都在试图重现人工感知系统,试图模仿自然的结构和过程。尽管完成这项任务似乎异常艰巨,但许多努力和尝试都仍在这个方向上进行,以推进从“感知”到“感知—反应”系统的实现。今天,我们所追求的总目标又向前推进了一步,所期望的目标是建立一个超智能的系统。在这种超智能系统中,感知、行动和适应的功能有序地集成在一起。在这一架构中,膜可以在复杂阵列的构建中发挥关键性的作用,互补的智能功能可以被分布和集成在其中。事实上,在膜上进行的分子操作可以在不同尺度上对所需的特性进行有效的量身定制,从而为物质的存储、释放、分离,以及化学反应、能量/质量的传输提供受约束的功能性空间和几何形态,同时也可用于受保护的/微气候调节、清洁、分子尺度的流体流、受控的细胞生长以及用于生物过程甄别的高通量筛选等。

正是在这样的背景下,本书简要介绍了膜和传感器的概念。前者是一种半渗透的表面,它能够使不同种类的分子有选择地通过,同时对其他种类进行阻断。后者是一种能够检测物理、化学或电反应的器件,通过传感器将这些待检测量转换成由人眼直接感知或在仪器上进行测量的信号。因此,当检测功能与自适应传输结合在一起时,膜就会像一种超智能系统。通过这种方式,膜会使其自身主动适应周围的环境,调整自身的结构和化学特性,从而调节质量/能量流和/或传输信号/信息,从而对外部物理和/或化学的输入做出响应。

从这个角度来看,自适应膜有望加速智能系统到超智能系统的转化,并为许多尖端技术领域带来巨大的好处,如远程医疗、微流体、药物的靶向释放、生物分离、纺织、清洁发电、环境监测、农产品食品安全、化妆品、建筑、汽车等。如果考虑到膜技术的模块化可伸缩性,膜传感器的使用将会变得更具吸引力。在集成工厂的设计以及微型化器件的制造过程中,开发基于智能膜的系统有更广泛的潜力,并会使得分子对象可以在一个芯片上得到检测和响应。

在文献方面, 尽管已出现了大量有关传感材料或膜分离的出版物, 但是这些出版物中很少有专门针对膜类传感器的论述。本书的目的就是将这两个概念结合在一起, 以催化互补学科之间的整合进程, 分享这一问题的知识和经验, 并建立一种相互交流的平台, 以吸引世界上许许多多的智能科学和技术的研究人员、探索人员和最终用户。

本书包含了工作在传感材料和膜领域的科学家们深刻的见解。它涵盖了多个方面, 包括材料的选择、用于构建具有按需进行质量和能源传输功能响应性膜和表面的技术, 以及适用于分子尺度事件的监测技术。所有这些内容都将对开发应用所需的多功能对象的智能性产生重要影响。

本书的第1部分共包括三章内容, 介绍了一些用于薄膜的传感材料, 如碳纳米管、离子液、光响应水凝胶, 自组装脂类、聚合物、构建选择性渗透膜的小微粒, 以及具有用作亚微米反应器、催化剂和药物运载工具能力的囊泡结构等。

第2部分致力于分子间相互作用的介绍。正是这种相互作用导致了膜表面的自我调整以及几何形态、化学特性和电荷的恢复, 从而能够抵御外部环境的侵袭, 实现原始性质的保持, 还能够实现自主分子扩散和直接的生物分子识别。除此之外, 还从理论和实验的角度讨论了主导自组装材料和超分子结构之间的弱相关作用。

第3部分介绍了用于控制药物释放和生物分离的分子识别机制。在概述了用作生物传感器平台的自组装纳米多孔膜的基础上, 对支承识别载体的膜的制造及其在生物分离过程中的应用进行了专门和广泛的讨论。此外, 还研究了介孔二氧化硅纳米粒子、沸石、分子印迹膜、仿生亲和膜以及含有环糊精及其衍生物的膜的响应活性。

第4部分介绍了四种先进传感器类膜的应用。一种是用于超灵敏传感器构建的静电纺丝膜, 它有利于分析物的吸附以及质量和电荷的传输; 另一种为三维传导性支架, 使得我们能够对细胞的行为进行监测, 能够进行慢性病模型的研究, 并进行多次给药的重复性实验; 第三种是通过膜的乳化作用制备的感测粒子, 它们具有活性物质的传输能力和/或将化学和生化信号转换为光、电、热和机械信号的能力; 最后一种是用于超智能织物的自适应膜, 它可通过热存储、热调节、模块化的透气性、保护、自清洁、异味捕获、药物传递以及电信号传输等方式, 提供自维护、适应性、自动调整和长距离通信等功能。

我很高兴主编了本书, 非常感谢每个贡献者的奉献和合作。如果没有他们对

知识的热情分享、热忱的态度和时间的奉献，本书就不可能完成。我希望大家都能从阅读本书的过程中有所收获，并通过多学科交叉的讨论，把创新带到自己的研究中去。

Annarosa Gugliuzza

1.3.2 空心球结构	51
1.4 凝胶结构的特性	51
1.4.1 基础新技术	51
1.4.2 设计	51
1.5 凝胶结构中的物理	51
1.5.1 热力学性质	51
1.5.2 凝胶网络力学	51
1.5.3 凝胶的流变学	51
1.5.4 凝胶的渗透性	51
1.5.5 凝胶的导电性	51
1.5.6 凝胶的光学性质	51
1.5.7 凝胶的声学性质	51
1.5.8 凝胶的磁学性质	51
1.5.9 凝胶的力学性质	51
1.5.10 凝胶的生物学性质	51
1.5.11 凝胶的医学性质	51
1.5.12 凝胶的工业性质	51
1.5.13 凝胶的环境性质	51
1.5.14 凝胶的能源性质	51
1.5.15 凝胶的催化性质	51
1.5.16 凝胶的吸附性质	51
1.5.17 凝胶的分离性质	51
1.5.18 凝胶的膜性质	51
1.5.19 凝胶的传感器性质	51
1.5.20 凝胶的纳米材料性质	51
1.5.21 凝胶的复合材料性质	51
1.5.22 凝胶的仿生材料性质	51
1.5.23 凝胶的柔性材料性质	51
1.5.24 凝胶的导电材料性质	51
1.5.25 凝胶的磁性材料性质	51
1.5.26 凝胶的光学材料性质	51
1.5.27 凝胶的声学材料性质	51
1.5.28 凝胶的力学材料性质	51
1.5.29 凝胶的生物学材料性质	51
1.5.30 凝胶的医学材料性质	51
1.5.31 凝胶的工业材料性质	51
1.5.32 凝胶的环境材料性质	51
1.5.33 凝胶的能源材料性质	51
1.5.34 凝胶的催化材料性质	51
1.5.35 凝胶的吸附材料性质	51
1.5.36 凝胶的分离材料性质	51
1.5.37 凝胶的膜材料性质	51
1.5.38 凝胶的传感器材料性质	51
1.5.39 凝胶的纳米材料性质	51
1.5.40 凝胶的复合材料性质	51
1.5.41 凝胶的仿生材料性质	51
1.5.42 凝胶的柔性材料性质	51
1.5.43 凝胶的导电材料性质	51
1.5.44 凝胶的磁性材料性质	51
1.5.45 凝胶的光学材料性质	51
1.5.46 凝胶的声学材料性质	51
1.5.47 凝胶的力学材料性质	51
1.5.48 凝胶的生物学材料性质	51
1.5.49 凝胶的医学材料性质	51
1.5.50 凝胶的工业材料性质	51
1.5.51 凝胶的环境材料性质	51
1.5.52 凝胶的能源材料性质	51
1.5.53 凝胶的催化材料性质	51
1.5.54 凝胶的吸附材料性质	51
1.5.55 凝胶的分离材料性质	51
1.5.56 凝胶的膜材料性质	51
1.5.57 凝胶的传感器材料性质	51
1.5.58 凝胶的纳米材料性质	51
1.5.59 凝胶的复合材料性质	51
1.5.60 凝胶的仿生材料性质	51
1.5.61 凝胶的柔性材料性质	51
1.5.62 凝胶的导电材料性质	51
1.5.63 凝胶的磁性材料性质	51
1.5.64 凝胶的光学材料性质	51
1.5.65 凝胶的声学材料性质	51
1.5.66 凝胶的力学材料性质	51
1.5.67 凝胶的生物学材料性质	51
1.5.68 凝胶的医学材料性质	51
1.5.69 凝胶的工业材料性质	51
1.5.70 凝胶的环境材料性质	51
1.5.71 凝胶的能源材料性质	51
1.5.72 凝胶的催化材料性质	51
1.5.73 凝胶的吸附材料性质	51
1.5.74 凝胶的分离材料性质	51
1.5.75 凝胶的膜材料性质	51
1.5.76 凝胶的传感器材料性质	51
1.5.77 凝胶的纳米材料性质	51
1.5.78 凝胶的复合材料性质	51
1.5.79 凝胶的仿生材料性质	51
1.5.80 凝胶的柔性材料性质	51
1.5.81 凝胶的导电材料性质	51
1.5.82 凝胶的磁性材料性质	51
1.5.83 凝胶的光学材料性质	51
1.5.84 凝胶的声学材料性质	51
1.5.85 凝胶的力学材料性质	51
1.5.86 凝胶的生物学材料性质	51
1.5.87 凝胶的医学材料性质	51
1.5.88 凝胶的工业材料性质	51
1.5.89 凝胶的环境材料性质	51
1.5.90 凝胶的能源材料性质	51
1.5.91 凝胶的催化材料性质	51
1.5.92 凝胶的吸附材料性质	51
1.5.93 凝胶的分离材料性质	51
1.5.94 凝胶的膜材料性质	51
1.5.95 凝胶的传感器材料性质	51
1.5.96 凝胶的纳米材料性质	51
1.5.97 凝胶的复合材料性质	51
1.5.98 凝胶的仿生材料性质	51
1.5.99 凝胶的柔性材料性质	51
1.5.100 凝胶的导电材料性质	51

目 录

译者的话

原书前言

第 1 部分 用于智能膜的传感材料

第 1 章 基于碳纳米管、离子液体以及聚合物基质的界面在传感和薄膜分离中的应用	3
1.1 引言	3
1.2 用于传感界面的离子液体 - 碳纳米管复合材料	4
1.3 用于检测和分离气体和溶剂的离子液体界面	9
1.4 用于薄膜分离过程的离子液体 - 聚合物界面	13
1.5 结论	15
参考文献	15
第 2 章 用于自适应薄膜的光响应水凝胶	18
2.1 引言	18
2.2 光响应水凝胶薄膜	19
2.2.1 光响应基团: 亚肉桂基	19
2.2.2 光响应基团: 三苯代甲烷白色衍生物	23
2.2.3 光响应基团: 偶氮苯	30
2.2.4 光响应基团: 螺吡喃	32
2.2.5 不同发色团的比较	35
2.3 光热响应水凝胶薄膜	37
2.3.1 光吸收体: 金纳米颗粒	37
2.3.2 光吸收剂: 氧化石墨烯	37
2.4 总结	39
参考文献	40
第 3 章 智能囊泡: 合成、特性与应用	43
3.1 引言	43
3.2 软囊泡的合成	44
3.2.1 自组装成囊泡	44
3.2.2 脂质体	45
3.2.3 聚合物囊泡	45

3.2.4	基于小分子的囊泡	47
3.2.5	直接合成	49
3.3	硬囊泡的合成	51
3.3.1	用于合成硬囊泡的“软”模板	51
3.3.2	空心硅胶球	53
3.4	囊泡结构的特性	55
3.4.1	显微镜技术	55
3.4.2	散射	56
3.5	囊泡结构中的刺激反应行为	58
3.5.1	热响应囊泡	58
3.5.2	pH 值响应型囊泡	59
3.5.3	其他	62
3.6	囊泡的应用	64
3.6.1	由囊泡进行分子分离	64
3.6.2	化学传感器	65
3.6.3	纳米反应器和微反应器	68
3.6.4	催化剂	70
3.6.5	药物输送载体	72
3.7	结论	75
	参考文献	75

第 2 部分 具有刺激响应功能的表面

第 4 章	传感薄膜及超分子相互作用的计算模型	89
4.1	引言	89
4.2	非共价相互作用: 物理和化学观点	90
4.3	物理相互作用	91
4.4	化学相互作用	94
4.5	超分子相互作用的计算方法	96
4.6	经典力场	103
4.7	结论	112
	参考文献	113
第 5 章	涉及薄膜的传感技术用于研究生物分子相互作用和薄膜污染现象	117
5.1	引言	117
5.2	带耗散监测的石英晶体微天平	117
5.3	表面等离子体共振	118
5.4	SPR 和 QCM-D 的应用	121

5.5 结论	127
参考文献	128
第6章 智能膜表面：润湿性增强和自修复性	129
6.1 引言	129
6.2 表面润湿性的基础	130
6.3 润湿性的增强	131
6.4 驱动机制	132
6.4.1 电转换	132
6.4.2 光驱动转换	133
6.4.3 热转换	134
6.4.4 pH 值驱动转换	135
6.4.5 分子转换	135
6.4.6 机械转换	136
6.5 自主驱动的液体运动	136
6.6 自清洁机制	138
6.6.1 超疏水表面上的液滴滚落	139
6.6.2 自清洁表面的光催化	139
6.7 自修复概念和策略	140
6.8 可修复的表面特性	142
6.8.1 表面超疏水性的恢复	142
6.8.2 持久防污性能的自我修复	143
6.9 结论与展望	143
参考文献	144
第7章 AFM 和 AFS 研究的生物薄膜模型：一种适于解开脂肪组织及其与蛋白质相互作用的工具	149
7.1 引言	149
7.2 支撑脂双层	151
7.2.1 制备技术	151
7.2.2 支撑脂双层的化学-物理性质	153
7.2.3 跨膜蛋白质包裹体	157
7.3 AFM 与 SLB 的相行为	158
7.3.1 温度引起的跃迁	158
7.3.2 pH 值引起的跃迁	161
7.4 支撑脂双层的原子力谱	163
7.4.1 AFS 研究的机械模量	165
7.4.2 脂双层穿透的能量景观及其与脂质孔隙形成的比较	166
7.5 脂质与蛋白质相互作用	168

7.5.1 膜结构域中的蛋白质分配	168
7.5.2 分区的功能相关性	169
7.6 结论	171
参考文献	171

第3部分 直接分子分离

第8章 受控药物释放和生物分离的自组装纳米多孔膜	183
8.1 引言	183
8.2 嵌段共聚物自组装的通用特性	184
8.3 嵌段共聚物基膜	185
8.4 由嵌段共聚物衍生的纳米多孔膜的制备	186
8.4.1 纳米多孔膜的结构: 复合膜和单体膜	186
8.4.2 嵌段共聚物衍生膜的控制顺序和取向	189
8.4.3 纳米结构聚合物薄膜中的孔隙生成	192
8.5 表面特性的可调性	192
8.6 嵌段共聚物衍生膜在生物分离和控制药物释放中的应用	193
8.7 结论	198
参考文献	198
第9章 杂化介孔二氧化硅的药物靶向疗法	202
9.1 引言	202
9.2 双功能杂化介孔二氧化硅纳米粒子的合成与表征	203
9.3 载药叶酸移植的 MSN 特异 FR 对肿瘤细胞的靶向表达 ^[16]	206
9.4 结论	211
参考文献	212
第10章 分子识别驱动膜工艺	213
10.1 分子印迹技术	213
10.1.1 分子印迹膜	214
10.1.2 MIM 的制备: 方法和材料	214
10.1.3 MIM 的应用	216
10.2 亲和膜	217
10.2.1 亲和膜的制备	218
10.2.2 用于手性分离的亲和膜	220
10.2.3 用于蛋白质分离的亲和膜	220
10.3 环糊精作为分子识别元素	221
10.4 作为分子识别器件的分子筛膜: 制备与表征	222
10.4.1 药学领域的沸石膜	223
10.4.2 沸石: 传感器材料	224

10.5	基于分子识别的功能化粒子装载膜的选择性分离	225
10.6	具有对映选择性识别性质的双相酶膜系统动力学拆分	227
10.7	膜的表面改性	228
10.7.1	涂层	229
10.7.2	自组装	229
10.7.3	化学处理	229
10.7.4	等离子体处理	230
10.7.5	移植聚合	230
	参考文献	231

第4部分 膜传感器及其突破性应用

第11章	传感器应用中的静电纺丝膜	239
11.1	引言	239
11.2	静电纺丝的基本原理	240
11.3	静电纺丝的过程控制	241
11.3.1	纤维的几何形态和直径	241
11.3.2	纤维排列、组成及其二级结构	242
11.4	静电纺丝材料在超灵敏传感器中的应用	245
11.4.1	基于金属氧化物的电阻式传感器	245
11.4.2	基于导电聚合物的电阻式传感器	248
11.4.3	光学传感器	252
11.4.4	声波传感器	254
11.4.5	安培计生物传感器	257
11.5	结论	260
	参考文献	260
第12章	智能传感支架	267
12.1	引言	267
12.2	复合传感生物材料制备	268
12.3	复合传感生物材料特性	269
12.4	基于SWNT的复合膜结构性能	269
12.5	基于SWNT的复合膜的拉伸性能	271
12.6	基于SWNT的复合膜的电气性能	274
12.7	机电特性和应变依赖关系测量	276
12.8	细胞传感支架	278
12.8.1	制备	278
12.8.2	细胞测试	278
12.8.3	膜阻抗测量	279

12.8.4 传感支架建模	281
12.9 CNT 复合材料加工: 传感支架微加工	284
12.10 结论	285
参考文献	285
第 13 章 纳米结构传感乳剂液滴和粒子: 性能与通过膜乳化的形成	290
13.1 引言	290
13.2 乳剂及乳化方法	292
13.2.1 转子-定子系统	292
13.2.2 高压均质机	293
13.2.3 超声波	293
13.2.4 膜乳化	293
13.2.5 膜参数	296
13.2.6 相参数	296
13.2.7 动态膜乳化的工艺参数	297
13.2.8 膜乳化装置	298
13.2.9 材料的性质及传感特性	299
13.2.10 温度和 pH 值敏感材料	300
13.2.11 物理响应性材料(光、磁、电场)	304
13.2.12 生化响应性材料	305
13.2.13 相变材料	305
13.3 基于膜工艺产生的响应性粒子	306
13.3.1 温度和 pH 值响应性材料	306
13.3.2 生化响应性材料	309
13.3.3 物理响应性材料	311
13.3.4 分子印迹	312
13.4 结论	312
参考文献	313
第 14 章 用于超智能织物的膜	316
14.1 引言	316
14.2 膜与舒适性	317
14.2.1 透气膜	317
14.2.2 作为换热器的膜	320
14.3 用于智能织物的自适应膜	320
14.3.1 形状记忆膜	321
14.3.2 凝胶基响应膜	321
14.3.3 膜中的相变材料	322
14.3.4 用于智能膜的光致变色复合物	323

14.4	膜的屏障功能	323
14.4.1	防水功能	324
14.4.2	抗菌效用	324
14.4.3	气味释放和超吸收效能	324
14.4.4	战争毒剂的防御	325
14.5	用于自洁功能的膜材料	325
14.6	用于可穿戴电子的交互式膜	325
14.7	结论和展望	326
	参考文献	327
15	智能传感技术	328
15.1	引言	328
15.2	智能传感器的分类	329
15.3	智能传感器的应用	330
15.3.1	智能传感器在工业中的应用	330
15.3.2	智能传感器在农业中的应用	331
15.3.3	智能传感器在医疗中的应用	332
15.3.4	智能传感器在军事中的应用	333
15.3.5	智能传感器在环境检测中的应用	334
15.3.6	智能传感器在公共安全中的应用	335
15.3.7	智能传感器在智能家居中的应用	336
15.3.8	智能传感器在智能交通中的应用	337
15.3.9	智能传感器在智能物流中的应用	338
15.3.10	智能传感器在智能农业中的应用	339
15.3.11	智能传感器在智能工业中的应用	340
15.3.12	智能传感器在智能能源中的应用	341
15.3.13	智能传感器在智能建筑中的应用	342
15.3.14	智能传感器在智能交通中的应用	343
15.3.15	智能传感器在智能物流中的应用	344
15.3.16	智能传感器在智能农业中的应用	345
15.3.17	智能传感器在智能工业中的应用	346
15.3.18	智能传感器在智能能源中的应用	347
15.3.19	智能传感器在智能建筑中的应用	348
15.3.20	智能传感器在智能交通中的应用	349
15.3.21	智能传感器在智能物流中的应用	350
15.3.22	智能传感器在智能农业中的应用	351
15.3.23	智能传感器在智能工业中的应用	352
15.3.24	智能传感器在智能能源中的应用	353
15.3.25	智能传感器在智能建筑中的应用	354
15.3.26	智能传感器在智能交通中的应用	355
15.3.27	智能传感器在智能物流中的应用	356
15.3.28	智能传感器在智能农业中的应用	357
15.3.29	智能传感器在智能工业中的应用	358
15.3.30	智能传感器在智能能源中的应用	359
15.3.31	智能传感器在智能建筑中的应用	360
15.3.32	智能传感器在智能交通中的应用	361
15.3.33	智能传感器在智能物流中的应用	362
15.3.34	智能传感器在智能农业中的应用	363
15.3.35	智能传感器在智能工业中的应用	364
15.3.36	智能传感器在智能能源中的应用	365
15.3.37	智能传感器在智能建筑中的应用	366
15.3.38	智能传感器在智能交通中的应用	367
15.3.39	智能传感器在智能物流中的应用	368
15.3.40	智能传感器在智能农业中的应用	369
15.3.41	智能传感器在智能工业中的应用	370
15.3.42	智能传感器在智能能源中的应用	371
15.3.43	智能传感器在智能建筑中的应用	372
15.3.44	智能传感器在智能交通中的应用	373
15.3.45	智能传感器在智能物流中的应用	374
15.3.46	智能传感器在智能农业中的应用	375
15.3.47	智能传感器在智能工业中的应用	376
15.3.48	智能传感器在智能能源中的应用	377
15.3.49	智能传感器在智能建筑中的应用	378
15.3.50	智能传感器在智能交通中的应用	379
15.3.51	智能传感器在智能物流中的应用	380
15.3.52	智能传感器在智能农业中的应用	381
15.3.53	智能传感器在智能工业中的应用	382
15.3.54	智能传感器在智能能源中的应用	383
15.3.55	智能传感器在智能建筑中的应用	384
15.3.56	智能传感器在智能交通中的应用	385
15.3.57	智能传感器在智能物流中的应用	386
15.3.58	智能传感器在智能农业中的应用	387
15.3.59	智能传感器在智能工业中的应用	388
15.3.60	智能传感器在智能能源中的应用	389
15.3.61	智能传感器在智能建筑中的应用	390
15.3.62	智能传感器在智能交通中的应用	391
15.3.63	智能传感器在智能物流中的应用	392
15.3.64	智能传感器在智能农业中的应用	393
15.3.65	智能传感器在智能工业中的应用	394
15.3.66	智能传感器在智能能源中的应用	395
15.3.67	智能传感器在智能建筑中的应用	396
15.3.68	智能传感器在智能交通中的应用	397
15.3.69	智能传感器在智能物流中的应用	398
15.3.70	智能传感器在智能农业中的应用	399
15.3.71	智能传感器在智能工业中的应用	400
15.3.72	智能传感器在智能能源中的应用	401
15.3.73	智能传感器在智能建筑中的应用	402
15.3.74	智能传感器在智能交通中的应用	403
15.3.75	智能传感器在智能物流中的应用	404
15.3.76	智能传感器在智能农业中的应用	405
15.3.77	智能传感器在智能工业中的应用	406
15.3.78	智能传感器在智能能源中的应用	407
15.3.79	智能传感器在智能建筑中的应用	408
15.3.80	智能传感器在智能交通中的应用	409
15.3.81	智能传感器在智能物流中的应用	410
15.3.82	智能传感器在智能农业中的应用	411
15.3.83	智能传感器在智能工业中的应用	412
15.3.84	智能传感器在智能能源中的应用	413
15.3.85	智能传感器在智能建筑中的应用	414
15.3.86	智能传感器在智能交通中的应用	415
15.3.87	智能传感器在智能物流中的应用	416
15.3.88	智能传感器在智能农业中的应用	417
15.3.89	智能传感器在智能工业中的应用	418
15.3.90	智能传感器在智能能源中的应用	419
15.3.91	智能传感器在智能建筑中的应用	420
15.3.92	智能传感器在智能交通中的应用	421
15.3.93	智能传感器在智能物流中的应用	422
15.3.94	智能传感器在智能农业中的应用	423
15.3.95	智能传感器在智能工业中的应用	424
15.3.96	智能传感器在智能能源中的应用	425
15.3.97	智能传感器在智能建筑中的应用	426
15.3.98	智能传感器在智能交通中的应用	427
15.3.99	智能传感器在智能物流中的应用	428
15.3.100	智能传感器在智能农业中的应用	429