



国际信息工程先进技术译丛

CRC Press
Taylor & Francis Group

生物医学传感技术

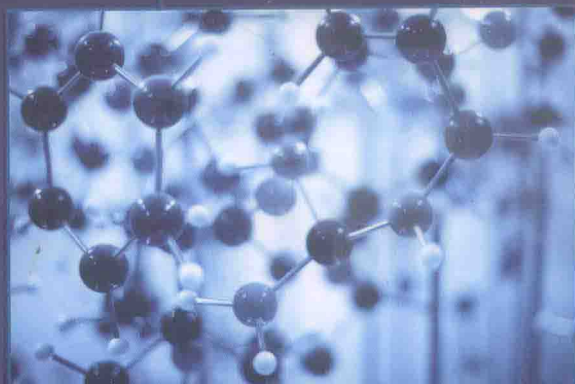
Biological and Medical Sensor Technologies

[加拿大] Krzysztof Iniewski 等著

陈星 刘清君 王平 译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国际信息工程先进技术译丛

生物医学传感技术

Biological and Medical Sensor Technologies

[加拿大] Krzysztof Iniewski 等著
陈 星 刘清君 王 平 译

机械工业出版社

Biological and Medical Sensor Technologies, edited by Krzysztof Iniewski
© 2012 by Taylor & Francis Group, LLC.

Authorized translation from English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC. All Rights Reserved. 本书原版由 Taylor & Francis 出版集团旗下 CRC 出版公司出版, 并经其授权翻译出版, 版权所有, 侵权必究。

本书中文简体翻译版授权机械工业出版社独家出版并限在中国大陆地区销售, 未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal. 本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签, 无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记图字: 01-2013-6381 号

图书在版编目(CIP)数据

生物医学传感技术 / (加) 伊涅夫斯基 (Iniewski, K.) 等著; 陈星, 刘清君, 王平译. —北京: 机械工业出版社, 2014.9
(国际信息工程先进技术译丛)
书名原文: Biological and medical sensor technologies
ISBN 978-7-111-47664-1

I. ①生… II. ①印…②陈…③刘…④王… III. ①生物传感器
IV. ①TP212.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 186760 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: 付承桂 责任编辑: 付承桂 任鑫

版式设计: 霍永明 责任校对: 刘怡丹

封面设计: 马精明 责任印制: 李洋

三河市宏达印刷有限公司印刷

2014 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·22.25 印张·451 千字

0001—2500 册

标准书号: ISBN 978-7-111-47664-1

定价: 88.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010)88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010)68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010)88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010)88379203 封面防伪标均为盗版

传感技术是目前国际上在科学研究和产品应用开发方面发展快速的领域，它与电子技术、光学技术、机械、化学以及生物学的发展密切相关。传感技术在生物和医学的检测和诊断方面有着越来越广泛的需求，特别是便携、轻便的传感器在许多应用领域的应用快速增长，生物医学领域的传感技术已由理想变成了现实。

本书汇集了众多在该领域从事研究和开发应用的国际学者和专家，由来自美国、德国、意大利、加拿大以及日本等多所大学的专家教授共同编写，论述了生物医学领域中传感技术的工作原理、基本结构及其应用实例。全书分为两部分：第一部分论述了传感技术在生物学领域的最新发展和应用，第二部分论述了传感技术在医学领域的最新发展和应用。

本书适用于从事生物医学传感与检测领域及工程与生物医学交叉领域的研究人员和高等院校相关专业的师生阅读和使用。

译者序

生物医学传感技术是材料、电子、光学等工程技术与生物医学结合的产物，具有旺盛的生命力。医疗保健高层次的追求、早期诊断、快速诊断、床边监护、在体监测等对传感技术的需求，生命科学深层次的研究，分子识别、基因探针、神经递质与神经调质的监控等对高新传感技术的依赖，为生物医学传感技术的发展提供了客观条件。微电子技术与光电子技术、细胞分子生物学、生化技术等新学科、新技术的发展为生物医学传感技术的进步奠定了技术基础。在这些背景条件下，生物医学传感技术得到了快速的发展并取得了明显的进步。

生物医学传感器是一类特殊的传感器件，它能把各种被检测的生物医学中的非电量信号转换为易观测的电量（或光学量）信号，扩大人的感官功能，是构成各种生物医学仪器和设备的核心部件。生物医学传感技术是对生物体包含的生命现象、状态、性质、变量和成分等信息进行检测和量化的技术，是获取人体生理和病理信息的关键技术。生物医学信号的特点是信号微弱、随机性强、噪声和干扰背景强、动态变化和个体差异大，这也相应地要求传感器和检测方法的灵敏度高、噪声小、抗干扰能力强、分辨率高、动态特性好。因此，生物医学传感技术往往比其他的检测技术更复杂，要求更严格。

本书集中介绍了众多目前国际上的新型生物医学传感技术的研究进展，如生物界中多种动物独特的传感和通信能力及其生物机理，理想生物传感器特性和完全集成的生物传感器、无标记生物传感器，展示了集成光学生物传感器的应用前景。其次，本书还介绍了微型器件中的细胞培养和监测方法、使用微流控芯片技术的细胞处理方法和有机电子学用于细胞的分析方法。此外，本书还概述了呼吸检测的传感器，以该种传感器进行临床呼吸分析诊断的应用。最后，针对数字医学成像传感技术以及通信技术在医学成像中的最新应用，阐述了传感技术在生物医学成像方面的最新发展。

本书由浙江大学生物医学工程与仪器科学学院生物传感器国家专业实验室从事生物医学传感与检测技术的多位教师和研究生共同翻译完成。他们结合各自的科研工作，除对英文原文进行了忠实原著的翻译外，还对原著中部分专业叙述进行了相应的解读和说明，使其便于国内的广大读者阅读和理解。本书可广泛应用于从事该领域及传感器与生物医学交叉领域的研究人员和学生阅读使用。

由于时间仓促，加之译者水平有限，书中难免存在错漏之处，恳请广大读者批评指正。译者的电子邮箱为：cnpwang@zju.edu.cn

陈星 刘清君 王平

浙江大学生物医学工程与仪器科学学院

生物传感器国家专业实验室

原书前言

传感器技术融合了电子学、光子学、机械学、化学以及生物学的进展，无论是在科学研究还是在产品设计方面都是一个发展迅速的主题。传感器在生物监测及医疗应用上的使用已经变得非常广泛。对于便携和超轻传感器的需求也是无可回避的，它可以满足很多实际应用中的需求，而其中的一些需求我们也仅仅才开始梦想。

这本书分为两个部分。第一部分是关于生物传感器的。来自于 ABB 企业研究所的 Abhisek Ukil 博士用生物发达的传感与通信为题作为本书的开篇第一章。接着的一章是来自美国军方的 Dwight Woolard 博士和来自北卡罗来纳州立大学的 Alexei Bykhovski 博士，他们讲述了 DNA 衍生结构用于长波的生物传感。来自华盛顿大学的研究者们接着讲述了无标记的硅光子，同时安卡拉大学的学者们讨论了石英晶体微天平生物传感器。来自慕尼黑工业大学的 Scarpa Giuseppe 博士展示了片上实验室 (Lab-On-Chip) 在细胞传感应用中的深入研究，同时普林斯顿大学的 Yue Cui 博士阐述了酶生物传感器。第一部分的结尾由来自加利福尼亚大学戴维斯分校的学者们讨论了呼吸传感器的未来发展方向，以及由来自意大利墨西拿大学的 Giovanni Neri 博士讲述了固相气体传感器的临床诊断。

第二部分是关于医疗传感器的。由来自美国东北大学的研究学者们以生物传感及人类行为测量为主题作为这一部分的开篇第一章。同时，来自比利时根特大学的 Pietro Salvo 博士介绍了出汗率穿戴式传感器。剩下的章节介绍了医学影像的各个方面。来自德州仪器 (Texas Instruments) 的 Mark Nadeski 博士和 Gene Frantz 博士提供了未来医学影像的介绍，西门子公司的 Bjorn Heismann 博士描述了医学影像中半导体检测器的空间和频率分辨率，来自 RMD 的 Jim Christian 博士写了 CMOS 固态光电倍增管 (SSPM) 检测器。之后是来自日本宇航探索局 (JAXA) 的 Tadyuki Takahashi 博士对于碲化镉探测器以及其在伽马射线成像应用进行了深入研究。结尾的章节基于斯坦福大学的研究者们正在进行的研究讨论了正电子发射断层摄影术 (PET)。

由于本书涵盖有如此广泛的主题，我希望读者能够找到一些兴趣点来阅读。我同时还希望读者们会探索那些在科学研究和日常生活中都令人兴奋和有用的传感器技术。如果没有富有创造力的人们在宽松的气氛下一起交换思想和想法，是不可能有这样一本书的。我想通过这次机会邀请你们参加每年在加拿大不列颠哥

伦比亚省举行的 CMOS 新兴技术研讨会，在那里很多这本书中提到的主题都被广泛讨论（前几次会议的演讲稿以及以后会议的通知见 <http://www.cmaset.com>）。如果你对这本书有任何的建议与意见，请给我的邮箱 kris.iniewski@gmail.com 来信。

Krzysztof Iniewski

加拿大不列颠哥伦比亚省温哥华市

目 录

译者序

原书前言

第一部分 传感器的生物学应用

第 1 章 生物发达的传感与通信	2
1.1 引言	2
1.2 蝙蝠：回声定位	2
1.2.1 简介	2
1.2.2 回声定位	3
1.2.3 回声定位的神经生物学和生理学	5
1.2.4 回声定位的应用	7
1.2.5 工程应用	8
1.3 昆虫：声觉防护	9
1.3.1 简介	9
1.3.2 警示作用	9
1.3.3 信号干扰	10
1.3.4 昆虫的听觉机制	10
1.3.5 工程应用	10
1.4 蛇：红外热成像	11
1.4.1 简介	11
1.4.2 解剖结构	11
1.4.3 红外线检测原理	12
1.4.4 神经生物学解释	12
1.4.5 工程应用	13
1.5 蜜蜂：摇摆舞通信	14
1.5.1 简介	14
1.5.2 摇摆舞模式	15
1.5.3 摇摆舞中的编码信息	15
1.5.4 摇摆舞的争议	16
1.5.5 摇摆舞中的其他信息	16
1.5.6 工程应用	17

1.6 海豚、鲸：声呐	17
1.6.1 简介	17
1.6.2 声音产生的生物学与神经生物学	18
1.6.3 应用：回声定位	19
1.6.4 应用：社会生活	19
1.6.5 应用：文化与情感	20
1.6.6 应用：鲸歌	20
1.6.7 应用：语言	20
1.6.8 应用：其他	21
1.6.9 噪声影响	21
1.6.10 工程应用	21
1.7 其他	21
1.7.1 金丝燕：回声定位	21
1.7.2 鱼：电定位	22
1.7.3 虾：光偏振	22
1.7.4 海洋生物：生物发光	22
1.7.5 昆虫螽斯：声音模仿	23
1.7.6 蚊子：性别识别	23
1.7.7 黄蜂：寻找隐藏的昆虫	24
1.7.8 甲壳虫：气体感受	24
1.7.9 蟑螂：爬越障碍	25
1.7.10 蝾螈：肢体再生	25
1.7.11 蚂蚁：信息素通信	25
1.7.12 白鲟：随机共振	26
1.7.13 蜻蜓：空气动力学	26
参考文献	27
第2章 用于长波生物传感的DNA衍生结构的物理特性与建模	33
2.1 引言	33
2.2 半导体性质的生物兼容界面	33
2.3 基于光诱发转变的新型生物体系结构	35
2.4 二苯乙烯衍生物/DNA复合物的混合建模	37
2.4.1 背景	37
2.4.2 分子-机械研究	39
2.4.3 QM/MM复合研究	40
2.5 聚乙烯矩阵中活性分子的特性研究	47
2.6 多维分子坐标空间的光致转变	53
2.7 结论	58

致谢	59
参考文献	59
第3章 无标记生物传感器的生物医学应用——集成光学生物传感器与硅光子学的潜在应用	62
3.1 引言	62
3.1.1 生物传感器所需特性	62
3.1.2 常见的无标记生物传感器构建与操作	65
3.2 面向完全集成的生物传感器	66
3.2.1 器件集成中的硅光子学	67
3.3 无标记生物传感器	69
3.3.1 电化学生物传感器	69
3.3.2 力学生物传感器	71
3.3.3 光学生物传感器	73
3.4 展望与总结	81
致谢	82
参考文献	83
第4章 石英晶体微天平生物传感器	92
4.1 引言	92
4.2 压电谐振器	93
4.2.1 压电和石英晶体的原理	93
4.2.2 厚度切变模式谐振器(石英晶体微天平)	95
4.3 质量载荷方程	95
4.4 石英晶体表面修饰的方法	96
4.4.1 自组装单分子层	96
4.4.2 电化学沉积	97
4.4.3 静电纺丝和旋转涂布	97
4.5 QCM 的生物学应用	99
4.5.1 酶生物传感器	99
4.5.2 基于核酸的生物传感器	99
4.5.3 QCM 免疫传感器	100
4.5.4 QCM 哺乳动物细胞生物传感器	101
致谢	105
参考文献	105
第5章 用于细胞分析的芯片实验室技术	110
5.1 背景和引言	110

5.2 微型器件中的细胞培养和监测	111
5.2.1 细胞系统	111
5.2.2 细胞输出信号检测	111
5.2.3 芯片制备与封装	112
5.2.4 系统工程	115
5.2.5 典型研究:人癌细胞分析	116
5.3 芯片实验室中的细胞操纵技术	117
5.3.1 微量液滴的驱动	119
5.4 有机电子学的挑战	123
5.5 展望	125
参考文献	126
第6章 基于商品化葡萄糖传感器平台的酶传感器构建	132
6.1 葡萄糖生物传感器简介	132
6.2 代谢产物生物传感器:ATP	134
6.3 酶活性生物传感器:葡萄糖磷酸变位酶	137
6.4 毒素生物传感器:叠氮化物	140
6.5 聚合物生物传感器:聚3-羟基丁酸酯	144
6.6 总结与展望	147
参考文献	147
第7章 呼吸传感器的未来发展方向	152
7.1 引言	152
7.1.1 历史回顾	152
7.1.2 疾病呼吸诊断的临床应用	153
7.1.3 法医学应用:外源化学物质暴露的呼吸诊断	154
7.2 呼吸气体采样仪和传感器	154
7.2.1 最新的呼吸采样和传感技术	154
7.2.2 呼吸样本的生化分析方法	157
7.2.3 呼吸传感系统的功能性需求	160
7.2.4 成本问题	161
7.3 现代呼吸气体传感系统性能的影响因素	162
7.3.1 流体力学	162
7.3.2 热转移以及冷凝	163
7.3.3 材料选取	164
7.3.4 现有传感系统的限制	165
7.4 呼吸传感系统设计的未来趋势	165
7.4.1 微型化呼吸传感系统的挑战	166

7.4.2 CMOS 技术	166
7.4.3 MEMS 构架	167
参考文献	170
第 8 章 临床应用中的固态气体传感器	177
8.1 引言	177
8.2 固态传感器的工作原理	178
8.2.1 电阻式气体传感器	179
8.2.2 电化学式气体传感器	181
8.2.3 电容式气体传感器	182
8.3 基于呼吸分析的临床诊断	183
8.3.1 呼吸采样	184
8.3.2 呼吸气体成分	186
8.3.3 标志物	186
8.4 用于临床诊断的气体传感器	188
8.4.1 氧气、二氧化碳、湿度传感器	189
8.4.2 丙酮传感器	189
8.4.3 一氧化碳传感器	190
8.4.4 乙醇传感器	190
8.4.5 氨气传感器	191
8.4.6 一氧化氮传感器	191
8.4.7 COS 传感器	191
8.4.8 氢传感器	192
8.5 新的发展趋势和应用	192
8.6 结论	194
参考文献	194

第二部分 传感器的医学应用

第 9 章 人体检测生物传感器的最新进展	202
9.1 引言：传感器和生物传感器	202
9.2 设计中要考虑的因素	203
9.2.1 侵入式传感器和生物相容性	203
9.2.2 无创传感器	204
9.2.3 穿戴式传感器的特殊要求	204
9.2.4 信号的噪声	204
9.2.5 伪差的产生	206
9.3 生物传感器应用	206

9.3.1	人体运动的识别	206
9.3.2	生物力学分析和金标准	207
9.3.3	认知状态分析	208
9.3.4	人机交互生物传感器	210
9.4	MEMS 在生物传感器中的应用	211
9.5	总结	212
	致谢	212
	参考文献	212
第 10 章	穿戴式出汗率检测传感器	214
10.1	引言	214
10.2	汗液检测	214
10.2.1	应用	216
10.3	穿戴式出汗率传感器：原理及应用	218
10.3.1	皮肤电导传感器	218
10.3.2	电阻手表	221
10.3.3	聚合纤维	222
10.3.4	导电纱线	224
10.3.5	湿度梯度传感器	224
10.4	总结和展望	228
	参考文献	229
第 11 章	未来的医学成像	231
11.1	引言	231
11.2	发展方向	231
11.2.1	EyeCam	231
11.3	个性化的医疗	233
11.3.1	数字医学成像的进展	233
11.3.2	通信技术对医学成像的帮助	235
11.3.3	自动监控	236
11.4	未来科技	237
11.4.1	目标	238
11.4.2	对科技的期望	238
11.4.3	发展的成本	239
11.4.4	性能	240
11.4.5	多处理器的复杂度	240
11.4.6	能耗	242
11.4.7	SoC 和 SiP 的结合	244

11.5 放眼未来	245
参考文献	246
第 12 章 半导体探测器在医学成像中的空间和频谱分辨率	247
12.1 引言	247
12.2 探测器的物理性质	248
12.2.1 直接及间接转换探测器	248
12.2.2 信号传输过程	251
12.3 空间分辨率	253
12.3.1 调制传递函数的定义	254
12.3.2 MTF 函数的仿真及测量	254
12.3.3 MTF 函数的性质	254
12.4 频谱分辨率	255
12.4.1 探测器响应函数 (DRF) 的定义	255
12.4.2 DRF 函数之间的比较	257
12.4.3 整合间接转换探测器	257
12.4.4 计数直接转换探测器	258
12.5 结论	260
参考文献	260
第 13 章 固态光电倍增管 (SSPM) 检测器的发展	263
13.1 背景	264
13.1.1 光电探测器回顾: PMTS 和晶体硅器件 (PIN, APD, SSPM)	264
13.2 SSPM 的特性	277
13.2.1 基本电气特性和模型	277
13.2.2 SSPM 的实验特性	279
13.3 核探测应用中的新兴闪烁体材料的回顾	284
13.3.1 伽马射线光谱学	285
13.3.2 其他应用: 中子检测、带电粒子检测和医学成像	287
13.4 应用于特殊闪烁检测场合的 CMOS SSPM	287
13.4.1 实时光谱剂量计	287
13.4.2 像素级的 SSPM	288
13.4.3 位置敏感的 SSPM	289
13.5 总结	289
致谢	290
参考文献	290
第 14 章 高分辨率碲化镉探测器及其在伽马射线成像中的应用	296

14.1	引言	296
14.2	高分辨率碲化镉探测器	297
14.3	极化现象	300
14.4	CdTe 像素探测器模块	302
14.5	层状结构 CdTe 探测器	304
14.6	CdTe 双面条形探测器	307
14.7	半导体康普顿相机	309
14.8	医疗成像中的可能应用	313
14.9	总结	315
	致谢	315
	参考文献	315
第 15 章 正电子发射断层扫描技术的最新进展		321
15.1	引言	321
15.2	PET 物理学简述	322
15.3	影响 PET 空间和对比分辨率的因素	323
15.4	基于飞行时间技术的 PET	324
15.5	基于闪烁晶体的放射性探测器	325
15.5.1	闪烁晶体	325
15.5.2	光电倍增管	327
15.5.3	雪崩光敏二极管以及位置敏感 APD	327
15.5.4	硅光电倍增管	328
15.6	半导体放射性探测器	330
15.7	带有 DOI 的 PET 探测器	331
15.8	MRI 兼容的 PET 探测器	333
15.9	专用 PET 系统	335
15.10	总结	337
	致谢	337
	参考文献	337

第一部分 传感器技术 第一章

第一部分

传感器的生物学应用

