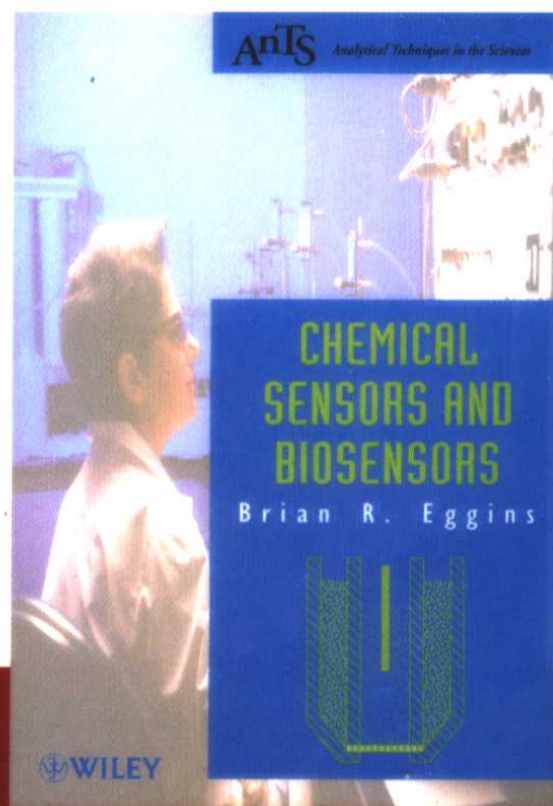


化学传感器 与生物传感器

[英] 布莱恩 R. 埃金斯 著
罗瑞贤 陈亮寰 陈霭璠 译

Chemical Industry Press



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

化学传感器 与生物传感器

[英] 布莱恩 R. 埃金斯 著
罗瑞贤 陈亮寰 陈霭璠 译



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

化学传感器与生物传感器/[英] 埃金斯 (Eggins, B. R.) 著;
罗瑞贤, 陈亮寰, 陈霭璠译. —北京: 化学工业出版社, 2005. 4
书名原文: Chemical Sensors and Biosensors
ISBN 7-5025-6834-4

I. 化… II. ①埃…②罗…③陈…④陈… III. ①化学传感器
②生物传感器 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 023398 号

Chemical Sensors and Biosensors/by Brian R. Eggins
ISBN 0-471-89914-3

Copyright©2002 by John Wiley & Sons Ltd. All rights reserved.

Authorized translation from the English language edition published by John Wiley & Sons Ltd.

本书中文简体字版由 John Wiley & Sons Ltd. 授权化学工业出版社独家出版发行。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2003-8472

化学传感器与生物传感器

[英] 布莱恩 R. 埃金斯 著
罗瑞贤 陈亮寰 陈霭璠 译

责任编辑: 戴燕红

文字编辑: 李 瑾

责任校对: 李 林

封面设计: 于 兵

*

化学工业出版社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
三河市延风装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 14¼ 彩插 1 字数 246 千字

2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6834-4/TQ·2183

定 价: 30.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

译者的话

本书是英国新近出版的分析技术丛书 (AnTS) 之一, 这套丛书基本概括了近年来科学发展中先进和广泛应用的主要分析技术和方法。本书所涉及的化学传感器和生物传感器属迅速发展中的前沿分析技术, 不同于光谱、色谱等仪器分析, 其以灵巧、成本相对较低和灵敏、快速的在线和原位分析监测为特色而广泛应用于化学、物理、医疗、材料、环保、工业过程自动控制和食品等领域。特别是随着材料科学的发展, 传感器研究也进入了一个新的发展阶段, 如从可控反应制备的纳米气敏材料和生物材料, 前者能监测环境中 10^{-6} 级含量的有害气体; 后者用于生物医疗和生命科学的接受器, 为生物传感器提供主要选择性基元和分子识别及对抗体、核酸和各种新型酶等提供特定的固定化方法。

本书论述了各类传感器中所用的多种形式的敏感和选择性元件及其原理, 文字简明易懂, 各章节设有学习摘要和总结, 书中有 140 个图示说明, 列举了多种传感器的详细结构及应用实例, 并有适量讨论题和自我测试题, 并附有提示和答案, 读者可由此检验学习的理解程度和阶段性进步。本书以开放式教学和参考书模式推出, 为非全日制和未能参加正规课程学习的学生提供自学教材, 适宜于分析化学本科生和相关研究领域的研究生、教师和产业部门技术人员参考, 特别对涉及环境和生物医疗领域的人士其价值不同寻常。

有关本书作者的教学和研究经历书中已有全面介绍, 本书译者曾在美国 Case Western Reserve 大学与电子设计中心主任、美国传感技术与控制名誉教授 Chung Chiun Liu 多年合作关于催化、电化学气体传感器的研究, 回国后一直从事催化和传感技术研究, 翻译此书也受益匪浅, 由于水平所限, 书中难免有疏漏之处, 欢迎读者批评指正。

译者

2005 年 1 月于北京化工大学

序 言

近几年继续教育的前景有望迅速扩展，为满足各种不同类型学生日益增长的接受教育的需求提供了更为多样化的灵活方法。在这方面，开放式学习法被证明为行之有效的教学方法，特别是对于那些因为各种原因不能接受全日制正规教育的学生来说更是如此。于是 John Wiley & Sons 有限公司在 20 世纪 80 年代后期首次出版发行了开放式教学 (ACOL) 系列教材中的《分析化学》一书。该系列丛书涵盖了主要的分析技术领域，快速建立起了该领域内有效的教学体系，为那些由于某些原因不能通过常规教育获得专业知识的人们提供了方便和灵活的学习方式。

伴随着 ACOL 丛书的成功出版发行，大家由丛书称号 ACOL 自然联想就会特别关注《分析化学》，而分析技术科学 (AnTS) 系列开放式教学丛书中的分析技术以其在众多学科中更加广阔的应用前景而适时推出，其主要内容分析技术和方法现今正在越来越多地得到应用。为此目的，AnTS 丛书不仅着重于各种实用技术，还为分析表征方法的必需要求提供了科学训练。

分析仪器设备一如既往向着精密复杂化方向发展，其结果，现在大多数可进行常规分析的材料范围也相应增加。这套丛书以偏重分析技术的角度反映了分析仪器领域内近年来的进展，同时又对特殊分析方法有关的基本概念和理论进行了全面而详细的叙述。这套教材涉及多种分析技术，包括一般仪器分析、光谱分析、色谱分析、电泳分析、串联技术、电分析方法、X 射线分析和其他重要专题技术。另外，系列丛书还论述了分析技术在多种领域内的应用，如环境科学、生命科学、医学临床诊断分析、食品科学、司法分析、制药科学、收藏及考古、聚合物科学和一般固态材料科学。

本书由各领域专家执笔，内容简明易懂，各个章节都设有学习目的和总结性论述。教材通篇设置了众多自评题 (SAQs) 和讨论题 (DQs)，及其提示和答案，读者可由此检验学习的阶段性进步情况。出自这些理由本套丛书明显适用于自学者和产业公司在职培训计划之基础培训。教材还列入了大量补充材料，包括首字母缩略词、缩写和符号以及 SI 制单位表和重要物理常数，外加相应术语汇

编和中英文名词对照等。

希望这套教学材料的出版有助于众多学生自学及各学科领域的教师教学参考。

戴维·恩朵 (Dave Ando)
达特福德 (Dartford), 英国

前 言

本书部分内容出自作者早期著作《生物传感器导论》，最初出版于1996年。此外，也用了许多同样素材，尽管现在其以开放式教学参考书的形式出版，后来又相继出版了《分析化学开放式教学丛书》(ACOL)和新版的《分析技术科学》(AnTS)丛书。相比前书，本书拓宽了有关化学传感器及生物传感器内容。

《生物传感器》原著最早由Ulster大学的一次生物传感器讲座而来，当时几乎没有合适内容的教科书。许多非全日制学生未能参加正规课程，他们以开放式教学方式学习了《生物传感器》并伴以不定期的辅导。这些学生按平均统计至少同其他相应全日制学生在考试中达到了一样的程度。

导论一章介绍了传感器的一般概念，其后第2章较详细地讨论了不同传感元件，如电化学和光学传感元件。第3章论述了如何将各种敏感元件有选择性地用于特定分析物质。第4章论述了选择性、灵敏度、适用范围、使用寿命等特性因素。第5章更详尽地论述了电化学在传感器和生物传感器中的应用。光学传感器放入第6章，质量敏感和热敏感的传感器放在第7章中阐述。最后第8章则详细地阐述了上述五种研究的各类应用情况。

非常感谢Ulster大学生物医疗环境传感器技术(BEST)中心的同事给予的帮助和勉励，约翰·安德森(John Anderson)教授，吉姆·麦克劳林(Jim McLaughlin)教授，托尼·拜内(Tony Byrne)博士和爱瑞卡·麦克安达姆博士(Eric McAdams, UU Jordanstown)，德摩特·戴蒙德(Dermot Diamond)教授，约翰尼斯·沃斯(Johannes Vos)和马柯姆·史密斯(Malcolm Smith, 都柏林城大学)以及来自法国杰弗理尔大学(Grenoble J Fourier)的女博士帕斯卡尔·马伊略(Pascal Mailley)和色姬·考丝尼亚(Serge Cosnier)。

还要向工作中联系过并得到过启发性指导的乔治·吉尔伯特(George Guillbault)教授表示致意，他在阔凯大学。柯蓝福尔德(Cranfield)大学的安东尼·特纳(Anthony Turner)教授，当然还有牛津大学的爱伦·西尔(Allen Hill)教授，他的讲座激发了我撰写生物传感器之类书籍的最早兴趣。还须提及爱尔兰丽(Eirelec)会议，新墨西哥大学的王乔(Wang Joe)教授和位于奥斯

丁(Austin)的得克萨斯大学的爱伦·巴德(Allen Bard)教授。我还要向过去的学生给予的帮助表示谢意,他们是爱德华·卡明(Edward Cummings)博士,周明(Min Zhou)博士,夏尼·麦克飞登(Shane McFadden)博士,卡区欧拿·茜凯(Catricia Hickey)小姐和斯蒂芬托·浮特(Stephen Toft)博士。

我特别要感谢戴维·恩朵(David Ando), AnTS丛书的主编,他对本书原稿提出的建议和编辑工作给予了巨大帮助和指导。

最主要的是我要感谢我的妻子克莉丝伊(Chrissie),正是她的倾力支持、鼓励和家务服务我才得以完成此书。

布莱恩 R. 埃金斯 (Ulster 大学, Jordanstown)

作者介绍

布莱恩·埃金斯 (Brian Eggins)

作者曾就读于爱德华 (Edward) 国王中学、伯明翰 (Birmingham) 大学以及剑桥大学的巩维乐 (Gonville) 学院和凯亚 (Caius) 学院 (先后取得文学士和文学硕士学位)。而后又取得了曼彻斯特 (Manchester) 科学技术学院 (UMIST) 的理学硕士学位, 接着又在沃维克 (Warwick) 大学取得博士学位。而后又在美国科罗拉多 (Colorado) 大学做了两年助理研究员。在格里姆斯比 (Grimsby) 技术学院作者有过一个时期的工业界和教学经历, 后转至阿尔司特 (Ulster) 聚合技术学院 (现为 Ulster 大学)。

目前作为 Ulster 大学的物理和分析化学学科负责人, 他的研究领域包括电化学和光电化学, 也涉及生物传感器。他指导过 15 名研究生, 目前正承担涉及 4 个欧洲国家也包括以色列在内的三项欧盟研究基金项目。作者在加拿大、美国和欧洲都讲过学, 已出版的研究论文达 100 多篇, 此外还撰写了《化学结构和反应活性》由麦克米兰 (Macmillan) 公司出版, Estructura Quimicay Reactividad 由 Ediciones Ballaterra 公司出版发行。另有《生物传感器导论》由 John Wiley & Sons 和 B. G. Teubner 有限公司联合出版。他荣膺英国皇家化学学会会员。

首字母缩略词、 缩写和符号

A	分析质
A*	分析质相似物
Ab	抗体
AC	交流电
Ag	抗原
AMP	腺苷 5'-磷酸
AP	酸性磷酸酶；作用电位
ATP	腺苷三磷酸
ATR	衰减全反射
BOD	生物氧需要量
C	库仑
CHEMFET	场效应晶体管，具有化学敏感栅
Cp	环戊二烯
CPE	碳糊电极
CV	循环伏安测量法
DAC	对二甲氨基肉桂醛
DC	直流电
DEAE	二乙胺乙基
DNA	脱氧核糖核酸
DVM	数字伏特计
ECQM	电化学石英晶体微量天平
emf	电动势
ENFET	场效应晶体管，具有酶栅系统
EW	损耗波
FAD	黄素腺嘌呤二核苷酸
Fc	二茂铁

FET	场效应晶体管
FIA	流动-注射分析
FITC	荧光素异硫氰酸盐
FMH	黄素单核苷酸
GC	气相色谱
GOD	葡萄糖氧化酶
HMDE	悬挂滴汞电极
HPLC	高性能液相色谱
id	内径
IGFET	隔离栅场效应晶体管
IR	红外
IRE	内反射基元
ISA	离子强度调节剂
ISE	离子选择性电极
ISFET	离子选择性场效应管
IUPAC	纯和应用化学国际单位
J	焦耳
LDH	乳酸脱氢酶
LDV	激光多普勒流速法
LED	光散射碘化物
LMO	乳酸单氧化酶
LOD	乳酸氧化酶
LSV	线性-扫描伏安法
MIS	金属-隔离器-半导体
MS	质谱
NAD	烟酰胺-腺嘌呤二核苷酸
NAD ⁺	烟酰胺-腺嘌呤二核苷酸 (氧化型)
NADH	烟酰胺-腺嘌呤二核苷酸 (还原型)
NMP	N-甲基吩噻嗪
Ox	氧化物质
PCS	相关联光谱
PO	过氧化酶
PPY	聚吡咯
QCM	石英晶体微量天平
QELS	似弹性光散射光谱
R	还原物种

RF	放射频率
RNA	核糖核酸
SAW	表面声波
SCE	饱和甘汞电极
SHE	标准氢电极
SI (Units)	国际单位制
SPE	丝网印刷电极
SPR	表面细胞质基因组共振
TCNQ	四氰醌二甲烷
TIRF	全内反射荧光
TISAB	总离子强度调节缓冲剂
TNT	三硝基甲苯
TTF	四硫富瓦烯
UV	紫外线
V	伏特
Vis	可见的
A	吸光率
<i>c</i>	浓度
C	电容
<i>f</i>	频率
<i>I</i>	电流; 强度 (光的强度)
<i>L</i>	电导
<i>m</i>	质量
<i>R</i>	电阻; 摩尔气体常数
<i>t</i>	时间
<i>T</i>	热力学温度
<i>V</i>	电位
ϵ	衰减系数
λ	波长
ν	频率 (或辐射频率)

内 容 提 要

化学传感器与生物传感器属于迅速发展中的分析技术。本书通篇论述了迄今为止所涉及的传感器领域，讨论了用于传感器中不同转换元件和应用的选择性元件。在写法上相对较少应用数学并采用寻常方法。主要内容包括基于电化学和光测转换器的传感器、质量敏感的传感器、热敏感传感器、传感器的特性因子以及一些应用举例。

本书可作为分析和物理化学专业及相关专业的本科生和研究生教材，也可供对化学传感器和生物传感器有兴趣的人士阅读。

目 录

第 1 章 导论	1
1.1 传感器导论	1
1.1.1 什么是传感器	1
1.1.2 鼻子也能看做传感器	2
1.2 传感器和生物传感器的定义	3
1.3 传感器概述	4
1.3.1 识别元件	4
1.3.2 转换器的检测装置	4
1.3.3 固定的方法	5
1.3.4 特性因子	5
1.3.5 应用领域	6
第 2 章 转换器元件	8
2.1 电化学传感器——导论	8
2.2 电位测量法和离子选择性电极：能斯特 (Nernst) 方程	9
2.2.1 电池和电极	9
2.2.2 参考电极.....	11
2.2.3 定量关系：能斯特方程.....	12
2.2.4 离子选择性电极的实用情况.....	16
2.2.5 测量和校正.....	17
2.3 伏安测量法和安培测量法.....	19
2.3.1 线性扫描伏安法.....	19
2.3.2 循环伏安测量法.....	21
2.3.3 计时安培测量法.....	23
2.3.4 安培 (电流) 测量法.....	24
2.3.5 动力学和催化效应.....	24
2.4 电导.....	25

2.5	场效应晶体管	27
2.5.1	半导体——导论	28
2.5.2	半导体-溶液的接触	30
2.5.3	场效应晶体管	30
2.6	修饰电极、薄膜电极和丝网印刷电极	32
2.6.1	厚膜丝网印刷电极	32
2.6.2	微型电极	33
2.6.3	薄膜电极	34
2.7	测量光度传感器	35
2.7.1	导论	35
2.7.2	光测技术	36
2.7.3	紫外和可见光的吸收光谱	37
2.7.4	荧光光谱	37
2.7.5	发光(冷光)	39
2.7.6	光传导器	44
2.7.7	装置构造	45
2.7.8	固相吸收标记传感器	45
2.7.9	应用	46
	参考文献	48
第3章	敏感元件	49
3.1	导论	49
3.2	离子识别	50
3.2.1	离子选择性电极——导论	50
3.2.2	干扰	50
3.2.3	电导装置	51
3.2.4	修饰电极和丝网印刷电极	52
3.3	分子识别——化学识别试剂	58
3.3.1	热力学-络合物形成	58
3.3.2	动力学-催化效应:动力学选择性	60
3.3.3	分子尺寸	60
3.4	分子识别——光谱识别	62
3.4.1	导论	62
3.4.2	红外光谱——分子	62
3.4.3	紫外光谱	63
3.4.4	核磁共振光谱	63
3.4.5	质谱测定法	63

3.5	分子识别——生物识别试剂	64
3.5.1	导论	64
3.5.2	酶	64
3.5.3	组织材料	66
3.5.4	微生物	67
3.5.5	线粒体	67
3.5.6	抗体	68
3.5.7	核酸	68
3.5.8	接受器	69
3.6	生物组分的固定化	70
3.6.1	导论	70
3.6.2	吸附	71
3.6.3	微囊包封	72
3.6.4	截留	73
3.6.5	交联	73
3.6.6	共价键	73
	参考文献	76
第4章	特性因子	78
4.1	导论	78
4.2	选择性	78
4.2.1	离子选择性电极	79
4.2.2	酶	80
4.2.3	抗体	81
4.2.4	接受器	81
4.2.5	其他	81
4.3	灵敏度	81
4.3.1	范围、线性范围和检测极限	81
4.4	时间因素	83
4.4.1	应答时间	83
4.4.2	恢复时间	83
4.4.3	寿命	84
4.5	精确度、准确性和可重复性	85
4.6	各种生物材料	87
4.7	各种转换器	87
4.7.1	尿素生物传感器	87
4.7.2	氨基酸生物传感器	89

4.7.3	葡萄糖生物传感器	89
4.7.4	尿酸	90
4.8	影响传感器性能的一些因素	90
4.8.1	酶的量	90
4.8.2	固定方法	91
4.8.3	pH 缓冲剂	91
	参考文献	92
第5章	电化学传感器和生物传感器	93
5.1	电位型传感器——离子选择性电极	93
5.1.1	浓度和活度	93
5.1.2	校正图线	95
5.1.3	离子选择性电极的实例	97
5.1.4	气体传感器——气敏电极	99
5.2	电位型生物传感器	99
5.2.1	pH 键连	100
5.2.2	氨键连	100
5.2.3	二氧化碳键连	101
5.2.4	碘选择性电极	101
5.2.5	硫化银键连	102
5.3	电流型传感器	103
5.3.1	直接电解方法	103
5.3.2	生物传感器的三种产生模式	103
5.3.3	第一种模式——氧电极	104
5.3.4	第二种模式——媒介体	106
5.3.5	第三种模式——直接偶联酶电极	111
5.3.6	NADH/NAD ⁺	112
5.3.7	电流型生物传感器的实例	115
5.3.8	电流型气体传感器	120
5.4	电导测定型传感器和生物传感器	122
5.4.1	化学电阻器	122
5.4.2	基于化学电阻器的生物传感器	122
5.4.3	半导体氧化物传感器	122
5.5	场效应晶体管传感器的应用	123
5.5.1	化学敏感场效应晶体管 (CHEMFETs)	124
5.5.2	离子选择性场效应晶体管 (ISFETs)	124
5.5.3	场效应晶体管基的生物传感器 (ENFETs)	124