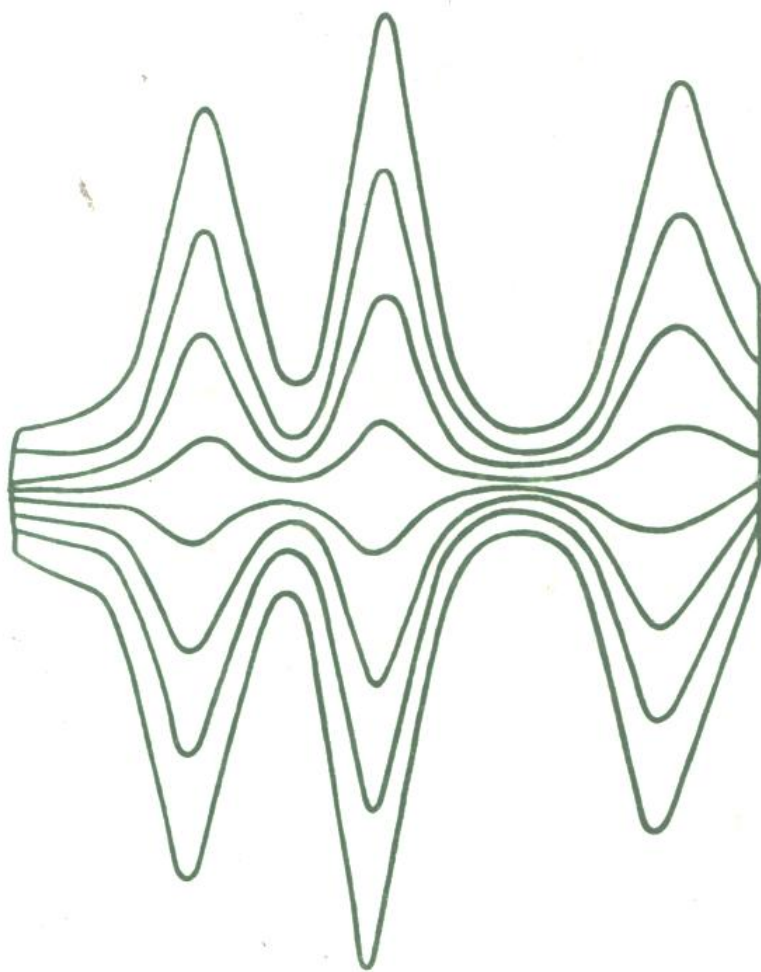


化学修饰电极

CHEMICALLY MODIFIED ELECTRODES

董绍俊 车广礼 谢远武 著



科学出版社

化学修饰电极

CHEMICALLY MODIFIED ELECTRODES

董绍俊 车广礼 谢远武 著

科学出版社

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书以化学和相关边缘科学为基础,结合现代电化学和电分析化学的最新发展,系统地介绍了化学修饰电极的由来、表面分子设计与制备、表征方法、膜内的电荷传输、电极过程动力学、功能与效应及其在生物传感器、蛋白质的电子转移、流动体系和分析中的应用,展望了化学修饰电极的发展前景,并对近期受到关注的无机膜和聚合物膜修饰电极另列章节分别论述。

本书可供电化学、电分析化学和相关边缘科学工作者研究、教学参考。

化 学 修 饰 电 极 CHEMICALLY MODIFIED ELECTRODES

董绍俊 车广礼 谢远武著

汪尔康 审 校

责任编辑 赵书云

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

中国科学院长春应用化学研究所印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1995年3月第一版 开本:787×1092 1/16

1995年3月长春第一次印刷 印张:36 5/8

印数:1-2500 字数:808千字

ISBN 7-03-004641-2/O·795

定价:44.80元

序

化学修饰电极是 70 年代中期发展起来的一门新兴的、也是目前最活跃的电化学和电分析化学的前沿领域，它是中国科学院长春应用化学研究所电分析化学开放研究实验室的重要研究方向。化学修饰电极是在电极表面进行分子设计，将具有优良化学性质的分子、离子、聚合物设计固定在电极表面，使电极具有某种特定的化学和电化学性质，丰富了电化学的电极材料，扩展了电化学的研究领域。目前已应用于生命科学、环境科学、能源科学、分析科学、电子学以及材料科学等诸多方面。董绍俊研究员自 1980 年以来在国内最早开辟这一研究领域，着重研究了化学修饰电极的基础理论、设计、制备及应用。她培养了一批博士和硕士，形成了一支包括博士、博士后及研究生的中青年研究队伍，车广礼博士和谢远武博士便是其中的优秀代表。已发表论文 300 余篇，约占国际上这一研究领域公开发表论文总数的十几分之一，曾多次获国家、院部级奖励，在国际上颇有影响。电分析化学开放研究实验室也成为该研究领域的重要基地。

董绍俊研究员以亲身从事该领域研究 15 年的丰富经验和深刻体会，与车广礼和谢远武合作著成此书。该书主要以电分析化学开放研究实验室在此研究领域的成就为主线，穿插国内外著名的研究成果，主要囊括了化学修饰电极的分子设计与制备、研究方法、电极过程动力学和功能与效应等，系统地总结了国内外化学修饰电极的发展，跟踪了该领域的最新动向，展望了化学修饰电极的前景，引用文献 1000 多篇，对我国电化学、电分析化学的发展具有重要的学术价值和实际的指导意义。

本书的最大特点是它的创造性和深刻性，澄清了长期以来有些模糊不清的概念，注重基础理论和实验结果的一致性，对有些不同学者的研究结果和观点进行了统一，理顺了相互关系，更有利于促进这一学科的发展。这本书的出版将展示我国在化学修饰电极这一领域的国际地位和丰硕成果，进一步促进这一领域的发展。这是一本重要的学术著作，可供从事电化学与电分析化学的教学与科研人员参考。

中国科学院院士
西北大学教授

1994 年 7 月 18 日

· I ·

前 言

本书是著者以中国科学院长春应用化学研究所电分析化学开放研究实验室多年的化学修饰电极研究工作为基础写成的。化学修饰电极是电化学和电分析化学研究十分活跃的领域，目前已有 4000 多篇研究论文发表，涉及到生命科学、能源科学、分析科学、电子学以及材料科学等，为化学和相关边缘学科开拓了一个创新和充满希望的广阔研究领域。我们自 1980 年开始从事这一领域的研究，培养造就了一批包括博士、博士后和研究生的中青年研究队伍。在长期的研究工作中，对化学修饰电极的理论和应用积累了大量的实践经验和科研成果，我们把这些劳动的结晶倾注于本书之中，奉献给科学界的同仁。

本书共分十四章 80 多万字，从基本理论、方法出发，主要概括了 1993 年以前的最新成就和发展趋势，详尽地论述了化学修饰电极的由来、表面分子设计与制备、表征方法、膜内的电荷传输、电极过程动力学、功能与效应及其在生物传感器、流动体系、蛋白质的电子转移和分析中的应用，展望了化学修饰电极的发展前景，并对近期受到关注的无机膜和聚合物膜修饰电极另列章节分别论述。本书力求做到原理清楚、理论系统、方法具体、内容新颖充实，各章节配置合理，论述和分析深入，适于作电化学和电分析化学研究与教学的参考书。

本书由董绍俊研究员和车广礼博士、谢远武博士合著，汪尔康院士审校。在成稿与勘校等工作中得到了本实验室的牛建军博士、池其金博士、刘安华博士和博士研究生邓青、陈挺等的大力协助，李虹云同志承担了部分章节的文字打印工作，在此一并表示感谢。

本书的问世若能对我国电化学和电分析化学事业的发展有一定的促进作用，我们将为此感到欣慰。由于我们的水平所限，谬误和疏漏在所难免，敬请读者批评指正。

著 者

1994 年 7 月 18 日于长春

PREFACE

Chemically modified electrodes continue to be a field of exciting research since the middle of the seventies. From the beginning, electrochemists try to deliberate control of reactivity at the electrode/electrolyte interface. The idea is to transfer the known chemical or electron transfer reactivity of the attached molecular species to the interface region. Many techniques have been developed for preparation of modified surfaces, and a variety of modified electrodes have been demonstrated to function as rationally designed. The significant progress has come in polymer film electrodes, recently the conducting polymer film as well as inorganic complex film being more attractive in their stability. The wide range of promising applications has been developed over the last ten years, including charge transfer kinetics, electrocatalysis, electroanalysis, electrochromism, electrosynthesis and corrosion protection. Chemically modified electrodes are now on the brink of being introduced in energy conversion system, bioelectrochemistry and photoelectrochemistry.

While the early monomolecular layers on the electrode surface were often structurally known, they are not coherently organized. Most current monolayer approaches, as Langmuir-Blodgett and especially self assembling, attempt to introduce both structure and coherence structure into the electrode coating, providing a need platform for probing relationships between molecular microstructure of the interfacial region and macroscopic electrochemical function of an electrode. The *in-situ* methods permit characterization of the interfacial region in solution under reaction conditions, and the scanning tunneling microscopic methods give insights into the nature of the electrolyte structure within angstroms of an electrode surface, they provide the main methodological driving force for new development of chemically modified electrodes.

This book elucidates the fundamental theories, methods of preparation and characterization, as well as applications in various aspects of chemically modified electrodes. We have tried to give critical survey of the most important literatures and to provide a representative selection of examples. The topics discussed in this book are those of great interest at present, which may offer some helpful guidelines for the study of the vast papers in this field. We intend here to summarize and systematize the knowledge and contributions from our Laboratory of Electroanalytical Chemistry. This book presents the current state of the art of chemically modified electrodes, it is hoped to give a significant impulse to the development of researches in this field, especially in our country.

We would like to thank all the people who helped us during the preparation of this book.

ChangChun, October 1994

Shaojun Dong, Guangli Che and Yuanwu Xie

目 录

第一章 绪 论	(1)
1.1 化学修饰电极的发展过程	(1)
1.1.1 化学修饰电极的来源	(1)
1.1.2 化学修饰电极的兴起	(3)
1.1.3 电极表面的化学修饰	(4)
1.2 IUPAC 对化学修饰电极的命名和定义	(5)
1.2.1 命名和定义	(6)
1.2.2 有关聚合物薄膜的性质	(8)
1.3 有关化学修饰电极的几个方面	(8)
1.3.1 化学修饰电极的含义	(8)
1.3.2 化学修饰电极的安培检测	(9)
1.3.3 化学修饰电极电催化的类型和特点	(9)
1.3.4 化学修饰电极在分析化学中的意义	(10)
1.3.5 电极表面修饰与酶电极的发展	(11)
1.3.6 电极表面微结构呈现电学和光学的响应	(11)
1.3.7 化学修饰电极与立体有机合成	(11)
1.3.8 分子修饰半导体表面对能量转换的作用	(12)
1.4 化学修饰电极的研究、理论和应用	(12)
参考文献	(13)
第二章 化学修饰电极的制备和类型	(16)
2.1 固体电极表面的清洁处理	(17)
2.1.1 鉴定固体电极表面的方法	(17)
2.1.2 机械研磨和抛光	(18)
2.1.3 化学法和电化学法处理	(19)
2.2 共价键合法	(19)
2.2.1 碳电极为基的化学修饰	(20)
2.2.2 金属和金属氧化物为基的化学修饰	(22)
2.3 吸附法	(23)
2.3.1 化学吸附法	(23)
2.3.2 欠电位沉积法	(26)

2.3.3 LB(Langmuir-Blodgett)膜法	(27)
2.3.4 SA (Self assembling) 膜法	(30)
2.4 聚合物薄膜法	(32)
2.4.1 从聚合物出发制备	(32)
2.4.2 从单体出发制备	(33)
2.5 组合法	(39)
2.5.1 化学修饰碳糊电极(CMCPE)的制备	(39)
2.5.2 CMCPE 的活化和再生	(39)
2.6 其它方法	(40)
2.6.1 混合价态化合物修饰	(40)
2.6.2 金属、金属氧化物和多酸类	(41)
2.6.3 沸石和粘土类	(42)
参考文献	(43)

第三章 化学修饰电极的表征

3.1 电化学方法表征化学修饰电极	(52)
3.1.1 循环伏安法	(52)
3.1.2 计时电流法	(58)
3.1.3 计时库仑法	(61)
3.1.4 计时电位法	(63)
3.1.5 脉冲伏安法	(66)
3.1.6 电化学交流阻抗谱(EIS)	(66)
3.1.7 超微电极上的计时电流法	(68)
3.2 光谱法研究化学修饰电极	(70)
3.2.1 现场光谱电化学基本原理	(71)
3.2.2 紫外-可见光谱电化学法	(72)
3.2.3 红外光谱电化学法	(84)
3.2.4 激光光谱法	(89)
3.3 波谱法表征化学修饰电极—电子自旋共振(ESR)	(91)
3.4 表面分析能谱法表征化学修饰电极	(94)
3.4.1 表面分析能谱的概述	(94)
3.4.2 XPS 和 AES 表征化学修饰电极	(97)
3.5 现场 X-Ray 衍射法表征化学修饰电极	(99)
3.5.1 现场 EXAFS 电化学池	(99)
3.5.2 表征化学修饰电极	(99)
3.6 石英晶体微天平(QCM)表征化学修饰电极	(101)
3.6.1 QCM 的基本原理	(101)
3.6.2 表征化学修饰电极	(102)

3.7 显微学表征化学修饰电极	(103)
3.7.1 扫描电子显微镜	(104)
3.7.2 扫描隧道显微镜	(106)
3.7.3 扫描电化学显微镜(SECM)	(108)
参考文献	(113)
第四章 单分子层化学修饰电极的电极过程动力学	(120)
4.1 等温吸附理论	(120)
4.1.1 Langmuir 等温吸附	(120)
4.1.2 Frumkin 等温吸附	(121)
4.1.3 Temkin 等温吸附	(121)
4.2 单分子层化学修饰电极反应的总过程	(121)
4.3 理想单分子层化学修饰电极的电化学响应	(122)
4.4 非理想单分子层化学修饰电极的电化学响应	(124)
4.5 氧化还原型单分子层化学修饰电极表面反应异相动力学	(128)
4.5.1 理想氧化还原型单分子层化学修饰电极的异相动力学	(128)
4.5.2 非理想氧化还原型单分子层化学修饰电极的异相动力学	(130)
4.6 单分子层化学修饰电极的电催化动力学	(132)
4.6.1 旋转圆盘电极的稳态伏安法	(132)
4.6.2 单分子层化学修饰电极不稳定电催化动力学研究方法	(135)
4.6.3 单分子层化学修饰电极电催化过程的循环伏安理论	(138)
参考文献	(143)
第五章 聚合物膜内的电荷传输	(145)
5.1 电解质溶液中的电荷传输	(145)
5.1.1 离子的扩散	(145)
5.1.2 离子的电迁移	(146)
5.1.3 离子的对流扩散	(146)
5.1.4 离子间的电子自交换	(146)
5.2 聚合物薄膜内的电荷传输	(149)
5.2.1 电子跳跃(电子自交换)	(149)
5.2.2 氧化还原体在膜内的扩散	(150)
5.2.3 对离子的电迁移(静电效应)	(151)
5.2.4 伴随扩散	(151)
5.2.5 聚合物链在膜内的运动	(151)
5.2.6 导电聚合物的电荷传输	(152)
5.2.7 膜内电荷传输定律	(152)
5.3 电子转移理论	(154)

5.3.1 Marcus 的交叉反应电子转移理论	(154)
5.3.2 均相电子转移与异相电子转移速率常数的关系	(155)
参考文献	(156)

第六章 聚合物薄膜修饰电极的电极过程动力学 (161)

6.1 引言	(161)
6.2 聚合物膜修饰电极上的电极反应总过程	(161)
6.2.1 非氧化还原型聚合物膜修饰电极过程	(161)
6.2.2 氧化还原型聚合物膜修饰电极异相电极过程	(162)
6.2.3 氧化还原型聚合物膜修饰电极电催化过程	(162)
6.3 聚合物膜修饰电极的渗透过程	(164)
6.3.1 聚合物膜的渗透过程	(164)
6.3.2 聚合物膜的渗透理论	(164)
6.3.3 聚合物膜的渗透动力学研究	(168)
6.4 聚合物膜修饰电极的异相动力学过程	(173)
6.4.1 膜/溶液界面的异相动力学	(173)
6.4.2 膜/电极界面的异相动力学	(174)
6.5 聚合物膜内电子转移过程动力学	(175)
6.6 氧化还原型聚合物膜修饰电极电催化动力学	(175)
6.6.1 考虑双因素的电催化过程	(176)
6.6.2 考虑四因素的电催化过程	(178)
6.6.3 考虑五因素的电催化过程	(191)
6.6.4 考虑六因素的电催化过程	(194)
6.6.5 预活化电催化过程	(196)
6.6.6 电催化公式的应用	(197)
6.7 非氧化还原型聚合物膜修饰电极电催化动力学	(203)
6.7.1 微异相催化的宏观过程	(204)
6.7.2 微异相催化的微观过程	(204)
参考文献	(207)

第七章 化学修饰电极的功能与效应 (210)

7.1 化学修饰电极电催化	(210)
7.1.1 化学修饰电极电催化的一般原理及影响因素	(211)
7.1.2 化学修饰电极电催化氧化还原	(213)
7.2 化学修饰电极的光电化学	(224)
7.2.1 光阳极腐蚀的防护	(224)
7.2.2 光电催化	(226)
7.2.3 化学修饰半导体电极的光敏作用	(227)

7.3 化学修饰电极的电化学发光	(229)
7.4 化学修饰电极用于有机电合成	(229)
7.4.1 氧化还原型化学修饰电极电催化在电合成中的应用	(230)
7.4.2 生成物选择的反应	(231)
7.4.3 基质选择的有机电合成	(234)
7.5 化学修饰电极的电色效应	(235)
7.5.1 染料化学修饰电极的电色效应	(236)
7.5.2 无机膜化学修饰电极的电色效应	(238)
7.5.3 聚合物膜化学修饰电极的电色效应	(239)
7.6 化学修饰电极作为分子电子器件	(240)
7.6.1 化学修饰电极的整流作用	(240)
7.6.2 化学修饰电极制备的电化学晶体管	(243)
7.6.3 化学修饰电极的离子门效应	(245)
7.6.4 化学修饰电极的人工肌肉功能	(246)
7.6.5 化学修饰电极的去离子化效应	(246)
7.7 化学修饰电极的电化学控制释放	(247)
7.7.1 化学修饰电极的共价键合负载	(249)
7.7.2 化学修饰电极的离子键合负载	(251)
参考文献	(253)

第八章 无机化合物薄膜修饰电极

8.1 多核过渡金属氰化物薄膜修饰电极	(260)
8.1.1 过渡金属氰化物的结构和性质	(260)
8.1.2 过渡金属氰化物膜的制备	(261)
8.1.3 电化学行为	(262)
8.1.4 热力学和动力学因素	(266)
8.1.5 应用	(266)
8.2 粘土类薄膜化学修饰电极	(267)
8.2.1 粘土的基本结构与特性	(267)
8.2.2 修饰电极的制备与膜的定向	(268)
8.2.3 电中性物质通过粘土薄膜的扩散	(271)
8.2.4 荷正电的电活性物质的离子交换	(271)
8.2.5 荷负电的电活性物质的电化学行为	(273)
8.2.6 应用	(275)
8.3 分子筛薄膜修饰电极	(276)
8.3.1 分子筛的结构及性能	(276)
8.3.2 修饰电极的制备方法	(277)
8.3.3 修饰电极的分子识别	(280)

8.3.4 分子筛中的扩散和传输	(281)
8.3.5 分子筛修饰电极的应用	(282)
8.4 多酸化学修饰电极	(282)
8.4.1 多酸化合物的结构及特性	(282)
8.4.2 多酸修饰电极的制备方法	(283)
8.4.3 多酸修饰电极的电化学性质和电催化作用	(286)
8.4.4 金属取代杂多酸	(289)
参考文献	(291)

第九章 聚合物薄膜修饰电极

9.1 惰性薄膜	(296)
9.2 电活性(氧化还原)聚合物薄膜	(297)
9.2.1 电化学行为	(297)
9.2.2 各种因素对伏安行为的影响	(298)
9.2.3 几种新型电活性聚合物薄膜举例	(301)
9.3 离子交换聚合物薄膜	(306)
9.3.1 阴离子交换剂	(306)
9.3.2 阳离子交换剂	(310)
9.4 导电聚合物薄膜	(321)
9.4.1 聚吡咯	(321)
9.4.2 聚噻吩	(328)
9.4.3 聚苯胺	(338)
参考文献	(350)

第十章 化学修饰电极在分析化学中的应用

10.1 用于分析的基本要求	(362)
10.2 选择性富集分离	(364)
10.2.1 富集、分离过程	(364)
10.2.2 检测与再生	(371)
10.3 电催化作用	(372)
10.3.1 单分子层修饰电极	(372)
10.3.2 多分子层修饰电极	(377)
10.3.3 碳糊化学修饰电极	(377)
10.3.4 金属氧化物修饰电极	(379)
10.4 选择性渗透	(381)
10.4.1 大小排阻	(381)
10.4.2 电荷排阻	(384)
10.4.3 极性排阻	(387)

10.4.4 混合控制	(388)
10.5 离子通道传感器	(392)
10.5.1 传感器原理	(392)
10.5.2 LB 膜对被测物的识别	(392)
10.5.3 离子通道的放大作用	(393)
10.5.4 其它类型离子通道传感器	(394)
10.6 电位传感器	(396)
10.6.1 pH 传感器	(396)
10.6.2 聚合物掺杂的阴离子传感器	(399)
10.6.3 其它类型的传感器	(400)
参考文献	(402)

第十一章 化学修饰电极在 FIA 和 HPLC 中的应用

11.1 基本原理	(408)
11.2 儿茶酚胺及其代谢产物	(410)
11.3 过氧化物、胍类化合物	(412)
11.3.1 过氧化物	(412)
11.3.2 胍类化合物	(413)
11.4 碳水化合物和多羟基酚	(414)
11.5 巯基化合物、醇和 α -酮酸	(420)
11.5.1 巯基化合物	(420)
11.5.2 醇	(422)
11.5.3 草酸、 α -酮酸和酚酸	(423)
11.6 NADH 和蛋白质	(425)
11.6.1 NADH	(425)
11.6.2 蛋白质	(426)
11.7 无机物质	(427)
11.8 非电活性离子	(428)
11.9 阳离子药物和局部麻醉剂	(432)
11.10 多组分分析	(433)
参考文献	(437)

第十二章 氧化还原蛋白质和酶的直接电化学

12.1 前言	(440)
12.2 细胞色素 c 在联吡啶类修饰金电极上的直接电化学	(440)
12.2.1 细胞色素 c 分子的基本化学结构	(440)
12.2.2 4-吡啶类化合物在金电极表面的吸附	(442)
12.2.3 实验的促进剂	(442)

12.2.4 细胞色素 c 的化学修饰	(451)
12.2.5 聚赖氨酸的影响	(451)
12.2.6 pH 的影响	(452)
12.2.7 表面取代、稀释	(453)
12.2.8 Hill 快速吸脱附模型	(454)
12.2.9 Niki 不可逆吸附模型	(455)
12.2.10 统一的机理	(455)
12.3 细胞色素 c 在其它电极上的直接电化学	(457)
12.3.1 细胞色素 c 在碳电极上的直接电化学	(457)
12.3.2 细胞色素 c 在金属氧化物电极上的直接电化学	(458)
12.3.3 细胞色素 c 在金属电极上的直接电化学	(462)
12.4 其它氧化还原蛋白质的直接电化学	(464)
12.4.1 肌红蛋白和血红蛋白的直接电化学	(464)
12.4.2 其它细胞色素类蛋白质的直接电化学	(470)
12.4.3 其它荷负电蛋白质的直接电化学	(471)
12.5 酶的直接电化学	(475)
12.5.1 过氧化物酶的直接电化学	(475)
12.5.2 氧化酶的直接电化学	(475)
12.5.3 氢化酶和脱氢酶的直接电化学	(476)
12.5.4 对甲酚甲基羟化酶的直接电化学	(478)
12.5.5 超氧化物歧化酶的直接电化学	(479)
参考文献	(479)

第十三章 化学修饰电极在生物传感器中的应用 (484)

13.1 前言	(484)
13.2 生物组分的固定化	(486)
13.2.1 吸附法	(487)
13.2.2 共价键合法	(488)
13.2.3 凝胶/聚合物包埋	(490)
13.2.4 交联	(491)
13.2.5 其它方法	(492)
13.3 电极响应的增强	(493)
13.3.1 电子媒介体	(493)
13.3.2 有机导电盐电极	(500)
13.3.3 直接电子转移	(504)
13.3.4 酶循环与酶法溶出	(511)
13.3.5 其它方法	(514)
13.4 干扰和电极玷污的防止	(516)

13.4.1 化学消除	(516)
13.4.2 聚合物膜	(516)
13.4.3 示差测量	(517)
13.5 全化学法构成的生物传感器	(517)
参考文献.....	(519)
第十四章 化学修饰电极的展望	(525)
14.1 技术和方法	(526)
14.1.1 现场观测	(526)
14.1.2 高灵敏检测	(528)
14.2 微结构和动力学	(533)
14.2.1 自组膜	(533)
14.2.2 聚合物膜	(535)
14.3 研究与应用	(537)
14.3.1 在生命科学研究方面	(537)
14.3.2 在电有机合成中的立体选择	(545)
14.3.3 微修饰膜的结构与分子电子器件	(545)
14.3.4 新型化学修饰电极	(547)
14.3.5 在分析化学中的应用	(548)
参考文献.....	(551)

CONTENTS

Chapter 1	INTRODUCTION	(1)
1.1	A Short Review of Chemically Modified Electrodes	(1)
1.1.1	Historical Perspective	(1)
1.1.2	Development Survey	(3)
1.1.3	Chemical Modification on the Electrode Surface	(4)
1.2	Terminology and Definition for Chemically Modified Electrodes Recommended by IUPAC	(5)
1.2.1	Terminology and Definition	(6)
1.2.2	Properties of Polymer Film	(8)
1.3	Some Aspect of Chemically Modified Electrodes	(8)
1.3.1	Implication	(8)
1.3.2	Amperometric Detection	(9)
1.3.3	Types and Feature of Electrocatalysis	(9)
1.3.4	The Use in Analytical Chemistry	(10)
1.3.5	Enzyme Electrodes with Surface Modification	(11)
1.3.6	Electrical and Optical Response on Electrode Microstructure	(11)
1.3.7	Chemically Modified Electrodes for Stereo Organic Electrosyntheses	(11)
1.3.8	Molecular Modified Semiconductor Electrodes in Energy Conversion	(12)
1.4	Theories and Applications of Chemically Modified Electrodes	(12)
	References	(13)
Chapter 2	PREPARATION AND TYPES OF CHEMICALLY MODIFIED ELECTRODES	(16)
2.1	Pretreatment of Solid Electrode Surface	(17)
2.1.1	Evaluation of Solid Electrode Surface	(17)
2.1.2	Mechanical Polishment	(18)
2.1.3	Chemical or Electrochemical Methods	(19)
2.2	Covalent Bonding	(19)

2.2.1	Modification of Carbon Electrodes	(20)
2.2.2	Modification of Metal / Metal Oxide Electrodes	(22)
2.3	Adsorption	(23)
2.3.1	Chemisorption	(23)
2.3.2	Under Potential Deposition(UPD)	(26)
2.3.3	Langmuir-Blodgett(LB) Film	(27)
2.3.4	Self Assembling(SA) Film	(30)
2.4	Polymer Film	(32)
2.4.1	Preparation from Polymer	(32)
2.4.2	Preparation from Monomer	(33)
2.5	Composite Methods	(39)
2.5.1	Preparation of Chemically Modified Carbon Paste Electrodes(CMCPE)	(39)
2.5.2	Activation and Regeneration of CMCPE	(39)
2.6	Other Methods	(40)
2.6.1	Mixed-Valence Compounds	(40)
2.6.2	Metal, Metal Oxide and Polyacid	(41)
2.6.3	Zeolite and Clay	(42)
	References	(43)

Chapter 3 METHODS FOR STUDYING CHEMICALLY

	MODIFIED ELECTRODES	(52)
3.1	Characterization by Electrochemical Methods	(52)
3.1.1	Cyclic Voltammetry	(52)
3.1.2	Chronoamperometry	(58)
3.1.3	Chronocoulometry	(61)
3.1.4	Chronopotentiometry	(63)
3.1.5	Pulse Voltammetry	(66)
3.1.6	Electrochemical Impedance Spectra(EIS)	(66)
3.1.7	Chronoamperometry at Ultramicroelectrodes	(68)
3.2	Characterization by Spectroscopy	(70)
3.2.1	Principle of <i>In-Situ</i> Spectroelectrochemistry	(71)
3.2.2	UV Spectroelectrochemistry	(72)
3.2.3	IR Spectroelectrochemistry	(84)
3.2.4	Laser Spectroelectrochemistry	(89)
3.3	Characterization by Electron Spin Resonance(ESR)	(91)
3.4	Characterization by Energy Spectroscopy	(94)
3.4.1	General	(94)

• IV •