

Modern Electroplating

现代电镀

(原著第四版)

Fourth Edition

[加] 施莱辛格 (Schlesinger, M.)

[美] 庞诺威奇 (Paunovic, M.)

主编

范宏义 等译



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

Modern Electroplating

现代电镀

(原著第四版)

Fourth Edition

[加] 施莱辛格 (Schlesinger, M.) 主编
[美] 庞诺威奇 (Paunovic, M.)

范宏义 等译



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

现代电镀. 第四版/[加]施莱辛格 (Schlesinger, M.),
[美]庞诺威奇 (Paunovic, M.) 主编; 范宏义等译.
北京: 化学工业出版社, 2006. 8
书名原文: Modern Electroplating
ISBN 7-5025-9030-7

I. 现… II. ①施…②庞…③范… III. 电镀
IV. TQ153

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 071095 号

Modern Electroplating, Fourth Edition/Edited by Mordechai Schlesinger,
Milan Paunovic

ISBN 0-471-16824-6

Copyright © 2000 by John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

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

本书中文简体字版由 John Wiley & Sons 出版公司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: 01-2003-7161

现代电镀

(原著第四版)

[加] 施莱辛格 (Schlesinger, M.) 主编

[美] 庞诺威奇 (Paunovic, M.)

范宏义 等译

责任编辑: 段志兵

责任校对: 宋 玮

封面设计: 韩 飞

*

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

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市万龙印装有限公司装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 44 $\frac{3}{4}$ 字数 853 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-9030-7

定 价: 88.00 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

作者名录

JOSEPH A. ABYS, Lucent Technologies, Electroplating Chemicals and Services,
Staten Island, NY

GEORGE A. DI BARI, INCO, Saddle Brook, NJ

JACK W. DINI, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA

TAKAYUKI HOMMA, Department of Applied Chemistry, Waseda University,
Tokyo, Japan

MASANOBU IZAKI, Department of Inorganic Chemistry, Osaka Municipal Techni-
cal Research Institute, Osaka, Japan

MANFRED JORDAN, Dr. Ing. Mas Schlötter GmbH & Co. KG, Galvanotechnik,
D-73304 Geising/Steige, Germany

MASARU KATO, Central Research Laboratory, Kanto Chemical Company, Soka
Saitama-ken, Japan

PAUL A. KOHL, Georgia Institute of Technology, School of Chemical Engineering,
Atlanta, GA

SHINICHI KOMABA, Department of Applied Chemistry, Waseda University, Tokyo,
Japan

N. V. MANDICH, HBM Electrochemical Company, Lansing, IL

TOSHIYUKI MOMMA, Department of Applied Chemistry, Waseda University, Tokyo,
Japan

IZUMI OHNO, Tokyo Institute of Technology, Department of Metallurgical
Engineering, Tokyo, Japan

YUTAKA OKINAKA, Advanced Research Center for Science and Engineering,
Waseda University, Tokyo, Japan

TETSUYA OSAKA, Department of Applied Chemistry, Waseda University, Tokyo,
Japan

MILAN PAUNOVIC, IBM T.J. Watson Research Center, Yorktown Heights, NY

MORDECHAY SCHLESINGER, Department of Physics, University of Windsor,
Windsor Ontario, Canada

T. E. SCHLESINGER, Department of Electrical and Computer Engineering, Carnegie
Mellon University, Pittsburgh, PA

DEXTER D. SNYDER, General Motors Research and Development Center, Warren,
MI

DONALD L. SNYDER, ATO Tech, Cleveland, OH

DENNIS R. TURNER, 59 Susan Drive, Chatham, NJ

MICHA TOMKIEWICZ, Department of Physics, Brooklyn College of SUNY,
Brooklyn, NY

ROLF WEIL, 47 Carteret Street, West Orange, NJ

RENÉ WINAND, Department of Metallurgy and Electrochemistry, University of
Bruxelles, Bruxelles, Belgium

TOKIHIKO YOKOSHIMA, Department of Applied Chemistry, Waseda University,
Tokyo, Japan

YUN ZHANG, Lucent Technologies, Electroplating Chemicals and Services, Staten
Island, NY

译者的话

《现代电镀》第四版由不同的作者系统地介绍了电化学沉积的基本原理，各种金属及合金的电沉积、半导体的电沉积和绝缘体的电沉积、导电性聚合物的电沉积，各种金属及合金的化学镀，沉积前预处理工艺，生产技术，监测、试验和控制，沉积与环境等。既完整、详细地解释了电沉积过程，又全面地描述了相关的电化学沉积技术。该书既适合有实践经验的技术人员，也适合初学者，不失为电镀工作者的良师益友。

本书前言及第1章由陈祝平翻译，第2、3、4章由毛祖国翻译，第5、13、17、18、19、20、21、22、23章及附录由范宏义翻译，第7、8、9、10、11章由熊刚翻译，第6、12、14、15、16、24、25章由郭忠诚翻译，第26章由高媛翻译。最后由范宏义统稿。

由于译者水平有限，时间仓促，译文不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

范宏义

2006.6

英文版前言

在策划这本新版《现代电镀》之初我们就意识到，在一本书中要详尽叙述电镀技术和电镀理论两大内容是不可能的，为此，决定将电沉积理论上的新近进展编入《电化学沉积导论》一书中，该书已于1998年11月出版。本书仅在第1章中对所必要的基础知识作简要介绍，以便初学者入门。

自从1975年版《现代电镀》至今，电镀从一个为人们所误解的领域（如同前版前言中所宣称的），发展到一个现实的科学领域，首先归功于电镀技术在品种数量上的不断增长及其应用范围的日益拓宽。

科学技术的显著性发展，尤其是电化学技术，与其在基础理论方面的进步是分不开的。对于电镀技术，编者认为既有必要，也恳切期望为读者找到一本相宜的书，该书无论从任何方面（实质性的）都应当是一个全新的贡献，而不是旧版本书简单翻版。为此，本书中专设一章论述半导体电镀，并另设一章涉及电镀环保问题。应当强调，本书主编以及多数作者与前版无关。

电镀技术在电子、宏微观与纳米光学、光电子以及传感器有关的工业部门具有极其重要的地位。此外，在一些关键工业，如汽车制造上也得到广泛应用。虽然生产中可供选择的还有其他方法，如真空蒸镀、溅射、CVD（化学气相沉积），之所以优先选用电镀，是因为电镀技术的经济性和简便性。

本书共26章，以Paunovic、Schlesinger和Weil三人分写的A, B, C三部分组成的导论性的第1章开头，其后13章分别涉及电镀铜（Dini）、镍（DiBari）、金（Kohl）、银（Schlesinger）、锡（Abys等）、铬（Snyder等）、铅和铅合金（Jordan）、锡-铅合金（Jordan）、锌和锌合金（Winand）、铁和铁合金（Izaki）、钨和钨合金（Abys等）、镍和钴合金（DiBari）以及半导体（T. E. Schlesinger）。随之是非导体上电镀（Schlesinger）和电镀导电聚合物（Osaka等）。再之6章涉及化学镀铜（Paunovic）、镍（Schlesinger）、钴（Osaka）、钨和铂（Ohno）、金（Oknaka）和合金化学镀（Ohno）。最后4章分别为镀前预处理（Dexter Snyder）、制造工艺（Turner）、制造控制（Turner）和环境对策（Tomkiewicz）。

在《电化学沉积导论》一书的前言中曾经提到，该书出版时间与铜布线技术引入微电子工业的时间相近，这也许是个幸运的巧合。本书也是如此，

硅上制备微导线是一个从物理技术到电化学技术的真实的革命性变化，电化学沉积的发展必然在 21 世纪产生和延续对其不断增长的兴趣和对其相关的最新技术知识的迫切需要。本书和理论一书对了解这些进展应当有较大裨益。

本书各章由不同作者撰写，彼此在风格和写法上明显不同。主编在“抹平”那些差异而不改变表达各章的基本信息上做了努力。我们也期望本书对电镀实际操作人员以及即将进入电镀这个不断发展的领域的初学者提供实用知识。为此，各章独立完整，可分开查阅，且适应不同层次的读者。

衷心感谢电化学协会许多成员，尤其是电沉积专业组成员。也感谢那些曾给予谅解和耐心的作者家属们，他们对本书的完稿作出了贡献。

Mordehay Schlesinger

Winsor Ontario, Canada (加拿大)

Milan Paunovic

Yorktown Heights, New York (纽约)

单位换算

$$1\text{cm}=0.934\text{in}$$

$$1\text{mm}=0.0394\text{in}$$

$$1\mu\text{m}=0.0394\text{mil}=39.37\mu\text{in}$$

$$1\text{dm}^2=15.5\text{in}^2=0.1076\text{ft}^2$$

$$1\text{cm}^2=0.155\text{in}^2$$

$$1\text{mm}^2=0.00155\text{in}^2$$

$$1\text{kg}=2.205\text{lb}$$

$$1\text{g}=0.0353\text{oz (avoirdupois)}=0.0321\text{oz (Troy)}$$

$$1\text{L}=0.264\text{gal(U. S.)}=0.220\text{gal (British)}$$

$$1\text{A/dm}^2=9.29\text{A/ft}^2 \text{ (见下表)}$$

$$1\text{g/L}=0.133\text{oz/gal(U. S.) (见下表)}$$

$$1\text{kg/mm}^2=1.422\text{lb/in}^2=1.422\text{psi (见下表)}$$

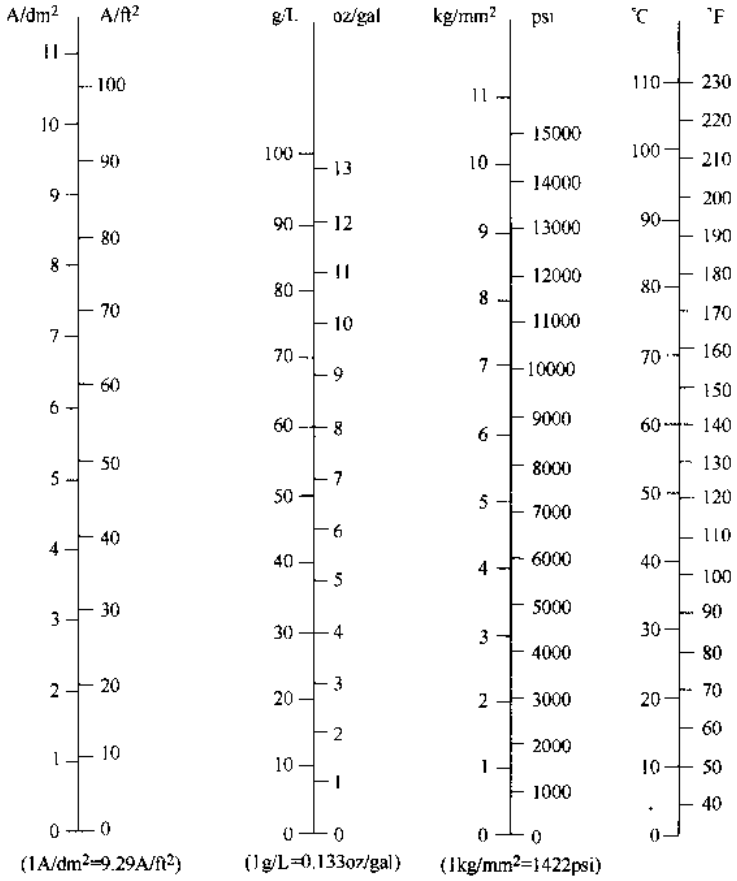
$$1\text{kgf/mm}^2=9.806\times 10^6\text{N/m}^2=9.806\text{MN/m}^2; 1\text{N/m}^2=1\text{Pa}$$

近似换算关系 (误差为 10% 或更小)

原单位	换算为	换算方法
A/dm ²	A/ft ²	乘以 10
A/dm ²	A/in ²	除以 15
摄氏度(°C) ^①	华氏度(°F)	乘 1.8 再加 32
g/L	oz/gal	除以 7.5
kg/mm ²	lb/in ² (psi)	乘以 1500
mm	in	除以 25
m	mil	除以 25

① 精确值。

换算图



目 录

第 1 章 基本原理	1	1.7.2 纳米结构电镀	32
A 部 电镀电化学	1	1.7.3 镀层分析	32
1.1 电极电位	1	1.7.4 结论	33
1.2 电沉积动力学特性及其机制	5	1.8 镀层间的相互扩散	33
1.2.1 电流电压关系	5	1.8.1 概述	33
1.2.2 传质对电极动力学的影响	9	1.8.2 镀层扩散	35
1.2.3 法拉第定律	11	1.8.3 孔隙生成	35
1.2.4 电流效率	13	1.8.4 扩散阻挡层	36
1.2.5 镀层厚度	14	1.8.5 扩散焊	36
1.2.6 电沉积的原子观	14	1.8.6 电徙动	37
1.2.7 脉冲电镀技术	17	C 部 电镀材料学	37
1.3 生长机制	19	1.9 结构	37
1.3.1 添加剂的影响	20	1.9.1 结构分析	38
1.3.2 添加剂对形核与生长的影响	20	1.9.2 镀层材料分类	41
1.3.3 整平性	20	1.10 硬度	42
1.3.4 光亮度	21	1.11 结合强度	42
1.3.5 添加剂耗损	21	1.12 力学性能	43
1.4 化学镀与置换镀	21	1.13 磁学性能	45
1.4.1 化学镀	22	1.14 内应力	46
1.4.2 置换镀	23	参考文献	47
B 部 电镀物理学	24	第 2 章 镀铜	49
1.5 合金电镀	24	A 部 酸性镀铜	50
1.5.1 概述	24	2.1 历史和发展	50
1.5.2 准则	25	2.2 应用	50
1.5.3 沉积	26	2.3 原理	51
1.6 镀层结构与性能	27	2.4 溶液各成分作用	52
1.6.1 概述	27	2.4.1 铜和硫酸	52
1.6.2 基体与氛围	28	2.4.2 氯化物	53
1.6.3 性能	29	2.4.3 氰硼酸盐	53
1.6.4 杂质	30	2.5 添加剂	53
1.7 叠层镀膜与复合镀层	31	2.6 操作条件	57
1.7.1 概述	31	2.6.1 温度	57
		2.6.2 电流密度和搅拌	57

2.6.3	超声波搅拌	57	2.31	操作环境	94
2.6.4	其他搅拌形式	57	2.32	结构和性能	94
2.6.5	过滤和净化	57		参考文献	95
2.6.6	设备	58	C部	碱性无氰镀铜	97
2.6.7	阳极	58		参考文献	98
2.6.8	规范	59	D部	焦磷酸盐镀铜	99
2.7	酸性镀铜溶液中杂质的影响	59	2.33	发展历史	99
2.8	分析方法	60	2.34	应用	100
2.9	性质和结构	60	2.35	基本成分	100
2.10	电流调制技术	64	2.36	成分	100
2.11	钢、锌、塑料和铝上电镀	65	2.36.1	铜和焦磷酸盐	100
2.12	印刷电路板电镀	66	2.36.2	硝酸盐	100
2.13	微电子晶格电沉积	69	2.36.3	氨	101
2.14	电铸	70	2.36.4	正磷酸盐	101
2.15	高速电镀	71	2.36.5	添加剂	101
2.16	金刚石车削	72	2.36.6	操作条件	102
2.17	其他	73	2.36.7	焦磷酸盐/铜的比值	102
2.17.1	磁学	73	2.36.8	pH值	102
2.17.2	条纹	73	2.36.9	温度	102
2.17.3	欠电位沉积	73	2.36.10	电流密度	102
	参考文献	74	2.36.11	搅拌	102
B部	氰化镀铜	85	2.36.12	设备	103
2.18	发展历史	85	2.36.13	阳极	103
2.19	应用	85	2.37	维护	103
2.20	溶液的主要成分	86	2.37.1	分析	103
2.20.1	氰化铜	86	2.37.2	杂质和净化	104
2.20.2	游离氰化物	86	2.38	结构和性能	105
2.20.3	氢氧化钠或氢氧化钾	87	2.39	电镀印刷电路板	105
2.21	钠盐和钾盐组成的比较	87		参考文献	105
2.21.1	碳酸盐	87	E部	复合镀铜	109
2.21.2	酒石酸盐	87	2.40	氧化铝	110
2.22	添加剂	88	2.41	性能	111
2.23	闪镀溶液和罗谢尔溶液	88	2.42	机理	111
2.24	操作条件和溶液特性	89	2.43	连续纤维强化复合金属	112
2.25	溶液的维护	90		参考文献	112
2.26	高效氰化镀铜溶液	90	第3章	镀锌	115
2.27	操作条件和溶液特性	91	3.1	电镀镍溶液的回顾	115
2.28	溶液的维护	92	3.2	基础知识	116
2.29	阳极	93	3.2.1	法拉第定律在镀锌中的	
2.30	使用材料	94		应用	117

3.2.2	镀层平均厚度	117
3.2.3	电流和金属分布	118
3.2.4	分散能力	118
3.2.5	内应力	119
3.2.6	结合力	120
3.2.7	整平能力和微观分散能力	120
3.3	装饰镀	121
3.3.1	光亮镍镀溶液	121
3.3.2	电结晶	122
3.3.3	共沉积硫的作用	123
3.3.4	半光亮镍	123
3.3.5	多层镍	123
3.3.6	微观不连续铬	124
3.3.7	STEP 测试	126
3.3.8	电镀塑料、铝和不锈钢	126
3.3.9	标准和镀层要求	128
3.3.10	装饰应用和市场份额	130
3.4	功能电镀和镀层性能	130
3.4.1	镀层性能	130
3.4.2	功能电镀的镀层要求	134
3.4.3	其他溶液	135
3.4.4	疲劳强度	137
3.4.5	氢脆	137
3.5	电铸镍	139
3.5.1	电铸和电解生产	139
3.5.2	电铸镍的能力	139
3.5.3	模具	139
3.5.4	电铸镍溶液	139
3.5.5	氨基磺酸根离子的阳极氧化及快速镀镍工艺	140
3.5.6	电铸整平剂	141
3.5.7	电铸后处理	141
3.5.8	电铸镍的应用	141
3.6	镍阳极材料	141
3.6.1	锻造镍阳极材料	141
3.6.2	纯镍的阳极行为	142
3.6.3	钛阳极篮和镍的主要类型	144
3.7	质量控制	145

3.7.1	工艺控制	146
3.7.2	产品控制	149
3.8	污染预防	152
	参考文献	153

第4章 电镀金

4.1	概述	162
4.2	典型的直流(DC)镀液	165
4.2.1	碱性氰化镀液	166
4.2.2	酸性氰化镀液	167
4.2.3	中性氰化物体系	170
4.2.4	非氰镀液	172
4.3	沉积机理	175
4.4	脉冲电镀	176
4.5	基体预处理	176
4.5.1	基层的清洗	177
4.5.2	金属阻挡层	177
4.5.3	闪镀金	177
4.5.4	高速带材电镀	178
4.6	锈(斑)	179
4.7	测试方法	179
4.7.1	物理性能	179
4.7.2	化学分析	180
	参考文献	181

第5章 化学镀银和电镀银

5.1	化学镀银	184
5.1.1	前处理	184
5.1.2	金属化槽组成	185
5.1.3	镀液性能	185
5.1.4	极化	186
5.1.5	实际操作	186
5.2	电镀银	188
5.2.1	槽液组成	188
5.2.2	槽液成分	188
5.2.3	阳极反应及阴极反应	189
5.2.4	金属上镀银	190
5.2.5	添加剂	190
5.2.6	物理性能	191
5.2.7	分形体	193
	参考文献	193

第6章 无铅焊料的铅和锡合金

195

6.1 焊料的简史	195	7.2.4 聚合	240
6.2 无铅焊料发展的驱动力	196	7.2.5 氧桥合作用	241
6.2.1 铅在焊料中的作用	197	7.2.6 阴离子渗透	241
6.2.2 含铅焊料的环境、健康和安全的关注	199	7.2.7 反应速率	242
6.3 无铅焊料的替代品	200	7.3 六价铬	242
6.3.1 材料性质的考虑	200	7.3.1 铬酸	243
6.3.2 选择规则	201	7.3.2 铬酸和重铬酸	243
6.4 锡的电沉积	201	7.3.3 多铬酸盐	243
6.4.1 锡的物理性质	201	7.4 电镀铬的操作方法	247
6.4.2 锡的化学性质	202	7.4.1 镀铬液的组成及其作用	247
6.4.3 锡和铅的电化学性质	202	7.4.2 高效镀铬槽	249
6.4.4 锡电镀液和工艺	206	7.5 复合催化剂和自我调节电槽槽	250
6.5 电镀锡的材料性能及应用	216	7.6 铬酸镀液操作条件	253
6.5.1 外观	216	7.7 分散能力	255
6.5.2 表面形态和组织结构	216	7.7.1 覆盖能力	255
6.5.3 纯度	218	7.7.2 分散能力	255
6.5.4 可焊性	219	7.8 金属杂质	256
6.5.5 延展性	220	7.9 维护和控制	257
6.5.6 硬度	221	7.9.1 阳极	259
6.5.7 锡电镀层的应用	221	7.9.2 镀槽建筑材料	260
6.5.8 锡晶须的预防	222	7.9.3 安全及健康考虑	261
6.6 电沉积其他锡合金的挑战	224	7.9.4 批量镀铬	261
6.6.1 锡-铋和锡-银的相图	224	7.9.5 基体金属的处理	262
6.6.2 氧化还原电位	225	7.9.6 镀硬铬	263
6.6.3 热力学和动力学因素	226	7.9.7 镀硬铬中的浸蚀防护	265
6.6.4 锡-铋合金的电沉积及性质	228	7.9.8 镀黑铬	265
6.6.5 锡-银合金的电沉积及性质	229	7.9.9 镀后处理	266
6.6.6 电沉积三元和四元锡合金	230	7.9.10 退镀	267
致谢	230	7.10 镀层测试	268
参考文献	230	7.10.1 孔隙率和裂纹	268
第7章 镀铬	235	7.10.2 耐蚀性	269
7.1 原理	236	7.10.3 微裂纹和微孔镀层	269
7.2 电镀铬理论	238	7.10.4 镀层结构	270
7.2.1 水合	239	7.11 镀铬层的物理性能	274
7.2.2 水解	240	7.11.1 硬度和耐蚀性	274
7.2.3 羟桥合	240	7.11.2 摩擦因数	276
		7.11.3 膨胀系数	276
		7.11.4 熔点	277
		7.11.5 密度	277

7.11.6	反射能力	277	8.5.1	铅-锡	309
7.11.7	电阻率	277	8.5.2	铅-铟合金	309
7.11.8	内应力	277	8.5.3	铅-铋合金	309
7.11.9	对基体金属疲劳强度的影响	278	8.5.4	铅-镉	309
7.11.10	延展性	278	8.5.5	铅-银合金	310
7.12	化学性质	279	8.5.6	锌-铅合金	311
7.12.1	抗氧化性和耐变色性	279	8.5.7	铅-铜合金	311
7.12.2	耐化学腐蚀性	279	8.5.8	铅-钢合金	312
7.12.3	镀铬带钢——无锡钢 (TFS)	280	8.5.9	铅-钴, 铅-镍	312
7.12.4	微孔镀铬	280	8.6	二氧化铅的电沉积	313
7.13	三价铬镀液	281	8.7	非水溶液沉积	313
7.13.1	三价铬电镀工艺	281	8.7.1	从非极性溶剂中沉积	314
7.13.2	铬合金电镀	282	8.7.2	熔融盐中电镀	314
7.14	其他一些特殊镀铬	283	8.8	欠电位沉积	314
参考文献		283	8.9	电沉积铅的应用	315
第8章	铅和铅合金电镀	298	参考文献		316
8.1	电解液类型	299	第9章	锡-铅合金电镀	320
8.1.1	高氯酸盐电解液	299	9.1	电解液体系	320
8.1.2	氨基磺酸盐电解液	299	9.2	合金组成	320
8.1.3	氟硅酸盐电解液	299	9.3	槽液的组成	321
8.1.4	氟硼酸盐电解液	300	9.3.1	氟硼酸电解液	322
8.1.5	甲基磺酸电解液	300	9.3.2	烷基磺酸电解液	323
8.1.6	其他电解液	301	9.3.3	中等 pH 值溶液沉积 锡-铅	324
8.2	电镀铅的一般信息	302	9.4	添加剂	325
8.2.1	添加剂	302	9.5	阳极	326
8.2.2	阳极	303	9.5.1	可溶性阳极	326
8.2.3	温度	303	9.5.2	不溶性阳极	327
8.2.4	电解液的搅拌	303	9.6	维护和管理	328
8.2.5	故障	304	9.6.1	电解液组成	328
8.3	电镀铅层的性质	307	9.6.2	槽液温度	328
8.3.1	硬度	307	9.6.3	搅拌	329
8.3.2	伸长率	307	9.6.4	杂质	330
8.3.3	抗张强度	307	9.7	锡-铅合金的电化学沉积当量	333
8.3.4	密度	307	9.8	锡-铅合金的密度	333
8.3.5	电阻率	308	9.9	沉积速度	334
8.3.6	耐蚀性	308	9.10	电镀锡-铅层的性能	334
8.4	弥散镀	308	9.10.1	耐蚀性	334
8.5	铅合金	308	9.10.2	可焊性	336
			9.10.3	接触电阻	336

9.10.4 硬度	338	12.2 钯的供应、需求和使用	399
9.11 锡-铅镀层的应用	339	12.3 电镀钯的简史	401
9.11.1 镀铅-锡合金钢板	339	12.4 钯的物理和化学性能	403
9.11.2 轴承合金	339	12.4.1 钯、铂和金的物理性能	403
9.11.3 镀铬槽阳极	339	12.4.2 钯的化学性能	404
9.11.4 共晶合金	340	12.5 钯的电化学	406
9.11.5 电子元件的锡-铅镀层	340	12.5.1 一般电化学——热力学	406
9.11.6 中间层	344	12.5.2 氢脆问题	408
9.11.7 插入式连接件的锡-铅 镀层	344	12.5.3 同时发生反应的电化 学——电动力学	409
参考文献	345	12.6 钯的电沉积	414
第10章 锌和锌合金电镀	347	12.6.1 碱性电镀液 (pH值 9~13)	415
10.1 概述	347	12.6.2 酸性电解液 (pH< 1~5)	424
10.2 滚镀和挂镀	349	12.6.3 中性电镀液 (pH值 5~9)	428
10.2.1 氢化物镀锌槽液	349	12.7 钯合金	439
10.2.2 碱性非氰化物槽液	351	12.7.1 钯-镍合金 [80%/20% (质量分数)]	440
10.2.3 酸性氯化物镀锌槽液	353	12.7.2 钯-钴合金	442
10.2.4 关于滚镀和挂镀锌的进 一步讨论	355	12.7.3 钯-铁合金	444
10.2.5 锌合金电镀	356	12.7.4 钯-金合金	444
10.3 连续电镀	358	12.7.5 钯-铜合金	445
参考文献	372	12.7.6 钯-银合金	445
第11章 铁和铁合金电镀	381	12.7.7 其他钯合金	446
11.1 原理	382	12.8 近来的经济状态: 技术进步 以及新兴应用	446
11.2 硫酸亚铁槽液	382	12.8.1 目前经济聚焦	446
11.3 氯化亚铁槽液	384	12.8.2 钯-钴合金的化学和 材料性能	447
11.3.1 氟硼酸盐槽液	384	12.8.3 钯在印刷线路板中的 应用	450
11.3.2 其他槽液	385	12.8.4 预镀钯的钯框 (PPFs)	450
11.4 铁合金	386	12.8.5 新的、强酸性钯触击 电镀	451
11.5 制备、维护与控制	389	12.9 结论	452
11.5.1 杂质	389	参考文献	453
11.5.2 pH值	390	第13章 镍合金、钴和钴合金 电镀	459
11.5.3 表面活性剂	390		
11.5.4 分析技术	390		
11.6 设备	390		
11.7 阳极	391		
11.8 镀层的特性	392		
参考文献	393		
第12章 钯及其合金的电沉积	398		
12.1 地质矿藏	398		

13.1 镍合金	459	第 15 章 绝缘体表面电沉积	510
13.1.1 镍-钴合金	461	15.1 研究进展	510
13.1.2 镍-铜和组成调制合金 镀层	462	15.2 金属化	511
13.1.3 金-镍合金	464	15.2.1 聚酰亚胺金属化	511
13.1.4 镍-铁合金	465	15.2.2 塑料的金属化	511
13.1.5 镍-锰合金	466	15.3 沉积特征—附着力	513
13.1.6 镍-钨和镍-钨合金	466	15.4 敏化作用—催化作用（在 化学镀之前）	514
13.1.7 钨-镍合金	467	15.5 结论	516
13.1.8 镍-磷合金	467	参考文献	517
13.1.9 镍-硫合金	468	第 16 章 有机膜电镀：导电聚 合物	519
13.1.10 锡-镍合金	468	16.1 电聚合：导电聚合物的电 化学合成	519
13.1.11 锌-镍合金	469	16.2 聚合物电池	521
13.1.12 其他镍合金	470	16.2.1 用于锂电池的聚合物 阴极	521
13.2 钴和钴合金	471	16.2.2 固体聚合物电解液中 的聚合物阴极	523
13.2.1 钴	471	16.3 导电装置	525
13.2.2 钴合金	474	16.3.1 概述	525
13.2.3 结束语	476	16.3.2 电致发光装置	525
参考文献	477	16.4 化学传感器	529
第 14 章 半导体的电沉积	483	16.4.1 阳离子敏感电极	529
14.1 硅 (Si)	483	16.4.2 尿素的电位生物传感器	530
14.2 砷化镓 (GaAs)	484	参考文献	533
14.3 磷化镓	486	第 17 章 化学镀铜	537
14.4 铟化合物 (InP, InAs, InSb)	486	17.1 电化学模型	537
14.5 硫化铟 (In_2S_3)	487	17.1.1 混合电位原理	537
14.6 硫化铅 (PbS)	487	17.1.2 Evans 曲线	537
14.7 碲化镉 (CdTe)	487	17.1.3 部分反应之间的相互 联系	539
14.8 硒化镉 (CdSe)	490	17.1.4 干扰反应	539
14.9 硒化锌 (ZnSe) 和碲化锌 (ZnTe)	492	17.2 阳极部分反应	539
14.10 硒化镉 ($\text{Zn}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Se}$)	493	17.2.1 总反应	539
14.11 碲化镉锌 ($\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$)	494	17.2.2 机理	539
14.12 硫化镉	495	17.2.3 Cannizzaro 反应	540
14.13 硫化铜 (Cu_2S)	496	17.2.4 动力学	540
14.14 硒化铟 (In_2Se_3)	497	17.3 阴极部分反应	541
14.15 二硒化铜铟 (CuInSe_2)	497		
14.16 硒化汞镉 ($\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$)	500		
14.17 结论	501		
参考文献	501		