

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 Geisling/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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

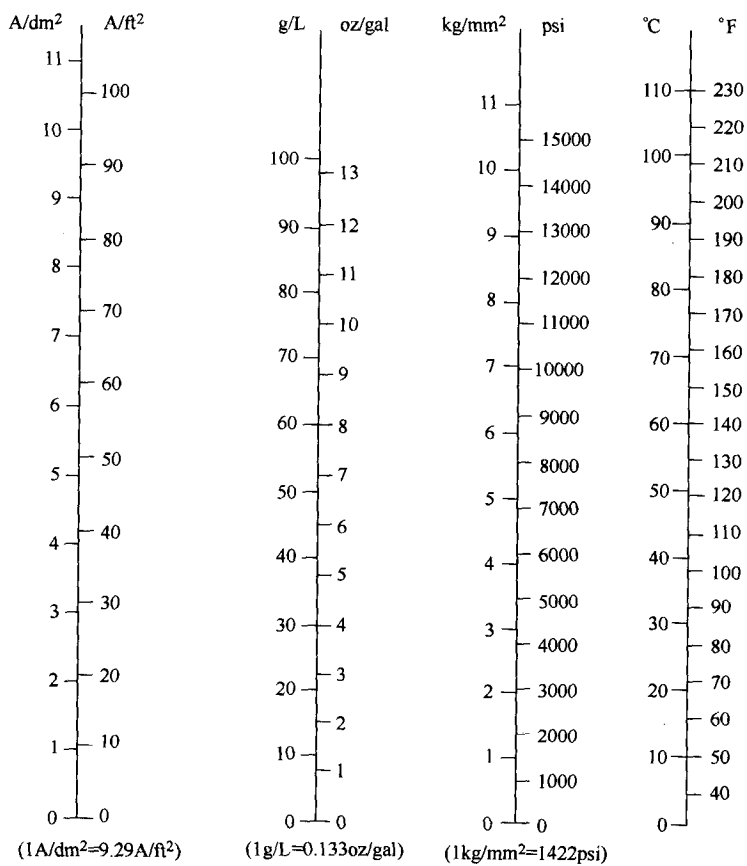
$$1\text{kgf}/\text{mm}^2=9.806\times 10^6\text{N}/\text{m}^2=9.806\text{MN}/\text{m}^2; 1\text{N}/\text{m}^2=1\text{Pa}$$

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



欢迎订阅腐蚀和表面技术专业图书

专业工具书

- | | |
|-----------------------|-------------|
| 1 表面工程手册 | 16 开/90 元 |
| 2 腐蚀数据与选材手册 | 大 32 开/80 元 |
| 3 阴极保护工程手册 | 16 开/50 元 |
| 4 实用防腐蚀工程施工手册 | 16 开/180 元 |
| 5 建筑防腐蚀材料设计与施工手册 | 16 开/50 元 |
| 6 实用表面前处理手册 | 大 32 开/38 元 |
| 7 防锈材料应用手册 | 16 开/78 元 |
| 8 实用清洗技术手册 (第 2 版) | 16 开/69 元 |
| 9 阴极保护手册——电化学保护的理论与实践 | 16 开/68 元 |
| 10 尤利格腐蚀手册 (第 2 版) | 16 开/158 元 |
| 11 腐蚀控制设计手册 (李金桂 主编) | 16 开/158 元 |

腐蚀科学

- | | |
|----------------------------|-------------|
| 1 中国腐蚀调查报告 (柯伟 主编) | 16 开/45 元 |
| 2 材料腐蚀学原理 (现代腐蚀科学和防蚀技术全书) | 16 开/39 元 |
| 3 腐蚀电化学原理 (第 2 版, 曹楚南 编著) | 16 开/42 元 |
| 4 金属高温氧化和热腐蚀 (李铁藩 编著) | 大 32 开/29 元 |
| 5 金属的腐蚀磨损 | 大 32 开/38 元 |
| 6 自然环境中的腐蚀与防护 (腐蚀与防护全书) | 大 32 开/18 元 |
| 7 二氧化碳腐蚀与控制 | 大 32 开/10 元 |
| 8 金属腐蚀理论及应用 (魏宝明 主编) | 16 开/32 元 |
| 9 腐蚀破坏 100 例 | 32 开/18 元 |
| 10 硅及其氧化物的电化学——表面反应、结构和微加工 | 16 开/68 元 |
| 11 大气腐蚀 | 16 开/39 元 |
| 12 金属电化学腐蚀与防护 (高等学校教材) | 16 开/29 元 |
| 13 材料的腐蚀与防护 | 16 开/29 元 |

材料的耐蚀性和耐蚀材料

- | | |
|-------------------------------|---------------|
| 1 中国材料的自然环境腐蚀 (曹楚南 主编) | 16 开/78 元 |
| 2 材料的耐蚀性和腐蚀数据 (现代腐蚀科学和防蚀技术全书) | 16 开/90 元 |
| 3 有色金属的耐蚀性及其应用 (腐蚀与防护全书) | 大 32 开/16.5 元 |

- | | | |
|---|--------------------------|---------------|
| 4 | 合成树脂与玻璃钢 (第2版) (腐蚀与防护全书) | 大 32 开/17 元 |
| 5 | 建筑防腐蚀材料 | 大 32 开/30 元 |
| 6 | 镁合金腐蚀与防护 | 大 32 开/29.8 元 |

防腐蚀技术

- | | | |
|----|-----------------------------------|-------------|
| 1 | 防腐蚀技术及应用实例 | 16 开/95 元 |
| 2 | 基础设施腐蚀防护和耐久性问与答 (洪乃丰 编著) | 大 32 开/20 元 |
| 3 | 防腐蚀表面工程技术 (现代腐蚀科学和防蚀技术全书) | 16 开/88 元 |
| 4 | 化学工业中的腐蚀与防护 (腐蚀与防护全书) | 大 32 开/30 元 |
| 5 | 石油工业中的腐蚀与防护 (腐蚀与防护全书) | 大 32 开/25 元 |
| 6 | 压力容器腐蚀与控制 (压力容器实用技术丛书) | 16 开/80 元 |
| 7 | 管道防腐蚀技术 | 大 32 开/25 元 |
| 8 | 管线腐蚀控制 (NACE) | 16 开/45 元 |
| 9 | 防腐蚀衬里技术 (工人岗位培训实用技术读本) | 大 32 开/30 元 |
| 10 | 堵漏技术 (工人岗位培训实用技术读本) | 大 32 开/35 元 |
| 11 | 水处理、防腐蚀和失效分析 1000 例 | 大 32 开/28 元 |
| 12 | 火电厂与蒸汽动力设备的腐蚀风险评估与治理 | 大 32 开/35 元 |
| 13 | 新型缓蚀剂的合成与应用 | 大 32 开/20 元 |
| 14 | 缓蚀剂 | 大 32 开/38 元 |
| 15 | 汽车腐蚀与防护技术 | 16 开/35 元 |
| 16 | 钢结构的腐蚀控制 | 16 开/46 元 |
| 17 | 防腐蚀施工管理及施工技术 | 16 开/36 元 |
| 18 | 电化学保护和缓蚀剂应用技术 (现代腐蚀科学和防蚀技术全书) | 16 开/98 元 |
| 19 | 腐蚀科学技术的应用和失效案例 (现代腐蚀科学和防蚀技术全书) | 16 开/78 元 |
| 20 | 工程防腐蚀指南——设计、材料、方法和监理检测 | 16 开/58 元 |

涂料涂装技术

- | | | |
|---|---------------------------|-------------|
| 1 | 防腐蚀涂料涂装和质量控制 (涂料防腐蚀技术丛书) | 大 32 开/36 元 |
| 2 | 丙烯酸树脂防腐蚀涂料及应用 (涂料防腐蚀技术丛书) | 大 32 开/25 元 |
| 3 | 氟树脂涂料及应用 (涂料防腐蚀技术丛书) | 大 32 开/30 元 |
| 4 | 功能性防腐蚀涂料及应用 (涂料防腐蚀技术丛书) | 大 32 开/28 元 |
| 5 | 聚氨酯树脂防腐蚀涂料及应用 (涂料防腐蚀技术丛书) | 大 32 开/38 元 |
| 6 | 重防腐涂料 | 大 32 开/20 元 |

| | | |
|----|--------------------------|-------------|
| 7 | 桥梁防腐蚀涂装和维修保养 | 大 32 开/20 元 |
| 8 | 防腐蚀涂料及涂装 (腐蚀与防护全书) | 大 32 开/18 元 |
| 9 | 防腐蚀涂料与涂装技术 (工业涂料与涂装技术丛书) | 32 开/25 元 |
| 10 | 粉末涂料与涂装技术 (工业涂料与涂装技术丛书) | 32 开/26 元 |
| 11 | 涂装工艺学 | 大 32 开/28 元 |
| 12 | 天然气管道减阻内涂技术 | 大 32 开/35 元 |
| 13 | 预涂金属卷材及涂料 | 大 32 开/19 元 |
| 14 | 耐磨耐蚀涂膜材料与技术 | 大 32 开/36 元 |
| 15 | 钢结构防腐蚀和防火涂装 | 16 开/35 元 |
| 16 | 建设工程涂装质量管理 | 16 开/45 元 |
| 17 | 有机涂层钢板 | 16 开/30 元 |
| 18 | 汽车涂料 | 16 开/35 元 |
| 19 | 涂层失效分析的方法和程序 | 大 32 开/20 元 |
| 20 | 汽车涂装工艺技术 | 16 开/48 元 |
| 21 | 涂装表面预处理技术与应用 | 大 32 开/38 元 |
| 22 | 材料表面涂层防火阻燃技术 | 16 开/62 元 |
| 23 | 彩色涂层钢板技术 | 16 开/36 元 |
| 24 | 涂装工艺与设备 | 16 开/46 元 |

金属和无机非金属涂层

| | | |
|---|-----------------------|-----------|
| 1 | 钢结构热喷涂防腐蚀技术 | 16 开/30 元 |
| 2 | 涂层技术原理及应用 | 16 开/45 元 |
| 3 | 表面熔融凝固强化技术——热喷涂与堆焊技术 | 16 开/35 元 |
| 4 | 表面堆焊与热喷涂技术 (实用焊接技术丛书) | 16 开/39 元 |
| 5 | 高性能陶瓷涂层 | 16 开/98 元 |
| 6 | 钢材热镀锌 | 16 开/59 元 |

电镀技术

| | | |
|---|------------------------|-------------|
| 1 | 刷镀技术 | 大 32 开/28 元 |
| 2 | 电镀实践 600 例 | 大 32 开/30 元 |
| 3 | 实用电镀技术 (腐蚀与防护全书) | 大 32 开/25 元 |
| 4 | 难镀基材的化学镀镍技术 | 大 23 开/28 元 |
| 5 | 电镀技术 (工人岗位培训实用技术读本) | 大 32 开/37 元 |
| 6 | 电镀工程 | 大 32 开/40 元 |
| 7 | 电镀溶液与镀层性能测试 (实用电镀技术丛书) | 大 32 开/19 元 |

| | | |
|----|------------------------|-------------|
| 8 | 电镀溶液分析技术 (实用电镀技术丛书) | 大 32 开/35 元 |
| 9 | 化学镀实用技术 (实用电镀技术丛书) | 大 32 开/38 元 |
| 10 | 防护装饰性电镀 (实用电镀技术丛书) | 大 32 开/38 元 |
| 11 | 电镀清洁生产工艺 (实用电镀技术丛书) | 大 32 开/35 元 |
| 12 | 电镀工艺与设备 | 16 开/54 元 |
| 13 | 电镀工安全技术 (工人安全技术培训系列读本) | 大 32 开/15 元 |
| 14 | 电镀废弃物与材料的回收利用 | 大 32 开/24 元 |
| 15 | 电镀废水处理技术及工程实例 | 16 开/35 元 |
| 16 | 现代表面镀覆技术问答 | 大 32 开/29 元 |
| 17 | 特种电镀技术 | 大 32 开/22 元 |
| 18 | 镀锌 (表面处理清洁生产技术丛书) | 大 32 开/15 元 |
| 19 | 镀覆前处理 (表面处理清洁生产技术丛书) | 大 32 开/20 元 |
| 20 | 镀铬修复及应用实例 | 大 32 开/29 元 |
| 21 | 非金属电镀与精饰——技术与实践 | 大 32 开/33 元 |
| 22 | 涂镀三废处理工艺与设备 | 16 开/38 元 |
| 23 | 镀铁铜镍及合金修复技术 | 大 32 开/20 元 |
| 24 | 现代电镀 (原著第四版) | 16 开/88 元 |

表面清洗和防垢技术

| | | |
|----|-----------------------|-------------|
| 1 | 工业清洗及应用实例 | 大 32 开/25 元 |
| 2 | 工业清洗技术 (工人岗位培训实用技术读本) | 大 32 开/35 元 |
| 3 | 实用化学清洗技术 (第 2 版) | 大 32 开/20 元 |
| 4 | 工业清洗剂及清洗技术 | 大 32 开/45 元 |
| 5 | 物理清洗 | 大 32 开/35 元 |
| 6 | 金属清洗技术 (实用清洗技术丛书) | 大 32 开/28 元 |
| 7 | 石油化工设备清洗技术 | 大 32 开/34 元 |
| 8 | 换热设备防除垢技术 | 大 32 开/18 元 |
| 9 | 热水锅炉防腐阻垢技术 | 16 开/36 元 |
| 10 | 锅炉用水、清灰及除垢 | 大 32 开/24 元 |
| 11 | 绿色防垢技术 | 16 开/38 元 |
| 12 | 洗净技术基础 | 16 开/58 元 |
| 13 | 精密洗净技术 | 大 32 开/26 元 |
| 14 | 电力工业清洗技术 | 大 32 开/40 元 |
| 15 | 汽车冷却液 | 大 32 开/20 元 |

其他表面技术

- | | |
|--------------------|-------------|
| 1 纳米表面工程 (徐滨士 主编) | 16 开/65 元 |
| 2 铝合金阳极氧化与表面处理技术 | 16 开/45 元 |
| 3 不锈钢表面处理技术 | 大 32 开/30 元 |
| 4 汽车防锈技术 | 16 开/45 元 |
| 5 喷丸清理技术 | 16 开/38 元 |
| 6 粘接表面处理技术 (胶黏剂译丛) | 16 开/50 元 |
| 7 材料表面强化技术 | 16 开/55 元 |
| 8 玻璃表面处理技术 | 16 开/76 元 |
| 9 工业清管技术 | 16 开/36 元 |

化学工业出版社出版机械、电气、化学、化工、环境、安全、生物、医药、材料工程、腐蚀和表面技术等专业科技图书。如要出版新著,请与编辑联系。如要以上图书的内容简介和详细目录,或要更多的科技图书信息,请登录 www.cip.com.cn。

地址: (100029) 北京市朝阳区惠新里 3 号 化学工业出版社

邮购: 010-64982530, 64918013, 64982630 (传真) (发行部邮购科)

编辑: 010-64982532, 64982556 (工业装备与信息工程出版中心)

Email: dzb@cip.com.cn llh3227@sina.com

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