



Electroplating
manual

“十一五”国家重点图书

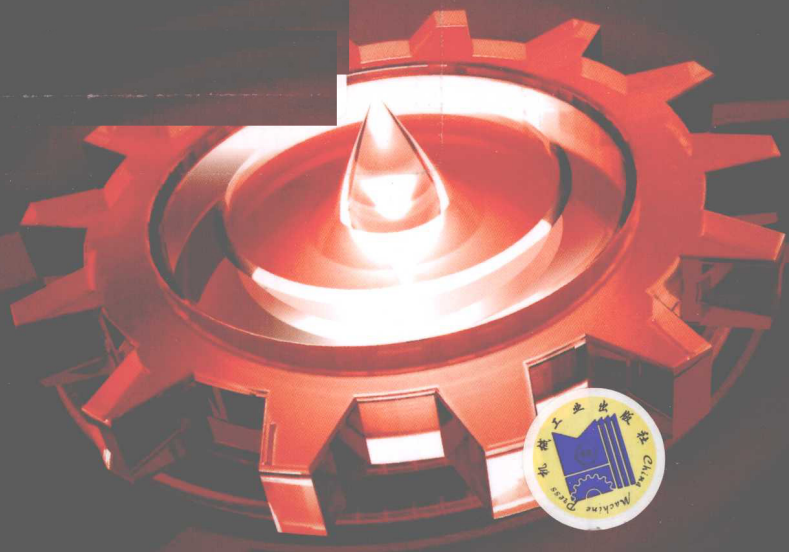
现代

上册

电镀手册

一册在手 电镀全有

沈品华 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

现代电镀手册

(上册)

沈品华 主编



机械工业出版社

本手册分上下两册，共 26 篇。上册除总论外，有 8 篇：电镀清洁生产、电镀化学基础、电镀电化学基础、普通金属电镀（包括镀前处理、电镀挂具、8 种单金属电镀工艺和刷镀工艺）、镀贵金属和贵金属合金、特种材料上电镀、电镀合金以及复合电镀，还有相关资料附录。下册 19 篇：电子电镀、化学镀、稀土在电镀和金属表面处理中的应用、电铸、铝和铝合金表面处理、金属染色和花色电镀、钢铁和轻合金的氧化发黑和磷化、机械镀、镀铬膜和锌铝膜、热镀锌、电泳涂装、电镀溶液性能测试、电镀层性能测试、转化膜性能测试、现代测量仪器的应用、电镀溶液分析方法、电镀车间设计、电镀纯水制备、电镀废水和废气处理等。

本手册荟萃和网罗了国内外先进的电镀及相关工艺、材料、工装、电镀清洁生产技术以及电镀废水和废气处理方法与装置，既是一本大型工具书，又是一篇论述详尽的专论，其内容丰富，深入浅出，实用性、可靠性好，可供电镀工程技术人员、生产操作工人和教育、科研及设计单位等有关人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

现代电镀手册. 上册/沈品华主编. —北京: 机械工业出版社, 2010. 4
ISBN 978-7-111-29818-2

I. ①现… II. ①沈… III. ①电镀—技术手册 IV. ①TQ153-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 028594 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: 徐 彤 郎 峰 马 晋

责任编辑: 马 晋 崔世荣 王华庆 侯宪国

版式设计: 霍永明 责任校对: 李秋荣

责任印制: 乔 宇

北京机工印刷厂印刷 (三河市胜利装订厂装订)

2010 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 98.75 印张 · 5 插页 · 2966 千字

0 001—4 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-29818-2

定价: 198.00 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

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者服务部: (010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

《现代电镀手册》编审委员会

主任：沈烈初

副主任：沈品华 秦宝兴 徐 彤

委员（按姓氏笔画排序）：

马 晋	王 为	王宗雄	王祖源	石金声	丘星初
孙永江	孙隆楨	安茂忠	伍学高	李 宁	李 明
张允诚	张立茗	张绍恭	吴以南	吴元康	吴学芝
何生龙	陈松祺	陈春成	陈钧武	周定华	周茂源
杨胜奇	郁祖湛	郎 峰	胡会利	胡如南	贺岩峰
徐关庆	秦宝兴	郭忠诚	郭德豪	袁诗璞	屠振密
曹 梅	储荣邦	魏立安			

主 编：沈品华

副主编：储荣邦 张立茗 郭忠诚 张绍恭

主 审：秦宝兴

副主审：李 宁 屠振密 石金声

序

电镀是金属表面处理工程中的重要内容之一，是制造产业链中不可或缺的重要环节。电镀层具有耐腐蚀、装饰和修复等性能，对减少金属损耗和美化金属表面起着重要作用。但电镀行业是一个重污染行业，所产生的废水、废气多，耗能、特别是耗水量大。如何要做到“既要马儿跑又要马儿不吃草”？这里是大有文章可做的。随着我国科学技术突飞猛进及先进制造业的高速发展，对电镀技术提出了更高更新的要求。在科学发展观的指导下，电镀行业与大专院校相结合，不断推出新工艺、新技术、新材料和新设备。在各方面的关心和重视下，各地普遍对电镀行业进行了技术改造，如建立电镀工业园区，规范标准厂房，对废水、废气进行集中治理和采用自动线生产等，为节能减排、减轻污染、改善环境和提高劳动生产率创造了必要的条件。

在我担任中国表面工程协会理事长的20年间，通过走访电镀厂和参加电镀学术研讨会，发现电镀涉及的知识面非常广泛，是一个值得关注的行业，从这部《现代电镀手册》的内容中我们也可见一斑。

参加这部手册编写的作者，都是行业中资深的电镀工程技术人员和教授，他们大多有数十年工作经验，有的终生在这一行业中奋斗，积累了丰富的经验。各人编写的章节，都是在这一领域有特长和较深造诣的专家，他们除了有扎实的理论基础外，还有丰富的实践经验。知识就是力量，希望通过对本手册的推广，使我国电镀行业的技术更上一层楼。写书是个很繁重的工作，对他们的辛勤劳动所获得的成果我表示由衷的祝贺，并向他们表示感谢！

现在我国已是一个电镀大国，但还不是一个电镀强国；所以每次行业协会活动时，我总是表达我这一思想，以此来激励电镀界的朋友们。我们不要满足于做电镀大国，而要力争去做电镀强国。电镀本身产值占GDP的比例极小，但它是制造业产业链中的末道工序，大至卫星、兵舰、飞机、大炮、汽车，中至摩托车、自行车、仪器仪表、灯具和家用电器，小至螺钉螺母、眼镜、打火机、手饰和服装五金件等都离不开电镀，所以它间接带动GDP的份额不容低估。对电镀所产生的污染是不容忽视的，我们要从工艺革命的源头着手，节能减排，化废为宝，综合利用，使污染降到最低点，走循环经济发展之路。

《现代电镀手册》内容翔实，既有较先进的电镀工艺和镀前、镀后处理工艺，又有电镀机械、电器设备，还有废水、废气治理的技术方案，我相信这部手册将是推动我国电镀行业向电镀强国发展的一个助推剂。

原中国表面工程协会理事长
原第一机械工业部副部长

沈烈初 博士

前 言

电镀工程技术已经发展成为国家经济建设中不可或缺的重要组成部分。虽然，电镀本身所产生的 GDP 不高，但它涉及的相关产业链长而广泛。电镀被广泛地应用于机械、船舶、航空航天、军工、电子、核工业、轻工业、日用工业等每一个产业和与人民生活息息相关的产品之中。

随着市场竞争的加剧，各行各业的产品更新换代速度也很快，电镀与其他工艺过程在激烈的市场竞争中同时得到了发展。源源不断的国内外电镀加工订单，对产品外观、色调、耐腐蚀性和功能性提出了越来越高的电镀工艺技术要求。因此，以提高产品质量为中心，以节约能源和原材料的清洁生产 and 循环经济等高新技术为契机，使我国电镀工程技术蓬勃地发展起来。

鉴于电镀技术的快速发展和相关书籍的跟随速度不够匹配，相关从业人员特别需要一本内容全、技术新、能够反映现代电镀技术的大型工具手册来指导工作。机械工业出版社和中国表面工程协会电镀分会老专家工作委员会的专家们针对这一需求一拍即合，组织从事电镀行业各方面的专家共同商议编写《现代电镀手册》，他们都把能为我国电镀行业留下一份宝贵的资料当作自己的职责。

《现代电镀手册》的编写宗旨是：凡碰到的电镀工艺技术问题，乃至工装设备的选用和废水治理的方法等问题，在这部手册中大都能找得到答案。手册内容达到“新、特、全”：新——就是要创新，在继承原有技术的基础上增加新的内容，并达到 21 世纪初先进水平；特——就是要有特点，要与以往出版的电镀书籍有所区别，能对电镀技术人员和现场操作工人从原理到实践深入浅出地起到参考和指导作用，犹如一位“咨询师”常伴随在读者身旁；全——就是内容要全面，涵盖面要广，包括电镀工程中的设备、工艺配方和废水治理等所有内容，如以往出版书籍中没有提到或很少提到过的镁合金、钎铁硼材料等电镀工艺、电子电镀和某些合金电镀等内容。此外，也涉及一些虽非电镀，但与电镀技术密切相关的金属表面处理内容，如电铸、刷镀、机械镀、锌铝烧结涂覆和电泳漆等。

本手册的作者都是学有专长、经验丰富的中年或老的电镀专家和教授。他们为写好这本书倾其生平所学所做，毫无保留地把宝贵的经验都奉献出来。本手册理论与实践相结合，以实践为主，且文表并茂，因此有较好的可读性。手册分上、下两册，全书共约 600 万字，是迄今为止国内外电镀书籍中字数最多的一部工具书。

在这里要特别提到两位已逝世的作者。一位是铝氧化方面的专家王祖源工程师，一位是塑料电镀方面的专家伍学高高级工程师。他们身体都不好，王祖源曾做过心脏搭桥手术，伍学高也是病魔缠身；但他们为了我国电镀事业的传承坚持抱病编写，他们留下的宝贵经验是我们电镀行业的财富。遗憾的是，他们未能看到此手册的出版就撒手人寰，愿此书的出版能慰藉他们的在天之灵！

写书是件辛苦的工作，对作者们的辛勤劳动和无私奉献精神，我表示由衷的感谢！

由于电镀涉及面广，撰写有关章节的作者大都是对这一领域较熟悉并有一定造诣的专家。协助审校统稿的储荣邦高级工程师也是这一领域的专家，他夜以继日地认真审阅稿件，在此对他表示深切的感谢！虽如此，疏漏之处还是难免，希望读者给予谅解并请不吝指正。

大量的文字加工、审校工作还是由出版社的编辑来完成的，我对他们的辛勤工作也表示深切的感谢！

本手册引用了国内外有关手册、专著及期刊的一些通用资料和文献，在此谨向原作者致谢！

原中国表面工程协会理事长、机械工业部副部长沈烈初博士曾一再强调，“我国是个电镀大国，但还不是电镀强国”，他殷切期望电镀工作者要为我国成为电镀强国而奋斗。

我国是个制造大国，作为制造产业链中的配套工艺，我国的电镀量、产之大，当数世界第一；但光大而不强，只能使我国环境污染加剧，资源浪费严重，将会危及子孙后代。电镀是个重污染行业，名声在外；但它又是许多行业的产业链中不可或缺的，所以不能采取简单的关停措施。应该说，电镀污染是可防可治的。如可以改革工艺，从源头减轻污染；也可对废水、废气进行回收利用，化腐朽为神奇，变废为宝。这几年电镀行业正在大力推进清洁生产，所以我们要求作者尽量提供清洁生产的工艺和配方，并较详尽地介绍治理办法。

愿此手册能为推进采用电镀新技术、新工艺及节能减排的清洁生产有所贡献，对我国实现电镀强国梦有所贡献！

主编 沈品华

2010年2月

编者的话

《现代电镀手册》从立项到编写、审稿、修改再到编辑加工、出版历时5年，终于在千呼万唤下与读者见面了，可谓众望所归。

参加编写的各位电镀业界的专家、学者是本手册能够顺利出版的功臣，他们在其中凝聚了一生的心血，大量从未发表过的先进技术、成功经验在此手册频频汇集，其价值不言而喻。可以说，这本手册是他们无私奉献、辛勤耕耘的印证，我们代表出版社向各位专家的辛勤劳动和高尚情操表示由衷的钦佩和感谢！

如今手册业已出版，但各位编者不辞辛劳的身影仍历历在目、铭记在心。在任的作者大都身兼数职、日不暇给，教学、研究工作繁重，他们放弃休息时间硬是如期完成了写作任务；各位老专家年事已高，很多都与病魔进行着顽强抗争。伍学高、王祖源已在编写中途与世长辞，永远离开了奋斗终生的电镀事业。遗憾难免，但他们宝贵的知识财富已得到传承，本书的出版是对他们逝去的最大告慰。

主编沈品华在整个出版过程中统领全局、功不可没，可以说没有他的支持与担当就没有本手册的问世。正是因为他长期奋战在电镀一线上，从而召集了大批来自全国各地高校、研究所、企业在电镀某一领域有专长的专家、学者，组建了一支权威的作者队伍。他主动多次承担组稿费费用，为不能报销车旅费的作者解决费用问题，还为一些老专家购买电脑，提供打印、复印费等。他不求名利，严把质量关，旨在将国际国内先进技术呈现给读者，给电镀行业留下宝贵财富，其无私的高尚品质着实令人敬佩。

担当审稿重任的储荣邦倾其所学、尽心尽责、默默奉献，不但对全稿进行了认真统筹与完善，甚至还自购资料对内容再三对比，很多不当之处更是亲力亲为、大幅修改，工作量之大、责任心之强、工作质量之高，令人赞叹。

《镀铜》一章的作者袁诗璞曾重病两次，视力跌至底线，医生告诫他很可能会致盲。但他已将生死置之度外，不仅率先完成了初稿，又五易其稿。他说：“把这件事当做这辈子一件大事来对待，不求有利可图，但求问心无愧，不虚度人生足矣！并力求做到新、特、全要求。”

的确，本手册的初衷就是打造一本在电镀领域“新、特、全”的精品工具书来指导实践，其字数、内容都创世界电镀业界的先河，力求立论起点高、技术工艺新、实用性能强、涵盖内容广。例如，甲基磺酸镀锡，镁合金以及钨-铁-硼磁性材料等贵稀金属材料上的电镀，稀土在表面处理中的应用和清洁生产等均填补了市场空白；机械镀、锌铬膜和锌铝膜、热镀锌、电泳涂装和溶液分析等也是为了提高手册的全面性而特意添加的。更值得一提的是，一些作者在其某些新近研究成果被多方媒体争抢报道权的情况下，却毅然放下了名利，决定将这些内容仅放在本手册中出版。

为了不辜负作者的重托和读者的期望，我们对书稿内容进行了认真的编辑加工和整理，在版式装帧方面也群策群力、精益求精，统一规划了目录、正文、表格、书眉、页码等的编排形式，一切都为便于阅读而努力，倾力推出精品图书回馈社会。

作为出版方，我们殷切地希望读者能够认可这本手册的价值，使其真正能为推动我国的电镀事业向前发展做出贡献。

本书策划编辑

2010年3月

目 录

序
前言
编者的话

总 论

1 电镀和电镀工程的定义	0-3	6 化学镀镍	0-13
1.1 电镀	0-3	7 电镀工程中的电镀设备	0-14
1.2 电镀工程	0-3	7.1 电镀自动生产线	0-14
2 电镀工程技术在国民经济中的作用	0-3	7.2 高速电镀设备(板材、线材)和 选择性电镀设备	0-14
3 我国通用电镀的基本情况	0-3	7.3 电镀生产线周边主要辅助设备	0-14
4 我国通用电镀技术的发展现状和展 望	0-4	7.3.1 电镀电源	0-14
4.1 除油	0-4	7.3.2 电镀溶液过滤设备	0-15
4.2 浸蚀	0-5	7.3.3 超声波设备	0-15
4.3 镀锌	0-5	7.3.4 加热与冷却设备	0-15
4.3.1 碱性无氰镀锌	0-5	7.3.5 电镀溶液自动管理系统	0-15
4.3.2 氯化钾镀锌	0-5	8 环境保护与清洁生产	0-15
4.3.3 镀锌钝化工艺	0-5	8.1 电镀废水处理技术现状	0-15
4.4 镀铜	0-6	8.2 清洁生产势在必行	0-16
4.4.1 酸性光亮镀铜	0-6	9 电镀工程技术未来的发展趋势	0-16
4.4.2 无氰碱性镀铜	0-7	9.1 推广应用绿色环保工艺	0-16
4.5 镀镍	0-7	9.2 高装饰防护性镀层组合体系仍 然是电镀技术发展与应用的重 要课题	0-17
4.6 镀铬	0-7	9.3 按照电化学基本原理设计的多层 镍-铬体系仍会继续应用和发展	0-17
4.7 镀锡	0-8	9.4 功能性合金镀层和复合镀层的开 发与应用	0-17
4.8 高耐蚀锌合金电镀工艺	0-10	9.5 电镀工艺与涂装工艺的复合应 用	0-17
4.9 代铬工艺	0-10	9.6 面对电镀基材多样化的电镀新 技术的开发	0-17
4.9.1 锡-钴-锌代铬	0-10	9.7 精密电铸技术的研发与应用	0-18
4.9.2 镍(或铁)-钨-X代铬	0-10	9.8 电镀环保新材料、新工艺、新设 备的开发与应用	0-18
4.10 仿金电镀工艺	0-10	10 电镀工程技术发展展望	0-18
4.11 黑色镀层电镀工艺	0-11		
5 电子电镀	0-11		
5.1 PCB电镀概况	0-11		
5.2 直接电镀技术的出现和发展	0-12		
5.3 PCB电镀技术的最新进展	0-12		
5.4 电子元器件和接插件的电镀	0-12		
5.5 微电子器件的电镀	0-13		

第1篇 电镀清洁生产

第1章 清洁生产概述	1-3	2 清洁生产的定义	1-4
1 清洁生产的产生与发展	1-3	3 推行清洁生产的意义	1-4

第2章 清洁生产审核	1-6	3.2 三价铬镀铬	1-12
1 清洁生产审核的定义	1-6	3.3 三价铬钝化	1-12
2 清洁生产审核的目的	1-6	4 采用低浓度电镀工艺	1-12
3 清洁生产审核应遵循的主要原则	1-6	5 优化工艺规范	1-12
4 清洁生产审核的工作程序	1-7	6 加强现场管理	1-12
4.1 清洁生产审核工作程序的内容	1-7	第4章 电镀行业清洁生产相关政策与法规要求	1-14
4.2 清洁生产审核工作程序的三个阶段	1-7	1 清洁生产促进法要求	1-14
4.3 清洁生产审核的核心工作	1-7	2 “ROHS”和“WEEE”指令	1-14
5 清洁生产审核思路	1-9	3 电镀清洁生产标准	1-14
6 清洁生产审核的工作内容	1-9	4 电镀清洁生产评价	1-16
第3章 电镀企业实现清洁生产的主要途径	1-11	4.1 指标体系结构	1-16
1 替代电镀	1-11	4.2 考核评分计算方法	1-16
2 采用逆流清洗技术	1-11	4.3 电镀行业清洁生产评价指标的评价基准值及权重值	1-17
3 采用低毒无毒工艺	1-11	参考文献	1-19
3.1 无氰电镀	1-11		
第2篇 电镀化学基础			
第1章 化学基本概念	2-3	3.2 溶液浓度的换算	2-7
1 分子和原子	2-3	第3章 密度测量及电镀液的配制	2-9
2 相对原子质量和相对分子质量	2-3	1 密度测量	2-9
3 混合物和纯净物	2-3	1.1 密度及其计算	2-9
4 单质和化合物	2-3	1.2 质量密度测量	2-9
5 化学式和式量	2-3	2 电镀溶液配制与计算	2-9
6 物质的量和摩尔	2-3	第4章 胶体	2-11
6.1 物质的量及摩尔的概念	2-3	1 分散体系的概念	2-11
6.2 摩尔质量	2-4	2 胶体的稳定性和聚沉	2-11
6.3 关于物质的量的计算	2-4	2.1 溶胶的稳定性	2-11
第2章 溶液及溶液浓度的计算	2-5	2.2 溶胶的聚沉	2-11
1 水	2-5	3 胶体在电镀中的应用	2-12
1.1 水的性质	2-5	第5章 化学元素周期表	2-13
1.2 电镀生产中用水	2-5	1 化学元素周期表的结构	2-13
2 溶液的一般概念	2-5	1.1 周期	2-13
2.1 溶液	2-5	1.2 族	2-13
2.2 物质的溶解与结晶	2-6	2 周期表中元素性质的递变规律	2-14
2.2.1 物质的溶解	2-6	2.1 元素的电负性	2-14
2.2.2 物质的结晶	2-6	2.2 元素的化合价	2-14
3 溶液浓度及其计算	2-7	3 元素周期表的应用	2-14
3.1 浓度表示方法	2-7	第6章 化学键	2-15
3.1.1 体积比浓度	2-7	1 离子键	2-15
3.1.2 质量浓度	2-7	2 共价键	2-15
3.1.3 质量分数浓度	2-7	2.1 共价键的形成	2-15
3.1.4 物质的量浓度(摩尔浓度)	2-7	2.2 共价键的特点	2-15

2.3 共价键的极性	2-16	7.1.5 多元弱酸(弱碱)盐水解	2-27
3 配位键和配位化合物	2-16	7.2 影响盐类水解的因素	2-27
4 金属键	2-17	第8章 表面活性剂	2-28
第7章 电解质溶液	2-18	1 表面活性剂及在电镀中的应用	2-28
1 电解质及其电离	2-18	2 表面张力及其产生原因	2-28
1.1 强电解质和弱电解质	2-18	3 表面活性剂溶液的表面活性	2-29
1.2 强电解质电离	2-18	3.1 润湿作用	2-29
1.3 弱电解质的电离平衡	2-18	3.2 乳化作用	2-29
1.3.1 电离平衡与电离常数	2-18	3.3 增溶作用	2-30
1.3.2 电离度	2-19	3.4 泡沫作用	2-30
1.4 酸、碱在水溶液中的电离	2-19	4 表面活性剂的分类	2-31
1.4.1 酸和碱的概念	2-19	4.1 阴离子型表面活性剂	2-31
1.4.2 酸的电离及 $[H^+]$ 的计算	2-20	4.2 阳离子型表面活性剂	2-31
1.4.3 碱的电离及溶液中 $[OH^-]$ 的计算	2-20	4.3 非离子型表面活性剂	2-31
2 同离子效应与盐效应	2-21	5 表面活性剂在电镀中的应用	2-31
2.1 同离子效应	2-21	5.1 表面活性剂在去除镀件油污方面的应用	2-31
2.2 盐效应	2-21	5.2 表面活性剂的活性在改变电极(镀件)的表面性质方面的应用	2-32
3 溶度积	2-21	第9章 配位化合物	2-33
3.1 多相离子平衡和溶度积	2-21	1 配位化合物	2-33
3.2 溶度积原理	2-21	2 配位化合物的结构和命名	2-33
4 离子交换反应与离子方程式	2-22	2.1 配位化合物的结构	2-33
5 水的电离及溶液的 pH 值	2-23	2.1.1 中心离子或原子	2-33
5.1 水的电离和离子积常数	2-23	2.1.2 配位体	2-34
5.2 溶液的酸碱性和 pH 值	2-24	2.1.3 配位数	2-34
6 缓冲溶液	2-25	2.1.4 配合单元的电荷数	2-34
6.1 缓冲溶液的概念及缓冲原理	2-25	2.2 配位化合物的命名	2-34
6.2 缓冲溶液 pH 值计算及缓冲溶液的选择	2-25	2.2.1 习惯命名法	2-34
7 盐类的水解	2-26	2.2.2 一般命名法	2-34
7.1 盐溶液的酸碱性	2-26	3 配位化合物中化学键的本性	2-34
7.1.1 弱酸强碱盐	2-26	4 螯合物	2-35
7.1.2 弱碱强酸盐	2-26	5 电镀常用配位化合物的稳定常数	2-36
7.1.3 弱酸弱碱盐	2-27	6 配位化合物在电镀中的应用	2-37
7.1.4 强酸强碱盐	2-27		

第3篇 电镀电化学基础

第1章 电镀溶液导电过程与电极反应	3-6	4 电流效率	3-6
基本知识	3-3	5 电镀基本运算	3-7
1 两类导体	3-3	5.1 电流密度、电镀时间及镀层平均厚度间的关系式	3-7
2 电极反应	3-3	5.2 沉积速度的计算	3-8
3 法拉第定律	3-4	6 电镀溶液的电导	3-8
3.1 法拉第一定律	3-4	6.1 电解质	3-8
3.2 法拉第二定律	3-4		

6.2 溶液的浓度	3-8	1.1.4 吸附溶剂的双电层模型	3-36
6.3 温度	3-9	1.2 斯特恩双电层模型简介	3-36
7 当量电导	3-9	1.3 吸附溶剂的双电层模型简介	3-37
8 离子迁移与电极反应	3-11	2 双电层微分电容	3-38
9 电镀生产中的“双极性电极”现象	3-13	第4章 电极的极化	3-40
9.1 “双极性电极”现象	3-13	1 极化发生的原因	3-40
9.2 双极性电极对产品质量的直接 影响	3-13	1.1 浓度极化	3-40
9.3 双极性电极对产品质量的间接 影响	3-14	1.2 电化学极化	3-40
9.4 双极性电极损坏电镀设备	3-14	2 极化曲线	3-41
第2章 电极电位	3-16	2.1 极化曲线与极化度	3-41
1 铜锌原电池	3-16	2.2 原电池与电解池极化的区别	3-42
2 原电池电动势	3-16	3 极化曲线在电镀中的应用	3-42
3 电极电位的产生	3-17	3.1 镀液性能的比较及选择	3-42
4 零电荷电位、液体界面电位与氧化还 原电位	3-19	3.2 添加剂的影响作用	3-43
5 液体界面电位(扩散电位)	3-20	3.3 附加盐的影响作用	3-44
6 氧化还原电位	3-21	3.4 pH与温度的影响作用	3-45
7 可逆电池与可逆电极	3-21	3.5 合金极化曲线的简单分析	3-46
8 平衡电位的计算公式与标准电化序	3-23	3.6 探讨电镀时的阴极过程	3-46
8.1 平衡电位的计算公式——能斯特 方程式	3-23	4 析出电位	3-47
8.2 标准电化序	3-23	第5章 金属腐蚀	3-50
9 离子选择性电极	3-25	1 腐蚀的分类	3-50
9.1 离子选择性电极的分类	3-25	2 金属的防护方法	3-51
9.1.1 玻璃电极	3-26	2.1 保护层防蚀	3-51
9.1.2 汞/EDTA电极	3-27	2.1.1 金属保护层	3-51
9.1.3 固体膜电极	3-27	2.1.2 非金属保护层	3-52
9.1.4 液体膜电极	3-28	2.1.3 非金属膜	3-52
9.1.5 敏化电极	3-28	2.2 阴极保护	3-53
9.1.6 离子选择性电极的响应特 性	3-29	2.3 腐蚀介质的处理	3-54
10 不可逆电极	3-30	第6章 阴极析氢对电镀质量的影响	3-56
10.1 不可逆电极的分类	3-30	1 “氢脆”现象	3-56
10.2 稳定电位及其在电镀中的应用 举例	3-30	2 镀层产生针孔和麻点	3-56
11 电极电位的测定	3-32	3 镀层鼓泡	3-56
第3章 电极与溶液界面的性质	3-35	4 氢过电位的测量	3-56
1 离子双电层的结构模型	3-35	第7章 电镀的阴极过程	3-58
1.1 双电层结构模型发展概况	3-35	1 简单金属离子的阴极还原	3-58
1.1.1 紧密双电层模型	3-35	1.1 金属离子阴极还原的基本事实	3-58
1.1.2 分散双电层模型	3-35	1.2 简单金属离子的阴极还原	3-60
1.1.3 斯特恩(Stern)双电层模型	3-36	2 金属配离子的阴极还原	3-60
		3 在电极上直接放电的离子	3-61
		3.1 配离子解离理论	3-61
		3.2 配离子直接还原理论	3-62
		4 表面活性物质对金属离子还原过程的 影响	3-63
		5 金属的电结晶过程	3-65

5.1 晶种和微晶沉积层形成的条件	3-65	1.2.1 按镀层的作用分类	3-75
5.1.1 溶液中的结晶	3-65	1.2.2 按镀层与基体金属的电位分类	3-75
5.1.2 溶液中的晶核	3-66	2 影响镀层组织结构的因素	3-75
5.2 晶面生长过程	3-66	2.1 电沉积过程	3-75
第8章 电镀的阳极过程	3-68	2.2 电镀溶液对镀层的影响	3-76
1 阳极和钝化现象	3-68	2.2.1 电镀溶液本身的影响	3-76
1.1 电镀中阳极的作用	3-68	2.2.2 电镀盐中主盐浓度的影响	3-77
1.2 使用可溶性阳极时的注意事项	3-68	2.2.3 附加盐的影响	3-77
1.3 阳极的正常溶解和钝化现象	3-68	2.2.4 添加剂的影响	3-77
2 金属钝化的机理	3-70	2.3 电镀操作条件对镀层的影响	3-78
2.1 成相膜理论	3-71	2.3.1 电流密度的影响	3-78
2.2 吸附理论	3-71	2.3.2 温度的影响	3-78
3 影响阳极过程的主要因素	3-72	2.3.3 搅拌的影响	3-78
3.1 金属本性的影响	3-72	2.3.4 换向电流的影响	3-79
3.2 溶液组成的影响	3-73	2.3.5 电流波形的影响	3-79
3.2.1 配位剂	3-73	2.4 析氢对镀层的影响	3-79
3.2.2 活性离子	3-73	2.5 基体金属对镀层的影响	3-80
3.2.3 氧化剂	3-73	2.5.1 金属材料性质的影响	3-80
3.2.4 有机表面活性物质	3-73	2.5.2 镀前加工性质的影响	3-80
3.2.5 溶液 pH 值	3-73	3 镀层在阴极表面的分布状况	3-81
3.3 电镀操作条件的影响	3-74	3.1 基本概念	3-81
3.3.1 电流密度	3-74	3.2 影响电流在阴极上分布的因素	3-81
3.3.2 温度	3-74	3.3 影响金属在阴极表面上分布的因素	3-86
3.3.3 搅拌	3-74	3.3.1 电流效率的影响	3-86
第9章 影响镀层组织和镀层分布的因素	3-75	3.3.2 基体金属的本性和表面状态的影响	3-86
1 概述	3-75	参考文献	3-87
1.1 镀层的要求	3-75		
1.2 镀层的分类	3-75		

第4篇 普通金属电镀

第1章 镀前处理与电镀挂具	4-3	2.1 概述	4-8
1 研磨、抛光	4-3	2.2 有机溶剂除油	4-9
1.1 概述	4-3	2.3 化学除油	4-9
1.2 研磨	4-3	2.3.1 碱溶液除油	4-9
1.3 磨光机	4-4	2.3.2 乳化液除油	4-10
1.4 磨光轮	4-4	2.3.3 酸溶液除油	4-11
1.5 磨料	4-5	2.3.4 表面活性剂除油	4-11
1.6 胶粘剂	4-5	2.4 电化学除油	4-14
1.7 磨光带磨光	4-5	2.5 超声波清洗	4-15
1.8 抛光	4-6	2.6 镀前除油实现清洁生产	4-15
1.9 抛光轮	4-6	2.7 除油设备的改进	4-16
1.10 抛光膏	4-6	3 浸蚀	4-16
1.11 成批光饰	4-7	3.1 概述	4-16
2 除油	4-8	3.2 浸蚀常用酸及其功能	4-17

3.3 化学浸蚀	4-18	2.3 镀液配制方法	4-47
3.3.1 钢铁零件的化学浸蚀	4-18	2.4 镀液成分及其作用	4-47
3.3.2 铜及铜合金零件的化学浸蚀	4-19	2.4.1 氰化亚铜 (CuCN)	4-47
3.3.3 锌及锌合金零件的化学浸蚀	4-21	2.4.2 游离氰化钠 (钾)	4-47
3.3.4 铝及铝合金零件的化学浸蚀	4-21	2.4.3 总氰化钠 (钾)	4-48
3.3.5 不锈钢零件的化学抛光	4-23	2.4.4 酒石酸钾钠	4-48
3.4 电化学浸蚀	4-24	2.4.5 氢氧化钠 (钾)	4-48
3.5 电化学抛光	4-24	2.4.6 钠盐与钾盐的比较	4-48
3.5.1 铝及铝合金零件的电化学 抛光	4-24	2.4.7 碳酸钠 (钾)	4-48
3.5.2 不锈钢零件的电化学抛光	4-25	2.4.8 光亮剂	4-49
4 电镀挂具的设计和制造	4-26	2.5 操作条件的影响	4-49
4.1 电镀挂具的重要性	4-26	2.6 常用设备	4-50
4.2 电镀挂具的设计原则	4-26	2.6.1 直流电源	4-50
4.3 电镀挂具的材料	4-26	2.6.2 过滤设备	4-51
4.4 电镀挂具截面积的计算	4-27	2.6.3 加热设备	4-51
4.5 电镀挂具的导电接触	4-28	2.6.4 抽风设备	4-51
4.6 零件形状对电流分布的影响	4-28	2.6.5 镀槽	4-51
4.7 通用挂具的基本类型与结构	4-28	2.7 杂质及其去除	4-51
4.8 专用挂具的基本形状与结构	4-29	2.7.1 过量碳酸盐的去除	4-51
4.9 提篮	4-30	2.7.2 油污的去除	4-52
4.10 电镀挂具制造和焊接	4-30	2.7.3 铬酸的去除	4-52
4.11 电镀挂具的绝缘处理	4-31	2.8 镀液的日常维护	4-53
参考文献	4-32	2.8.1 镀液密度	4-53
第2章 镀铜	4-34	2.8.2 pH值	4-53
1 镀铜概论	4-34	2.8.3 镀液温度	4-53
1.1 铜镀层的性质及用途	4-34	2.8.4 游离氰化钠	4-53
1.1.1 金属铜的存在及毒理学	4-34	2.8.5 霍尔槽试验	4-53
1.1.2 金属铜的物理性质	4-34	2.8.6 电流与电压	4-54
1.1.3 金属铜的化学性质	4-35	2.9 常见故障现象、产生原因及处理 方法	4-54
1.1.4 电镀铜的性质	4-35	3 硫酸盐酸性镀铜	4-56
1.1.5 电镀铜的应用	4-35	3.1 概述	4-56
1.2 铜镀层的结合力	4-36	3.2 用途	4-56
1.2.1 钢铁件上铜镀层的结合力 问题	4-36	3.2.1 装饰性镀层	4-56
1.2.2 其他基材上铜镀层的结合力 问题	4-44	3.2.2 导电性镀层	4-56
1.2.3 镀铜层与镍镀层的结合力 问题	4-44	3.2.3 焊接性镀层	4-56
1.2.4 预浸能提高镀层结合力的原 理分析	4-44	3.2.4 作为最终镀层	4-56
2 氰化镀铜	4-45	3.3 原理	4-57
2.1 概述	4-45	3.3.1 阴极反应	4-57
2.2 镀液的组成和操作条件	4-46	3.3.2 阳极反应	4-57
		3.4 镀液的组成和操作条件	4-57
		3.4.1 硫酸铜的溶解度	4-57
		3.4.2 镀液类型	4-57
		3.4.3 常用镀液的组成和操作条件	4-57
		3.5 镀液配制方法	4-58

3.6 镀液成分及其作用	4-58	4.6 正磷酸盐问题	4-89
3.6.1 硫酸铜	4-58	4.6.1 适量正磷酸盐的好处	4-89
3.6.2 硫酸	4-58	4.6.2 正磷酸盐过多的危害	4-89
3.6.3 全光亮硫酸盐镀铜光亮剂	4-59	4.6.3 减少正磷酸盐积累的措施	4-90
3.7 操作条件的影响	4-69	4.6.4 过量正磷酸盐的处理	4-90
3.8 常用设备	4-71	4.7 一价铜问题	4-91
3.8.1 直流电源	4-71	4.8 霉菌问题	4-91
3.8.2 镀槽	4-71	4.9 常用设备	4-91
3.8.3 搅拌设备	4-71	4.9.1 镀槽	4-91
3.8.4 过滤设备	4-72	4.9.2 搅拌设施	4-91
3.8.5 冷却与加热设备	4-73	4.9.3 过滤设备	4-92
3.9 镀液的日常维护	4-73	4.9.4 加热设备	4-92
3.9.1 主要成分调整	4-73	4.9.5 直流电源	4-92
3.9.2 光亮剂调整	4-74	4.10 镀液回收	4-93
3.9.3 Cl^- 判定与调整	4-74	4.10.1 回收的必要性	4-93
3.10 杂质及其去除	4-74	4.10.2 回收设施	4-93
3.10.1 过多 Cl^- 去除	4-74	4.11 杂质及其去除	4-93
3.10.2 “铜粉”去除	4-76	4.11.1 无机杂质及其影响	4-93
3.10.3 有机杂质去除	4-76	4.11.2 有机杂质及其去除	4-94
3.10.4 其他杂质去除	4-77	4.11.3 主要原材料质量的影响	4-95
3.11 常见故障现象、产生原因及处理 方法	4-77	4.12 镀液的日常维护	4-95
3.11.1 光亮整平性差	4-77	4.12.1 P 比控制	4-95
3.11.2 镀层色泽不均匀、发花	4-79	4.12.2 pH 值控制	4-95
3.11.3 镀层容易烧焦	4-79	4.12.3 氨水补加	4-95
3.11.4 起双层或多层铜	4-80	4.12.4 镀液温度的控制	4-96
3.11.5 电流下降、电压上升	4-80	4.12.5 阳极状况观察	4-96
3.12 光亮酸性镀铜后除膜	4-80	4.13 常见故障现象、产生原因及处理 方法	4-96
3.12.1 膜的产生及影响	4-80	4.13.1 阳极上反映的问题	4-96
3.12.2 除膜方法	4-80	4.13.2 霍尔槽试片上反映的问题	4-96
3.13 硫酸盐镀硬铜	4-81	4.13.3 工件（特别是工件上方）镀 层粗糙有毛刺	4-97
4 焦磷酸盐镀铜	4-81	4.13.4 镀层起皮起泡	4-97
4.1 概述	4-81	4.14 预镀工艺问题	4-98
4.2 镀液的组成和操作条件	4-82	5 HEDP 镀铜	4-99
4.3 镀液成分及其作用	4-83	5.1 概述	4-99
4.3.1 焦磷酸钾与铜盐	4-83	5.2 关于 HEDP 知识	4-99
4.3.2 电镀时的阴阳极反应	4-84	5.2.1 有机多磷酸	4-99
4.3.3 辅助配位剂	4-84	5.2.2 通用配位剂 HEDP	4-100
4.3.4 硝酸盐	4-85	5.3 基本型 HEDP 镀铜	4-100
4.3.5 磷酸氢二钠	4-86	5.3.1 镀液的组成和操作条件	4-100
4.3.6 光亮剂	4-86	5.3.2 镀液配制方法	4-100
4.4 镀液配制方法	4-87	5.3.3 镀液成分及其作用	4-101
4.4.1 自制部分原材料	4-87	5.3.4 操作条件的影响	4-102
4.4.2 镀液配制步骤	4-87	5.3.5 镀液性能指标	4-102
4.5 操作条件的影响	4-87		

5.4	改进型 HEDP 镀铜	4-103	6.9.4	杂质问题	4-116
5.5	钢铁件直接镀 HEDP 铜的结合力问题	4-104	6.9.5	常见故障现象、产生原因及处理方法	4-116
5.5.1	HEDP 对钢铁件的活化问题	4-104	7	其他无氰镀铜	4-117
5.5.2	电位活化理论在 HEDP 镀铜中的应用	4-105	7.1	商品镀铜溶液	4-117
5.5.3	置换铜的问题	4-105	7.1.1	镀液的组成和操作条件	4-117
5.6	一价铜问题	4-105	7.1.2	镀液配制方法	4-118
5.7	杂质及其影响	4-106	7.1.3	工艺要点和镀液的日常维护	4-118
5.8	常用设备	4-106	7.1.4	商品镀铜溶液可能出现的 问题	4-118
5.8.1	镀槽	4-106	7.2	酒石酸盐镀铜	4-119
5.8.2	加热及温控设备	4-106	7.2.1	概述	4-119
5.8.3	搅拌设备	4-106	7.2.2	镀液的组成和操作条件	4-119
5.8.4	电源	4-107	7.2.3	镀液配制方法	4-119
5.8.5	过滤设备	4-107	7.2.4	镀液成分及其作用	4-119
5.8.6	回收设备	4-107	7.2.5	操作条件的影响	4-120
5.9	对 HEDP 镀铜的进一步试验与 生产应用	4-107	7.2.6	锌压铸件和铝件的腐蚀	4-120
5.9.1	概述	4-107	7.2.7	镀液的日常维护	4-121
5.9.2	镀液的组成和操作条件	4-107	7.3	草酸盐镀铜	4-121
5.9.3	镀液配制方法	4-108	7.3.1	概述	4-121
5.9.4	霍尔槽试验结果	4-108	7.3.2	镀液的组成和操作条件	4-122
5.9.5	锌压铸件电镀与加厚镀 铜问题	4-110	7.3.3	镀液配制方法	4-122
5.9.6	HEDP 镀铜的工业应用效果	4-111	7.3.4	镀液成分及其作用	4-122
5.10	HEDP 镀铜的废水处理	4-112	7.3.5	操作条件的影响	4-122
6	柠檬酸盐镀铜	4-112	7.3.6	钢铁件直接镀铜的结合力	4-123
6.1	概述	4-112	7.3.7	铁杂质影响	4-123
6.2	镀液的组成和操作条件	4-112	7.4	三乙醇胺镀铜	4-123
6.3	镀液配制方法	4-113	7.5	氨三乙酸镀铜	4-124
6.3.1	碱式碳酸铜的自制方法	4-113	7.6	乙二胺镀铜	4-124
6.3.2	镀液配制步骤	4-113	7.7	氟硼酸盐镀铜	4-125
6.4	工艺流程	4-114	7.8	氨基磺酸盐镀铜	4-126
6.5	镀液成分及其作用	4-114	7.9	一价铜盐无氰碱性镀铜试验	4-126
6.5.1	柠檬酸与铜(Ⅲ)	4-114	7.9.1	采用一价铜盐的优点与困 难	4-126
6.5.2	辅助配位剂	4-114	7.9.2	一价铜盐无氰碱性镀铜试 验	4-126
6.5.3	碳酸氢钠	4-114	8	不良铜镀层的返修	4-127
6.5.4	光亮剂	4-115	8.1	概述	4-127
6.6	操作条件的影响	4-115	8.2	不良铜镀层的挽救	4-127
6.7	镀液主要性能指标	4-115	8.2.1	工件局部烧焦的挽救	4-127
6.8	钢铁件直接镀铜的结合力	4-115	8.2.2	工件镀层粗糙、毛刺或光亮 整平性不足的挽救	4-128
6.9	其他问题	4-116	8.3	不良铜镀层的退除	4-128
6.9.1	霉菌问题	4-116	8.3.1	对退除方法的基本要求	4-128
6.9.2	一价铜问题	4-116	8.3.2	钢铁件上铜镀层的退除	4-128
6.9.3	设备问题	4-116			

8.3.3 钢铁件上铜-镍镀层的一次退除	4 - 129	5.2.2 滚镀光亮镍溶液的组成和操作条件	4 - 157
8.3.4 铝件上铜镀层的退除	4 - 131	5.3 滚镀镍与挂镀镍	4 - 159
8.3.5 锌压铸件上铜镀层的退除	4 - 131	5.4 光亮镀镍溶液中各成分的作用	4 - 159
8.3.6 铜件上铜-镍镀层的退除	4 - 131	5.5 稀土添加剂在镀液中的作用	4 - 160
参考文献	4 - 132	5.6 光亮镀镍溶液的日常维护和管理	4 - 160
第3章 镀镍	4 - 136	6 高硫镍镀镍	4 - 161
1 概述	4 - 136	6.1 概述	4 - 161
1.1 镀镍发展的历史	4 - 136	6.2 高硫镍镀镍溶液的组成和操作条件	4 - 161
1.2 镀镍原理	4 - 137	6.3 添加剂在高硫镍镀镍溶液中的作用	4 - 162
2 镀镍添加剂	4 - 138	6.4 高硫镍镀镍溶液的日常维护和管理	4 - 162
2.1 概述	4 - 138	7 封闭镀镍	4 - 162
2.2 光亮镀镍的机理探讨	4 - 139	7.1 概述	4 - 162
2.2.1 平滑细晶理论	4 - 139	7.2 封闭镀镍溶液的组成和操作条件	4 - 163
2.2.2 结晶定向理论	4 - 139	7.3 添加剂在封闭镀镍溶液中的作用	4 - 163
2.2.3 吸附理论	4 - 139	7.4 封闭镀镍溶液的日常维护和管理	4 - 165
2.3 镀镍光亮剂分类	4 - 140	8 高应力镍镀镍	4 - 165
2.3.1 初级光亮剂	4 - 140	8.1 概述	4 - 165
2.3.2 次级光亮剂	4 - 140	8.2 高应力镍镀镍溶液的组成和操作条件	4 - 166
2.3.3 辅助光亮剂	4 - 144	8.3 高应力镍镀镍的注意事项	4 - 166
2.3.4 常用镀镍光亮剂对镀层性能的影响	4 - 147	9 缎面镍镀镍	4 - 167
3 普通镀镍	4 - 147	9.1 概述	4 - 167
3.1 普通镀镍溶液的组成和操作条件	4 - 147	9.2 缎面镍镀液的组成和操作条件	4 - 168
3.2 普通镀镍溶液中各成分的作用	4 - 147	9.3 添加剂在缎面镍镀镍溶液中的作用	4 - 169
3.3 普通镀镍溶液的日常维护和管理	4 - 149	9.4 缎面镍镀镍溶液的组分对镀层的影响	4 - 169
4 半光亮镀镍	4 - 150	9.5 缎面镍镀镍操作条件对镀层的影响	4 - 170
4.1 概述	4 - 150	10 深孔零件镀镍	4 - 170
4.2 半光亮镀镍溶液的组成和操作条件	4 - 152	10.1 深孔零件镀镍溶液的组成和操作条件	4 - 171
4.3 添加剂在半光亮镀镍溶液中的作用	4 - 152	10.2 添加剂在深孔零件镀镍溶液中的作用	4 - 171
4.4 半光亮镀镍溶液的日常维护和管理	4 - 153	10.3 深孔零件镀镍溶液的日常维护和管理	4 - 172
4.5 双层镍镀层之间的结合力	4 - 153		
5 光亮镀镍	4 - 154		
5.1 在瓦特型和普通型镀镍溶液中镀光亮镍	4 - 155		
5.2 光亮镀镍溶液的组成和操作条件	4 - 156		
5.2.1 挂镀光亮镀镍溶液的组成和操作条件	4 - 156		