



电子电镀技术

刘仁志 编著



化学工业出版社



电子电镀技术

刘仁志 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书作者通过自己从事电子电镀多年的经历,以新的视角对电子电镀的常识做了通俗的讲解,内容涉及电镀基本知识和各种电子电镀技术,包括通用电子电镀工艺、专用的电子电镀工艺,如印制线路板电镀、电子连接器电镀、线材电镀、微波器件电镀、塑料电镀、纳米电镀的应用等。对需要了解电子电镀的读者是一本信息量较大的读物。适合从事电子电镀的专业人员和教师、学生阅读,其中有些章节的末尾对该领域的技术动向和发展趋势作了预测,提出了一些新课题和新设想,对科研人员具有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

电子电镀技术/刘仁志编著. —北京:化学工业出版社,
2008.1

ISBN 978-7-122-01474-0

I. 电… II. 刘… III. 电子技术-应用-电镀 IV. TQ153-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 181044 号

责任编辑:段志兵

文字编辑:孙凤英

责任校对:王素芹

装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印刷:大厂聚鑫印刷有限责任公司

装订:三河市延风装订厂

720mm×1000mm 1/16 印张 23½ 字数 467 千字 2008 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:48.00 元

版权所有 违者必究

前 言

从 20 世纪 60 年代发展起来的电子工业经过半个多世纪的发展,现在已经成为世界性支柱产业。电子工业的发展带动了许多传统工业的发展和技术更新,特别是现代电子技术向智能化的发展已经完全改变了现代工业的面貌,甚至有人认为现在已经进入了后工业化时代,不少传统工业处于要么就跟上信息化时代的步伐,要么就面临被淘汰出局的局面。

在这些面临淘汰的工艺技术中,曾经有不少人认为电镀技术也将列入其中,从而担心起电镀工业的命运。但是工业发展的事实证明,电镀工业不但没有被淘汰,而且有所发展。特别是与电子工业有着特别关联的电子电镀业,对电子工业有着特殊的贡献,成为电子产品制造链中非常重要的一个环节。

世界上先进工业国家的电镀业早在 20 世纪 70 年代就基本完成了由常规电镀向电子电镀转换的过程,而我国在这方面却明显地滞后于世界发展的步伐。于 20 世纪 80 代末开始的海峡两岸电镀与精饰学术交流会,从第一届开始往后的连续几届,台湾同胞的技术论文大部分是与电子电镀有关的,而我们老是在镀锌、镀镍、镀铬这些五金电镀上做文章,直到近些年这种情况才有所改变。

现在,经过从事电子电镀的专业人士和广大从业者多年的努力,在我国已经初步形成了一个电子电镀的专业领域。一大批国际性电子加工专业企业进驻我国,我国成为世界加工中心的地位已经确立,但是由于对电镀工业本身了解的人就不是很多,电子电镀就更不大为世人所知。即使许多从事电子电镀加工的从业人员,也不能全面了解电子电镀的含义。而随着电子电镀需要的发展,一些传统电镀的企业和人员也开始加入到电子电镀的行业中来。作为中国电子学会生产技术学分会电镀专家委员会的成员,深感为电镀业提供一本可供参考学习的通俗读本很有必要,恰巧化学工业出版社也有这个计划,可谓不谋而合,促成了这本书的出版。

以前一提到电子电镀,很多人都会想到印制板的电镀,实际上电子电镀已经远不止是印制板的电镀,而是几乎涉及了传统电镀的所有镀种,并且有所扩展,从而极大地丰富了电镀技术和工艺的内容,延展和增强了电镀技术的生命力。

为了让更多的从业人员了解电子电镀,本书除了以整整一章的篇幅(第 3 章)集中介绍了电子电镀的通用工艺以外,对电子电镀的专业工艺如印制线路板电镀、纳米电镀、磁性材料电镀、线材电镀、微波器件电镀、电子连接器电镀、塑料电镀等都以专门的章节做了介绍,对与环境保护和资源节约有关的技术和工艺也在相关的内容中做了介绍,同时在开篇的第 1 章对电子和电子技术、电子工业的来龙去脉

也做了介绍，力求比较全面。这些介绍中有不少凝聚着我自己的实践经验，特别是塑料电镀、印制线路板电镀、微波器件电镀、电子连接器电镀、线材电镀等，都是我曾经参与过产品制造或设备开发的工作领域，希望所提供的工艺对大家有较高的参考价值。需要指出的是，有时同一个镀种会出现在本书的不同章节，这正是电子电镀的特点之一，同一个镀种用于不同的电子产品领域时，工艺会有所不同，而工艺上的这种区别正是工艺技术的诀窍。细心的读者将会在其中发现一个镀种在不同电子产品的应用中需要做出的调整和改善。

在有些章节的末尾，还结合生产和科研实际，并根据相关领域的技术进步趋势和科学发展前景做了一些预测或设想，相信会引起有强烈创新意识的读者的共鸣。特别是相关院校的研究人员可以从这些提出的新设想中得到启发和提示，从而开发出有研究和应用价值的新课题。希望收到这些读者提出的问题并就这类问题展开交流和讨论。

尽管写作中对所有资料都做了仔细的核对，也还是难免挂一漏万，恳切希望读者特别是本专业的专家给以指正，以期有机会加以改正。

无可讳言，我国电子电镀技术和工艺与世界先进水平还存在着较大差距，特别是电子化学品和电子电镀生产设备的研发和生产还处在比较初级的阶段，正是这种状况促使我们还要继续努力工作和学习，为提升我国电子电镀工业的水平而奋斗。如果本书能为本行业的读者提供些许帮助，则是我莫大的心愿。

刘仁志
于武汉

特 别 提 示

尊敬的读者，如果您准备对本书的内容进行试验或实践，请在使用化学药品时严格遵守相关操作规程。如果付诸生产，请务必遵守清洁生产和环境保护的相关法规。如果是非专业人士，则请在专业人员的指导下进行操作。特此敬告！

欢迎订阅电镀及相关表面技术专业图书

书 号	书 名	定价/元
专业工具书		
9204-0	实用表面前处理手册(第二版)	40.00
1992-0	表面工程手册	90.00
6803-4	实用清洗技术手册	69.00
7318-6	中国材料工程大典(第16卷)——材料表面工程(上)	130.00
7319-4	中国材料工程大典(第17卷)——材料表面工程(下)	130.00
01348-4	简明电镀手册	48.00
电镀技术		
7422-0	工人安全技术培训系列读本——电镀工安全技术	15.00
6206-0	实用电镀技术丛书——电镀清洁生产工艺	35.00
3801-1	材料防护系列图书——电镀工程	40.00
5798-9	电子废料回收与利用丛书——电镀废弃物与材料的回收利用	24.00
4448-8	电镀废水处理技术及工程实例	35.00
4621-9	难镀基材的化学镀镍技术	22.00
3259-5	实用电镀技术丛书——电镀溶液分析技术	35.00
3539-X	实用电镀技术丛书——电镀溶液与镀层性能测试	19.00
5095-X	实用电镀技术丛书——防护装饰性镀层	38.00
3259-5	实用电镀技术丛书——电镀溶液分析技术	35.00
4857-2	实用电镀技术丛书——化学镀实用技术	42.00
9027-7	实用电镀技术丛书——实用电镀添加剂	48.00
3490-3	腐蚀与防护全书——实用电镀技术	25.00
8418-8	非金属电镀与精饰——技术与实践	35.00
8402-1	镀铬修复及应用实例	28.00
8951-1	镀铁铜镍及合金修复技术	20.00
5511-0	特种电镀技术	22.00
4797-5	刷镀技术	28.00
8434-X	表面处理清洁生产技术丛书——镀锌	15.00
8447-1	表面处理清洁生产技术丛书——镀覆前表面处理	20.00
00929-6	表面处理清洁生产技术丛书——镀铜	15.00
8204-5	涂镀三废处理工艺与设备	38.00
7552-9	电镀工艺与设备	54.00
4040-7	工人岗位培训实用技术读本——电镀技术	27.00
9030-7	现代电镀(原著第四版)	88.00
9254-7	镀镍技术丛书——镀镍工艺基础	20.00
9521-X	镀镍技术丛书——光亮镀镍	30.00
00922-7	镀镍技术丛书——镀镍合金	30.00
8954-6	实用装饰性镀层和涂层	36.00
9215-6	电镀企业的数字化管理	180.00(精装)

续表

书 号	书 名	定价/元
9325-4	电镀生产管理 8 讲	25.00
9324-7	纳米电镀	58.00
9854	电镀挂具	29.00
9327	复合电镀技术	48.00
9827	电镀实践 900 例	39.00
9755-9	电镀实用技术 500 问	25.00
01011-7	电镀故障精解	48.00
01078-0	电镀故障分析与处理问答	26.00
01078-0	电镀工人技术问答	20.00
00507-6	电镀层去除技术	16.00
01107	电镀配合物——理论与应用	96.00
01474-0	电子电镀技术	48.00
表面清洗技术		
3604-3	工业清洗剂及清洗技术	45.00
7049-7	洗净技术基础	58.00
6803-4	实用清洗技术手册(二版)	69.00
4611-1	金属清洗技术	28.00
3001-0	实用化学清洗技术(二版)	20.00
4503-4	工业清洗及应用实例	25.00
4343-0	工人岗位培训实用技术读本——工业清洗技术	35.00
7778-5	高压水射流清洗技术及应用	29.00
00519-9	钢材酸洗技术	39.00
其他表面技术		
5550-1	铝合金阳极氧化与表面处理技术	45.00
01113-8	铝合金表面氧化处理技术问答	20.00
5865-9	不锈钢表面处理技术	32.00
8653-9	金属表面抛光技术	29.00
7055-1	金属表面技术丛书——水溶液沉积技术	20.00
792-14	现代表面工程技术(教材)	32.00
5890-X	喷丸清理技术	38.00
8045-X	钢材热镀锌	59.00
00689-9	钢带热镀新技术问答	32.00
2919-5	涂层技术原理及应用	45.00
5974-4	实用焊接技术丛书——表面堆焊与热喷涂技术	39.00
9117-6	电弧喷涂技术	36.00

邮购地址：(100011) 北京市东城区青年湖南街 13 号 化学工业出版社

服务电话：010-64518888 (销售中心邮购科)

如要出版新著，请与编辑联系。电话：010-64519271；E-mail: dzb@cip.com.cn (段志兵)

目 录

第 1 章 电子工业与电镀

1.1 从电子讲起	1	1.3.3 电子产品的装饰性电镀	9
1.2 电子工业的兴起	5	1.3.4 电子产品的功能性电镀	10
1.3 电镀在电子工业中的作用	6	1.3.5 电子电镀的概念	11
1.3.1 电子产品与电镀	7	参考文献	12
1.3.2 电子产品的防护性电镀	8		

第 2 章 电镀基本知识

2.1 关于电镀	13	2.3 电镀所需要的资源	36
2.1.1 电镀技术介绍	13	2.3.1 整流电源	36
2.1.2 电镀的基本原理	16	2.3.2 电镀槽	37
2.1.2.1 电化学基本知识	16	2.3.3 辅助设备	38
2.1.2.2 电沉积过程基本知识	17	2.3.3.1 加温或降温装置	38
2.1.3 电镀过程及其相关计算	25	2.3.3.2 阴极移动或搅拌装置	38
2.1.3.1 电流效率的计算	25	2.3.3.3 过滤和循环过滤设备	39
2.1.3.2 镀层厚度的计算	26	2.3.3.4 电镀槽必备附件	39
2.1.3.3 电极电位的计算	27	2.3.3.5 挂具	39
2.1.4 现代电镀技术及其添加剂	27	2.3.4 自动和半自动电镀生产线	40
2.1.4.1 现代电镀技术	27	2.3.5 电镀液	41
2.1.4.2 电镀添加剂	28	2.3.5.1 主盐	41
2.2 滚镀技术	30	2.3.5.2 络合剂或其他配体	41
2.2.1 滚镀技术的特点	31	2.3.5.3 辅盐	41
2.2.1.1 滚镀的优点	31	2.3.5.4 电镀添加剂	42
2.2.1.2 滚镀的缺点和改进	31	2.3.5.5 配制镀液的水	42
2.2.2 影响滚镀工艺的因素	32	2.4 电镀标准与镀层标记	43
2.2.2.1 滚筒眼孔径的影响	32	2.4.1 关于标准	43
2.2.2.2 转速的影响	33	2.4.2 电镀标准	44
2.2.2.3 装载量的影响	33	2.4.3 金属镀层及化学处理表示	
2.2.2.4 电流强度的影响	34	方法	45
2.2.2.5 镀液成分的影响	34	2.4.4 关于标准的先进性和水平	48
2.2.2.6 产品形状的影响	35	参考文献	48
2.2.3 滚镀设备	35		

第 3 章 电子电镀工艺

3.1 电子电镀综述	49	3.1.1 电子电镀的特点	49
------------------	----	---------------------	----

3.1.1.1 适合电子产品要求的 工艺	49	3.4.4 其他贵金属电镀	85
3.1.1.2 原材料纯度的控制	49	3.5 电铸	90
3.1.1.3 工艺过程控制	50	3.5.1 电铸技术概要	90
3.1.2 装备配置与工艺参数控制 ...	50	3.5.2 电铸技术的特点与流程	92
3.1.3 检测与试验控制	52	3.5.2.1 电铸的技术特点	92
3.2 电子电镀通用工艺	52	3.5.2.2 电铸工艺的流程	93
3.2.1 镀锌	52	3.5.2.3 电铸加工需要的资源 ...	96
3.2.2 通用镀镍	56	3.5.3 电铸工艺	98
3.2.2.1 瓦特镍(普通镀镍、镀 暗镍)	57	3.5.3.1 原型的制作	98
3.2.2.2 光亮镀镍	57	3.5.3.2 电铸工艺分述	101
3.2.2.3 多层镀镍	57	3.5.3.3 电子产品的显微制造 技术	107
3.2.2.4 缎面镍	58	3.6 铝表面处理	109
3.2.2.5 镀黑镍	59	3.6.1 铝的阳极氧化	109
3.2.3 通用镀铜	59	3.6.1.1 铝阳极氧化膜的 特点	110
3.2.3.1 氟化物镀铜	60	3.6.1.2 铝的阳极氧化工艺	111
3.2.3.2 通用酸性光亮镀铜	60	3.6.1.3 铝的着色	113
3.2.3.3 焦磷酸盐镀铜	61	3.6.1.4 铝的电解着色	115
3.2.4 镀铬	62	3.6.1.5 铝阳极氧化膜的 封闭	116
3.2.4.1 装饰镀铬	62	3.6.2 铝的导电氧化	116
3.2.4.2 三价铬镀铬	64	3.6.2.1 铝的转化膜	116
3.2.4.3 代铬镀层	65	3.6.2.2 导电氧化膜工艺	117
3.2.5 镀仿金	67	3.6.3 铝上电镀	117
3.2.6 镀合金	68	3.6.3.1 铝上电镀的前处理	117
3.3 加工制造类电子电镀	72	3.6.3.2 铝上电镀工艺	119
3.3.1 用于加工制造的酸性镀铜 ...	73	3.6.3.3 铝上电镀注意事项	120
3.3.2 用于加工制造的镀镍	74	3.6.4 镁及镁合金电镀	121
3.4 功能性电子电镀	76	3.6.4.1 镁及其合金电镀流程 ...	121
3.4.1 镀金	76	3.6.4.2 镁及其合金电镀工艺 ...	121
3.4.1.1 碱性镀金	77	3.6.4.3 镁及其合金电镀故障的 排除	124
3.4.1.2 中性镀金	78	3.6.4.4 镁及镁合金的化学 氧化	124
3.4.1.3 酸性镀金	78	3.7 化学镀	125
3.4.2 镀银	79	3.7.1 化学镀的历史、原理与 应用	125
3.4.2.1 通用镀银工艺	80	3.7.1.1 化学镀简史	125
3.4.2.2 无氟镀银	80		
3.4.3 镀锡及锡合金	83		
3.4.3.1 镀锡	83		
3.4.3.2 焊接性镀锡合金	84		

3.7.1.2 化学镀原理	126	3.8 阴极电泳技术	138
3.7.1.2.1 化学镀铜原理	126	3.8.1 电泳技术的历史和特点	138
3.7.1.2.2 化学镀镍原理	130	3.8.2 阴极电泳的工作原理与 应用	140
3.7.1.3 化学镀的应用	132	3.8.3 阴极电泳工艺	140
3.7.2 化学镀工艺	132	3.8.3.1 工艺流程	140
3.7.2.1 化学镀铜工艺	132	3.8.3.2 工艺配方	141
3.7.2.2 化学镀镍工艺	134	3.8.3.3 阴极电泳管理	143
3.7.3 化学镀金和化学镀银	136	3.8.4 阴极电泳所需资源	144
3.7.3.1 化学镀金	136	参考文献	145
3.7.3.2 化学镀银	137		
3.7.3.3 化学镀锡	138		

第4章 印制线路板电镀

4.1 关于印制线路板	146	4.2.2.2 孔金属化的工艺 流程	152
4.1.1 印制线路板开发的历史	146	4.2.2.3 孔金属化工艺	152
4.1.2 印制板制造技术	147	4.2.3 印制线路板电镀工艺	155
4.1.3 印制线路板制造工艺 流程	148	4.2.3.1 焦磷酸盐镀铜	155
4.1.3.1 单面刚性印制板工艺 流程	148	4.2.3.2 硫酸盐镀铜	155
4.1.3.2 双面刚性印制板工艺 流程	148	4.2.3.3 电镀锡	156
4.1.3.3 孔金属化法制造多层板 工艺流程	148	4.2.3.4 电镀镍金	157
4.2 印制线路板的电镀	149	4.2.4 热风整平及其替代工艺	159
4.2.1 常用的印制线路板电镀 工艺	149	4.3 用于印制线路板的环保型材料 和工艺	167
4.2.1.1 全板电镀和图形电镀	149	4.3.1 环保型原料	167
4.2.1.2 加成法和半加成法	150	4.3.1.1 基板材料	167
4.2.1.3 减成法	150	4.3.1.2 印制板用化学原料	168
4.2.2 孔金属化	151	4.3.2 用于印制板电镀的环保型新 工艺	168
4.2.2.1 双面板与多层板 技术	151	4.3.2.1 无氟无铅镀锡	168
		4.3.2.2 化学镀铜和直接镀 技术	170
		参考文献	171

第5章 微波器件电镀

5.1 微波与通信	172	5.2.2 波导电镀工艺	174
5.1.1 微波的定义	172	5.2.2.1 波导电镀工艺流程	174
5.1.2 微波通信与设备	173	5.2.2.2 波导电镀工艺与操作 条件	175
5.1.3 微波设备与电镀	173	5.2.3 其他微波器件的电镀	176
5.2 微波器件的电镀	174	5.2.3.1 钢铁制件镀银工艺	
5.2.1 波导的电镀	174		

流程	177	5.4.1.2 贵金属替代工艺	183
5.2.3.2 电镀工艺与操作		5.4.2 电镀基体材料的改进	184
条件	177	5.4.2.1 采用树脂复合材料	185
5.3 微波产品镀银层厚度的确定	179	5.4.2.2 树脂玻璃纤维复合材料的电镀	186
5.3.1 镀银标准中对银层厚度的规定	179	5.4.3 无氰镀银技术动向	186
5.3.2 微波产品镀银层厚度的确定	180	5.4.3.1 无氰镀银的历史及其存在的问题	186
5.3.2.1 趋肤效应	180	5.4.3.2 无氰镀银的现状 & 趋势	187
5.3.2.2 波导镀层厚度的确定	181	5.4.3.3 采用物理方法改善镀银工艺	188
5.4 微波器件电镀技术动向	182	参考文献	189
5.4.1 局部电镀和贵金属替代工艺	182		
5.4.1.1 局部镀工艺	182		

第6章 电子连接器电镀

6.1 关于连接器	190	参数	197
6.1.1 连接器的性能	190	6.3.2.2 电源波型影响的机理	197
6.1.1.1 力学性能	190	6.3.3 脉冲电镀的应用	198
6.1.1.2 电气性能	191	6.3.3.1 脉冲镀铜	198
6.1.1.3 环境性能	191	6.3.3.2 脉冲镀镍	199
6.1.2 影响连接器性能的因素	192	6.3.3.3 镀铬	199
6.1.2.1 设计	192	6.3.3.4 脉冲镀银	200
6.1.2.2 材料	192	6.3.3.5 脉冲镀金	200
6.1.2.3 加工工艺	192	6.3.3.6 脉冲镀合金	201
6.1.3 电镀工艺的影响	193	6.3.3.7 脉冲复合镀和纳米电镀	201
6.2 连接器的电镀	194	6.4 连接器技术发展趋势	202
6.2.1 连接器电镀工艺的选择	194	6.4.1 市场方面的发展	202
6.2.2 选择电镀工艺的依据	194	6.4.2 技术方面的发展	203
6.2.3 常用连接器电镀工艺	195	6.4.2.1 材料方面的改进	203
6.2.3.1 镀银	195	6.4.2.2 结构方面的改进	203
6.2.3.2 镀金	195	6.4.2.3 电镀方面的改进	203
6.2.3.3 镀三元合金	196	6.4.2.4 电镀设备方面的改进	204
6.3 脉冲电镀	196	6.4.3 一些新思维	204
6.3.1 脉冲电镀技术概要	196	参考文献	205
6.3.2 脉冲电镀的原理	197		
6.3.2.1 描述电源波型的			

第7章 线材电镀

7.1 关于线材电镀	206	7.1.3.1 常规线材电镀设备	208
7.1.1 线材的种类	206	7.1.3.2 特殊线材电镀设备	210
7.1.2 线材的电镀	207	7.2 线材电镀工艺	211
7.1.3 线材电镀的设备	208	7.2.1 线材电镀工艺与参数	211

7.2.1.1 线材镀铜工艺	211	理工艺	219
7.2.1.2 线材镀银工艺	213	7.3.2 半刚性电缆电镀	220
7.2.2 影响线材电镀效率的因素	214	7.3.2.1 半刚性电缆的电镀方法	220
7.2.2.1 设备因素	215	7.3.2.2 镀银和三元合金	221
7.2.2.2 电镀工艺因素	215	7.3.2.3 镀锡锌合金	221
7.2.3 提高线材电镀速度的途径	216	7.3.3 集成电路引线框电镀	221
7.2.3.1 改进电镀设备	216	7.3.3.1 集成电路的制作与引线框	222
7.2.3.2 改进电镀工艺	217	7.3.3.2 集成电路引线框电镀的质量要求	222
7.3 线材电镀的应用	217	7.3.3.3 IC 引线框的电镀工艺	223
7.3.1 “铜包钢”电镀	217	参考文献	224
7.3.1.1 “铜包钢”镀铜工艺的选择	218		
7.3.1.2 “铜包钢”镀铜的前、后处			

第8章 塑料电镀

8.1 塑料电镀在电子产品中的应用	225	8.2.2.3 电镀级 PP 塑料的电镀	237
8.1.1 塑料及其电镀制品的装饰性应用	225	8.2.2.4 影响 PP 塑料电镀质量的因素	237
8.1.2 塑料电镀的功能性应用	226	8.2.3 玻璃钢复合材料 (FRP) 电镀	238
8.2 塑料电镀工艺	227	8.2.3.1 玻璃钢的特点	238
8.2.1 ABS 塑料电镀	227	8.2.3.2 玻璃钢的种类及组成材料	240
8.2.1.1 ABS 塑料电镀的通用工艺流程及操作条件	227	8.2.3.3 玻璃钢的结构与电镀级玻璃钢	245
8.2.1.2 ABS 塑料电镀的常见故障	232	8.2.3.4 玻璃钢电镀工艺	246
8.2.1.3 不良镀层的退除	233	8.2.3.5 玻璃钢电镀容易出现的问题及防止方法	249
8.2.2 聚丙烯 (PP 塑料) 电镀	233	8.3 塑料电镀技术的发展	251
8.2.2.1 聚丙烯 (PP 塑料) 概述	233	参考文献	253
8.2.2.2 普通 PP 塑料电镀	235		

第9章 纳米电镀

9.1 纳米与纳米材料技术	254	重要技术	258
9.1.1 从纳米到纳米材料	254	9.2.2 电沉积法的优点	259
9.1.2 纳米材料的特性	255	9.2.3 模板电沉积制备一维纳米材料	259
9.1.3 纳米材料的应用	255	9.3 纳米复合电镀技术	261
9.1.4 纳米材料的制取方法	258	9.3.1 纳米复合镀的特点与类型	261
9.2 电沉积法制取纳米材料	258		
9.2.1 电镀是获取纳米材料的			

9.3.1.1 纳米复合镀的特点	261	9.3.2.2 纳米复合镀镍	264
9.3.1.2 纳米复合镀的类型	262	9.3.3 纳米电镀技术展望	264
9.3.2 纳米复合镀工艺	263	参考文献	265
9.3.2.1 纳米复合镀金	263		

第 10 章 磁性材料电镀

10.1 钕铁硼电镀	266	10.2.2.1 光碟技术	272
10.1.1 关于钕铁硼稀土永磁材料	266	10.2.2.2 高速光碟模具电铸加工技术	273
10.1.2 钕铁硼永磁体的电镀	267	10.2.2.3 光碟模具高速电铸装置与工艺	274
10.1.2.1 钕铁硼滚镀工艺流程	267	10.3 其他磁体电镀	275
10.1.2.2 钕铁硼电镀工艺	268	10.3.1 电沉积高电阻率镍铁系软磁镀层	275
10.2 硬盘与碟片电镀	269	10.3.2 钴磷-铜复合丝的电沉积	276
10.2.1 计算机硬盘电镀	269	10.3.3 化学镀钴合金获得垂直磁性镀层	277
10.2.1.1 化学镀镍磷	270	参考文献	278
10.2.1.2 铝上直接镀化学镍	271		
10.2.1.3 薄型硬盘的新化学镀层——镍铜磷	271		
10.2.2 光碟碟片制造与电镀	272		

第 11 章 电子电镀的常见故障与排除

11.1 电子电镀故障分类	279	· 霍尔槽试验方法	288
11.1.1 显性故障与隐性故障	279	11.2.2.1 霍尔槽	288
11.1.1.1 显性故障	279	11.2.2.2 如何利用霍尔槽排除电镀故障	289
11.1.1.2 隐性故障	279	11.2.2.3 霍尔槽试验的可比性与重现性	290
11.1.2 设计类故障	279	11.2.3 几种改良型霍尔槽	291
11.1.3 工艺操作类故障及影响因素	280	11.2.3.1 加长型霍尔槽	291
11.1.3.1 几何因素的影响	280	11.2.3.2 对流型霍尔槽	291
11.1.3.2 电学因素的影响	282	11.2.3.3 带阳极篮的霍尔槽	292
11.1.3.3 辅助设备的影响	283	11.3 镀镍层的内应力故障排除	292
11.1.3.4 化学因素对电镀质量的影响	284	11.3.1 关于镀镍层的内应力	292
11.1.4 设备材料类故障	287	11.3.2 影响镀镍层内应力的因素及排除方法	293
11.2 电子电镀故障的排除	287	11.3.3 不合格镀镍层的退除	296
11.2.1 找到故障是排除故障的开始	287	参考文献	297
11.2.2 电镀故障排除的好帮手——			

第 12 章 电子电镀与环境保护

12.1 电子产品与环境污染	298	12.1.1 危险的地球	298
----------------------	-----	--------------------	-----

12.1.2 电子工业对环境的影响	300
12.2 国际上对电子产品的环保要求	301
12.2.1 《WEEE 指令》和《RoHS 指令》	301
12.2.2 美国和世界其他国家的 环境法规	302
12.2.2.1 美国的立法	302
12.2.2.2 美国其他 49 个州的 立法	303
12.2.2.3 世界其他地区	303
12.2.3 我国电子产品的污染 控制法令	303
12.2.3.1 我国电子产品的 《有害物质限量 技术要求》	304
12.2.3.2 检测方法	305
12.2.3.3 电子信息产品污染 控制标志	306
12.3 电子电镀的三废治理	307
12.3.1 电镀工艺对环境的影响	307
12.3.2 电镀“三废”的治理与 零排放系统	309

12.3.2.1 电镀“三废”的 治理	309
12.3.2.2 电镀用水的零排放	312
12.4 电镀资源的可再利用	312
12.4.1 金属离子的回收利用	312
12.4.2 水的再利用	313
12.5 电镀安全生产	315
12.5.1 电镀生产中的安全知识	315
12.5.1.1 碱性溶液的操作 安全知识	315
12.5.1.2 酸蚀溶液的操作 安全知识	316
12.5.1.3 氰化物的操作安全 知识	316
12.5.1.4 其他安全事项	317
12.5.2 电镀防护用品的正确 使用及保管	317
12.5.2.1 电镀操作者的劳保 用品	318
12.5.2.2 使用防护用品的 注意事项	318
参考文献	318

附录

附录 1 SJ/T 11364—2006 电子信息 产品中有毒有害物质的 检测方法	319
附件 A 有毒有害物质检测过程 中的机械制样方法（规范 性附件）	349

录

参考文献	352
附录 2 产品 RoHS 符合性检测规范 （企业标准）	353
附录 3 电镀与精饰国家标准 目录	359

第1章 电子工业与电镀

1.1 从电子讲起

当我们谈论电子时代、电子工业和电子电镀时，知不知道电子到底是什么？尽管我们现在每天都要和电打交道，但能将电子的来龙去脉说清楚的人恐怕并不多。

当我们信手打开电灯、电视、电脑，或当我们乘电梯往返于几十层楼之间的时侯；当我们发动汽车或接听手机的时候，我们都知道这些产品和设备的运行都少不了电能。现代物质文明就建立在了电的基础之上。电能已经是现代人类生活中不可缺少的重要能源。

但是当我们享用着各种家用电器和现代电子科技的时候，会不会知道这些电子器件与电镀技术有着重要的关联呢？恐怕除了与电子电镀有关的专业人员以外，很少有人知道这个答案了。

电子工业也好，电子电镀也好，都少不了电子。因此，我们在学习电子电镀技术之前，先讲一点关于电子的发现历史，就是为了增加读者关于电子的常识。

“读史可以明志”，这是人文和社会科学领域的读者都知道的一句箴言。读科技史也是如此。由于我国几千年重文轻工的倾向对科技发展的阻碍，使普及科学技术知识成为更为重要的任务，而了解科技史对提高学习科技知识的兴趣和通过借鉴历史增强科技创新能力是非常有益的。因此，当我们对电子多一些了解，就会对电子电镀有更深层次的认识。

(1) 神秘的琥珀与静电

电能被开发出来为人类服务只不过是近一二百年的事，但是与电的发现有关的故事却可以追溯到很久很久以前。这些故事的发端，则是神秘的琥珀。

琥珀在希腊文中是“electron”，以其摩擦可生静电而得名，故琥珀亦曾被译为“电石”[据《美国传统辞典》electric 条的字源注解，电子一词 from Latin: electrum (amber); New Latin: electricus (deriving from amber, as by rubbing)，其中的 amber 就是现在的英文琥珀]。最早观察和记载了琥珀这种摩擦生电现象的是古希腊杰出的哲学家和天文学家泰勒斯 (Thales)，他于公元前 600 年在米利都繁荣的伊奥尼亚港观察到一种罕见的透明度有如宝石一样的橘黄色的石料，这就是琥珀。这种琥珀在经过布料快速摩擦后，可以吸引羽毛、稻草等轻灵的物体。琥珀的这种奇怪的现象早在公元前 400 年就迷惑了柏拉图和亚里士多德等著名的哲学家，由于当时无法提出合理的解释，更为琥珀增添了几分神秘色彩。

我国古籍中也记载了不少琥珀的静电效应。后汉的王充在《论衡》一书中记载“顿牟介，磁石引针”，顿牟即指琥珀。晋代的王嘉在《拾遗记》卷七曾提及一双琥珀鸟置于静室，自于室内鸣翔。能飞翔恐怕是古人夸大其词，但能够鸣叫则应属琥珀静电摩擦之效。汉郭宪《洞冥记》卷四叙述“帝所幸宫人丽娟，以琥珀为佩，置衣裾里不使人知，云骨自鸣。”这也是摩擦琥珀而产生静电的例子。

在古希腊人的传说中，琥珀是女神赫丽提斯的眼泪变成的。我国古代先民则认为，琥珀是猛虎死后的魂魄变化而来。

那么琥珀究竟是什么呢？琥珀实际上是地球早期的植物树脂石化的产物，是4000万年以前的松树脂化石，是一种保存完整的实体生物化石。其主要成分是碳、氢、氧以及少量的硫，硬度在2~3，密度 $1.05\sim 1.1\text{g/cm}^3$ ，熔点 $150\sim 180^\circ\text{C}$ ，燃点 $250\sim 375^\circ\text{C}$ 。德国人把琥珀称为燃烧石，因为它能在一定温度下燃烧。琥珀和珍珠、珊瑚被并称三大有机宝石。

琥珀摩擦可以产生静电，这是人类关于电的最早观察，但当时人们并不知道这是电现象，因而赋予了它很多神秘的色彩。

人类对于电的真正认识是直到17世纪才开始的。起点还是琥珀。这就是英国的一位有名的医生威廉·吉尔伯特(William Gilbert)从琥珀经摩擦可以产生出吸引细小物体能力的现象入手，提出了“电磁素”的概念，从此有更多的人开始关注和从事关于电和磁的研究，并在荷兰的著名莱登大学诞生了静电储存器——电容器，这就是著名的莱登瓶。那个时代，从皇家学会到大学刊物，都在讨论关于电的种种现象，以致在民间将莱登瓶当做魔术道具而在街头巷尾设摊表演。电的神秘和新奇使18世纪早期欧洲许多才华横溢的学者沉浸其中，各种试验和论文相继出台，对电的研究成为当时的前沿工作^[1]。而对于使电成为一种重要能源做出了重要贡献的则是美国人富兰克林。

1752年，美国科学家富兰克林冒着生命危险，做了一个永垂科学史册的所谓“费城试验”，证明电和闪电是同样的物质。1753年，他发明了避雷针，富兰克林有关电学的初步理论照亮了电学发展的道路。

1785年，库仑用试验方法在量值上确定了电荷间相互作用的定律，同时确定了电荷的定量的意义。因此，库仑定律成为静电学的基础。

意大利科学家伽伐尼(1737—1798)于1780年曾经进行过著名的青蛙肌肉收缩的试验，发现了动电。意大利物理教授伏特(1745—1827)对这一试验做出解释，认为是由于一种“电的激发力”引起伽伐尼电流的缘故。

1799年，伏特发明了电池，成功地将化学能转化为电能。由此，电流可以源源不断地获得，电流的化学效应和热效应也随之被发现。伏特发明电池使人类从静电时代走向了动电时代。电流不仅成为科学研究的重要对象，而且也成了科学研究的手段和重要工具。

此后一系列关于电的发明让世界发生着迅速的变化，从电灯到电报、电话，再

到发电机、电动机，电终于取代蒸汽成为人类最为重要的能源，但是对于电的本质的认识，则是19世纪以后的事。

(2) 电子的发现

前面已经说到，对电学的研究是18世纪以来热门的课题。不仅仅是皇家科学院和大专院校等科研机构，在新兴的工业企业和民间，都有不少人对电有着浓厚的兴趣并进行了一系列的试验，这其中对电子的发现有着重要贡献的有德国的一位玻璃工。

1858年，一个名叫盖斯勒的德国玻璃工制成了一个封接着金属电极的真空玻璃管，用来进行电流流经真空环境的试验，结果发现有某种射线产生并在玻璃管壁上可以留下痕迹。这种奇特的现象引起了许多人进一步的研究。

1876年，德国物理学家哥顿斯坦指出，管壁的辉光是由阴极上所产生的某种射线射到玻璃壁上引起的。他把这种射线称做“阴极射线”。

1879年，当时著名的物理学家和化学家、德国波恩大学教授普鲁克和他的学生希托夫通过试验证实了射线的确是从灯丝电极射出来的。他们对密封在真空玻璃管内的电极进行了通电试验。当将管内空气抽出使管内压力降低到低于十万分之一大气压时，他们发现电极对面管壁上出现了绿色的辉光，好像有什么东西从阴极跑出来，打到对面的管壁上似的，从而证明在真空条件下，灯丝电极上有一种物质不断地发射出来。这些试验都已经证明，哥顿斯坦所说的“阴极射线”是确实存在的。

但射线是什么东西呢？以当时人们对电的认识，还不能完全解答这个问题。但是当时对电流和磁的关系已经有了比较充分的研究，这就为解开阴极射线的谜团提供了技术支持，使当时对电的研究在19世纪末有了一个飞跃性的发展，正是这种发展，使20世纪进入了电子时代。

1897年，英国物理学家约翰·汤姆逊发现阴极射线在磁场中偏转所遵循的法则竟和一根通电导线一样；而在电场中，阴极射线与负电荷运动方向相一致。因此他断定阴极射线是带负电的粒子流。汤姆逊认为这种带负电的微粒即为电子（“电子”这个词是爱尔兰物理学家斯托尼在1891年首先提出的）。汤姆逊测定了电子的速度，以及电子所带的电量与电子的质量的比值。汤姆逊由于确定了电子的存在而获得了1906年度的诺贝尔物理学奖。

汤姆逊的试验实质上是一种破坏原子的方法。在低压气体下放电，原子被分为带电的两部分。其一带负电（称为电子），而另一个较重要的部分则带正电。这一事实说明原子不再是不可分割的。根据这种试验结果，汤姆逊提出的原子模型是像鸡蛋一样的球体，蛋黄是正电，蛋白是电子，由正、负电荷将它们紧紧地连接在一起。

而早在1895年，德国的伦琴发现了X射线，接着贝克勒及居里夫妇相继发现了放射性元素。放射性元素就是可放出“某些东西”的原子。这些东西后来被称为