

实用电镀技术丛书

中国表面工程协会电镀分会组织编写

# 化学镀实用技术

李 宁 主编

屠振密 主审

化学工业出版社

化学与应用化学出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

化学镀实用技术/李宁主编. —北京: 化学工业出版社, 2003.10

(实用电镀技术丛书)

ISBN 7-5025-4857-2

I. 化… II. 李… III. 镀层-技术 IV. TQ153.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 093687 号

---

实用电镀技术丛书  
中国表面工程协会电镀分会组织编写  
化学镀实用技术  
李 宁 主编  
屠振密 主审  
责任编辑: 路金辉  
文字编辑: 杨欣欣  
责任校对: 李 林  
封面设计: 潘 峰

\*

化学工业出版社 出版发行  
化学与应用化学出版中心  
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)  
发行电话: (010) 64982530  
<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销  
化学工业出版社印刷厂印刷  
三河市前程装订厂装订  
开本 850mm×1168mm 1/32 印张 18½ 字数 494 千字  
2004 年 1 月第 1 版 2004 年 6 月北京第 2 次印刷  
ISBN 7-5025-4857-2/TQ·1844  
定价: 42.00 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

# 前 言

近年来化学镀技术在表面处理行业中所占的地位在不断地上升，在石油工业、电子工业、机械工业、航空航天工业等各行各业都有着越来越广泛的应用。例如在印刷电路板中的通孔化学镀铜、触点上的化学镀钎料镀层、铝硬盘上的化学镀镍、高磁密度记录元件上的化学镀钴-磷合金镀层、集成电路中的微凸点、倒置后封装技术中所采用的焊点下金属化层等等。此外，由于化学镀镍层有着优异的均镀能力、高硬度、高耐蚀性等优点，在机械工业与化工行业均有着广泛的应用。

随着化学镀技术的日趋完善，许多国家都先后出版了化学镀方面的专著。我国 20 世纪 70 年代出版了周荣廷编写的《化学镀镍》一书；20 世纪 80 年代在成都电镀协会出版的电镀技术丛书中包含了由黄谓成、李铭华编著的《化学镀技术》；20 世纪 90 年代罗守福等人翻译出版了沃尔夫冈·里德尔著的《化学镀镍》；2000 年出版了姜小霞、沈伟编著的《化学镀理论与实践》，李宁、袁国伟、黎德育编著的《化学镀镍理论与技术》。不仅如此，近 20 年来出版的各种表面技术著作与手册中都有一定量的篇幅介绍化学镀技术。

本书由李宁教授主编，屠振密教授主审。全书共分为十六章，李宁编著了第一至五、十一、十二、十五章；黎德育参编了第四至第八章；屠振密编著了第十一、十六章；李铭华编著了第九、十、十三、十四章；袁国伟参编了第二、五、七章；李铭华对全书进行了第一遍校对。

在配方的设计、药品的选择、镀液配制、镀液的调整与维护等方面，书中的部分章节体现了笔者多年来的实际操作经验和部分科研成果，比较详细地阐述了化学镀镍反应的热力学与动力学、化学镀镍的工艺及其镀液的维护、化学镀镍的设备、多元合金镍基化学

镀以及化学复合镀、废水处理等方面的内容。

在编撰过程中，编著者参阅和引录了大量的国内外文献资料，谨向原作者致谢，一些主要资料来源列在各章末的“参考文献”中。

在本书的编写过程中，王桂香、邓娟利、陈玲、李平、杜明华等同学都对本书的编写给予了很多的帮助，在此表示深深的感谢。

有必要强调的是，由于化学镀技术诞生得相对较晚，本书参考的有些文献尚处于研究阶段，还未经生产实际的检验。因此书中存在的不完善之处，敬请读者谅解。

由于我们的水平有限，经验亦不甚充足，书中难免疏漏之处，还望读者不吝赐教。

作 者

2003年5月27日于哈尔滨工业大学

# 目 录

第一章 绪 论 .....	1
第一节 概述 .....	1
第二节 化学镀技术的发展 .....	1
一、化学镀镍 .....	1
二、化学镀铜 .....	6
三、化学镀锡 .....	10
四、化学镀钴 .....	11
五、化学镀贵金属 .....	11
六、复合化学镀 .....	14
第三节 化学镀最近研究 .....	18
一、激光增强化学镀 .....	18
二、粉末化学镀 .....	19
三、低磷化学镀 .....	20
四、化学镀在微电子领域中的应用 .....	22
五、化学镀的发展趋势 .....	24
参考文献 .....	24
第二章 化学镀镍的热力学与动力学 .....	28
第一节 化学镀镍反应的特点 .....	28
第二节 化学镀镍基合金反应的热力学可能性 .....	30
一、镍-水体系的电位-pH 值图 .....	30
二、磷-水体系的电位-pH 值图 .....	33
三、镍-磷与镍-水体系电位-pH 值图的叠加 .....	34
四、镍基三元合金共沉积的还原可能性 .....	35
五、通过标准电极电位判断还原可能性 .....	37
六、各种还原剂的反应路径和反应能量 .....	39
第三节 化学镀镍基合金反应的动力学 .....	43
一、化学镀镍速度方程 .....	44

二、用混合电位理论计算化学镀镍速度 .....	47
三、金属的催化活性 .....	50
第四节 化学镀镍机理的几种假说 .....	52
一、以次磷酸为还原剂的镍磷共沉积机理 .....	52
二、以硼氢化钠和二甲胺硼烷为还原剂的镍磷共沉积机理 .....	55
三、统一机理 .....	55
参考文献 .....	56
第三章 化学镀镍工艺 .....	57
第一节 化学镀镍前处理工艺 .....	57
一、除油 .....	58
二、酸洗 .....	61
三、弱浸蚀 .....	63
四、典型工艺流程 .....	64
第二节 化学镀镍工艺 .....	64
一、以次磷酸盐为还原剂的酸性化学镀镍液 .....	65
二、以次磷酸盐为还原剂的碱性化学镀镍液 .....	92
三、以氨基硼烷为还原剂的化学镀镍液 .....	100
四、以硼氢化钠为还原剂的化学镀镍液 .....	104
五、以胍为还原剂的化学镀镍液 .....	106
第三节 化学镀镍后处理工艺 .....	109
一、钝化 .....	110
二、化学镀镍层的黑化处理 .....	112
三、化学镀镍层上的电镀 .....	114
第四节 故障的排除及不良镀层的退除 .....	115
一、化学镀镍的故障排除 .....	115
二、不良镀层的退除 .....	117
参考文献 .....	118
第四章 各种基体上化学镀镍的过程及其应用 .....	119
第一节 金属上的化学镀镍及其应用 .....	119
一、化学镀镍在钢铁件上的应用 .....	119
二、铝及铝合金上化学镀镍 .....	119
三、镁及镁合金上化学镀镍 .....	129
四、钛合金上化学镀镍 .....	131

五、铜及铜合金上化学镀镍 .....	133
六、钼上化学镀镍 .....	133
第二节 非金属上的化学镀镍及其应用 .....	134
一、塑料上的化学镀镍及其应用 .....	135
二、陶瓷上化学镀镍及其应用 .....	151
三、硅上化学镀镍进行微小图形布线 .....	155
第三节 粉体上的化学镀镍 .....	159
第四节 纤维以及纤维布上化学镀镍 .....	166
一、聚丙烯纤维上化学镀镍 .....	166
二、光纤维上化学镀镍 .....	168
三、碳纤维上化学镀镍 .....	170
四、石墨纤维上化学镀镍 .....	170
参考文献 .....	172
第五章 化学镀镍层的结构与性质 .....	175
第一节 概述 .....	175
第二节 化学镀镍层的组织结构 .....	176
一、化学镀镍层的晶体结构 .....	176
二、化学镀镍层的微观结构 .....	177
三、热处理对镀层结构的影响 .....	179
第三节 化学镀镍层的一般性质 .....	182
一、外观 .....	182
二、厚度及其均匀性 .....	183
三、结合力 .....	184
四、电化学行为 .....	186
五、密度 .....	187
六、热性能 .....	187
七、内应力 .....	189
八、力学性能 .....	191
九、硬度 .....	191
十、塑性 .....	198
第四节 化学镀镍层的耐蚀性 .....	199
一、耐化学腐蚀性 .....	202
二、耐色变性 .....	205

三、耐高温腐蚀性 .....	205
四、孔隙率与防护性能的关系 .....	206
五、基体状态对耐蚀性的影响 .....	208
六、热处理对耐蚀性的影响 .....	209
第五节 化学镀镍层的耐磨性 .....	209
一、影响化学镀镍层耐磨性的因素 .....	209
二、与其他耐磨镀层的比较 .....	212
第六节 化学镀镍层的电磁性质 .....	213
一、电性质 .....	213
二、磁性质 .....	215
参考文献 .....	217
第六章 化学镀镍液的配制调整与维护 .....	220
第一节 化学镀镍液的配制 .....	220
一、用次磷酸盐作还原剂的一步法酸性镀液的配制 .....	220
二、以次磷酸钠作为还原剂的镀液配制与补加 .....	221
三、用次磷酸盐作还原剂的碱性镀液的配制 .....	224
四、以硼氢化钠、氨基硼烷、胍作为还原剂的化学镀镍液的 配制 .....	225
第二节 化学镀镍液的调整与维护 .....	226
一、化学镀镍液稳定性的研究 .....	226
二、化学镀镍液的调整与维护 .....	228
三、化学镀镍液的自动调整 .....	234
四、关于延长化学镀镍液寿命的问题 .....	238
参考文献 .....	243
第七章 化学镀铜 .....	245
第一节 概述 .....	245
第二节 化学镀铜的反应机理 .....	245
一、化学镀铜的热力学 .....	246
二、化学镀铜的机理 .....	248
第三节 化学镀铜工艺 .....	252
一、以甲醛为还原剂的化学镀铜 .....	252
二、以次磷酸盐为还原剂的化学镀铜工艺 .....	262
三、其他种类还原剂的化学镀铜工艺 .....	267

第四节	化学镀铜层性质 .....	269
一、	热处理对镀层延展性的影响 .....	270
二、	各种添加剂对镀层延展性的影响 .....	271
三、	操作条件对镀层延展性的影响 .....	273
第五节	化学镀铜的应用 .....	273
一、	化学镀铜在印制板的应用 .....	273
二、	印制板上化学镀铜前处理工艺 .....	277
三、	化学镀铜的其他应用 .....	280
第六节	化学镀铜液维护与故障排除 .....	282
一、	影响镀液稳定性的主要因素 .....	282
二、	稳定化学镀铜液的主要方法 .....	283
三、	化学镀铜的维护 .....	284
四、	化学镀铜工艺的常见缺陷及排除方法 .....	285
	参考文献 .....	287
第八章	化学镀钴 .....	289
第一节	概述 .....	289
第二节	化学镀钴工艺 .....	289
一、	以次磷酸钠作为还原剂的化学镀钴工艺 .....	290
二、	以其他作为还原剂的化学镀钴工艺 .....	294
第三节	化学镀钴结构与性能 .....	295
第四节	在特殊基体上化学镀钴 .....	297
一、	玻璃基材上的化学镀 Co-P 磁性膜 .....	297
二、	在碳纳米管上化学镀钴 .....	302
三、	Ni(OH) <sub>2</sub> 电极上化学镀钴 .....	304
	参考文献 .....	305
第九章	化学镀铂族金属 .....	306
第一节	概述 .....	306
第二节	化学镀钯 .....	307
一、	以次磷酸盐、亚磷酸盐、磷酸盐作还原剂的电位-pH 值图 .....	307
二、	以次磷酸盐作还原剂的化学镀钯 .....	308
三、	以亚磷酸盐作还原剂化学镀钯 .....	313
四、	以胍作还原剂的化学镀钯 .....	317
五、	使用其他还原剂的化学镀钯 .....	318

六、化学镀钯层的新用途 .....	319
第三节 化学镀铂 .....	320
一、化学镀铂溶液组成及操作条件 .....	320
二、溶液配制 .....	321
三、提高镀液稳定性的主要方法 .....	321
第四节 化学镀铈 .....	321
一、化学镀铈溶液组成及操作条件 .....	322
二、溶液配制 .....	322
第五节 化学镀钿 .....	322
参考文献 .....	323
第十章 化学镀其他金属 .....	324
第一节 化学镀铁 .....	324
一、化学镀铁-磷合金 .....	324
二、化学镀铁-硼合金 .....	325
第二节 化学镀锡 .....	327
一、以 $TiCl_3$ 作为还原剂的化学镀锡 .....	328
二、利用歧化反应的化学镀锡 .....	332
第三节 化学镀铅 .....	339
一、溶液配置 .....	339
二、工艺条件及溶液组成对析出速度影响 .....	340
第四节 化学镀金 .....	342
一、硼氢化钾化学镀金液和二甲胺硼烷化学镀金液 .....	342
二、关于其他还原剂的氰化物化学镀金液 .....	348
三、非氰化物镀金液 .....	349
第五节 化学镀银 .....	353
参考文献 .....	356
第十一章 化学镀多元合金 .....	357
第一节 化学镀镍-磷基多元合金 .....	357
一、化学镀 Ni-Fe-P 和 Ni-Fe-P-B 合金 .....	358
二、化学镀 Ni-Co-P 合金 .....	362
三、化学镀 Ni-Cu-P 合金 .....	366
四、化学镀 Ni-Mo-P 合金 .....	370
五、化学镀 Ni-W-P 合金 .....	373

六、化学镀 Ni-Sn-P 合金 .....	379
七、化学镀 Ni-Cr-P 合金 .....	382
八、化学镀 Ni-Zn-P 和 Ni-Re-P 合金 .....	385
九、化学镀 Ni-Pd-P 合金 .....	387
十、化学镀 Ni-P-B 合金 .....	389
第二节 化学镀镍-硼基多元合金 .....	390
一、化学镀 Ni-Fe-B 合金 .....	391
二、化学镀 Ni-Co-B 合金 .....	392
三、化学镀 Ni-Sn-B 合金 .....	393
四、化学镀 Ni-Mo-B 合金和 Ni-W-B 合金 .....	394
五、化学镀 Ni-Zn-B 合金和 Ni-Re-B 合金 .....	396
第三节 化学镀钴-磷基多元合金 .....	397
一、化学镀 Co-Ni-P 和 Co-Ni-W-P 合金 .....	397
二、化学镀 Co-Fe-P 合金 .....	404
三、化学镀 Co-W-P 合金 .....	405
四、化学镀 Co-Zn-P 合金 .....	406
五、化学镀 Co-Mo-P、Co-Cu-P 和 Co-Re-P 合金 .....	407
第四节 化学镀钴-硼基多元合金 .....	408
第五节 化学镀铁-硼基多元合金 .....	409
一、化学镀 Fe-P、Fe-Sn-B 和 Fe-Ni-P-B 合金 .....	409
二、化学镀 Fe-Mo-B、Fe-W-B 和 Fe-W-Mo-B 合金 .....	411
第六节 化学镀锌-镍-磷三元合金 .....	412
第七节 化学镀其他二元合金 .....	412
一、化学镀贵金属与硼的合金 .....	412
二、化学镀锡基二元合金 .....	413
第八节 化学镀 Cr-P、Fe-P 和 Ag-W 二元合金 .....	421
参考文献 .....	422
第十二章 化学复合镀 .....	425
第一节 化学复合镀原理与实验装置 .....	426
第二节 化学复合镀层的分类 .....	429
第三节 自润滑化学复合镀镍层 .....	430
一、化学复合镀 Ni-P/PTFE .....	431
二、化学复合镀 Ni-P/(CF) <sub>n</sub> .....	436

三、化学复合镀 Ni-Cu-P/PTFE .....	437
四、化学复合镀 Ni-P/CaF <sub>2</sub> .....	439
第四节 耐磨化学复合镀镍层 .....	443
一、化学复合镀 Ni-P/SiC .....	443
二、化学复合镀 Ni-P/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	447
三、化学复合镀 Ni-P/Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> .....	450
四、化学复合镀 Ni-Cu-P/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	452
第五节 其他化学复合镀层 .....	454
一、化学复合镀 Ni-P/TiN .....	454
二、化学复合镀 Ni-P/NB .....	455
三、化学复合镀 Ni-P/金刚石 .....	455
四、化学复合镀 Ni-P/绢云母 .....	456
五、化学复合镀 Ni-P/TiO <sub>2</sub> .....	456
六、化学复合镀 Ni-Co-P/Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 及 Ni-Co-P/Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> .....	457
参考文献 .....	458
第十三章 浸镀 .....	460
第一节 浸镀锌 .....	461
第二节 浸镀镍 .....	462
一、钢铁件浸镀镍 .....	462
二、铜及铜合金件浸镀镍 .....	463
三、铝、锌及其合金的浸镀镍 .....	464
第三节 浸镀锡和铜锡合金 .....	464
一、铜及铜合金的浸镀锡 .....	464
二、钢铁件的浸镀锡和铜锡合金 .....	465
三、铝合金件的浸镀锡 .....	465
四、浸铅锡合金 .....	466
第四节 浸镀金 .....	467
第五节 浸镀银 .....	467
第六节 浸镀铜 .....	468
参考文献 .....	468
第十四章 化学镀层质量检验 .....	469
第一节 外观检验 .....	469
第二节 厚度检验 .....	469

一、量表法 .....	470
二、磁性测厚法 .....	470
三、X 射线荧光法 .....	470
四、溶解法 .....	471
五、阳极溶解法 .....	472
六、金相法 .....	474
第三节 结合强度检验 .....	476
一、弯曲试验 .....	476
二、切割检验法 .....	477
三、加热试验（热震法） .....	477
四、拉力试验法 .....	478
五、冲击试验法 .....	479
第四节 硬度检验 .....	480
一、对镀层的要求 .....	480
二、关于显微维氏硬度、显微努氏硬度 .....	481
三、计算 .....	481
第五节 孔隙率检验 .....	482
一、腐蚀法 .....	482
二、电图像法 .....	483
第六节 耐腐蚀试验 .....	484
一、户外曝晒试验 .....	484
二、人工加速腐蚀试验 .....	485
三、耐腐蚀性试验结果的评定 .....	488
第七节 耐磨性试验 .....	491
第八节 氢脆检验 .....	491
一、缺口常温持久定载静拉伸试验 .....	492
二、悬臂梁弯曲试验 .....	494
第九节 应力检验 .....	496
第十节 钎焊性检验 .....	497
一、流布面积法 .....	497
二、润湿时间法 .....	498
参考文献 .....	498
第十五章 化学镀车间设计与设备 .....	499

第一节	概述 .....	499
第二节	化学镀车间平面设计及自动检测控制系统 .....	500
	一、化学镀车间设计 .....	500
	二、化学镀车间的自动检测控制系统 .....	502
第三节	化学镀镍槽 .....	504
第四节	镀液加热设备 .....	515
	一、加热方式及热量的计算 .....	515
	二、加热设备 .....	519
第五节	循环过滤系统 .....	520
	一、化学镀所用的泵 .....	520
	二、过滤器 .....	522
	三、搅拌 .....	523
	参考文献 .....	523
第十六章	化学镀废水处理及利用 .....	525
第一节	概述 .....	525
第二节	化学镀废水来源及特性 .....	525
第三节	废水处理方法及选择 .....	529
	一、物理法 .....	529
	二、化学法 .....	530
	三、物理化学法 .....	531
	四、生物法 .....	532
	五、废水处理的选择 .....	533
第四节	镀前处理废液的处理和利用 .....	533
	一、含油废水的处理和利用 .....	533
	二、酸碱废水的处理和利用 .....	534
第五节	化学镀镍废水的处理和利用 .....	534
	一、化学沉淀分离法 .....	536
	二、催化还原法 .....	537
	三、电解法 .....	537
	四、离子交换法 .....	539
	五、转移利用法 .....	539
	六、次磷酸盐和亚磷酸盐的去除 .....	540
	七、有机酸的去除 .....	542

八、氯气氧化法 .....	543
九、其他处理方法及方法比较 .....	545
第六节 化学镀铜废液的处理和利用 .....	546
第七节 化学镀废液中其他有害物的处理和利用 .....	551
一、部分重金属离子的处理和利用 .....	551
二、贵金属离子的处理和利用 .....	557
三、含氰废水的处理 .....	559
第八节 化学镀综合废水的处理和利用 .....	560
一、化学中和沉淀法 .....	560
二、化学法综合处理 .....	563
三、离子交换法 .....	564
第九节 化学镀污泥的处理和利用 .....	565
一、污泥脱水 .....	565
二、污泥的利用 .....	566
参考文献 .....	567

# 第一章 绪 论

## 第一节 概 述

化学镀 (electroless plating) 是通过溶液中适当的还原剂使金属离子在金属表面的自催化作用下还原进行的金属沉积过程, 也叫无电解电镀、自催化镀。化学镀过程实质是化学氧化还原反应, 有电子转移、无外电源的化学沉积过程。化学镀相比电镀其优点主要如下。

① 化学镀可用于各种基体, 包括金属、半导体及非金属。

② 化学镀层厚度均匀, 无论工件如何复杂, 只要采取适当的技术措施, 就可以在工件上得到均一镀层。

③ 对于能自动催化的化学镀而言, 可获得任意厚度的镀层, 甚至可以电铸。

④ 化学镀所得到的镀层具有很好的化学、机械和磁性性能 (如镀层致密、硬度高等)。

由于化学镀具有一些优于电镀的特性, 所以获得了极广泛的应用。化学镀最先开始于化学镀镍, 目前已经发展到化学镀铜、化学镀钴、化学镀锡及化学镀金、银、铂等其他贵金属以及多元合金, 且在电子及微电子工业上得到了高速的发展。

## 第二节 化学镀技术的发展

### 一、化学镀镍

#### (一) 化学镀镍的发展

化学镀的发展史主要就是化学镀镍的发展史。化学镀镍是一种比较新的工艺技术。1944年, A. Brenner 和 G. Riddell 进行了第一次实验室试验, 几年以后才对外公布。其实早在 1845 年 Wartz 和

1916年 Roux 就从事过化学镀镍的有关试验，但没有成功。因此人们认为 Brenner 和 Riddell 是化学镀镍技术的发明者，因为他们开发了可以工作的镀液并进行了科学研究。

从 Brenner 和 Riddell 开始研究到化学镀镍的广泛应用大约经历了 30 年的时间。到了 20 世纪 70 年代，科学技术的发展和工业的进步，促进了化学镀镍的应用和研究。在此期间化学镀镍槽容量以每年 15% 的速度增长。20 世纪 80 年代后，化学镀镍技术有了很大突破，长期存在的一些问题，如镀液寿命、稳定性等得到初步解决，基本实现了镀液的自动控制，使连续化的大型生产有了可能。因此化学镀镍的应用范围和规模进一步扩大。据估计 20 世纪 80 年代中期化学镀镍的年产量为 1500t，按厚度为  $25\mu\text{m}$  计，面积达到  $7.50\text{km}^2$ 。其中美国占 40%，远东地区占 20%，其余为南非和南美洲。在美国大约有 900 个化学镀镍的工厂，其中 40% 加工本厂的产品，总产值约有 2 亿美元。化学镀镍在计算机和电子行业的应用量最大，约占美国化学镀镍总产值的 20%；另外，阀门制造占 15%，飞机和汽车制造占 10%。

由于市场和应用领域的不同，美国和欧洲化学镀镍的发展不同。美国化学镀镍最早源于通用运输公司 (GATX) 的 Kanigen 工艺的商品化。此工艺得到含磷质量分数为 8%~10% 的镍磷合金镀层，适用于大槽容量操作，开始用于生产核工厂的贮槽和槽车内衬，后用于航天、食品、化工、钢铁等行业。20 世纪 60~70 年代研究人员主要致力于改善镀液性能，而不是镀层性能。20 世纪 80 年代高磷化学镀镍应用增加，这是因为其耐蚀性较好的缘故。还出现低磷化学镀镍和其他化学镀镍工艺。在欧洲，早期的化学镀镍直接针对工程应用的需要，特别是耐磨性的需要，所以在德国主要使用镍硼合金而不是镍磷合金。Dupont 公司引入的含铈镍硼合金具有很高的耐磨和耐蚀性，用于航天、汽车、纺织工业，并用于代替硬铬。

近 10 年来，在各种期刊上发表了很多人有关化学镀镍的论文、综述、书评和会议纪要。英国化学镀镍学会和金属精饰学会 1987