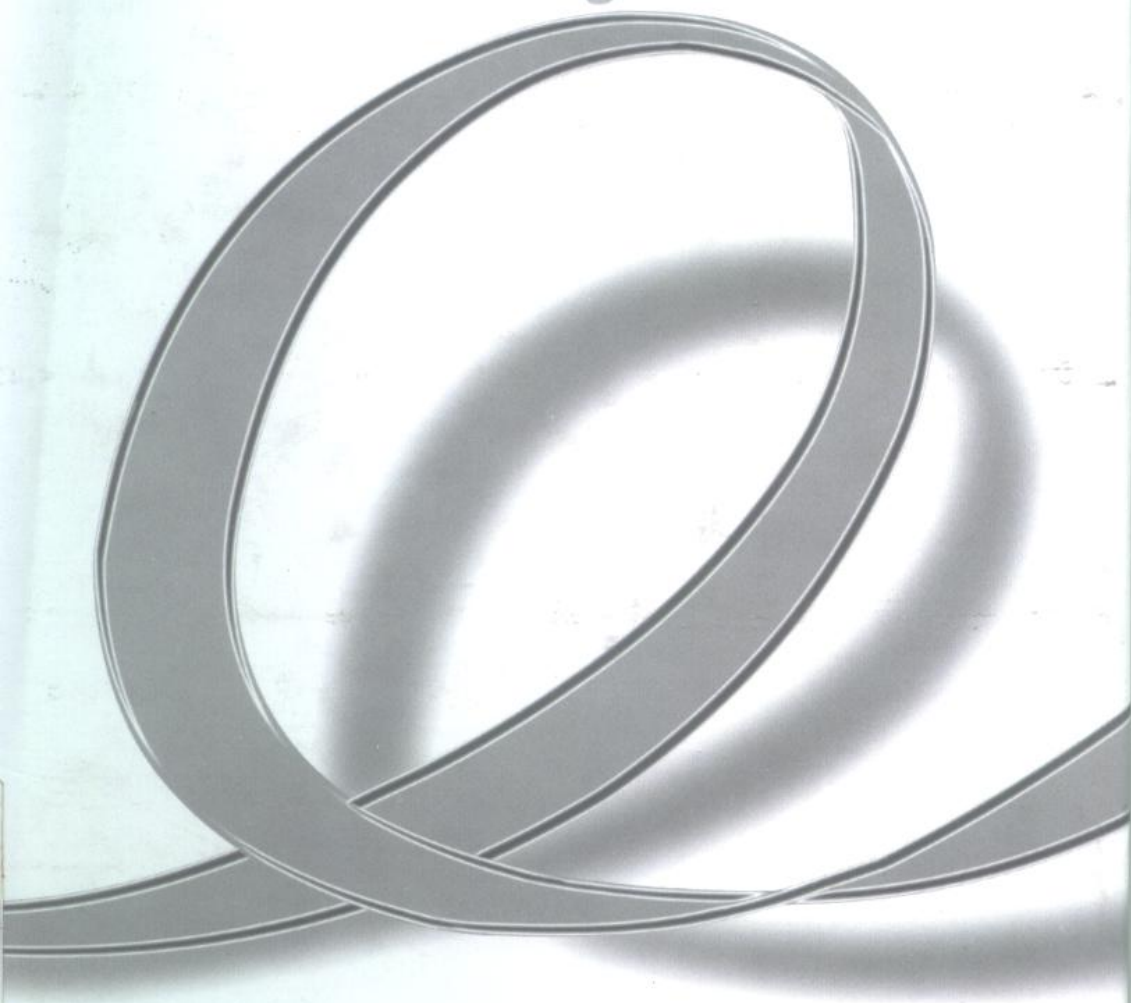


# 化学镀理论及实践

The Fundamental  
and Practice  
of Electroless Plating

姜晓霞 沈伟 著



国防工业出版社

7812-  
J43

# 化学镀理论及实践

## The Fundamentals and Practice of Electroless Plating

姜晓霞 沈伟 著

国防工业出版社

·北京·

## 图书在版编目(CIP)数据

化学镀理论及实践/姜晓霞, 沈伟著. —北京: 国防工业出版社, 2000. 6

ISBN 7-118-02285-3

I. 化… II. ①姜…②沈… III. 化学镀 IV. TG174.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第13998号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 850×1168 1/32 印张 16 $\frac{1}{2}$  415 千字

2000 年 6 月第 1 版 2000 年 6 月北京第 1 次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 30.00 元

---

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

## 致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技发展具有较大推动作用的专著;密切结合科技现代化和国防现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合科技现代化和国防现代化需要的新工艺、新材料内容的科技图书。

4. 填补目前我国科技领域空白的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

5. 特别有价值的科技论文集、译著等。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承

担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技工业战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金

评审委员会

# 国防科技图书出版基金 第三届评审委员会组成人员

名誉主任委员 怀国模

主任委员 黄 宁

副主任委员 殷鹤龄 高景德 陈芳允 曾 铎

秘书长 崔士义

委 员 于景元 王小谟 尤子平 冯允成

(以姓氏笔划为序) 刘 仁 朱森元 朵英贤 宋家树

杨星豪 吴有生 何庆芝 何国伟

何新贵 张立同 张汝果 张均武

张涵信 陈火旺 范学虹 柯有安

侯正明 莫梧生 崔尔杰

# 前 言

化学镀技术由于工艺本身的特色和它得到的镀(镍)层具有优异性能而有极其广泛的用途。近二十年我国的化学镀市场十分活跃,已在电子、石油化工、机械、汽车、纺织、印刷、航空航天及军事工业等方面形成实际的生产力,但已有的化学镀专著远不能满足目前飞跃发展市场的需求。根据作者从事近二十年化学镀科研及开发应用的经验,深深感到要得到化学镀层并不难,但要根据工况的需要得到一个合格的阴极性防腐蚀或磨蚀的镀层却是非常不容易的。如果不能正确使用本项技术不仅会造成浪费,而且还会因其阴极性而加速基材的腐蚀,甚至会影响到化学镀技术本身的声誉。

撰写本书目的就是希望国内的有关行业能正确使用这项高新技术。要达此目的,首先要充分了解化学镀镍层的性能,并掌握必要的检测手段,所以本书用了较大篇幅重点介绍化学镀镍层的物理、机械、电、磁、耐蚀及耐磨等性能。化学镀镍技术的核心问题是镀液配方、性能及使用寿命,这是得到优质镀层及降低生产成本的关键。本书详细剖析了镀液中各组份作用原理及影响因素,拟帮助读者解决施镀过程中镀液出现的各种问题,进一步去研究开发性能更好的镀液品种。此外,对工艺、设备、应用、质量控制、故障处理和废液排放以及除镍、铜以外的化学镀品种都做了较为详尽的介绍。

本书撰写过程中曾得到中国腐蚀与防护学会的支持,特此致谢。全书共分十五章,第5、6、7、8、9及15章共六章由武汉材料保护研究所沈伟执笔,其余章节由姜晓霞执笔,并进行统稿。由于作者水平有限,难免存在缺点和错误,敬请广大读者批评指正。

**姜晓霞**

于中国科学院金属研究所

## 内 容 简 介

《化学镀理论及实践》一书包括了化学镀镍原理、工艺、设备、应用、质量控制、故障及废液处理等内容,且用了较大篇幅重点剖析镀液各组份的作用机理及影响因素,还详尽介绍了化学镀镍层的各种性能。此外,对化学镀铜、钴、锡、贵金属、多元合金及复合镀等也有所述及。本书可供表面技术工作者阅读。

This book of "The Fundamentals and Practice of Electroless Plating" contains principle, technology, equipments, applications, quality control, troubleshooting as well as waste treatment of electroless nickel plating, in which the components of electroless nickel solution with emphasis on their action mechanism and effect of technical variables are described in more space and the properties of Ni-P coating are also discussed in details. This is a practical reference book for engineers, teachers, students, scientists and managers who study on surface engineering fields.



# 目 录

|                        |    |
|------------------------|----|
| 第一章 绪论 .....           | 1  |
| 一、概述 .....             | 1  |
| 二、化学镀发展简史 .....        | 4  |
| 第二章 化学镀镍机理 .....       | 8  |
| 一、化学镀镍的热力学 .....       | 8  |
| 二、化学镀镍的动力学 .....       | 11 |
| 1. 化学镀 Ni-P 合金机理 ..... | 12 |
| 2. 化学镀 Ni-B 合金机理 ..... | 21 |
| 3. 胍做还原剂 .....         | 23 |
| 4. 化学镀机理的进展 .....      | 24 |
| 第三章 化学镀镍溶液及其影响因素 ..... | 26 |
| 一、化学镀镍溶液组份的剖析 .....    | 26 |
| 1. 主盐 .....            | 26 |
| 2. 还原剂 .....           | 27 |
| 3. 络合剂 .....           | 29 |
| 4. 稳定剂 .....           | 46 |
| 5. 加速剂 .....           | 54 |
| 6. 缓冲剂 .....           | 58 |
| 7. 其他组份 .....          | 59 |
| 二、化学镀镍过程影响诸因素 .....    | 61 |
| 1. 主盐及还原剂 .....        | 62 |
| 2. 络合剂 .....           | 68 |
| 3. 稳定剂 .....           | 73 |
| 4. 亚磷酸根离子 .....        | 77 |
| 5. pH 值 .....          | 79 |

|                            |           |
|----------------------------|-----------|
| 6. 温度 .....                | 83        |
| 7. 其他 .....                | 86        |
| 三、化学镀镍溶液 .....             | 91        |
| <b>第四章 化学镀镍层的性能 .....</b>  | <b>99</b> |
| 一、外观 .....                 | 100       |
| 二、组织结构 .....               | 100       |
| 三、物理性质 .....               | 104       |
| 1. 密度 .....                | 104       |
| 2. 热学性质 .....              | 105       |
| 3. 电学性质 .....              | 105       |
| 4. 磁学性质 .....              | 107       |
| 四、力学性质 .....               | 108       |
| 五、均镀能力及厚度 .....            | 110       |
| 六、结合力及内应力 .....            | 111       |
| 1. 基材 .....                | 111       |
| 2. 前处理 .....               | 112       |
| 3. 施镀工艺 .....              | 112       |
| 4. 热处理 .....               | 112       |
| 七、硬度与热处理 .....             | 118       |
| 八、钎焊性能 .....               | 123       |
| 九、腐蚀行为 .....               | 124       |
| 1. 电偶腐蚀 .....              | 126       |
| 2. 镀层中磷含量及热处理与耐蚀性的关系 ..... | 128       |
| 3. 镀浴与耐蚀性 .....            | 132       |
| 4. 孔隙率 .....               | 136       |
| 5. 钝化及点蚀 .....             | 138       |
| 6. 应力腐蚀和腐蚀疲劳 .....         | 142       |
| 7. 高温稳定性 .....             | 145       |
| 8. 如何改善化学镀镍层的耐蚀性 .....     | 146       |
| 9. 化学镀镍层的腐蚀率 .....         | 149       |
| 十、磨损行为 .....               | 162       |
| 1. 耐磨性的表达 .....            | 162       |

|                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------|-----|
| 2. 化学镀镍的耐磨性 .....                                                | 164 |
| 3. 耐磨镀层的设计与应用 .....                                              | 175 |
| 十一、用电镀和化学镀方法制备 Ni-P 合金镀层的<br>性能比较 .....                          | 177 |
| <b>第五章 化学镀镍的工业应用</b> .....                                       | 181 |
| 一、航空航天工业 .....                                                   | 182 |
| 二、汽车工业 .....                                                     | 184 |
| 三、化学工业 .....                                                     | 185 |
| 四、石油和天然气 .....                                                   | 187 |
| 五、食品加工业 .....                                                    | 189 |
| 六、采矿工业 .....                                                     | 190 |
| 七、军事工业 .....                                                     | 191 |
| 八、电子和计算机工业 .....                                                 | 192 |
| 九、其他工业 .....                                                     | 194 |
| <b>第六章 质量控制与故障处理</b> .....                                       | 202 |
| 一、概述 .....                                                       | 202 |
| 二、质量控制体系 .....                                                   | 202 |
| 三、镀浴的监控 .....                                                    | 204 |
| 1. $\text{Ni}^{2+}$ 浓度 .....                                     | 204 |
| 2. 还原剂浓度 .....                                                   | 209 |
| 3. $\text{Na}_2\text{HPO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 的浓度 ..... | 210 |
| 4. 其他化学成分的浓度 .....                                               | 211 |
| 5. 化学镀镍浴稳定性的测定 .....                                             | 211 |
| 四、镀层质量的监控 .....                                                  | 212 |
| 1. 外观 .....                                                      | 212 |
| 2. 厚度 .....                                                      | 212 |
| 3. 结合强度 .....                                                    | 215 |
| 4. 孔隙率 .....                                                     | 216 |
| 5. 化学成分 .....                                                    | 218 |
| 6. 内应力 .....                                                     | 223 |
| 7. 硬度 .....                                                      | 224 |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| 8. 耐磨性 .....              | 224        |
| 9. 耐腐蚀性 .....             | 225        |
| 五、化学镀镍标准和规范 .....         | 226        |
| 六、化学镀镍故障及排除方法 .....       | 228        |
| 1. 镀浴成分 .....             | 229        |
| 2. 镀前处理 .....             | 230        |
| 3. 机械设备 .....             | 231        |
| 4. 镀浴污染 .....             | 232        |
| 5. 排除故障的方法 .....          | 233        |
| <b>第七章 化学镀镍工艺 .....</b>   | <b>237</b> |
| 一、化学镀镍前处理 .....           | 237        |
| 1. 化学镀镍与基体材料 .....        | 237        |
| 2. 镀前处理需知 .....           | 241        |
| 3. 碳钢和低合金钢的前处理 .....      | 244        |
| 4. 铸铁件的镀前处理 .....         | 245        |
| 5. 不锈钢、高合金钢的镀前处理 .....    | 247        |
| 6. 铜及铜合金的镀前处理 .....       | 247        |
| 7. 铝及铝合金的镀前处理 .....       | 248        |
| 8. 镁及镁合金的镀前处理 .....       | 251        |
| 9. 钛及钛合金的镀前处理 .....       | 252        |
| 10. 其他金属及非金属材料的镀前处理 ..... | 253        |
| 二、化学镀镍浴及其操作 .....         | 254        |
| 1. 概述 .....               | 254        |
| 2. 镀浴温度 .....             | 255        |
| 3. 镀浴 pH 值 .....          | 256        |
| 4. 镀浴化学成分 .....           | 258        |
| 5. 搅拌的影响 .....            | 261        |
| 6. 镀浴老化及寿命 .....          | 263        |
| 三、化学镀镍层的后处理 .....         | 266        |
| 1. 消除氢脆的镀后热处理 .....       | 266        |
| 2. 提高结合强度的热处理 .....       | 267        |
| 3. 提高镀层硬度的热处理 .....       | 268        |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 4. 提高镀层性能的热处理 .....     | 270 |
| 四、化学镀镍层的退除 .....        | 271 |
| 1. 钢铁件上镀层的退除 .....      | 272 |
| 2. 不锈钢基体上镀层的退除 .....    | 273 |
| 3. 铜及铜合金上镀层的退除 .....    | 273 |
| 4. 铝及铝合金上镀层的退除 .....    | 274 |
| <b>第八章 化学镀镍设备</b> ..... | 275 |
| 一、镀槽 .....              | 275 |
| 二、加热器 .....             | 278 |
| 三、搅拌装置 .....            | 280 |
| 四、供水系统 .....            | 281 |
| 五、循环过滤设备 .....          | 281 |
| 六、镀液成分补充调整和自动控制设备 ..... | 284 |
| 七、安全注意事项 .....          | 288 |
| 八、化学镀镍设备规范 .....        | 288 |
| <b>第九章 化学镀铜</b> .....   | 294 |
| 一、概述 .....              | 294 |
| 二、化学镀铜基本原理 .....        | 295 |
| 1. 化学镀铜的热力学条件 .....     | 295 |
| 2. 化学镀铜的动力学问题 .....     | 300 |
| 3. 沉积过程和镀层性质 .....      | 307 |
| 三、化学镀铜及其影响因素 .....      | 314 |
| 1. 化学镀铜溶液 .....         | 314 |
| 2. 化学镀铜的影响因素 .....      | 317 |
| 四、化学镀铜的应用及工艺 .....      | 319 |
| 1. 在印制电路板制造中的应用 .....   | 319 |
| 2. 化学镀铜的其他应用 .....      | 330 |
| <b>第十章 化学镀锡</b> .....   | 344 |
| 一、浸镀(置换镀)锡 .....        | 344 |
| 二、化学镀锡 .....            | 348 |
| 1. 用还原剂化学镀锡 .....       | 348 |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 2. 用歧化反应化学镀锡 .....               | 350 |
| <b>第十一章 化学镀贵金属</b> .....         | 356 |
| 一、银 Ag .....                     | 356 |
| 1. 化学镀银浴组成及其反应机理 .....           | 356 |
| 2. 化学镀银浴配方及工艺 .....              | 358 |
| 3. 化学镀银的注意事项 .....               | 363 |
| 4. 镀层性能 .....                    | 364 |
| 二、金 Au .....                     | 364 |
| 1. 化学镀金浴的组成及其反应机理 .....          | 365 |
| 2. 化学镀金浴配方及工艺 .....              | 367 |
| 三、钯 Pd .....                     | 374 |
| 1. 胼浴 .....                      | 374 |
| 2. 次磷酸盐浴 .....                   | 377 |
| 3. 硼烷浴 .....                     | 380 |
| 4. 甲醛浴 .....                     | 381 |
| 四、铂 Pt .....                     | 382 |
| 1. 胼浴 .....                      | 382 |
| 2. 硼氢化物浴 .....                   | 384 |
| 五、钌 Ru .....                     | 384 |
| 六、铑 Rh .....                     | 386 |
| <b>第十二章 化学镀钴及其合金</b> .....       | 387 |
| 一、化学镀钴 .....                     | 387 |
| 1. 化学镀钴工艺 .....                  | 387 |
| 2. 化学镀钴层的性能 .....                | 391 |
| 二、化学镀钴基多元合金膜 .....               | 398 |
| 1. Co-Ni-P 合金 .....              | 399 |
| 2. Co-Fe-P 合金 .....              | 403 |
| 3. Co-W-P 及 Co-Ni-W-P 合金 .....   | 403 |
| 4. Co-Zn-P 合金 .....              | 405 |
| 5. 其他 Co-Me(Cu、Mo、Re)-P 合金 ..... | 407 |
| 6. Co-Fe-B 合金 .....              | 408 |
| 三、化学镀钴膜的结构 .....                 | 408 |

|                                              |            |
|----------------------------------------------|------------|
| 四、化学镀钴膜在磁记录中应用 .....                         | 411        |
| 1. 横向记录浴 .....                               | 412        |
| 2. 垂直记录浴 .....                               | 413        |
| 五、化学镀钴层的其他性能及应用 .....                        | 416        |
| 1. 硬度及耐磨性 .....                              | 416        |
| 2. 应力 .....                                  | 417        |
| <b>第十三章 化学镀镍基多元合金 .....</b>                  | <b>420</b> |
| 一、Ni-Me-P 系三元合金 .....                        | 421        |
| 1. Ni-Co-P .....                             | 421        |
| 2. Ni-Fe-P .....                             | 424        |
| 3. Ni-Cu-P .....                             | 426        |
| 4. Ni-W-P .....                              | 428        |
| 5. Ni-Mo-P .....                             | 433        |
| 6. Ni-Sn-P .....                             | 435        |
| 7. Ni-Re-P .....                             | 437        |
| 8. Ni-Cr-P .....                             | 438        |
| 9. Ni-Zn-P .....                             | 438        |
| 二、Ni-Me-B 系三元合金 .....                        | 439        |
| 1. Ni-Co-B .....                             | 439        |
| 2. Ni-Fe-B .....                             | 440        |
| 3. Ni-Sn-B .....                             | 441        |
| 4. Ni-Me(Mo、W、Zn、Re)-B .....                 | 442        |
| 5. Ni-P-B .....                              | 444        |
| <b>第十四章 化学复合镀 .....</b>                      | <b>445</b> |
| 一、耐磨镀层 .....                                 | 446        |
| 1. Ni-P/SiC .....                            | 447        |
| 2. Ni-P(B)/金刚石 .....                         | 455        |
| 3. Ni-P/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ..... | 457        |
| 4. 其他化学复合镀耐磨镀层 .....                         | 457        |
| 二、自润滑镀层 .....                                | 460        |
| 1. Ni-P/PTFE .....                           | 460        |
| 2. Ni-P/石墨、Ni-P/(CF) <sub>n</sub> .....      | 463        |

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| 3. Ni-P/六方 BN .....            | 467        |
| 4. Ni-P/MoS <sub>2</sub> ..... | 467        |
| <b>第十五章 化学镀废液处理 .....</b>      | <b>468</b> |
| 一、概述 .....                     | 468        |
| 二、化学镀铜废液的处理 .....              | 470        |
| 三、化学镀镍废液的处理 .....              | 472        |
| 1. 化学沉淀法 .....                 | 472        |
| 2. 催化还原法 .....                 | 474        |
| 3. 电解回收法 .....                 | 475        |
| 4. 离子交换法 .....                 | 475        |
| 5. 其他处理工艺 .....                | 475        |
| 四、化学镀浴的再生 .....                | 476        |
| 1. 化学镀铜浴的再生 .....              | 476        |
| 2. 化学镀镍浴的再生 .....              | 477        |



# The Fundamentals and practice of Electroless plating

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Chapter 1 Generalization</b>                                                                   | 1  |
| I Basic conception                                                                                | 1  |
| II History of electroless plating                                                                 | 4  |
| <b>Chapter 2 The fundamentals of electroless nickel plating</b>                                   | 8  |
| I Thermodynamics of electroless nickel plating                                                    | 8  |
| II Kinetics of electroless nickel plating                                                         | 11 |
| 1. Principle of electroless Ni-P plating                                                          | 12 |
| 2. Principle of electroless Ni-B plating                                                          | 21 |
| 3. Reductant-Hydrazine                                                                            | 23 |
| 4. Advance of the principle of electroless nickel plating                                         | 24 |
| <b>Chapter 3 The solution of electroless nickel plating and<br/>                  its effects</b> | 26 |
| I The dissection of electroless nickel plating solution                                           | 26 |
| 1. Main salts                                                                                     | 26 |
| 2. Reductants                                                                                     | 26 |
| 3. Complex agents                                                                                 | 29 |
| 4. Stabilizers                                                                                    | 46 |
| 5. Accelerators                                                                                   | 54 |
| 6. Buffers                                                                                        | 58 |
| 7. Other components                                                                               | 59 |
| II Effects of variables on the process of electroless<br>nickel plating                           | 61 |
| 1. Main salts and reductants                                                                      | 62 |
| 2. Complex agents                                                                                 | 68 |