



普通高等教育“十三五”规划教材
电子材料及其应用技术系列规划教材

电子电路 电镀技术

Electroplating Technology
for Electronic Circuits

李元勋 陶志华 苏桦 韩莉坤 编著



科学出版社

普通高等教育“十三五”规划教材
电子材料及其应用技术系列规划教材

电子电路电镀技术

李元勋 陶志华 苏桦 韩莉坤 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书以电沉积金属基础知识与理论为基础,内容包括电镀前处理、电镀金属及合金、特种电镀、电镀污染防治等,涵盖了电结晶理论、高速电镀、化学镀、脉冲电镀和复合电镀等,重点针对电镀层均匀性问题、电子封装互连材料的非等向性电镀等,系统地介绍了国内外常用及最新前沿电镀填盲孔及填通孔制备原理、技术特点与工艺等,尽可能汇集具有一定先进性及实用性的电子电镀互连技术。

本书适用于从事电子电镀、化学镀的生产、教学和科研的人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

电子电路电镀技术 / 李元勋等编著. —北京: 科学出版社, 2019.6

普通高等教育“十三五”规划教材 电子材料及其应用技术系列规划教材

ISBN 978-7-03-060971-7

I. ①电… II. ①李… III. ①电子电路—电镀—高等学校—教材
IV. ①TQ153

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 060548 号

责任编辑: 张 展 黄 嘉/责任校对: 王萌萌
责任印制: 罗 科/封面设计: 墨创文化

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

成都锦瑞印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019 年 6 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2019 年 6 月第一次印刷 印张: 19 1/4

字数: 458 千字

定价: 80.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

作者简介



李元勋，教授，江西赣州人。长期从事电子信息材料与元器件的教学与研发产业化工作。先后主持总装备部934特大工程、军用元器件预研重点项目、预研项目、型谱项目、新品项目，及国家级、省部级项目近30余项。目前作为技术骨干参与国家重点研发计划项目，负责贵州省重大科技攻关项目、广东省战略新兴产业重点项目、四川省重点研发计划等。入选江西省首批创新创业高层次人才（创新人才长期项目）、东莞市创新创业领军人才、广东省科技部第二批科技特派员、国家科学技术奖评审专家、广东省/四川省/河北省科技项目评审专家、中国电子学会高级会员、中国材料研究学会高级会员及美国IEEE协会会员等。在国内外学术刊物发表论文100多篇，出版省部级规划教材2部、参编专著1部，申请国家发明专利30余项（授权26项），获省部级一等奖1项，二等奖5项，三等奖2项。



陶志华，博士后，硕士生导师。长期从事电子封装与铜互连技术的科研、教学工作。近年来主持国家自然科学基金及省部级项目多项，获得国家科技进步奖及省级自然科学奖各一次。并荣获电子科技大学先进工作者称号，中国化学学会电化学委员会会员、广东科技特派员、广东珠江人才计划项目核心成员。在*Journal of The Electrochemical Society*、*Industrial & Engineering Chemistry Research*、*Corrosion Science*等刊物上发表论文40余篇，其中最高单篇SCI引用超二百余次，出版部级规划教材1部、专著1部。承担本科生《印制电路原理和工艺》《电子电镀技术》《表面处理技术》《印制电路双面板制作实验》等课程的教学工作。

丛书简介

电子材料是在微电子技术中使用的功能材料，其主要包括介电材料、磁性材料、光电子材料、压电与铁电材料、电磁波屏蔽材料等。电子材料是现代电子工业和科学技术发展的物质基础与保证。“电子材料及其应用技术系列规划教材”由科学出版社策划，国内多名院士牵头，旨在建设成为一套面向国内乃至国外高等院校电子信息材料领域内具有重大影响力和权威参考价值的丛书。丛书囊括了国内信息技术领域内的学术带头人、教学名家，以及具有突出贡献的学者、研究人员的相关著作。

已出版图书

- ◎《软磁铁氧体器件设计及应用》
- ◎《能量转换材料与器件》
- ◎《传感器原理及应用》
- ◎《半导体物理导论》
- ◎《储能聚合物电介质基础》
- ◎《微电子封装技术》
- ◎《敏感材料与传感器》
- ◎《微电子制造技术》
- ◎《材料物理学》
- ◎《半导体物理与器件》
- ◎《印制电路与印制电子先进技术（上）》
- ◎《印制电路与印制电子先进技术（下）》
- ◎《电子材料制造技术》
- ◎《电子材料物理与器件》
- ◎《电子电路制造性设计技术》
- ◎《电子电路检测技术》
- ◎《电子电路电镀技术》

序

21 世纪是知识经济时代，是科技飞速发展的年代，中国信息产业是国民经济的支柱产业之一，以科技为核心的知识是最重要的战略性基础资源。电子电镀已经广泛应用于包括芯片互连、印制板（PCB）电镀、高密度互连板层间互连、引线框架电镀、连接器电镀、微波器件电镀等各种电子装配及电子产品“三防”（防湿热、防霉菌、防盐雾腐蚀）技术在内的民用和国防等领域。电子电镀技术持续高速的发展为中国的信息现代化迎来了美好的今天，展望未来将更加灿烂辉煌。如果说集成电路是一级封装，集成电路封装基板及印制电路板是二级封装，那么所有的电子信息整机产品如计算机及手机等为三级封装。电子电镀是一门研究利用电化学沉积技术基本原理，在金属和非金属电子材料表面沉积金属覆盖层的理论与工艺的学科。从某种意义上说，哪里有电子信息产品，哪里就有电子封装及电子电镀，例如，特征尺寸 90nm 以下的集成电路及其 3D 封装产业需要电子电镀，在全球年产 600 多亿美元（中国占 40%以上）的印制电路板产业中，电子电镀是实现层间互连的核心技术。因此，电子电镀在实现电气互连、材料表面防护及可焊性等方面具有至关重要的作用。

电子电镀技术是涉及界面化学、电化学、材料学、腐蚀科学及流体力学等多个学科的交叉技术领域，其实用性及工艺性都很强，除继承了传统电镀的均匀性优异性能之外，又具备非等向性领域的电镀填盲孔、电镀填通孔的功能特性，这使得电子电镀成为许多前沿技术领域如三维封装的电气互连中的关键技术，能在 IC 芯片及 PCB 金属互连中发挥重要作用。当今社会，电子电镀及其技术已经渗透到众多行业，每一个从事表面精饰及微电子互连技术的生产及科研人员，不可不了解先进的电子电镀技术。该书较系统地讲述了电子电镀技术的基本原理和工艺以及最新的非等向性电镀技术，内容涵盖了电结晶理论、高速电镀、化学镀、脉冲电镀和复合电镀等各类电镀技术所必须掌握的基础知识和实践知识，密切结合了我国电子电镀行业的生产实际，是一部难得的好教材。该书的出版必将推动我国电子电镀领域专业人才的培养和电镀行业职工队伍的技术提升。

中国工程院院士

徐保东

前 言

功能性镀层和精密电镀技术在电子封装产业当中应用十分广泛,且随着一级封装半导体集成电路及二级封装电路板向高密度、轻小型化发展,各种新型功能性及非等向性电镀技术将会不断涌现。电子电镀技术可以界定为用于电子元器件制造的电镀技术。电子电镀的应用领域也不同于常规的电镀,电子电镀包括芯片互连、印制电路板(printed circuit board, PCB)电镀、引线框架电镀、连接器电镀、微波器件电镀等其他电子元器件电镀。电子电镀是高密度互连印制电路板和集成电路封装基板任意层互连领域的微盲孔洞填充铜及通孔填铜中最为活跃,技术最为先进的制程工艺,其利用电化学沉积技术的基本原理,解决在金属和非金属电子材料表面沉积金属覆盖层的理论与工艺。

绝大多数电子设备都要使用集成电路及印制电路板,而电子电镀用于层间及表面电路布线以提供元器件、集成电路及印制板之间的电气连接。电子电镀技术已发展成为一门自成体系、完全独立的生产技术,与大规模集成电路一样,已跻身于“高科技”行列之中,成为电子工业生产中的重要技术之一。电子设备的“轻量化、小型化、薄型化、智能化”发展,对电子设备的关键——实现电气互连的金属的性能和制造技术提出了更新、更高的要求。

电镀是制造业的基础工艺。由于电沉积技术所特有的技术及经济优势,其不仅无法被完全取代,而且在电子、钢铁等领域还不断有新的突破,如芯片中的铜互连、先进封装中的通孔电镀;在钢铁行业中的镀 Sn、镀 Cr 等。从某种意义上可以说,没有电子电镀就没有特征尺寸 90nm 以下的集成电路及其 3D 封装产业;没有电子电镀就没有全球年产值 600 多亿美元(中国占 40%以上)的印制电路产业。

本书是在电子科技大学李元勋、陶志华等老师编写的《电子电镀技术》教学讲义基础上,结合作者近十年的教学经验并补充相关新技术和新工艺编写而成的。本书主要涉及电子电镀应用领域内有关电镀液的化学性质、关键工艺的化学反应原理、微盲孔电镀填铜工艺特点等。内容涵盖了针对电子电镀所必须掌握的基础知识和实用知识,力求科学性、先进性、新颖性和实用性的统一。

本课程建议授课学时数为 40。各章内容相对独立,授课教师可根据实际需要取舍教学内容。为了方便教学,还提供了与本书配套的多媒体教学课件。

本书的编写得到了电子科技大学产、学、研基地——江西国创产业园发展有限公司及其电子装备三防技术院士专家工作站,电子科技大学产、学、研项目合作单位赣州市德普

特科技有限公司和东莞成启瓷创新材料有限公司的大力支持,书中部分工艺方面的实验就是在以上单位的大力支持下于生产线上完成的,在此特表示衷心的感谢。本书编写过程中,参考了很多国内外的著作和资料(主要书目列于书末的参考文献),引用了其中的一些内容和实例,在此对这些文献的作者表示诚挚的感谢。最后,对为本书做出审定工作的杨邦朝教授表示最真诚的谢意。

对于书中存在的疏漏和不妥之处,敬请读者提出宝贵意见。

作者
于电子科技大学
2019年2月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 电子电镀在电子工业经济中的意义	1
第二节 电子电镀工业的发展状况	4
一、传统电镀行业发展状况和特征	5
二、新兴电子电镀行业发展状况和特征	6
第三节 电镀层的分类及选用原则	7
一、电镀层的分类	8
二、电镀层材料的选择原则	11
习题	13
第二章 电子电镀基础知识	14
第一节 电化学基础	14
一、原电池、电解池和腐蚀电池	14
二、电极界面现象	18
三、浓差极化与电化学极化	22
四、金属的阳极过程	35
第二节 金属电沉积基础	36
一、金属电沉积过程与电结晶	36
二、金属的共沉积	38
三、法拉第定律在电子电镀中的应用	40
第三节 电镀槽及其辅助装备	44
一、电镀槽	45
二、电镀槽的辅助装置	45
三、滚镀设备	46
四、阳极	46
第四节 电镀前处理	47
一、表面状态对镀层质量的影响	48
二、粗糙表面电镀前处理	48
三、除油	49
四、除锈	51
第五节 电镀层质量分析测试技术	52
一、金属学及金属材料知识	53
二、电镀层厚度测试技术	54
三、电镀层结合强度测试方法	56

四、电镀层耐蚀性的测试方法	58
五、电镀层孔隙率的测试方法	62
六、电镀层的物理力学性能测试方法	63
习题	65
第三章 电镀层的均匀性问题	66
第一节 影响电镀层均匀性的因素	66
一、阴极电流分布对电镀层均匀性的影响	66
二、电流效率对电镀层均匀性的影响	67
三、基体金属对电镀层均匀性的影响	68
第二节 阴极表面电流分布理论	68
一、阴极表面电流初次分布	69
二、阴极表面电流二次分布	74
第三节 电镀液分散能力及覆盖能力	75
一、电镀液的组分及其作用	76
二、电镀液的分散能力	77
三、电镀液的覆盖能力	83
第四节 微观整平理论及整平能力测定	87
一、微观整平概念	87
二、微观整平作用的机理	89
三、微观整平能力的测试方法	90
四、含氮杂环类整平剂的整平作用	93
第五节 镀液的稳定性	95
一、酸性镀锡液不稳定的原因	95
二、酸性镀锡液组分对稳定性的影响	96
三、酸性镀锡液的稳定剂	97
第六节 利用滚镀及振动电镀改善电镀均匀性	98
一、卧式滚镀	98
二、倾斜式滚镀	100
三、振动电镀	101
习题	102
第四章 电镀镍及镍合金	103
第一节 概述	103
第二节 镀暗镍	104
一、镀镍时的电极反应	104
二、镀液的基本构成和各成分作用	105
三、镀镍液的配制方法	106
四、几种普通暗镍镀液配方及工艺条件	106
五、镀液中杂质的影响及去除方法	107

六、各种因素对暗镍镀层机械性能的影响	109
七、镀暗镍常见故障及对策	109
第三节 光亮镀镍	110
一、光亮镀镍的电沉积理论	110
二、镀镍中的光亮剂	111
三、光亮镀镍的工艺条件影响	113
四、光亮镀镍的常见故障及纠正方法	115
第四节 多层镀镍	116
一、镀双层镍	116
二、镀三层镍	117
第五节 镀缎面镍和镀黑镍	119
一、镀缎面镍	119
二、镀黑镍	120
三、不合格镍层的退除	121
第六节 电镀镍合金	122
一、电镀镍铁合金	122
二、电镀镍钴合金	125
三、电镀镍磷合金	126
习题	127
第五章 电镀铜及铜合金	128
第一节 概述	128
第二节 氰化物镀铜	129
一、氰化物镀铜溶液中的主要成分	129
二、氰化物镀铜原理	129
三、溶液的配制	130
四、溶液成分作用及影响	130
五、氰化物镀铜液的维护	132
六、氰化物镀铜常见故障及纠正方法	133
第三节 焦磷酸盐镀铜	134
一、焦磷酸盐镀铜原理	134
二、焦磷酸盐镀铜液成分及工艺规范	135
三、现场操作中应注意的几个问题	137
第四节 硫酸盐镀铜	137
一、普通硫酸盐镀铜	138
二、硫酸盐光亮镀铜	140
三、镀铜工艺流程及不合格镀层的退除	145
第五节 电镀铜合金	146
一、电镀铜锌合金	146

二、电镀铜锡合金	149
习题	151
第六章 电镀锡及锡合金	152
第一节 概述	152
第二节 碱性镀锡	153
一、碱性镀锡液中的主要成分	153
二、碱性镀锡溶液成分作用及工艺条件	154
三、碱性镀锡常见故障及对策	155
第三节 酸性镀锡	156
一、硫酸盐镀锡原理	156
二、酸性镀锡液中的主要成分	157
三、酸性镀锡溶液成分作用及工艺条件	158
四、其他酸性镀锡体系	160
五、酸性镀锡镀前和镀后处理	161
六、酸性镀锡常见故障及对策	162
七、酸性及碱性镀锡工艺过程	163
第四节 电镀锡合金	164
一、电镀锡铅合金	164
二、电镀锡镍合金	166
习题	168
第七章 电镀贵金属及合金	169
第一节 镀银	169
一、概述	169
二、预镀银	170
三、氰化物镀银	171
四、非氰化物镀银	174
五、镀银后处理	176
第二节 镀金	178
一、概述	178
二、氰化物镀金	179
三、非氰化物镀金	181
四、镀金层的退除与金的回收	183
第三节 电镀银合金及金合金	184
一、电镀银合金	184
二、电镀金合金	186
习题	189
第八章 电子封装互连材料的非等向性电镀	190
第一节 概述	190

一、TSV 三维封装中铜互连的应用	191
二、PCB 板中铜互连的应用	193
三、IC 芯片中铜互连的应用	194
第二节 PCB 电镀铜填盲孔	194
一、PCB	195
二、电镀铜填盲孔的研究现状	197
三、酸性镀铜液的基本组成及添加剂介绍	199
四、PCB 电镀铜盲孔填孔机理	202
五、镀液电化学表征及盲孔填孔率评价方法	205
第三节 PCB 电镀填通孔	206
第四节 PCB 高速电镀	208
一、影响电沉积速率的因素	208
二、高速电镀的方法	210
三、不溶性阳极在 PCB 高速电镀中的应用	210
习题	213
第九章 特种电镀技术	215
第一节 化学镀	215
一、化学镀铜	215
二、超级化学镀铜沉积技术	219
三、化学镀在金属化电子陶瓷中的应用	221
四、化学镀镍及在铜表面化学镀镍	223
五、化学镀锡	229
六、化学镀贵金属	232
第二节 脉冲电镀	235
一、脉冲电镀的概述	235
二、脉冲电镀的电容效应	237
三、脉冲电镀的传质效应	238
四、脉冲电镀参数的选择	239
第三节 复合电镀	241
一、复合电镀的概述	241
二、复合电镀的原理	241
三、典型的复合电镀工艺及注意事项	243
习题	245
第十章 电子电镀的“三废”处理技术	247
第一节 电子电镀污染防治现状	247
一、污染来源	247
二、污染防治	248
第二节 清洁生产	249

一、清洁生产基本概念·····	249
二、清洁生产的目标·····	249
三、实现清洁生产的技术途径·····	249
第三节 电镀“三废”处理技术·····	250
一、电镀废水处理技术·····	251
二、电镀废气处理技术·····	258
三、电镀固体废物处理技术·····	259
习题·····	261
参考文献·····	262
附录 I 电镀常用化学品的性质与用途·····	265
附录 II 常用化合物的金属含量和溶解度·····	272
附录 III 某些元素的电化当量及有关数据·····	277
附录 IV 质子合常数和络合物稳定常数表·····	280
附录 V 难溶化合物的溶度积·····	289

第一章 绪 论

第一节 电子电镀在电子工业经济中的意义

随着科技的进步及智能社会的发展，电子信息产业在进入 21 世纪以后越发受到各国政府及企业界的重视，与电子工业相关的支柱产业及其技术在现在及可预见的将来都是各国工业及科技界的热门技术。一些重要的电子元器件、电子电路制程工艺及其产品创新均与电子电镀添加剂及其工艺技术相关，电子电镀技术目前在电子电路制程及电子元器件制作方面用途广泛，电子电镀通常界定为与电子制造及封装技术相关的电子信息产品的电镀。作为电子产品制造加工的重要环节，电子电镀技术的发展水平在很大程度上体现了当代电子制造业的技术水平。人类社会早在六千年以前就从石器时代进入铜器和铁器时代，但电镀技术并没有作为表面处理技术应用在铜、铁等金属基体的防腐与装饰等领域。以水溶液作为电解质进行电镀，需要使用外电源来提供法拉第电流，而早期作为电报机及电学实验电力来源的伏特电池直到 1800 年才由意大利物理学家伏特（Volt）发明出来。实际上，直到 1834 年法拉第（Faraday）提出了著名的电解定律，电镀作为材料防腐及装饰的表面处理方法才获得了不断的发展，在电解定律提出 4 年后，伯德（Bird）在铂金属电极上成功地获得了渣状壳层。在电解定律提出 6 年后（1840 年），乔治和亨利·埃尔金顿获得了电镀领域的第一个电镀专利并利用其专利技术创建了电镀工厂。随着金属镀覆技术及沉积机理科学的成熟，与电镀过程相关的理论渐渐被人们接受及理解，其他类型的非装饰性的功能性电镀工艺逐渐被开发出来。而后人类社会所经历的两次世界大战及航空电子工业的发展需求推动了电镀金属种类及制程工艺的进一步发展和完善，到 19 世纪 50 年代，包括镀硬铬、铜合金电镀以及氨基磺酸镀镍、镀锌、镀锡等工艺相继被开发出来，这一过程中，电镀装备如电镀槽及其他电镀辅助装备也获得了极大进步，使得被镀覆物体扩大到许多较大型和形状不规则的特定工件范畴。而在电子电路制程及电子元器件制造产业链中，用于实现印制电路板（printed circuit board, PCB）层与层之间高密度互连的盲孔、通孔的孔金属化目前主要是采用电镀填孔（via filling plating）技术来实现的，用于集成电路（integrated circuit, IC）制程中的大马士革镶嵌工艺及其铜图形化的电镀技术已是电子芯片的关键技术之一。电镀作为电子制程工艺常扮演着举足轻重的角色，以电子电路制程为例，为保证多层电路板之间电路系统连接的可靠性，用于层间互连的盲孔需要被导电金属材料完全填充，且其填充材料处呈现圆柱体形状，其完全无空隙的金属填充不仅有赖于电镀时间、电流密度和电流效率等，而且与电镀液组分、搅拌及盲孔形状相关，上述诸多因素直接影响面铜厚度及盲孔的填孔率等指标。此外，精密电子工业、微电子及光电子工业中常采用无机陶瓷作为制备精密电子封装基板的关键绝缘材料，陶瓷基封装基板具有良好的散热性能，可以满足功率型发光二极管（light emitting diode, LED）电子元器件的高散热性

能要求,而电子电镀作为陶瓷基封装基板的电子电路制程工艺具有举足轻重的作用,直接关系到陶瓷基板可靠性等。综上可知,电子电镀不仅起到装饰或防护的作用,更重要的是赋予电子产品功能性镀层,如在各种电子材料上电子电镀各种单金属及其合金材料来获得导电、导波、导磁等功能性镀层。无论是应用于芯片制造领域的大马士革铜互连电镀技术、电子封装中电极凸点的电沉积金属技术,还是 PCB 的层间孔金属化电镀填充技术,电子电镀作为最先进的电子制程工序之一,目前已广泛渗入整个微电子制造领域,且有向微机电系统(micro-electromechanical system, MEMS)、微传感器等微器件的制造领域进一步延伸的倾向。

电镀又称电沉积,由阴、阳极和电解液形成阴阳极回路,在外电源提供的电流场的作用下,镀液中的金属离子沉积到阴极镀件表面并形成平滑致密的金属覆盖层。电子电镀技术的进步直接关系到电子产品制程工序的创新与变革,在很大程度上展示了最新的电子工业制程水准。传统的电镀作为材料的表面处理技术主要涉及被镀覆材料的电镀均匀性及材料装饰性效果等,而电子电镀除了满足传统电镀的防腐与装饰性要求外,还需要满足电子产品的功能性电镀的特殊性。例如,PCB 孔金属化的非均匀性电镀铜柱层、陶瓷厚膜金属工艺层的孔致密化等电子电镀有别于传统电镀。鉴于电子电镀的应用领域主要是面向技术含量高的电子产品制程工艺,与常规的材料表面装饰、满足基体材料防护性的传统电镀相比,电子电镀在镀液组成、添加剂功能、流体搅拌精度、沉积速率分布和电镀方法等方面均有不同,其对涉及的流体动力学、界面吸附和电催化结晶理论与技术的要求非常高,在某种意义上,电子电镀已成为一门独立于常规电镀电子产品制程的专门技术。

随着电子工业的发展及科技的进步,电子电镀技术在电子产品制造及电子封装中所涉及的制程工艺领域获得了进一步的拓展,目前不仅在电子元器件及电子电路制作领域广为用户使用,而且其金属镀层的应用已遍及我国经济活动的众多生产和研究机构,在微电子封装、陶瓷基板致密化、超大规模集成电路(very large scale intergration circuits, VLSIC)和特大规模集成电路(ultra large scale intergration circuits, ULSIC)多层互连制备工艺等生产实践中有着重大意义,其主要作用如表 1-1 所示。

表 1-1 电子电镀在电子工业中的主要作用

电子部件产品类	主要作用	说明与举例
PCB	电气互连 导热 “三防”与可焊性	高密度互连(high density interconnector, HDI)板层间互连的盲孔、通孔填孔电镀;印制电路板表面电镀镍金等
陶瓷基板致密化	改善导电、导热性能	与未经处理的陶瓷封装基板相比,经过致密化处理的陶瓷封装基板应该具有更低的方块电阻及更好的导热性能
VLSIC 和 ULSIC 多层互连制备工艺	电气互连,耐离子迁移	金属布线多层互连结构,主要包括局域互连、金属互连线和上下层金属线间的互连
动态随机存取存储(dynamic random access memory, DRAM)内存技术	优化金属扩散阻挡层的性能以满足包括经时击穿(time dependent dielectric breakdown, TDDB)、后道 RC(电阻电容)等方面的电学要求	进一步拓展铜籽晶的间隙填充能力

在传统的材料防腐的表面处理技术中,电镀作为防止活泼性较强金属基体腐蚀的一种表面处理方法,其防腐机理与电镀覆层技术越来越成熟可靠。例如,汽车铁质外壳如不采取防腐措施极易发生腐蚀、印制电路表面铜线遇到苛刻腐蚀环境时易发生腐蚀而失效,因此材料的防护对材料的可靠性具有重要意义。实际上,当前腐蚀与防护控制技术已经成为一个专门的研究领域,材料的防腐及其可靠性直接关联到工程建设与工程项目的安全运行,侯保荣院士曾指出在金属材料腐蚀领域采取有效的材料防腐与防护措施,腐蚀造成的经济损失将大幅度地减少 25%~40%。电子电镀所涉及的镀覆层具有导电功能性,同时具有防护与可焊性及装饰镀层的效果。以 PCB 制程工艺为例,在铜电子电路的表面电镀镍、金,铜金属表面的镍金层就具有装饰性、材料防护与可焊接性的特点。通常基材表面镀覆层具备的功能特性与其防护性是分不开的。众所周知,高耐磨性材料是现代新材料制备领域的核心,在世界各国的新材料科研生产领域中,耐磨材料占据了重要的一席之地,支撑并促进了电子发动机气缸、电子粉料研磨球、航空冲模内腔等科技的快速发展。磁性材料如微波磁性材料、电子陶瓷材料、磁存储与磁记录材料、磁电复合材料等广泛应用于移相器、环行器、磁光开关、电磁干扰 (electromagnetic interference, EMI) 滤波器和吸波元件等电子器件系统,电力工业领域常将永磁材料用于马达,或应用于输电变压器中的铁心材料等。一些具有单金属及合金镀层的材料因其镀层的特殊功能性而被应用在不同的材料领域(表 1-2),满足了功能性电子镀层在不同使用环境下的生产生活需求。

表 1-2 功能性电子镀层的应用领域实例

镀层作用	镀层材料	应用举例
耐磨性	铬、铱等其他硬金属	电子发动机气缸、电子粉料研磨球、航空冲模内腔等
导电性	银、金、铜、镍等	HDI 电路板层间互连、集成电路电气互连等
导热性	铜、铝等	高散热金属基印制电路板、陶瓷基板金属层等
磁性	铁镍、镍钴等	磁性天线、电感器、继电器、振子、电视偏转磁、传感器、微波吸收材料、电磁铁、磁场探头、磁性基片、磁场屏蔽、电磁吸盘、磁敏元件等
可焊性	锡、锡铅、银、银钯合金等	改善电子元件焊接性
防渗性	铜	防止电子器件局部渗碳、渗氮、碳氮共渗等

随着电子信息产业的发展和科技的进步,新的交叉学科不断涌现,对功能性材料的要求更为苛刻。以 PCB 制造业为例,早在 2006 年我国就超过日本成为世界印制电路制造第一大国。以 2010 年为例,我国印制电路行业总产值(约 220 亿美元)占全球产值的 39%。尽管我国早已成为印制电路制造产值第一大国,但不是印制电路制造的技术强国。以高技术含量及附加值高的高密度互连(HDI)印制电路板及封装基板为例,欧美跨国公司在 PCB 制造设备、专用电子级材料、电子级化学品(如电镀铜填充盲孔配方、添加剂等)领域具有领先优势。Cu 互连微盲孔填充电镀技术是实现多阶任意层互连 HDI 印制电路板、封装基板制造最为关键的技术。目前微盲孔金属化所用的钻孔及电镀设备等为欧美等发达国家所垄断,例如,安美特公司在电镀填孔的设备——水平电镀线领域具有领先优势。印制电