



中国军工 电子工艺技术体系

◎ 张为民 主编

◎ 李怀侠 副主编



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

中国军工电子工艺技术体系

张为民 主 编

李怀侠 副主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书针对当前军工电子工艺技术中存在的问题,以科技创新为切入点,按照工艺技术体系框架展开,清晰地论述了军工电子各工艺之间的关系及其与武器装备研制的关联。本书涵盖了系统、整机、元器件、信息功能材料工艺及相应的工艺设备,科学总结了军事电子装备研制生产相关的专业工艺技术和工艺管理方法,全面反映了军事电子工业工艺技术的现状、水平和成就。本书图文并茂,数据准确,既描述了机理方法,又介绍了可操作的工艺技术;既包括了现今应用的工艺技术,又面向了工艺技术的未来发展,实用性很强。该书的发行,正处于“中国制造 2025”全面实施的历史进程中,对落实制造强国战略、提高电子信息工艺水平有重要意义。

本书可为国防科技工业各级领导提供参考,也可电子行业相关设计和工艺技术人员提供指导。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

中国军工电子工艺技术体系 / 张为民主编. —北京: 电子工业出版社, 2017.1

ISBN 978-7-121-30388-3

I. ①中… II. ①张… III. ①军工生产—电子技术—研究—中国 IV. ①E24

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 277845 号

策划编辑: 刘海艳 责任编辑: 刘海艳

印 刷: 三河市华成印务有限公司

装 订: 三河市华成印务有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 60.5 字数: 1587.6 千字

版 次: 2017 年 1 月第 1 版

印 次: 2017 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 1 500 册 定价: 198.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888, (010) 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: lhy@phei.com.cn。

本书编审委员会

主 任 方葛丰

副 主 任 毛 宏

委 员 (按姓氏笔画排序)

王 勇 朱建军 来新泉 杨乃彬

沈能珏 肖垣明

本书编写委员会

主 任 张为民

副 主 任 李怀侠

委 员 (按姓氏笔画排序)

刘 峰 纪 军 严 伟 张 莹

张 遥 杜含笑 杨 建 杨 滨

禹庆荣 聂延平 高向东 崔宏敏

谭开州

序

随着现代制造技术的发展，“工业 4.0”、“中国制造 2025”等概念的提出，将不可避免地带动先进制造工艺技术的发展。随着电子装备向着高频段、高增益、高密度、小型化、快响应、高指向精度方向的发展，对军工电子装备工艺制造技术提出了越来越高的要求。军工电子装备工艺制造技术已成为我国军工电子装备研制与生产的支柱之一，也是智能制造技术发展的基础技术之一。

为适应这一发展需求，中国电子科技集团公司组织开展了我国军工工艺技术体系的深入研究，编写了《中国军工电子工艺技术体系》一书，这对提升我国军工电子装备先进制造工艺技术水平，促进军工电子科技发展意义重大。

《中国军工电子工艺技术体系》是紧密围绕当前军工企业面临的形势和任务，针对军工电子工业新时期的发展特点编写的。在一定程度上，该书可以说是目前我国较先进、较系统、较全面、涉及领域较广、涵盖制造技术较新的一本电子工艺技术体系方面的书籍。该书从系统整机、元器件、信息功能材料工艺及相应的工艺设备等方面，全面反映了我国军工电子工艺技术的现状、水平和成就，全面总结了电子信息装备研制生产有关的专业工艺技术和工艺管理方法，充分论述了具有电子行业特色的制造工艺对电子信息装备发展起到的重要作用。该书填补了我国军工电子工艺技术领域的空白，在军工电子科技发展的进程中，将有望起到“里程碑”式的作用。

该书内容丰富，信息量大，具有较强的系统性、新颖性和实用性，可为从事国防科技工业管理的领导以及军工电子行业设计和工艺技术人员提供借鉴。

希望该书的出版，不仅为我国军工电子工艺技术的发展提供支撑，而且对提高我国电子装备制造工艺技术水平、培养工艺技术人员发挥积极的推动作用。

西安电子科技大学教授
中国工程院院士

段宝岩

前 言

走过 3 个寒暑，历经 12 次修改，作为向反法西斯战争胜利 70 周年纪念的献礼，《中国军工电子工艺技术体系》终于编写完成。

为实现我军“建设信息化军队，打赢信息化战争”的伟大战略目标，军工电子制造工艺技术已经成为军事电子装备的核心和关键技术，武器装备研产的支柱，电子信息产业发展的支撑和电子信息技术水平提高的保证。但是，在本书编写前，相关图书很少，这与其重要的地位和作用并不相称，也不利于军工电子行业的可持续发展。

中国电子科技集团公司十分重视本书编写工作，在集团主管部门的领导下，通过精心合理的组织、科学充分的论证、细致扎实的工作，《中国军工电子工艺技术体系》终于面世。本书填补了军工电子工艺技术领域的空白，不但为今后电子工艺技术的创新发展奠定了基础，而且对提高工艺技术和工艺管理水平会有巨大的促进作用。

本书分为 9 篇（55 章），由概论篇、工艺技术在典型装备中的应用篇、信息功能材料制造工艺技术篇、电子元器件制造工艺技术篇、电气互联技术篇、军用电子整机制造工艺技术篇、共用技术篇、工艺管理篇和展望篇组成。共有来自集团公司的 20 余家科研院所，以及两所高校的 70 余位工艺专家、科研人员和教师参与了工作。核心组的专家最后完成了书稿的修改、完善和统编工作。第一篇“概述”和第九篇“展望”由张为民、李怀侠编写；第二篇“工艺技术在典型装备中的应用”由张为民、纪军、张遥、谭开州、崔宏敏编写；第三篇“信息功能材料制造工艺技术”由刘峰编写；第四篇“电子元器件制造工艺技术”由高向东编写，其中的“微系统集成技术”由纪军编写；第五篇“电气互联技术”由严伟编写；第六篇“军用电子整机制造工艺技术”主要由聂延平、张莹编写，其中的“3D 打印技术”由杜含笑编写；第七篇“共用技术”中的“工艺装备制造技术”由禹庆荣编写，“数字化制造计技术”由杨滨编写；第八篇“工艺管理技术”由杨剑编写。

中国工程院院士、西安电子科技大学段宝岩教授为本书作序，中国电子科技集团公司科技部的领导和各编写人员所在单位的领导对本书的编写工作给予了大力指导与帮助，在此衷心感谢。

在编写过程中，来新泉、沈能珏、杨乃彬、朱建军、王勇等专家对本书的编写给予了充分的指导；多位审稿者对稿件进行了认真的审查，并提出宝贵意见；中国电子科技集团第 54 所王偲鹏、霍治生、穆荣耀、肖垣明、沈振芳、张明春、兰菲等同志对编写工作予以了大力支持，在此一并感谢。

本书内容丰富、信息量大，具有较强的系统性、新颖性和实用性。本书可为国防科技工业各级领导提供参考，也可为电子行业相关设计和工艺技术人员提供指导。

由于编者水平有限，本书不尽完善之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

2016 年 12 月

目 录

第一篇 概 论

第1章 军用电子产品及其工艺技术	2
1.1 军用电子产品	2
1.1.1 综合电子信息系统	2
1.1.2 军事电子装备	2
1.1.3 电子元器件及信息功能材料	3
1.2 军工电子工艺技术的内涵与特点	5
1.2.1 军工电子工艺技术的内涵	5
1.2.2 军工电子工艺技术的特点	5
1.3 军工电子工艺技术的地位和作用	7
1.3.1 军工电子工艺技术的地位	7
1.3.2 军工电子工艺技术的作用	8
1.4 军工电子工艺技术的发展历程	10
参考文献	12
第2章 军工电子工艺技术体系	13
2.1 概述	13
2.1.1 军工电子工艺技术体系图	13
2.1.2 军工电子工艺技术关系	13
2.2 军工电子工艺技术体系构成	13
2.2.1 信息功能材料制造工艺技术	16
2.2.2 电子元器件制造工艺技术	16
2.2.3 电气互联技术	17
2.2.4 电子整机制造工艺技术	19
2.2.5 共用技术	22
参考文献	22

第二篇 工艺技术在军事电子典型装备中的应用

第3章 典型电子装备制造工艺应用	24
3.1 雷达制造工艺	24
3.1.1 雷达及其基本组成	24
3.1.2 雷达装备工艺技术体系	25
3.1.3 雷达关键工艺	27
3.2 电子战装备制造工艺	32
3.2.1 电子战装备及其基本组成	32
3.2.2 电子战装备工艺技术体系	33

3.2.3 电子战装备关键工艺	35
3.3 通信装备制造工艺	43
3.3.1 通信装备及其基本组成	43
3.3.2 通信装备工艺技术体系	44
3.3.3 通信装备关键工艺	44
3.4 导航装备制造工艺	50
3.4.1 导航装备及其基本组成	50
3.4.2 导航装备工艺技术体系	52
3.4.3 导航装备关键工艺	54
3.5 数据链装备制造工艺	57
3.5.1 数据链装备及其基本组成	57
3.5.2 数据链装备工艺技术体系	58
3.5.3 数据链装备关键工艺	60
3.6 综合电子信息系统制造工艺	61
3.6.1 综合电子信息系统及其基本组成	61
3.6.2 综合电子信息系统工艺技术体系	62
3.6.3 综合电子信息系统关键工艺	64
参考文献	68
第4章 典型电子元器件制造工艺应用	70
4.1 微电子器件制造工艺	70
4.1.1 微电子器件及其特点	70
4.1.2 微电子器件制造工艺流程	76
4.1.3 微电子器件制造工艺技术体系	78
4.1.4 微电子器件制造关键工艺	78
4.2 光电子器件制造工艺	85
4.2.1 光电子器件及其特点	85
4.2.2 光电子器件制造工艺流程	89
4.2.3 光电子器件制造工艺技术体系	95
4.2.4 光电子器件制造关键工艺	97
4.3 真空电子器件制造工艺	100
4.3.1 真空电子器件及其特点	100
4.3.2 真空电子器件制造工艺流程	102
4.3.3 真空电子器件制造工艺技术体系	104
4.3.4 真空电子器件制造关键工艺	106
4.4 MEMS 器件制造工艺	107
4.4.1 MEMS 器件及其特点	107
4.4.2 MEMS 器件制造工艺流程	110
4.4.3 MEMS 器件制造工艺技术体系	113

4.4.4 MEMS 器件制造关键工艺	114
4.5 物理电源制造工艺	115
4.5.1 物理电源及其特点	115
4.5.2 物理电源制造工艺流程	116
4.5.3 物理电源制造工艺技术体系	117
4.5.4 物理电源制造关键工艺	118
4.6 传感器制造工艺	118
4.6.1 传感器及其特点	118
4.6.2 传感器制造工艺流程	121
4.6.3 传感器制造工艺技术体系	123
4.6.4 传感器制造关键工艺	123
4.7 微系统集成制造工艺	124
4.7.1 微系统集成制造及其特点	124
4.7.2 微系统集成制造工艺流程	127
4.7.3 微系统集成制造工艺技术体系	129
4.7.4 微系统集成制造关键工艺	130
参考文献	132

第三篇 信息功能材料制造工艺技术

第5章 信息功能材料制造工艺技术概述	134
5.1 信息功能材料的内涵及特点	134
5.2 信息功能材料制造工艺的地位及作用	134
5.3 信息功能材料工艺体系框架	135
第6章 晶体材料生长技术	136
6.1 概述	136
6.1.1 晶体材料生长技术体系	136
6.1.2 晶体材料生长技术的应用现状	137
6.2 熔体法晶体生长工艺	137
6.2.1 直拉法晶体生长工艺	137
6.2.2 区熔法晶体生长工艺	140
6.2.3 LEC 晶体生长工艺	142
6.2.4 VB/VGF 法晶体生长工艺	144
6.3 气相法晶体生长工艺	146
6.3.1 PVT 法晶体生长工艺	146
6.3.2 HVPE 法晶体生长工艺	148
6.4 晶体生长设备	149
6.4.1 直拉单晶生长炉	150
6.4.2 区熔单晶生长炉	150
6.4.3 LEC 单晶生长炉	150
6.4.4 VB/VGF 单晶生长炉	151

10.6.1 气相外延 (VPE) 炉	201
10.6.2 液相外延炉	201
10.6.3 分子束外延设备	202
10.6.4 金属有机物化学气相淀积外延设备	202
10.7 外延工艺发展趋势	204
参考文献	204
第 11 章 掩模制造与光刻工艺	205
11.1 概述	205
11.1.1 掩模制造与光刻工艺技术体系	205
11.1.2 掩模制造与光刻工艺的应用现状	206
11.2 掩模制造工艺	206
11.2.1 数据处理	206
11.2.2 曝光	207
11.2.3 掩模的基板	207
11.2.4 掩模制造工艺分类	207
11.2.5 掩模质量控制	208
11.3 光刻工艺	209
11.3.1 预处理	209
11.3.2 涂胶	210
11.3.3 曝光	210
11.3.4 显影	214
11.3.5 光刻质量控制	215
11.4 掩模和光刻设备	217
11.4.1 涂胶显影轨道	217
11.4.2 光刻机	217
11.4.3 电子束曝光系统	217
11.5 掩模制造与光刻工艺发展趋势	218
参考文献	219
第 12 章 掺杂工艺	220
12.1 概述	220
12.1.1 掺杂工艺技术体系	220
12.1.2 掺杂工艺的应用现状	220
12.2 扩散工艺	221
12.2.1 扩散	221
12.2.2 常用扩散工艺	223
12.2.3 扩散层质量的检验	227
12.3 离子注入工艺	229
12.3.1 离子注入	229
12.3.2 离子注入系统	231
12.3.3 离子注入参数	233
12.3.4 离子注入工艺与应用	233

12.4 掺杂设备	235
12.4.1 扩散氧化炉	235
12.4.2 离子注入机	236
12.4.3 退火炉	236
12.5 掺杂工艺发展趋势	236
参考文献	237
第 13 章 刻蚀工艺	238
13.1 概述	238
13.1.1 刻蚀工艺技术体系	238
13.1.2 刻蚀工艺的应用现状	239
13.2 湿法刻蚀工艺	239
13.2.1 硅的刻蚀	239
13.2.2 GaAs 和 InP 的各向异性刻蚀	242
13.2.3 非半导体薄膜材料的刻蚀	244
13.3 干法刻蚀工艺	246
13.3.1 干法刻蚀	246
13.3.2 等离子刻蚀的工艺参数	247
13.3.3 等离子体刻蚀方法	249
13.4 刻蚀设备	252
13.4.1 等离子刻蚀设备	253
13.4.2 离子束刻蚀设备	253
13.4.3 反应离子刻蚀机	253
13.5 刻蚀工艺发展趋势	254
参考文献	254
第 14 章 薄膜生长工艺	255
14.1 概述	255
14.1.1 薄膜生长工艺技术体系	255
14.1.2 薄膜淀积工艺应用现状	256
14.2 金属薄膜生长工艺	256
14.2.1 真空镀膜	256
14.2.2 电镀法	261
14.2.3 CVD 法	262
14.3 介质薄膜生长工艺	262
14.3.1 化学气相淀积	262
14.3.2 射频溅射	270
14.3.3 热氧化生长介质膜	270
14.4 薄膜生长设备	270
14.4.1 等离子体增强化学气相淀积设备 (PECVD)	270
14.4.2 低压化学气相淀积设备 (LPCVD)	271
14.4.3 氧化炉	272
14.5 薄膜生长工艺发展趋势	272

参考文献	272
第 15 章 清洗工艺	273
15.1 概述	273
15.1.1 半导体清洗工艺技术体系	273
15.1.2 半导体清洗工艺的应用现状	273
15.2 微粒清洗工艺	274
15.2.1 清洗的一般流程	274
15.2.2 各类杂质的清洗方法	274
15.2.3 清洗后的处理	278
15.2.4 其他清洗方式	279
15.3 膜层清洗工艺	280
15.4 清洗设备	282
15.4.1 槽式清洗设备	282
15.4.2 旋转冲洗甩干设备	283
15.4.3 单片腐蚀清洗设备	283
15.5 清洗工艺发展趋势	283
参考文献	284
第 16 章 电子元器件封装工艺	285
16.1 概述	285
16.1.1 电子元器件封装工艺技术体系	285
16.1.2 电子元器件封装工艺的应用现状	286
16.2 电子元器件封装陶瓷外壳工艺	286
16.3 IC 封装工艺	299
16.3.1 工艺流程	299
16.3.2 封装工艺可靠性控制	310
16.4 红外探测器封装工艺	311
16.4.1 红外探测器封装	311
16.4.2 红外焦平面探测器封装结构	311
16.4.3 红外焦平面探测器封装工艺	312
16.5 MEMS 封装工艺	317
16.5.1 MEMS 封装	317
16.5.2 MEMS 常规封装形式	317
16.5.3 MEMS 封装密封要求	318
16.5.4 晶圆级封装和芯片级 MEMS 封装	319
16.5.5 MEMS 与系统集成	320
16.6 封装工艺发展趋势	320
参考文献	322
第 17 章 微波真空电子器件制造工艺	323
17.1 概述	323
17.1.1 微波真空电子器件制造工艺技术体系	323
17.1.2 微波真空电子器件制造工艺的应用现状	324

17.2 微波真空电子器件制造工艺	324
17.2.1 阴极制造工艺	324
17.2.2 陶瓷金属化与封接工艺	328
17.2.3 先进连接工艺	328
17.2.4 排气工艺	331
17.2.5 在线检漏工艺	332
17.2.6 老炼工艺	332
17.3 微波真空电子器件制造工艺发展趋势	333
17.3.1 毫米波亚毫米波微细加工工艺	333
17.3.2 未来功能陶瓷	333
17.3.3 新型微波吸收、衰减陶瓷	333
参考文献	334
第 18 章 物理与化学电源制造工艺	335
18.1 概述	335
18.1.1 物理与化学电源制造工艺技术体系	335
18.1.2 物理与化学电源制造工艺技术应用现状	336
18.2 电极制备工艺	336
18.2.1 涂布工艺	337
18.2.2 极板压制工艺	338
18.2.3 烧结与浸渍工艺	338
18.3 隔膜制备与处理工艺	339
18.4 单体电池极组装配工艺	340
18.4.1 卷绕工艺	340
18.4.2 叠片工艺	341
18.5 电池装配工艺	342
18.5.1 焊接工艺	342
18.5.2 铆接工艺	342
18.5.3 注液工艺	342
18.6 化成工艺	343
18.6.1 极板化成工艺	343
18.6.2 单体电池化成工艺	343
18.7 电池组合装配工艺	344
18.7.1 储液器装配工艺	344
18.7.2 化学加热器装配工艺	345
18.8 电池封装工艺	345
18.8.1 陶瓷金属密封极柱制造工艺	345
18.8.2 焊接封装工艺	346
18.9 物理与化学电源工艺发展趋势	346
18.9.1 化学电源工艺技术发展趋势	346
18.9.2 物理电源工艺技术发展趋势	347
参考文献	347

第 19 章 微系统集成制造工艺	348
19.1 概述	348
19.1.1 微系统集成制造工艺体系	348
19.1.2 微系统集成制造工艺的应用现状	349
19.2 异质集成工艺	349
19.2.1 异质材料制备工艺	349
19.2.2 异质器件集成工艺	354
19.2.3 异质互联工艺	357
19.2.4 异质集成微系统测试工艺	358
19.3 异构集成工艺	362
19.3.1 薄晶圆工艺	362
19.3.2 垂直互联工艺	366
19.3.3 晶圆键合工艺	380
19.3.4 异构集成微系统测试工艺	385
19.4 微系统集成制造工艺发展趋势	388
参考文献	389

第五篇 电气互联技术

第 20 章 电气互联技术体系	392
20.1 电气互联技术的内涵	392
20.2 电气互联技术的体系	393
20.2.1 电气互联技术体系的框图	393
20.2.2 电气互联技术的构成	394
20.3 电气互联技术的地位与作用	396
20.3.1 电气互联技术的地位	396
20.3.2 电气互联技术的作用	397
20.4 电气互联技术的发展特点	398
参考文献	398
第 21 章 互联基板制造技术	399
21.1 概述	399
21.1.1 互联基板制造技术体系	399
21.1.2 互联基板制造技术的应用现状	400
21.2 PCB 电路基板制造工艺	403
21.2.1 单面印制板制造工艺	403
21.2.2 双面印制板制造工艺	404
21.2.3 多层印制板制造工艺	407
21.2.4 挠性及刚挠印制板制造工艺	410
21.2.5 金属芯印制板制造工艺	412
21.3 陶瓷电路基板制造工艺	416
21.3.1 厚膜多层互联基板制造工艺	416
21.3.2 薄膜多层互联基板制造工艺	417

21.3.3 多层共烧陶瓷互联基板制造工艺	418
21.3.4 混合多层陶瓷互联基板制造工艺	419
21.4 微波复合介质电路基板制造工艺	420
21.4.1 金属铝基印制电路基板制造工艺	420
21.4.2 陶瓷介质印制电路基板制造工艺	422
参考文献	424
第 22 章 通孔插装技术	425
22.1 概述	425
22.1.1 通孔插装技术体系	425
22.1.2 通孔插装技术的应用现状	425
22.2 通孔插装工艺技术	425
22.2.1 典型工艺流程	425
22.2.2 插装元器件和基板可焊性确认	426
22.2.3 元器件引线预处理和成形	426
22.2.4 元器件插装工艺	426
22.2.5 元器件焊接工艺	428
22.3 通孔插装技术的发展趋势	438
参考文献	439
第 23 章 表面组装技术	440
23.1 概述	440
23.1.1 表面组装技术体系	440
23.1.2 表面组装技术的应用现状	441
23.2 表面组装工艺技术	441
23.2.1 表面组装技术构成	441
23.2.2 SMT 典型工艺流程	442
23.2.3 SMT 检测工艺设备	481
23.3 表面贴装技术的发展趋势	484
参考文献	485
第 24 章 立体组装技术	486
24.1 概述	486
24.1.1 立体组装技术体系	486
24.1.2 立体组装技术的应用现状	489
24.2 立体组装工艺技术	489
24.2.1 微波垂直互联工艺	489
24.2.2 板级立体组装技术	491
24.2.3 3D-MCM 工艺	493
24.3 立体组装技术的主要应用	495
24.3.1 应用于制作大容量存储器	495
24.3.2 应用于计算机系统	496
24.3.3 应用于军事电子领域	496
24.4 立体组装技术的发展趋势	497

24.4.1 芯片堆叠立体组装技术的发展	497
24.4.2 封装器件立体组装技术的发展	498
24.4.3 柔性堆叠立体组装技术的发展	499
24.4.4 智能堆叠三维立体组装技术的发展	499
24.4.5 三维立体埋置型组装技术的发展	500
参考文献	500
第 25 章 微组装技术	501
25.1 概述	501
25.1.1 微组装技术体系	501
25.1.2 微组装技术的应用现状	502
25.2 元器件粘接工艺	502
25.2.1 粘接材料	502
25.2.2 元器件与基板粘接工艺	503
25.3 元器件焊接工艺	504
25.3.1 焊接材料	504
25.3.2 元器件与基板焊接工艺	504
25.3.3 管芯共晶机	505
25.3.4 真空/可控气氛共晶炉	506
25.4 基板焊接工艺	507
25.5 芯片互联工艺	507
25.5.1 丝焊键合	508
25.5.2 TAB 技术	509
25.5.3 倒装焊	510
25.6 金属密封工艺	512
25.7 密封性检测	514
25.8 多芯片组件 (MCM) 工艺	515
25.9 系统级微组装 (SOP) 工艺	517
25.10 微组装技术的发展趋势	519
参考文献	520
第 26 章 光电互联技术	521
26.1 概述	521
26.1.1 光电互联技术的体系	521
26.1.2 光电互联技术的发展现状	522
26.2 光纤互联工艺	525
26.3 光波导互联工艺	526
26.4 光镜互联工艺	529
26.5 光电互联技术的发展趋势	530
26.5.1 三维多层光电基板	530
26.5.2 光电子封装	531
26.5.3 光电子器件	532
26.5.4 光电子组件和模块	532

26.6 光电互联技术的应用	533
参考文献	534
第 27 章 整机线缆互联技术	535
27.1 概述	535
27.1.1 整机线缆互联技术体系	535
27.1.2 整机线缆互联技术的应用现状	535
27.2 整机布线技术	536
27.2.1 线缆准备	536
27.2.2 线缆布线设计	538
27.2.3 线缆互联工艺	538
27.2.4 整机布线检测技术	540
27.2.5 整机布线数字化	541
27.3 基于母板的三维无线缆互联技术	542
27.3.1 概述	542
27.3.2 基于母板的三维无线缆互联技术的特点和作用	543
27.3.3 基于母板的三维无线缆互联技术的实现	544
27.4 整机布线的发展趋势	546
参考文献	547
第 28 章 电气互联质量保障技术	548
28.1 概述	548
28.1.1 电气互联质量保障技术体系	548
28.1.2 电气互联质量保障技术的应用现状	549
28.2 可生产性设计评定	549
28.3 组件可靠性设计	550
28.3.1 可靠性设计的原则	550
28.3.2 可靠性设计方法	551
28.3.3 各类产品的可靠性设计	552
28.3.4 可靠性管理技术	553
28.3.5 可靠性技术及其发展趋势的探讨	553
28.4 防静电技术和环境保障	554
28.4.1 静电放电 (ESD)	554
28.4.2 静电产生	554
28.4.3 静电对电子生产制造业的危害	554
28.4.4 静电防护原理	555
28.4.5 防静电环境的建设和保障措施	555
28.5 生产质量过程控制	556
28.5.1 质量过程控制点的设置	556
28.5.2 质量点的检测方法	556
28.5.3 检测标准的制订	556
28.5.4 质量缺陷数统计	556
28.6 质量检测技术	556