



国际信息工程先进技术译丛

 Springer

# 物联网RFID 多领域应用解决方案

Unique Radio Innovation  
for the 21st Century

(澳) Damith C. Ranasinghe

(澳) Quan Z. Sheng 著

(美) Sherali Zeadally

唐朝伟 邵艳清 王恒 译



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



国际信息工程先进技术译丛

# 物联网 RFID 多领域 应用解决方案

(澳) Damith C. Ranasinghe

(澳) Quan Z. Sheng 著

(美) Sherali Zeadally

唐朝伟 邵艳清 王恒 译

浙江工业大学  
图书馆藏书



浙江工业大学图书馆



72014483

机械工业出版社

本书汇集了 RFID 应用领域中诸多世界知名专家最先进的研究成果, 这些领域包括网络化 RFID 系统的安全、极低成本 RFID 标签的制造、可扩展的 RFID 应用全球信息架构和系统、RFID 数据管理、RFID 应用流程重组、RFID 应用中的商业投资评估方法等。此外, 还全面、系统地阐述了建立安全、可扩展和可靠的 RFID 网络所需的相关技术、体系结构和方法, 利用图表等形象、易理解的方式, 结合丰富的行业应用范例, 帮助读者较好地阅读理解本书内容。

本书涉及 RFID 应用领域的多个独立主题, 内容丰富, 应用案例详尽, 可以作为相关专业研究生、本科生的阅读教材, 也可作为相关专业科研工作者、行业主管部门的参考用书

Transition from the English language edition:

Unique Radio Innovation for the 21st Century by Damith C. Ranasinghe, Quan Z. Sheng, Sherali Zeadally.

Copyright ©2011 Springer Berlin Heidelberg.

Springer Berlin Heidelberg is a part of Springer Science + Business Media.

All rights reserved.

本书中文简体字版由 Springer 授权机械工业出版社独家出版。版权所有, 侵权必究。

本书版权登记号: 图字 01-2013-0184 号

## 图书在版编目 (CIP) 数据

物联网 RFID 多领域应用解决方案/(澳)拉纳辛哈 (Ranasinghe, D. C.) 等著; 唐朝伟, 邵艳清, 王恒译. —北京: 机械工业出版社, 2013. 10  
(国际信息工程先进技术译丛)

书名原文: Unique radio innovation for the 21st century

ISBN 978-7-111-43935-6

I. ①物… II. ①拉…②唐…③邵…④王… III. ①无线电信号—射频—信号识别—应用 IV. ①TN911.23

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 209764 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 阎洪庆 责任编辑: 阎洪庆

版式设计: 常天培 责任校对: 杜雨霏

封面设计: 赵颖喆 责任印制: 乔宇

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2014 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 23 印张 · 461 千字

0 001—2 500 册

标准书号: ISBN 978-7-111-43935-6

定价: 89.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

## 译者序

射频识别 (Radio Frequency Identification, RFID) 技术, 是一种利用射频通信实现的非接触自动识别技术, 是物联网应用的基础技术之一, 也是 21 世纪最具发展前景和变革力的高新技术之一, 现已成功应用到智能交通管理、物流管理、食品药品管理、智能制造、公共安全及信息服务、智能安防等领域。《2006—2020 年国家信息化发展战略》和《国家中长期科学和技术发展规划纲要 (2006—2020)》指出, 推动 RFID 技术、应用和产业链的发展和培育, 可增强我国信息产业的国际竞争能力、加快建设创新型国家的步伐。《中国射频识别 (RFID) 技术政策白皮书》也明确指出, 研究 RFID 技术、发展 RFID 产业对提升社会信息化水平、促进经济可持续发展、提高人民的生活质量、增进公共安全与国防安全等方面有着深远影响, 具有战略性的重大意义。

随着技术的不断发展, RFID 技术还可以与互联网、移动通信等技术相结合, 实现全球范围内物品跟踪与信息共享, 最终成为联通虚拟和现实世界的“物联网”。最近, 国务院常务会议决定: 打造惠及民生“宽带中国”, 特别是建立公共信息服务平台, 推进教育、医疗优质资源共享, 普及应用居民健康卡, 加快就业信息全国联网; 推进金融 IC 卡在公共服务领域应用; 在有条件的城市开展智慧城市试点示范建设; 鼓励智能终端产品研发, 通过创新供给引导消费; 拓展新兴服务业态, 开展物联网重大应用示范, 大力发展电子商务。这些都将极大地推动 RFID 技术的大规模、多行业深入应用, 推动物联网和智慧城市的建设。但是, 目前我国的 RFID 产业发展还不成熟, 主要表现在: 起步晚, 投入不足, 缺乏自主创新的核心技术和标准; 产业链发展不均衡, RFID 器件和系统成本高, 大规模应用受到严重制约。因此, 积极引进国外的研究成果, 了解 RFID 在各领域的应用状态和未来趋势, 必将给我国产业界和学术界带来巨大的推动和发展。

本书作者系澳大利亚阿德莱德大学 Auto-ID 实验室 (对物联网研究的全球 7 个实验室之一) 的学者, 他们在 RFID 和物联网领域的研究起步早、成果丰硕。本书在他们的研究基础上, 汇集了 RFID 应用领域中诸多世界知名专家最先进的研究成果, 这些领域包括网络化 RFID 系统的安全、极低成本 RFID 标签的制造、可扩展的 RFID 应用全球信息架构和系统、RFID 应用流程重组、RFID 应用中的商业投资评估方法等; 本书并不是系统讲述 RFID 原理的著作, 重在 RFID 技术行业应用的低成本制造、安全、流程等技术问题分析, 全面、系统地阐述了建立安全、可扩展和可靠的 RFID 网络所需的相关技术、体系结构和方法。

本书主要由重庆大学唐朝伟教授、博士研究生邵艳清（重庆电子工程职业学院讲师）、博士研究生王恒合作完成，并得到了刘玲玲、肖敏、张希、何银课等同志的许多帮助，在此深表感谢；同时，感谢原书作者 Michael Sheng 博士对译稿校正给予的支持和帮助。感谢原书出版商 Springer 出版社的鼎力支持，感谢机械工业出版社编辑以及相关的工作人员，在你们的精心呵护下，本书才能够顺利出版。

译者在翻译过程中力求忠于原著，其中许多专业术语尽量遵循其在所在学科的标准译法。由于译者水平有限，译文中难免存在错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

译者

## 原 书 前 言

近年来, RFID 技术经历了多次变革, 从传统非接触接入卡技术转变为连接物理实体信息流与物流的技术。通信技术、中间件以及 Web 服务技术的进步极大地推动了 RFID 技术的发展和应用, RFID 已成为物联网的重要组成部分。未来的互联网将作为一个综合服务环境, 在这个环境中, 包括建筑物、商品在内的所有物理实体都是可读、可识别和可寻址的, 甚至通过 Web 服务对其是可控的。对来自现实世界和虚拟世界的信息的连接和集成能力不仅影响着我们的生活方式, 同时也带来巨大的 RFID 商业机遇, 比如对老年人独立生活的支持、高效的供应链、防伪和提高环境监测等。许多组织机构正在计划或已经在其主要业务中采用 RFID 技术, 充分利用 RFID 技术的高度自动化、高效的业务流程和库存的可视化优势。

RFID 数据管理、可扩展的信息系统、业务流程重组以及投资评估是 RFID 应用面临的重大技术挑战。本书汇集了 RFID 应用领域中诸多世界知名专家的最先进的研究成果, 全面、系统地概述了建立安全、可扩展和可靠的 RFID 网络所需的相关技术、体系结构和方法。

本书包含 5 个部分。第 1 部分阐述了 RFID 技术的未来发展趋势, 并系统地概述了在此过程中不容忽视的潜在的保密性和安全性问题。其余 4 个部分分别对 RFID 的数据管理、全球 RFID 信息架构及系统、创新的 RFID 应用以及相关的商业问题进行了探讨。

本书为从事 RFID 数据管理和 RFID 应用研发工作的研究人员、教育工作者和工程师提供了有价值的参考, 同时也有助于研究生对该领域的深入学习和研究。此外, 本书也适用于从事 RFID 应用工作, 特别是从事设计、研发和部署大规模或开放式 RFID 网络系统的工作人员。本书对从事 RFID 系统开发、管理和监管 RFID 部署工作的 IT 管理人员也有很大帮助。我们希望通过本书的学习, 能够促进和激发读者提出新的讨论和原创见解, 进而促进 RFID 领域的发展。

我们非常感谢每一部分的作者对本书的突出贡献。同时感谢为本书的评审提供专业知识和支持、为作者提供宝贵意见的评审人员。非常荣幸与全球先进的研究团队一同工作, 正是他们的帮助使得本书得以顺利完成。此外, 我们还要感谢 Springer 出版社给予本书出版的机会。另外, 特别感谢 Hermann Engesser 和 Dorothea Glaunsinger 在本书出版工作中给予的大力支持和帮助。

Damith C. Ranasinghe

Quan Z. Sheng

Sherali Zeadally

# 目 录

译者序

原书前言

## 第 1 部分 RFID 的前景

第 1 章 下一代 RFID 技术	2
1.1 引言	2
1.2 低成本标签的制造	3
1.3 有机印刷电子技术和硅油墨印刷电子技术的比较	7
1.4 印刷半导体标准相关协议	12
1.5 结论	15
参考文献	16
第 2 章 物联网的突破性进展	18
2.1 企业范畴的物联网	18
2.2 物联网的实现技术	23
2.3 有机印刷电子技术	24
2.4 结论	27
参考文献	28
第 3 章 网络化 RFID 系统面临的威胁	29
3.1 引言	29
3.2 RFID 边缘硬件层	31
3.3 通信层	36
3.4 后端平台	42
3.5 尚未解决的问题及讨论	45
参考文献	45

## 第 2 部分 数据管理

第 4 章 基于时间和位置的 RFID 事件数据管理和处理	50
4.1 引言	50
4.2 基于时间和位置的 RFID 数据建模	51

4.3	RFID 数据的查询 .....	57
4.4	基于 RFID 复杂事件的 RFID 应用建模 .....	60
4.5	基于规则的 RFID 事件数据处理 .....	64
4.6	相关工作 .....	66
4.7	结论 .....	67
	参考文献 .....	67
<b>第 5 章</b>	<b>RFID 数据流的事件管理：快速消费品供应链管理 .....</b>	<b>69</b>
5.1	引言 .....	69
5.2	FMCG 案例研究 .....	70
5.3	事件管理原则 .....	72
5.4	RFID 数据管理要求 .....	73
5.5	RFID 数据流建模 .....	80
5.6	结论 .....	85
	参考文献 .....	86
<b>第 6 章</b>	<b>基于语义的 RFID 数据管理 .....</b>	<b>88</b>
6.1	引言 .....	88
6.2	激励情景 .....	90
6.3	相关研究工作 .....	91
6.4	预备知识 .....	93
6.5	框架和方法 .....	99
6.6	实验评估 .....	105
6.7	结论 .....	111
	参考文献 .....	112
<b>第 7 章</b>	<b>RFID 数据清洗在车间的应用 .....</b>	<b>115</b>
7.1	引言 .....	115
7.2	应用情景和问题的研究背景 .....	116
7.3	相关研究工作 .....	118
7.4	数据清洗方法 .....	119
7.5	实验 .....	123
7.6	结论 .....	129
	参考文献 .....	130

### 第 3 部分 全球信息架构和系统

<b>第 8 章</b>	<b>自主控制与物联网：增强物流网络的鲁棒性、可扩展性和灵活性 .....</b>	<b>132</b>
8.1	引言 .....	132



8.2	最新技术分析和技术背景 .....	133
8.3	自主物流对象与物联网的整合 .....	138
8.4	应用领域 .....	142
8.5	结论和展望 .....	144
	参考文献 .....	145
<b>第 9 章</b>	<b>EPCglobal 架构中安全发现服务设计 .....</b>	<b>147</b>
9.1	引言 .....	147
9.2	发现服务的潜在模式分析 .....	148
9.3	发现服务设计 .....	152
9.4	安全问题 .....	156
9.5	结论 .....	160
	参考文献 .....	161
<b>第 10 章</b>	<b>物联网背景下发现服务体系结构的评估 .....</b>	<b>163</b>
10.1	引言 .....	163
10.2	物联网背景下的发现服务 .....	164
10.3	评估发现服务 .....	168
10.4	仿真设计 .....	168
10.5	实验结果 .....	171
10.6	结论和展望 .....	172
	附录 .....	172
	参考文献 .....	180
<b>第 11 章</b>	<b>RFID 增强的泛在知识库：架构和途径 .....</b>	<b>182</b>
11.1	引言 .....	182
11.2	研究目的 .....	183
11.3	相关研究工作 .....	184
11.4	理论架构 .....	186
11.5	架构细节 .....	188
11.6	案例研究 .....	192
11.7	试验 .....	199
11.8	结论 .....	202
	参考文献 .....	202
<b>第 12 章</b>	<b>RFID 中间件系统：对比分析 .....</b>	<b>205</b>
12.1	RFID 应用的中间件解决方案 .....	205
12.2	通用 RFID 中间件解决方案 .....	208
12.3	基于事件的 RFID 中间件 .....	211
12.4	RFID 数据的动态资源管理 .....	213

12.5	用于目标定位的 RFID 基础结构 .....	215
12.6	商业 RFID 中间件解决方案 .....	217
12.7	分析 .....	217
12.8	开放性问题 .....	219
12.9	结论 .....	220
	参考文献 .....	220

## 第 4 部分 创新应用

<b>第 13 章</b>	<b>RFID 在服装零售业的应用：Galeria Kaufhof 案例研究 .....</b>	<b>224</b>
13.1	引言 .....	224
13.2	基本原理 .....	225
13.3	案例背景 .....	227
13.4	RFID 的应用 .....	231
13.5	结论 .....	241
	参考文献 .....	242
<b>第 14 章</b>	<b>RFID 技术在纺织和服装产业中的应用潜力：机遇、需求和挑战 .....</b>	<b>246</b>
14.1	引言 .....	246
14.2	纺织和服装产业供应网络的结构、流程和需求 .....	247
14.3	纺织和服装产业中采用 RFID 技术面临的机遇与问题 .....	251
14.4	工业界的补充：工业项目带来的经验 .....	256
14.5	结论 .....	260
	参考文献 .....	261
<b>第 15 章</b>	<b>新防伪安全模式：指导方针和实施路线 .....</b>	<b>263</b>
15.1	引言 .....	263
15.2	RFID 安全的现状 .....	264
15.3	管理者安全须知 .....	265
15.4	安全防伪的模式转变 .....	267
15.5	RFID 安全产品认证路线 .....	270
15.6	供应链产品认证的位置 .....	273
15.7	结论 .....	278
	参考文献 .....	278
<b>第 16 章</b>	<b>绿色物流管理 .....</b>	<b>281</b>
16.1	绿色物流和 RFID .....	281
16.2	面向商业环境的绿色物流 .....	282
16.3	试点案例研究：基于 RFID 的售后服务过程 .....	287

16.4 结论 .....	291
参考文献 .....	291
<b>第 17 章 应用于计算环境的面向对象的 RFID 业务流程建模 .....</b>	<b>292</b>
17.1 引言 .....	292
17.2 发展现状 .....	293
17.3 业务流程建模方法在 RFID 中的应用 .....	294
17.4 RFID 应用环境中两个业务流程的建模模型 .....	296
17.5 案例研究 .....	300
17.6 结论 .....	305
参考文献 .....	306

## 第 5 部分 商业与投资

<b>第 18 章 法律监管与消费者：RFID 产业的前景 .....</b>	<b>310</b>
18.1 引言 .....	310
18.2 行业访谈 .....	311
18.3 调查研究方法 .....	314
18.4 调查结果讨论 .....	317
18.5 结论 .....	327
参考文献 .....	328
<b>第 19 章 RFID 技术应用的投资评估：发展前景 .....</b>	<b>330</b>
19.1 引言 .....	330
19.2 研究背景 .....	331
19.3 RFID 投资评估的进化方法 .....	334
19.4 在零售业中的应用 .....	335
19.5 讨论 .....	342
19.6 结论 .....	343
附录 .....	343
参考文献 .....	345
<b>第 20 章 RFID 技术对库存系统的影响分析 .....</b>	<b>347</b>
20.1 引言 .....	347
20.2 库存误差的技术发展水平 .....	348
20.3 库存误差模型：RFID 技术的影响 .....	351
20.4 结论 .....	356
参考文献 .....	357



# 第 1 部分 RFID 的前景

# 第 1 章 下一代 RFID 技术

Peter H. Cole, Leigh H. Turner, Zhonghao Hu, Damith C. Ranasinghe

**摘要：**下一代 RFID 技术的发展将受印刷半导体的生产和制造技术，以及生产 RFID 标签所采用的印刷半导体材料的影响。本章主要介绍了印刷半导体技术、RFID 标签制造技术及印刷标签协议。

## 1.1 引言

本章主要介绍 RFID 技术的未来发展，主要包括 RFID 制造、技术、协议和应用等方面的内容。

未来的 RFID 技术涉及上述一个或多个领域的发展。通常某个领域的新进展需要以其他领域的发展为基础。印刷电子作为一项新的技术，将对未来产生重大影响。本章主要论述印刷电子技术对制造和其他三个相关领域的影响。

传统的硅集成电路制造工艺复杂、成本较高、天线互联难度较大。而高端射频识别标签要求在可读距离、存储功能、数据容量、标签防冲突决策速度和整体复杂度等方面都具有极好的运营表现。传统的硅集成电路逐步被高端射频识别标签技术取代。然而，在供应链的细分市场以及其他需求应用领域中，基于传统集成电路的标签仍占有绝对优势地位。

EPCglobal UHF 与 HF Gen2 (<http://www.epcglobalinc.org/standards/>) 在供应链中仍然使用传统、复杂而高性能的单晶 IC 标签。印刷半导体主要适用于低、中端应用，在这些应用中，标签成本是厂商考虑的主要因素，他们需要在标签成本与标签性能之间做出明智的权衡。因此，印刷半导体标签不大可能与单晶 IC 标签形成竞争，挤占其应用领域。

全印刷 RFID 的制造成本可能是传统硅芯片标签成本的 1/10，甚至更少（2010 年关注的主要问题）。印刷标签的高交易量市场目标包括：消费品的品牌保护和认证、一次性大批量公共票务卡、消费零售品促销和嵌入式产品智能化等。这些应用将利用普及的低成本阅读器、NFC 技术和具有 NFC 功能的手机及 3G 网络。印刷 RFID 实现了全印刷半导体技术的功能性与终端用户需求之间的很好契合，给印刷 RFID 制造商带来巨大市场应用空间，这是传统集成电路标签技术永远不可能做到的。然而，简单、低成本的全印刷 RFID 标签必须实现成本、复杂性和功能性之间

的均衡。

另一种商业化印刷半导体产业着眼于最大程度降低 RF 标签成本, 寻求更大规模的应用市场。由于 RFID 产业迄今为止还不能真正意义上满足终端用户的低成本需求, 传统单晶 IC 的设计和制造由于受到成本限制, 导致该应用未能真正普及。

印刷电子试图打破上述局面。印刷电子作为迅速发展的新兴领域, 是印刷和电子技术相结合的低成本半导体制造产业。与基于传统单晶集成电路芯片的制造相比, 印刷电子被认为能够大幅降低制造成本, 因此, 近年来社会上出现了印刷电子热的现象。当生产流程和制造逐步扩大到大批量生产时, 通过把每个标签制造成本降低到低于 1 美分的价格, 印刷电子将被视作解决限制 RFID 标签广泛应用的高成本问题的可行性方案。当 RFID 标签销售量达到数以十亿计时, 印刷 RFID 制造商计划以每个标签几美分的价格进行出售; 当 RFID 标签的销售量更大时, 每个标签的价格将低于 1 美分。

我们注意到, 印刷电子拉开了实现集成电子物品防盗系统 (EAS) 标签发展的序幕, 这种标签是带有附加电子产品代码 (EPC) 或类似产品 ID 功能的标签。基于高  $Q$  值印刷 MOS 电容元件的增强型 8.2MHz EAS 标签证明, 与现有传统的 EAS 标签不同, 当它在删除现有的零售商店 EAS 标签时, 不会出现 Lazarus 效应, 即电容介质层的自愈可使得标签恢复功能。

1.2 节将讨论 RFID 低成本制造技术。1.3 节将对有机印刷技术和硅油墨印刷技术进行比较。1.4 节将对印刷半导体标准和单晶半导体标准进行比较。最后, 对 21 世纪具有无限前景的 RFID 技术进行总结。

## 1.2 低成本标签的制造

在传统电路标签批量生产的今天, 本节将从传统 IC 标签成本中的大量装配和辅助设备成本作为切入点进行介绍。例如, IC 芯片元件的成本微乎其微, 但芯片附件和天线制造成本仍会使整个标签成本居高不下。另外, 标签基层材料成本也是标签成本的重要组成部分, 尤其是大尺寸标签。在商业化电路生产成本显著降低之前, 未来低成本制造技术和工艺需要解决这些限制因素。

目前, 标签天线的制造使用印刷导电型油墨以及电镀金属材料等以节省添加剂, 这种标签天线约占不足 20% 的市场。银油墨的价格昂贵, 新研制的纳米粒子油墨也许能使成本更低。印刷标签的天线和经过电镀处理的镀层导体可通过削减铜或铝的镀层薄片的用量来降低成本, 这种方法是目前较为常见的 RFID 天线制造方法, 因此, 此类天线的市场份额预计将会增长。随着材料科学和纳米粒子技术的进步, 油墨设计和印刷工艺、功能电路和天线都可利用传导性半导体聚合油墨印

刷,这意味着目前整个 RFID 标签均可被印刷。

与印刷电子 RFID 电路不同,基于传统 CMOS IC 标签供应商提供特征完整的 EPCglobal UHF I 类第 2 代类型的标签(在数据安全和高性能防冲突协议等关键领域)。该标签通过一个小的硅片接近对倒装芯片印模、带状或插入式电路附件的高速机械处理的限制。然而,人们认可并接受对于传统非印刷 RFID 标签的系统制造成本的限度。目前多数主流标签制造都是在接近成本限度条件下运营的;同时,在具有规模化容量增加方面有实践策略的大型制造商也响应市场需求。但不幸的是,成本并没有随着生产规模的扩大而下降,这是印刷电子产品的独特特性。

忽略标签电子电路部分的实现方式,制造商迄今未能找到适当的方法解决全部或系统标签制造成本问题。因此,只是把注意力集中在标签经济效益方面而排斥其他因素的方式是错误的。

本节引入新的术语 PIC (Printed IC),即印刷集成电路。图 1-1 所示为印刷电子公司 Kovio 的 PIC。

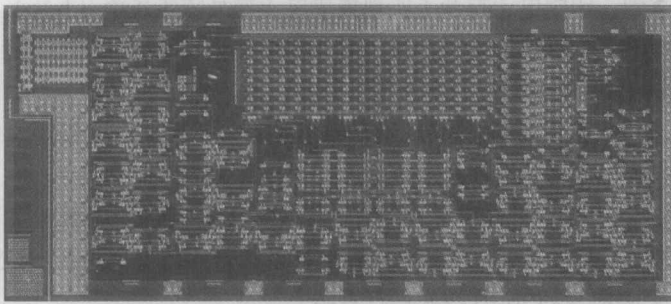


图 1-1 集成了约 1000 个 TFT 元件的 PIC

在每个末端的电气接口垫上都设计了一个细长的设备,该设备被认为是高频天线线圈的交叉桥梁。这种配置避免了额外的处理步骤,节省了线圈匝绝缘层的印刷成本,通过电路垫实现传导银浆导体与天线的连接。

未来 RFID 天线制造业可能会大规模采用宽带连续卷轴式的自适应处理方式,该方式基于闪存的高速电镀沉积技术,将铜电镀到聚合塑料或将基底材料涂盖于一个直接的数字图案的种子层的顶部。这种低成本的天线实现技术已沿用多年,但是由于迄今 RFID 标签的全球需求受到制约,制造量还没有达到能使该工艺获得较大经济效益以及为行业提供可信服投资回报所需的量值,所以该技术还没有得到广泛的应用。

近期开发的另一项非常有前景的天线批量生产技术是基于宽带卷轴式高速激光消融技术,利用低成本的铝箔制造高频和特高频天线模型。虽然下一代 RFID 技术不是一种添加处理技术,但这种金属复合箔在消费品包装工业中得到了广泛的使用,同时,它还是制造天线的廉价材料。

图 1-2 显示了基于热固定性环氧倒装芯片 IC 凸起垫或带状连接的各向异性导

电胶膜 (ACF)。这种连接方式对降低当今主流标签制造业生产成本起到了重要作用。未来的低成本电路连接技术可能实现将天线金属直接电镀到 IC 或者 PIC 垫上。通过使用基片压花和芯片安装机器学技术, ACF 技术已被证实是商业可行的。随着未来对大批量低成本标签的需求, 这种新方法将可能带来较好的商业效益。

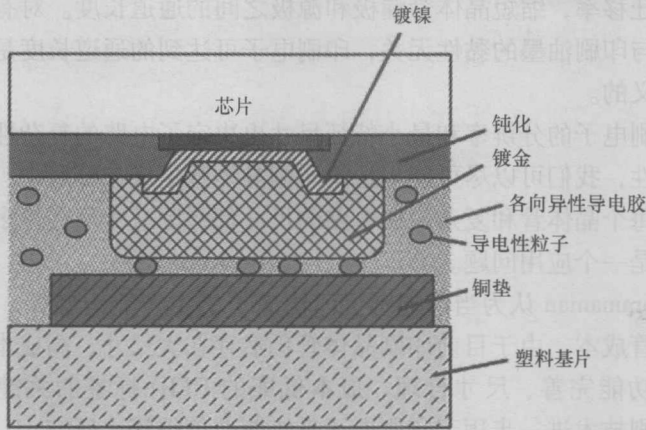


图 1-2 各向异性导电胶膜 (ACF) 电路附件结构

综上所述, 制造商对使用各种印刷工艺生产电子设备已产生浓厚兴趣。大规模生产的电子系统相比传统的基于单晶集成电路技术, 本质上实现了较低的制造成本。该印刷技术有望实现使用灵活性高的低成本基底材料 (如纸张、塑料、金属箔等) 来生产逻辑和模拟电路元件。相对于现代 CMOS 半导体制造技术, 半导体电路印刷技术具有工艺程序精简、原料成本低、资本投入少等优势, 因此它更具备降低制造成本的潜力。表 1-1 所示为传统电子技术与印刷电子技术在制造过程和成本方面的比较。

表 1-1 传统电子技术和印刷电子技术的比较

	传统电子技术	印刷电子技术
工厂投资 (成本支出)	房屋、工厂设备 (花费较高)	无特殊要求
加工	基于光影蚀刻加工 (处理步骤较为复杂)	添加剂加工 (处理步骤简单, 成本较低)
基片	硅晶片 (原材料成本较高)	塑料、纸张或金属箔 (原材料成本较低)

印刷电子被认为是一种解决 RFID 行业标签成本过高问题的可行方式, 它可将每个标签成本降低到 1 美分。但是, 无论是从当前还是从长远来看, 印刷电子技术的性能 (工作频率) 和集成度 (可集成的晶体管数量) 都不如传统电子技术。因此, 只



有达到了可接受的性能和紧密性,才能实现印刷型电子产品的低成本优势。技术性能和集成度这两个特征与印刷技术和电子技术应用的结合程度也是紧密相关的。

电子电路的每个晶体管的性能,以及电子电路的复杂度(晶体管的数目)决定了该电子电路的功能和性能。为了提高每个晶体管的性能,应最大限度地提高晶体管中载流子迁移率,缩短晶体管漏极和源极之间的通道长度。对有机印刷电子而言,其迁移率与印刷油墨的黏性无关,印刷电子可达到的通道长度是由采用的印刷技术分辨率定义的。

此外,印刷电子的分辨率和最小特征尺寸也决定了电路的复杂性。为了增加电路功能的复杂性,我们可以尽可能多地将印刷晶体管集成在电路中,但是如果分辨率太低,那么每个晶体管和复杂印刷电路的尺寸都将因过大而在许多应用中无法实现。因此,这是一个应用问题。

此外,Subramanian认为当前的有机印刷电子的生产能力较低,从而导致了较高的印刷晶体管成本。由于目前印刷晶体管仍然存在大尺寸、高成本问题,印刷技术仍然是制造功能完善、尺寸合理、成本低廉的RFID标签的关键问题之一。因此,如何将印刷技术进一步用于印刷电子系统制造值得深入研究。

目前用于电子制造的印刷技术主要有3种,即①丝网印刷、②喷墨印刷、③凹版印刷。

上述印刷技术的生产能力、分辨率、印刷材料的黏度特征见表1-2。

表1-2 目前用于电子制造的印刷技术

	丝网印刷	喷墨印刷	凹版印刷
油墨黏度要求	高 (>1000cP)	低 (1~30cP)	中等 (40~200cP)
生产能力	快	慢	快
分辨率	50 $\mu\text{m}$ (商业使用) 10 $\mu\text{m}$ (实验室使用)	<20 $\mu\text{m}$	<20 $\mu\text{m}$ (商业使用)

由表1-2可知,在如今的丝网印刷技术中,可达的最好分辨率低于10 $\mu\text{m}$ 。因此,高速丝网印刷技术实现了约10 $\mu\text{m}$ 的最小通道长度,与基于光影蚀刻的单晶电子技术相比,要低其几个数量级。但是,低分辨率的印刷电子将导致性能(迁移率和电流容量)和集成度的降低。此外,在材料流变能力和黏度方面,由于丝网印刷技术,使用了基片的网版模型对油墨进行加压,因此要求油墨具有较高的黏度以防止过度扩散和渗透。通过在油墨中混合聚合物黏结剂可以提高油墨黏性,却降低了印刷晶体管的迁移率和导体的导电性。

如表1-2所示,生产能力是丝网印刷制造技术的优势。相反,生产能力较低的喷墨印刷技术则满足油墨黏度较低的要求。也正是因为油墨黏度较低,喷墨印刷技术也存在着干燥现象、表层变形和线性形态变化等问题。这些因素都会影响薄膜沉