

RFID 抗干扰镀层制备及其抗干扰性能影响

李海宽, 阳培翔, 邹耀邦, 徐刚

(四川宜宾普拉斯包装材料有限公司, 四川 宜宾, 644000)

摘要: **目的** 为了将 RFID 技术应用到仿金属类包装领域, 研究一种 RFID 抗干扰金属镀层制备技术, 同时研究抗干扰镀层厚度对 RFID 标签可识别读取距离的影响。**方法** 利用锡锡合金 (锡锡质量比 1:9 和 2:8) 或纯锡 (锡含量 99.9% 以上) 等金属特性, 采用在塑料表面进行前处理、喷涂 UV 底漆、真空蒸发镀膜、喷涂 UV 面漆等加工工艺, 得到一种厚度约为 200~300 nm 的 RFID 抗干扰金属镀膜层。采用扫描电镜和真空蒸发镀膜原理, 分析了 RFID 抗干扰金属镀层呈岛状模式的生成过程。将 RFID 标签紧密粘贴在抗干扰金属镀膜层表面, 分别采用 Voyantic RFID 标签测试系统和手持式 RFID 读写器, 测试了 RFID 标签在不同抗干扰合金镀层表面的可探测识别距离。**结果** 采用上述方法制成的 RFID 抗干扰金属镀层, 贴上芯片频率为 920~925 MHz 的 RFID 标签, 利用专用 RFID 读写器读取, 均能够正常识别读取。利用 Voyantic RFID 标签测试系统得到 RFID 标签可探测读取距离在 68.0~83.0 cm 之间, 利用手持式 RFID 读写器得到 RFID 标签可探测读取距离在 28.0~33.2 cm 之间。同时研究得出, 镀膜层厚度对 RFID 标签可识别读取距离有一定影响, 随着镀膜次数的增加, 合金金属镀膜层厚度随之增加, 而 RFID 标签可识别读取距离逐渐减小。对于部分合金, 当合金金属镀膜层厚度达到一定值时, RFID 标签可识别读取距离接近零。**结论** 有效解决了 RFID 技术的金属干扰问题, 达到了 RFID 技术在仿金属包装领域能够正常使用的目的。

关键词: RFID; 抗干扰; 合金; 真空镀膜; 镀层厚度; 读取距离

中图分类号: TG174.442 文献标识码: A 文章编号: 1001-3660(2018)03-0135-05

DOI: 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2018.03.022

Preparation of RFID Anti-interference Coating and Its Effects on Anti-interference

LI Hai-kuan, YANG Pei-xiang, ZOU Yao-bang, XU Gang

(Sichuan Yibin Plastic Packaging Materials Co. Ltd, Yibin 644000, China)

ABSTRACT: The work aims to apply RFID technology to the field of metal-alike packaging area, study a preparation technology of RFID interference-free metal coating, and investigate effects of thickness of anti-interference coating on identifiable reading distance of RFID tags. By taking advantage of such metal features as indium-tin alloy (indium-tin mass ratio of 1:9 and 2:8) or pure indium (over 99.9% indium content), a nearly 200~300 nm thick RFID anti-interference metal coating was obtained by adopting such processing technologies as pre-treating plastic surfaces, spraying UV undercoats, vacuum vapor coatings, and spraying UV finishing coats. Formation process of RFID anti-interference coating in island mode was analyzed by adopting scanning electron microscope and vacuum vapor coating principle. RFID tag was closely pasted on the surface of anti-interference metal coating, and detectable identification distance of RFID tag on different anti-interference alloy coating surfaces was tested with Voyantic RFID tag test system and handheld RFID reader, respectively. Special RFID reader could identify and read the RFID anti-interference metal coating as-prepared in aforementioned method pasted with RFID tag with chip frequency of 920~925 MHz. Detectable reading distance of the RFID tag as measured with the Voyantic RFID tag test system was

收稿日期: 2017-11-11; 修订日期: 2017-12-27

Received: 2017-11-11; Revised: 2017-12-27

作者简介: 李海宽 (1977—), 男, 工程师, 研究方向为表面工程。

Biography: LI Hai-kuan (1977—), Male, Engineer, Research focus: surface engineering.

68.0~83.0 cm, and that as measured with the handheld RFID reader was 28.0~33.2 cm. Coating thickness had certain effects on detectable reading distance. As plating times increased, thickness of alloying metal coating increased while the detectable reading distance of RFID tag decreased gradually. For some alloys, the detectable reading distance of RFID tag was nearly zero when the thickness of alloying metal reached certain level. The work effectively solves the problem of RFID technique's metal interference, which allows RFID technique to function normally in the field of metal-alike packaging.

KEY WORDS: RIFD; anti-interference; alloy; vacuum coating; coating thickness; reading distance

RFID 无线射频识别技术作为一项先进、自动的非接触式识别和数据采集技术,在物流、交通和门禁等很多领域得到广泛应用,对改善人们生活质量、提高物流效率、加强企业管理智能化等方面产生重要影响^[1]。RFID(Radio Frequency Identification)即射频识别技术,又称电子标签、无线射频识别,是一种通信技术,可通过无线电讯号识别特定目标并读写相关数据,而无需识别系统与特定目标之间建立机械或光学接触^[2]。

为了保障商品质量安全,提高产品追溯能力,目前国内一些知名公司在一些主要产品上推出了 RFID 防伪溯源体系。但是,外界环境对 RFID 频段的影响很大,目前使用的 RFID 频段电波无法通过许多材料,特别是金属、液体及灰尘、雾等悬浮颗粒物质^[3]。金属会干扰 RFID 的识别,使 RFID 技术在一些领域的应用受到了限制。例如真空镀铝制品,经镀铝装饰的塑料制品具有金属质感,且更加美观,更具有档次性。但由于金属镀铝层会产生涡流干扰作用,导致 RFID 标签不能被正常读写识别。

金属对 RFID 产生干扰的原理是:电子标签贴在金属镀膜层表面,当标签接收到读卡器发出的电磁信号后,自身激发产生一个感应的交变磁通。由于天线标签离金属镀膜层表面很近,此交变电磁信号(磁通)必然会流经金属镀膜层,在金属镀膜层表面及一定的趋肤深度区域内产生一个感生电磁涡流区域,该涡流同原电磁标签感应磁通方向相反,削弱原来的磁通量,从而减弱标签的电磁读取敏感度,读取距离大大降低。严重时,无论读卡器离电子标签多远,也无法识别^[4]。

本文采用钢锡合金或纯金属钢作为真空镀膜材料,经真空蒸发镀膜工艺,在塑料制品表面沉积一层一定厚度的合金金属薄膜层,使塑料制品表面具有金属光泽。将 RFID 标签紧密贴合在制得的抗干扰仿金属制品表面,使用 RFID 专用读写器进行读取,能够在一定距离范围内正常识别读取。

1 实验

1.1 材料

铝丝、钢丝、镍丝、铬丝、锡丝、钢锡合金丝,上海理比真空科技有限公司;真空镀膜 UV 底漆、真

空镀膜 UV 面漆,广州栢诗涂料有限公司;RFID 标签,成都普什信息自动化有限公司。表 1 是几种常用的装饰性镀膜金属材料的基本性质。

表 1 常用镀膜金属材料基本性质

Tab.1 Basic characteristics of common coating metals

Metal	Colour	Melting point/°C	Boiling point/°C	Density/(g·cm ⁻³)
Al	Silver	660	2467	2.7
In	Silver	156	2080	7.3
Ni	Silver	1455	2730	8.9
Cr	Silver	1785	2680	7.19
Sn	Silver	231.9	2260	7.3

1.2 抗干扰镀层制备

通常情况下,塑料真空镀膜使用的镀膜材料一般以金属铝为主,但金属铝镀层对 RFID 读写产生干扰作用。因此,镀铝尽管是最常用的装饰手法,但本文不能选用。镍熔点过高,且价格昂贵。铬熔点太高,但硬度高,装饰效果好。锡熔点太低,很少单独作为真空镀膜材料使用。根据合金材料的特性,综合考虑后,选用一定配比的钢锡合金材料或纯金属钢作为镀膜材料,通过真空蒸发镀膜工艺得到的金属合金镀层对 RFID 正常读写的干扰足够小或完全不产生干扰作用。

由于本抗干扰镀层制备方法采用真空蒸发镀膜技术,很难保证所制备的薄膜的化学成分与靶材成分完全一致。因为在真空蒸发镀膜过程中,真空系统中的残余气体分子(如 H₂O、CO₂、O₂、N₂和有机蒸气等)会和蒸发粒子一起被吸附或结合,对薄膜造成一定的污染。同时,在蒸发情况下,蒸发材料多处于熔融状态,蒸发材料本身将发生扩散和对流,从而表现出很强的自发均匀化倾向,导致被蒸发物质的表面成分持续变动。

干扰仿金属镀膜制品的制作,包括如下工艺步骤:

第一步,在塑料制品表面进行静电除尘处理。目的是将塑料制品表面粘附的灰尘等杂质除掉,保证基材表面干净无尘。

第二步,喷涂 UV(紫外固化)漆。底涂层要求光滑平整,涂层厚度均匀,无明显颗粒杂质,无气泡、缩孔等缺陷。底涂层厚度为 8~15 μm,IR(红外线)烘烤温度为 65~70 °C,烘烤时间为 150~180 s,UV 固

化能量为 800~1200 mJ/cm²。

第三步，真空蒸发镀膜。在 1.3×10⁻²~1.3×10⁻³ Pa 的真空下，将钢锡合金或纯钢在极短的时间内熔化蒸发，在基材表面进行沉积，形成一层合金薄膜，该薄膜的厚度一般控制在 200~300 nm。镀膜层光亮，无黑洞、发黑、发黄等缺陷。

第四步，喷涂 UV 面漆。外涂层要求光滑平整，涂层厚度均匀，无积油或漏喷现象。面涂涂层厚度为 8~15 μm，IR 烘烤温度为 65~70 ℃，烘烤时间为 150~180 s，UV 固化能量为 800~1200 mJ/cm²。

图 1 是通过以上工艺制得的 RFID 抗干扰镀膜样品照片。

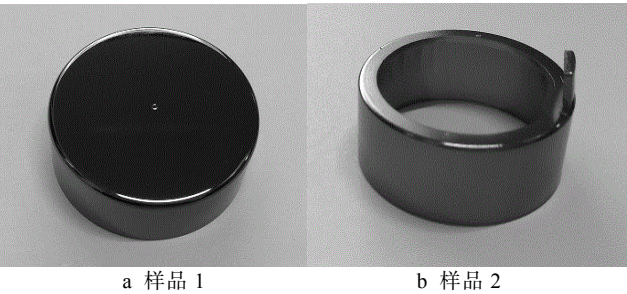


图 1 RFID 抗干扰镀膜样品
Fig.1 Anti-interference RFID coating samples:
a) sample 1, b) sample 2

1.3 RFID 标签抗干扰制品制备

利用 RFID 抗干扰镀膜工艺制备的 RFID 抗干扰仿金属镀膜制品，包括塑料基材、UV 底涂层、金属合金镀层、UV 面漆层和无线射频识别标签。通过蒸镀的方式在塑料基材表面镀一层金属合金镀层，UV 底涂层设于塑料基材和金属合金镀层之间，在金属合金镀层上表面设 UV 面漆层，无线射频识别标签通过粘贴的方式设于 UV 面漆层表面，如图 2 所示。

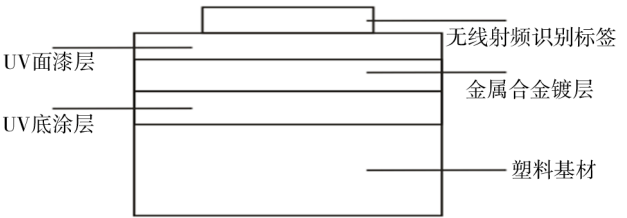


图 2 RFID 抗干扰仿金属镀膜制品的结构
Fig.2 Structure of RFID anti-interference metal-alike coating product

2 结果及分析

2.1 镀层抗干扰性能测试

在制得的 RFID 抗干扰镀膜工艺制品表面贴上 RFID 标签，利用 Voyantic RFID 标签测试系统测试

RFID 标签的读取识别性能，测试结果见图 3。从图 3 可以看出，频率为 920~925 MHz 的 RFID 标签在三种合金镀层制品表面贴合时均能够正常识别读取。RFID 标签在制品 a、b、c 表面的读取识别距离分别约为 0.63、0.68、0.83 m。

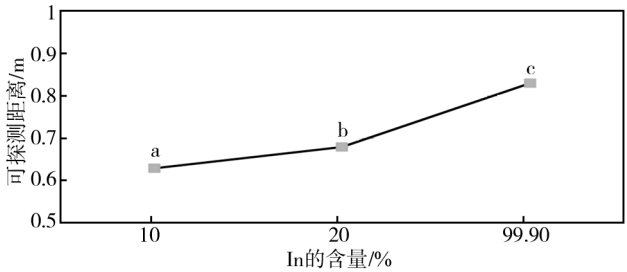


图 3 RFID 标签识别性能测试结果
Fig.3 Identification performance test results of RFID tags

不同功率的 RFID 读写器，其读取识别能力也不同。表 2 是利用手持式 RFID 读写器测试不同的 RFID 抗干扰合金镀层的可探测识别距离测试结果。从表 2 可以看出，当镀层厚度为 200~300 nm 时，纯钢镀层的可探测识别距离最远，为 33.2 cm。对于钢锡合金镀层，随着钢锡合金中锡含量的增加，RFID 标签在抗干扰镀层表面的可探测距离逐渐减小。这主要是由于金属锡镀膜层发生了涡流干扰作用，该涡流与原电磁标签感应磁通方向相反，削弱了原来的磁通量，从而减弱了标签的电磁读取敏感度，读取距离大大降低^[4]。

表 2 RFID 抗干扰镀层标签可读取距离测试结果
Tab.2 Detectable distance test results of RFID anti-interference coating tag

Simple	Depth of coating/nm	Reading distance/cm
a	200~300	28.0
b	200~300	29.8
c	200~300	33.2

从上述测试结果可以看出，不同的测试设备，由于其功率大小不同，RFID 标签在抗干扰镀层表面的可探测读取距离的测试结果亦不同，测试设备功率越大，探测读取距离就越远。

2.2 镀层形貌分析

图 4 为不同抗干扰合金镀层的微观形貌，可以看出，当纯金属钢或钢锡合金呈一种薄膜的状态时，合金金属分子的连续性较差，难以形成致密连续的膜层。真空镀膜薄膜的形成过程都以岛状生长模式进行。岛状生长模式包括小岛阶段、结合阶段、通道阶段和连续薄膜阶段：

1) 小岛阶段。镀膜材料的蒸气分子入射到被镀制品表面后，进行扩散运动，并相互作用，使吸附原子有序化，形成亚稳态的临界核，临界核长大成小岛。

2) 结合阶段。随着岛的长大, 岛间距离减少, 岛开始结合成更大的岛。

3) 通道阶段。当岛在被镀制品表面不断扩大时, 岛会相互连续起来, 构成岛的通道, 形成一种连续的网状结构。随着沉积的进行, 通道变宽, 被镀制品表

面的空白区域减小, 成为很小的空洞。

4) 薄膜阶段。随着金属分子进一步沉积, 在空洞内产生新相的晶核, 长大成岛, 并不断进行岛间相互结合, 与此同时, 开始向厚度方向生长, 最后形成各种结构的连续性较差的薄膜^[6]。

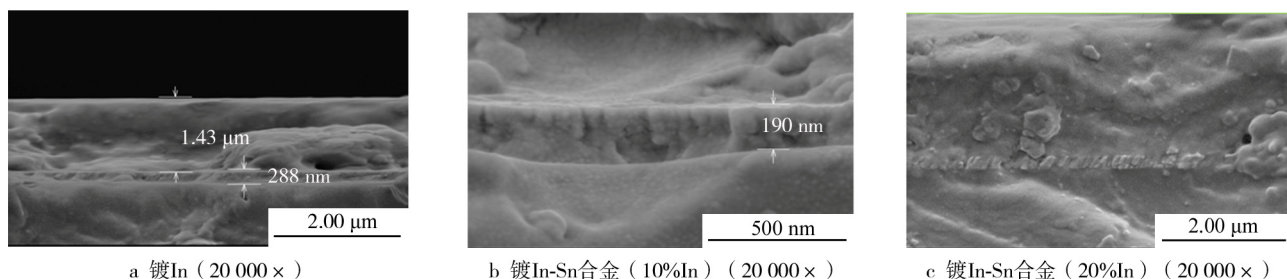


图4 金属镀层的微观形貌

Fig.4 Microstructure of metal coating: a) In-plated (20 000×), b) In-Sn alloy plated (10%In) (20 000×), c) In-Sn alloy plated (20%In) (20 000×)

2.3 镀层厚度对 RFID 标签可读取距离的影响

采用真空蒸发镀膜的方式, 将钢锡比例为 1:9、2:8 的钢锡合金和钢含量 99.9%以上的纯钢金属蒸镀在塑料制品表面, 每一次蒸镀镀层的厚度为 200~300 nm, 按以上工艺制成的镀膜塑料制品表面紧密贴上芯片频率为 920~925 MHz 的 RFID 标签, 利用手持式 RFID 读写器进行测试, 发现钢锡 (1:9) 合金镀膜层的厚度会影响 RFID 读写器的探测读取有效距离。随着镀膜次数的增加, 镀膜层越来越厚, RFID 标签可探测读取距离逐渐减小, 当镀膜次数达到 5 时, RFID 标签可探测读取距离为零。RFID 标签在镀钢锡 (1:9) 合金制品表面可探测距离与膜层厚度关系如图 5 所示。

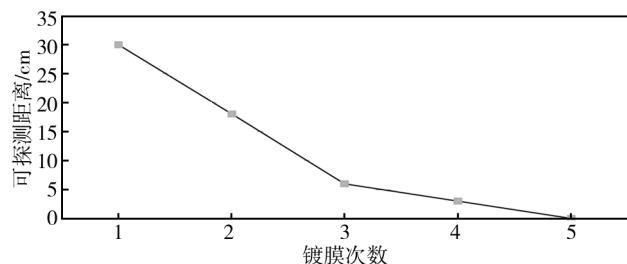


图5 镀钢锡 (1:9) 合金可探测距离与镀膜次数关系折线图
Fig.5 Line chart of relationship between detectable distance and plating times of indium-tin plated alloy (1:9)

同时发现钢锡 (2:8) 合金镀膜层厚度也会影响 RFID 读写器的探测读取有效距离。随着镀膜次数的增加, 镀膜层越来越厚, RFID 标签可探测读取距离逐渐减小。当镀膜次数达到 7 时, RFID 标签可探测读取距离为零。RFID 标签在镀钢锡 (2:8) 合金制品表面可探测读取距离与膜层厚度关系如图 6 所示。此外, 随着纯钢镀膜次数的增加, 镀膜层越来越厚, RFID 标签可探测读取距离变化很小。纯钢镀层可探测读取距离与膜层厚度关系如图 7 所示。

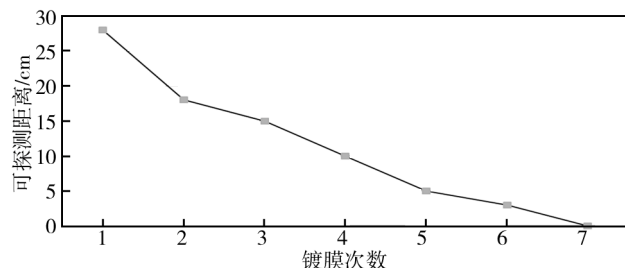


图6 镀钢锡 (2:8) 合金可探测距离与镀膜次数关系折线图
Fig.6 Line chart of relationship between detectable distance and plating times of indium-tin plated alloy (2:8)

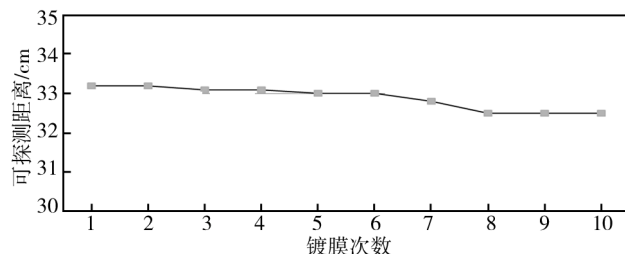


图7 镀纯钢 (纯度 99.9%以上) 可探测距离与镀膜次数关系折线图
Fig.7 Line chart of relationship between detectable distance and plating times of pure-indium plated alloy (purity $\geq 99.9\%$)

2.4 薄膜表面质量对 RFID 抗干扰性能的影响

镀层质量, 如表面不光滑平整, 凹凸不平, 有黑点、杂质、空洞, 有气泡、针孔及破裂缺陷, 镀层不均匀, 有明显的亮条、阴阳面等现象, 只对制品的外观有一定影响, 通过测试, 其对 RFID 抗干扰性能的影响非常小, 完全可以忽略不计。

3 结论

1) 通过研究发现, 钢锡合金或纯金属钢镀层对

RFID 标签的识别读取干扰足够小, RFID 标签能够正常识别读取, 有效解决了 RFID 技术在仿金属包装领域使用的技术限制。

2) 不同比例的金属合金镀层, RFID 读写器能够识别读取的距离 (RFID 读写器与无线射频识别标签 (RFID) 之间的距离) 有一定差异。钢锡 (1:9、2:8) 合金、纯钢 (钢含量 99.9% 以上) 三种材料中, 纯钢镀层对 RFID 标签的干扰性最小, 相应读取识别距离也最远。

3) 在真空蒸镀钢锡合金整个工艺过程中, 控制镀层的厚度对 RFID 能够正常识别读取至关重要。通过实践证明, 随着镀膜次数的增加, 合金镀膜层越来越厚, 可探测读取距离逐渐减小。对于钢锡合金镀层, 当合金镀膜层厚度达到一定值时, RFID 标签的可探测距离接近零。

参考文献:

- [1] 谭民, 刘禹, 曾隽芳, 等. RFID 技术系统工程与应用指南[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
TAN Ming, LIU Yu, ZENG Juan-fang, et al. RFID Technology Systems Engineering and Application Guide[M]. Beijing: China Machine Press, 2007.
- [2] 宁焕生, 张彦. RFID 产品研发及生产关键技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
NING Huan-sheng, ZHANG Yan. RFID Product Development and Production Key Technologies[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2007.
- [3] 陈泰伟. 超高频 RFID 系统防冲突干扰的研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2012.
CHEN Tai-wei. Research on Anti-collision in UHF RFID System[D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2012.
- [4] 赵犁, 郜笙, 虞俊俊, 等. 金属介质对超高频 RFID 被动标签读取效能的影响及可用于金属表面标签的设计[J]. 工程设计学报, 2006(6): 56-60.
ZHAO Li, HAO Sheng, YU Jun-jun, et al. Influence of Metal Dielectric on UHF RFID Passive Tag Read Efficiency and Design of Metal Surface Label[J]. Journal of Engineering Design, 2006(6): 56-60.
- [5] 张以忱. 真空镀膜技术[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2009.
ZHANG Yi-chen. Vacuum Coating Technology[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2009.
- [6] 马晓燕, 颜红侠. 塑料装饰[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
MA Xiao-yan, YAN Hong-xia. Decoration of Plastic [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.
- [7] 高红, 李庆绵. 真空蒸发镀膜膜厚影响因素的实验研究[J]. 鞍山师范学院院报, 2003, 5(2): 40-42.
GAO Hong, LI Qing-mian. Experimental Study on Influence Factors of Film Thickness of Vacuum Evaporation Coating[J]. Journal of Anshan Normal University, 2003, 5(2): 40-42.
- [8] 高雁. 影响真空蒸发镀膜膜厚的因素分析[J]. 太原科技, 2008(9): 78-80.
GAO Yan. Analysis of Factors Influencing Film Thickness of Vacuum Evaporation Coating[J]. Taiyuan Technology, 2008(9): 78-80.
- [9] 陈光华, 邓金祥. 纳米薄膜技术与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
CHEN Guang-hua, DENG Jin-xiang. Nano Film Technology and Application[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.
- [10] 华中一. 真空技术[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1988.
HUA Zhong-yi. Vacuum Technology[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1988.
- [11] 朗为民. 射频识别 (RFID) 技术原理与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
LANG Wei-ming. Principles and Applications of (RFID)[M]. Beijing: China Machine Press, 2006.
- [12] 李全圣, 刘忠立, 吴立江. 特高频射频识别技术及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
LI Quan-sheng, LIU Zhong-li, WU Li-jiang. Ultra High Frequency Radio Identification Technology and Its Application[M]. Beijing: China Machine Press, 2007.
- [13] 白煜. 超高频射频识别 (UHF RFID) 系统抗干扰策略的研究[D]. 天津: 天津大学, 2009.
BAI Yu. Anti Jamming Strategy for Ultra High Frequency Radio Frequency Identification (RFID UHF) System[D]. Tianjin: Tianjin University, 2009.
- [14] 过雷勇. RFID 系统的防冲突算法研究与实现[D]. 广州: 中山大学, 2009.
GUO Lei-yong. Research and Implementation of Anti-collision Algorithm in RFID System[D]. Guangzhou: Zhongshan University, 2009.
- [15] 彭佳厚. 基于 RFID 的现代物流系统中关键技术的研究[D]. 上海: 东华大学, 2012.
PENG Jia-hou. Research on Key Technologies of Modern Logistics System Based on RFID[D]. Shanghai: Donghua University, 2012.