

基于数字微喷的电路板高精度封装方法研究

刘 训¹, 杨建飞^{1,2}, 邱 鑫¹, 杨继全¹, 李思祥¹

(1. 南京师范大学江苏省三维打印装备与制造重点实验室, 江苏 南京 210042)

(2. 南京师范大学常州创新发展研究院, 江苏 常州 213022)

[摘要] 传统电路板封装领域广泛采用的三防漆喷涂工艺由于存在精度低、封装不均匀、材料利用率低等缺点, 越来越无法满足电路板封装对批量个性化封装的需求。将数字微喷技术引入电路板封装领域, 提出一种基于 3D 打印数字微喷技术的电路板封装方法, 该方法以 UV 树脂作为封装材料, 能够选择性地在电路板表面打印出具有保护特性的三维封装实体, 满足复杂元器件以及多引脚器件的封装要求。同时设计了电路板数字微喷封装实验系统, 测试结果验证了所提方法的可行性和测试系统的稳定性。

[关键词] 电路板封装, 三维打印, 数字微喷, 紫外光固化

[中图分类号] TP23 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2018)02-0036-07

Research on the Method of Circuit Board Packaging Based on Digital Micro Injection

Liu Xun¹, Yang Jianfei^{1,2}, Qiu Xin¹, Yang Jiquan¹, Li Sixiang¹

(1. Jiangsu Key Laboratory of 3D Printing Equipment and Manufacturing, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

(2. Changzhou Institute of Innovation and Development, Nanjing Normal University, Changzhou 213022, China)

Abstract: The protection and coating technology which is widely used in the field of traditional circuit board packaging has not been able to meet the requirement of batch personalized encapsulation for the demerits of low accuracy, uneven packaging, and low material utilization. In this paper, a digital micro-injection technology is introduced into the field of circuit board packaging, and a circuit board packaging method based on 3D printing digital micro-injection technology is presented. The three-dimensional packaging entity of the protection characteristic can be selectively printed on the surface of PCB with UV resin. This method proposed can meet the packaging requirements for complex components and multi-pin devices. An experimental system for digital micro spray packaging of circuit board is designed in this paper, the feasibility of the proposed method and the stability of the experimental system are verified by the experiment results.

Key words: circuit board package, three-dimensional printing, digital micro injection, UV light curing

电子装备的基本组件电路基板的三防保护涂覆是三防技术中的一个重要组成部分, 电路基板的防护性能好坏直接影响到电子装备的可靠性。为提高电子装备的耐腐蚀性, 降低设备故障率, 提高电子设备的可靠性, 延长其使用寿命, 必须对电路板进行封装防护^[1], 形成一层致密的保护膜, 以防止外部环境(潮湿、盐雾、灰尘及腐蚀性气体)对线路板的腐蚀。

随着电子线路板的集成程度越来越高, 电子元器件日趋微型化、密集化。现阶段广泛采用的三防漆喷涂工艺是区域性的喷涂封装, 由于封装精度较低且无选择性, 存在涂覆膜厚度一致性差、三防漆浪费严重、污染环境、涂覆时容易飞溅并污染无喷涂需求的器件、无法实现选择性喷涂、涂覆前需人工遮蔽需防护器件、器件间狭缝和元件侧表面无法有效喷涂等问题。同时, 所使用的三防涂覆材料完全固化时间均在 30 min~24 h 不等^[2], 更有甚者经 24 h 三防漆仍未完全干燥, 固化时间较长, 工序繁琐, 生产效率较低。

收稿日期: 2018-03-14.

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(51407095)、江苏省自然科学基金(BK20151548)、国家自然科学基金青年基金(51607094)、江苏省“六大人才高峰”项目(GDZB-043)、江苏省产学研前瞻性联合研究项目(BY2016001-01)、南京师范大学“青蓝工程”项目、江苏省研究生科研创新计划(KYCX18_1225)。

通讯联系人: 杨建飞, 副教授, 研究方向: 三维打印. E-mail: 631056602@qq.com

随着涂料发展和涂覆技术的进步,传统封装工艺被自动化程度很高的选择性封装工艺所代替成为必然. 由于选择性的封装设备引进数量较少或国内自主研制开发较慢,工艺研究相对落后,严重影响了选择性封装技术在国内电子产品制造领域的应用和推广^[3]. 因此,对高精度选择性封装技术所涉及的关键技术问题展开研究显得尤为迫切.

针对以上问题,本文将基于数字微喷技术、以 UV 树脂作为封装材料的三维打印成型工艺引入到电路板封装中. 以 UV 树脂作为封装材料具有较多优点,UV 树脂在紫外光照射下能快速固化,固化后模型强度高、收缩率小、成型精度高^[4]. 同时,数字微喷是一种能够产生微米级液滴并能进行精确喷射的技术,具有制造工艺简单、成型效率高、材料利用率高等优点,在电子封装、微机电系统、三维打印技术等领域中应用极为广泛^[5]. 通过该技术在电路板表面打印出具有保护特性的三维封装实体,有望实现可控性和选择性封装,节省大量的封装涂覆材料;能够满足电路板封装中不同复杂元器件以及多引角器件的封装要求,显著提高成型效率,有助于实现电路板封装的智能化. 运用数字微喷技术不仅能够大幅提升打印精度和速度,还能缩短生产周期,提高生产效率^[6].

1 电路板封装工艺流程与系统结构组成

1.1 电路板封装工艺流程

电路板封装工艺工作流程如图 1 所示.

三维 CAD 建模要以实际封装的电路板为依据,本文以图 2 所示的电路板为封装实例,通过电路板设计软件 AltiumDesigner 获得各个电子元器件的封装尺寸数据. 将获得的这些尺寸数据通过 CAD 制图软件建立三维封装实体模型,如图 3 所示. 因为是对封装方法可行性的探究与分析,故此处仅选取具有代表性的 6 个元器件模块进行建模,图中编号 1、5 为同型号 8 引脚芯片,选取目的为测试相同器件不同封装位置的封装效果;2 为 3 引脚器件;3 为无引脚晶振器件;4 为 20 引脚器件;6 为 208 多引脚高度较高的 DSP 芯片.

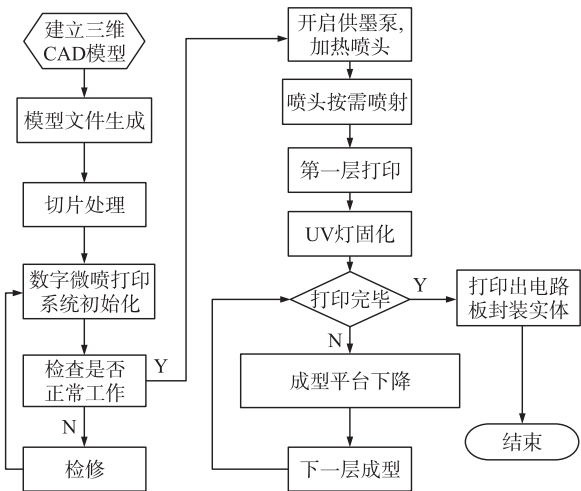


图 1 工作流程图
Fig. 1 Work flow diagram

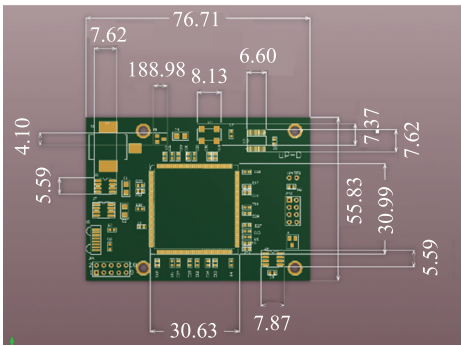


图 2 元器件的封装尺寸
Fig. 2 Package size of components

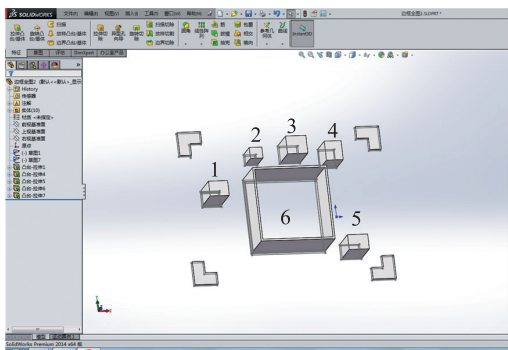


图 3 三维 CAD 模型
Fig. 3 Three-dimensional CAD model

将建立好的三维模型导入切片软件进行切片处理,将切片信息上传至数字微喷打印系统,系统自检正常则开启供墨泵,加热喷头,开始打印. 封装设备完成一层打印后,进行 UV 光固化,打印平台精准地下降一个成型层厚,喷头继续喷射 UV 树脂进行下一层的打印,一层接一层,直到整个封装的三维实体打印完成,在元器件上形成堆叠成型的封装保护层.

1.2 系统硬件组成

数字微喷打印成型系统的机械结构示意图如图 4 所示。

数字微喷成型系统的硬件部分主要由喷墨系统、XYZ 三轴运动控制系统、辅助系统(供墨系统、气路系统等)和框架支撑等结构组成。具体组成介绍如下：

(1) 喷墨系统

本文研究的光固化成型装置是基于数字微喷原理的三维打印装置,数字微喷嘴头是装置实现打印成型的关键部件,关系到最终的成型精度,因而必须选择合适的喷头。本文采用 FUJIFILIM Dimatix 公司推出的 Spectra 系列 Galaxy JA 256/80 AAA 喷头,具体参数如表 1 所示。

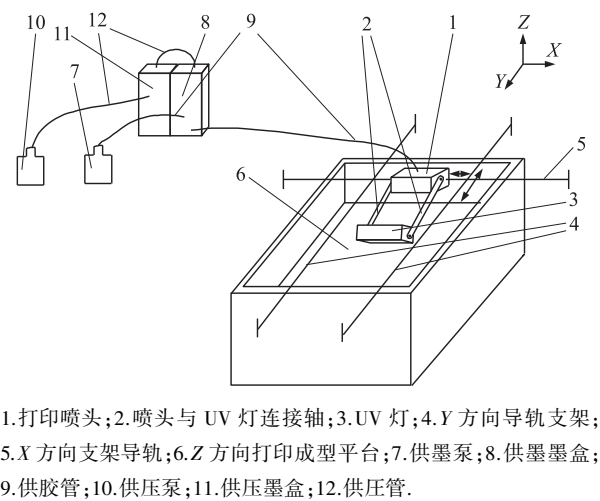


图 4 机械结构示意图
Fig. 4 Schematic diagram of mechanical structure

表 1 数字微喷嘴头参数
Table 1 Digital micro jet nozzle parameters

喷孔数	喷孔直径/ μm	液滴尺寸范围/ pL	液滴滴速/ (m/s)	适用温度范围/ $^{\circ}\text{C}$	流体黏度范围/ $(\text{mPa}\cdot\text{s})$	兼容喷射流体	最大工作频率/ kHz
256	52	75~85	8	0~90	8~20	有机溶剂、UV 固化剂、水溶剂	20

这是一款采用数字压电式驱动、具有稳定性和可靠性的按需喷射式喷头,对于液滴大小和形状控制具有较高的精度,提高了工作效率。该压电式数字微喷嘴头的物理尺寸和实物如图 5 所示。

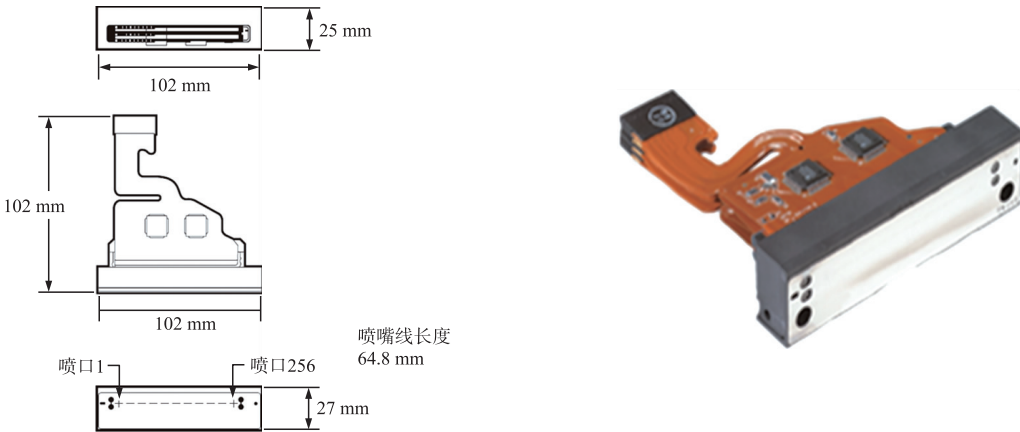


图 5 Galaxy JA 256/80 AAA 数字微喷头物理尺寸及实物图
Fig. 5 Physical size and physical map of Galaxy JA 256/80 AAA digital micro-nozzle

(2) XYZ 运动控制系统

平台运动部分的性能指标直接影响着整个封装系统的性能。本系统采用 3 个松下伺服电机,伺服电机具有精度高、反应速度快、线性度好以及工作可靠等优点,可满足工作台按指定流程进行定位、运行,实现不同的微喷打印的要求。喷头连接导轨滑块固定在 X 轴方向,X、Y 轴处于联动状态,Y 轴可带动 X 轴做往复运动,即通过 X、Y 方向的伺服电机实现喷头的二维平面打印动作。Z 方向伺服电机控制成型工作台垂直于 X-Y 平面运动,实现在 Z 方向的实体堆叠打印。

(3) 辅助系统设计

压电喷头的正常工作需要稳定且可调的温度、气压控制,以适应具有不同黏度性质的打印材料。针对该功能需求,本文设计了专用的辅助控制板卡,其接口及实物如图 6 所示。

图 6 中辅助板卡使用高性能的 TMS320F28035 作为主控芯片,运行速度快,实时性好。该板卡拓展多路功率控制回路,满足气压、温度等多路控制需求;选用低功耗功率管,满载运行时无需辅助散热;系统结

构紧凑,安全性好. 该辅助控制板连接控制着温度模块和气压模块.

温度模块主要由加热棒和热电阻组成,如图 7 所示. 辅助板卡连接着加热棒和热电阻,加热棒进行加热,热电阻进行温度采集,并反馈给辅助控制电路板.

气压模块的气路结构如图 8 所示. 当二级墨盒中的液位较低时,主控制板收到液位传感器的缺墨信号,通过墨泵将墨瓶里的墨水抽向二级墨盒,以保持墨位在一定范围内. 同时正压泵挤压墨水进入喷头,对喷头进行注墨;注墨结束后,正、负压泵共同工作,使一二级墨盒处于稳压状态,喷头处的墨水被吸住,为打印做好准备.

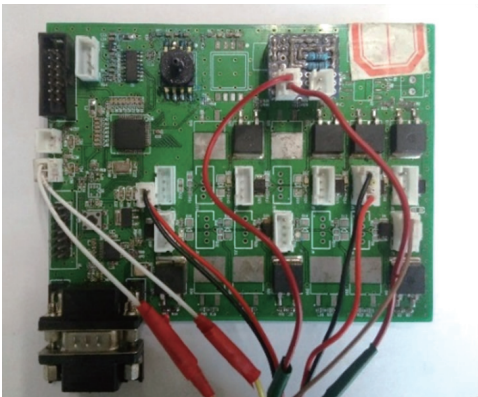


图 6 辅助控制电路板
Fig. 6 Auxiliary control circuit board

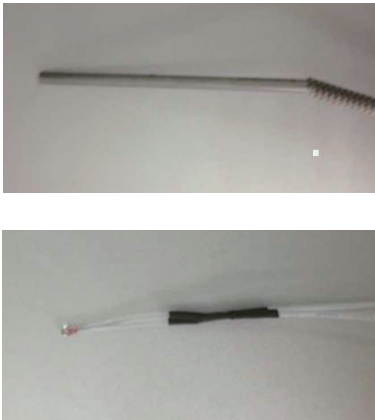


图 7 加热棒和热电阻
Fig. 7 Heater and thermistor

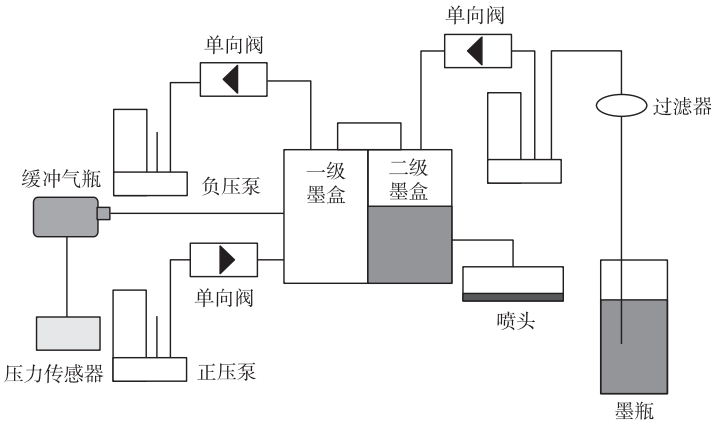


图 8 气路结构图
Fig. 8 Gas path structure diagram

2 软件系统

2.1 切片软件

切片软件的作用是实现对建立好的三维立体模型的离散化处理,在成型精度、方向上用一系列间隔的平面截取 STL 实体数据模型,以提取各层截面的轮廓信息,每个层面包含的二维几何信息组合在一起构成整个实体模型数据. 通过对实体做切片处理,就能够把三维加工问题转换成大量的二维加工问题. 将图 3 所示的三维模型导入到切片软件中,切片软件和切片效果如图 9 所示.

将立体模型按照可调层厚进行切片处理,层厚的大小主要决定了打印精度,层厚越小打印精度越高.

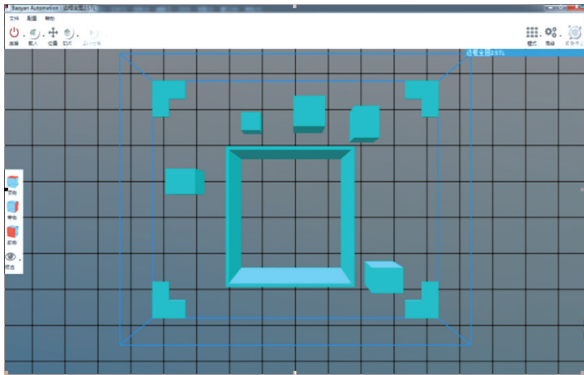
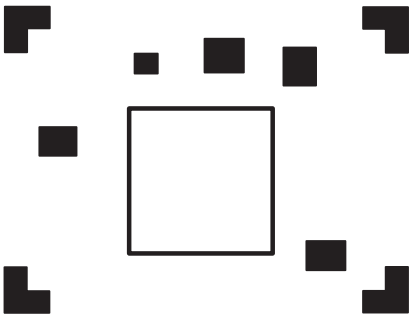


图 9 模型切片
Fig. 9 Model slice



2.2 运动控制软件

运动控制软件是一个功能集成的软件,如图 10 所示. 该软件能够控制机械部分的运动,可实现 X、Y、Z 的单独运动,也可实现 XYZ 的协同运动调试;通过控制输出脉冲对精度做出调制,以提高打印精度;可实现打印参数修改、数据初始化、喷头喷墨控制等功能.

2.3 辅助系统控制软件

针对辅助系统,开发了配套的辅助系统上位机控制软件,用户操作界面如图 11 所示. 辅助系统上位机软件的功能是实现对图 6 辅助控制电路板的操作,完成对气压、温度的实时测量与控制.

该软件部分通过 labview 程序开发环境,采用数据流编程方式,用图标代替文本行创建应用程序的图形化编程 G 语言,可十分方便地完成测试测量方面的上位机软件开发,数据采集迅速、数值控制精准.



图 10 运动控制软件
Fig. 10 Motion control software

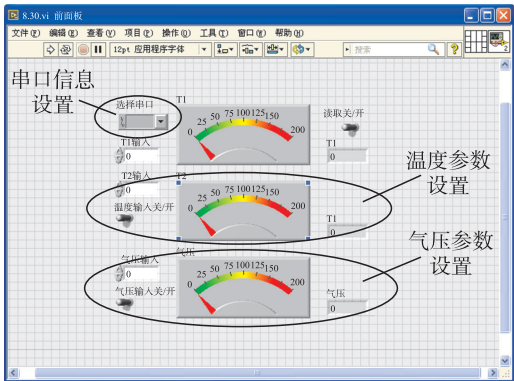


图 11 辅助系统控制软件
Fig. 11 Auxiliary system control software

3 实验分析

3.1 封装材料及打印参数确定

本文选用 Stratasys 公司生产的 PolyJet 系列的 VeroWhitePlus(RGD835) 作为封装材料. 材料的黏度影响着喷头的喷射效果,而材料黏度又跟温度有关,具体的变化经测量如图 12 所示.

为使温度、黏度与本文所使用的 Galaxy JA 256/80 AAA 喷头相适应,经过反复测试,最终确定 75 ℃作为打印温度,此时对应黏度值为 12 mPa·s.

该材料固化后的性能指标如表 2 所示. 该材料采用 UV 光固化灯进行固化,固化快速,固化强度高,形变率低,物理属性良好.

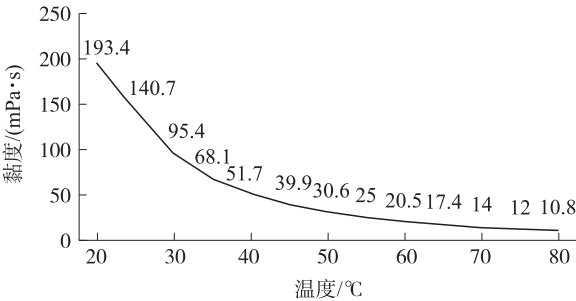


图 12 VeroWhitePlus(RGD835) 材料黏度变化
Fig. 12 The viscosity change of VeroWhitePlus(RGD835) material

表 2 VeroWhitePlus(RGD835) 固化后性能指标
Table 2 VeroWhitePlus(RGD835) cured performance

抗拉强度/MPa	断裂伸长率/%	弹性模量/MPa	抗弯强度/MPa	弯曲模量/MPa	吸水性/%	热变形温度(1.82 MPa)/℃
50~60	10~25	2 000~3 000	75~110	2 200~3 200	1.1~1.5	45~50

3.2 打印测试

电路板封装的工艺流程如图 1 所示,模型每层打印切片图形如图 7 所示. 在电路板封装过程中,存在一定高度、具有较多裸露引脚的电子元件,封装起来存在一定难度,若能有效解决这些器件的封装问题,其他器件模块的封装要求便也能够满足. 本文测试过程中根据不同引脚和高度选取了 6 个具有代表性的元器件进行封装,封装效果如图 13 所示. 封装过程中采用围坝-填充的封装工艺,即封装打印完成后,对打印完成的电路板再进行填充固化.

分析图 13 中 6 个模块的封装效果,测量了封装体积,通过体积变化率观测封装效果的误差范围,测试结果如表 3 所示.

从封装器件的效果对比来看,涂覆全面、速度快、无流挂、元器件引脚能够实现有效包裹、无裸露现象;对器件的封装满足可控性、选择性的要求,未给需防护器件带来多余涂覆封装,模型体积与实际封装体积对比误差控制在 $\pm 2.0\%$ 以内,确保了设备的可靠性与该工艺的可行性,基本满足三维封装电路板的要求.

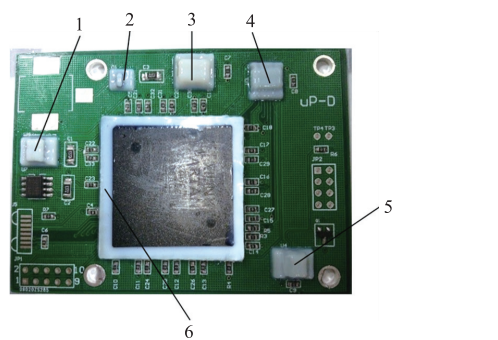


图 13 电路板封装效果图

Fig. 13 Circuit board package renderings

表 3 封装测试结果

Table 3 Package test results

编号	封装器件效果图	类型	封装模型体积/mm ³	实际封装体积/mm ³	体积变化率/%
1	 	8 引脚	144.97	146.79	1.24
2	 	3 引脚	48.98	49.61	1.26
3	 	无引脚	204.22	206.73	1.21
4	 	20 引脚	119.41	117.32	-1.78
5	 	8 引脚	153.46	155.72	1.64
6	 	208 引脚	3 542.68	3 575.04	0.91

4 结语

本文将数字微喷技术与电路板封装相结合,自主设计了三维打印成型系统,初步实现了可控性和选择性封装,节省了封装涂覆材料,能够满足复杂元器件以及多引脚器件的封装要求;采用 UV 树脂做为封装材料,固化时间短、强度高;测试结果验证了所提方法的可行性和测试系统的稳定性. 后续会进行进一步的研究与讨论,优化工艺参数、改善机械结构、优化材料属性等,以期提高封装质量,使快速、精准、自动化封装电路板成为现实.

[参考文献](References)

- [1] 田芳,乔海灵. 三防保护涂覆工艺及设备[J]. 电子工艺技术,2006,27(2):108-110.
TIAN F,QIAO H L. Protection technology and equipment[J]. Electronics process technology,2006,27(2):108-110.(in Chinese)
- [2] 鲜飞,刘江涛,易亚军,等. 电子制造业中的三防涂覆技术[J]. 电子工艺技术,2015,36(5):278-280.
XIAN F,LIU J T,YI Y J,et al. Protection and coating technology of PCBA in electronic assembly field[J]. Electronics process technology,2015,36(5):278-280.(in Chinese)
- [3] 鲍秀森,陈红. 选择性涂覆工艺研究[C]//第五届电子产品防护技术研讨会. 承德:中国电子学会,2006.
BAO X S,CHEN H.The research of selective coating process[C]//The 5th Symposium on Protection of Electronic Products. Chengde:Chinese Institute of Electronic,2006.(in Chinese)
- [4] LI S,CHEN W,LIU F,et al. NN-GA based printing parameters optimization for 3DP[C]//2013 International Symposium on Assembly and Manufacturing. Xi'an:The Institution of Electrical Engineers,2013.
- [5] 肖渊,黄亚超. 气动式微滴喷射过程仿真与尺寸均匀性试验研究[J]. 中国机械工程,2014,25(21):2936-2941.
XIAO Y,HUANG Y C. Simulation of pneumatic driven microdroplet jetting process and experimental study of microdroplet's uniformity[J]. China mechanical engineering,2014,25(21):2936-2941.(in Chinese)
- [6] 尹亚楠. 数字微喷光固化三维打印成型装置设计与试验[D]. 南京:南京师范大学,2015.
YIN Y N. Design and experiment of digital micro injection curing 3D printing device[D]. Nanjing:Nanjing Normal University, 2015.(in Chinese)
- [7] 杨沛林,闫文娥,田芳,等. 选择性涂覆设备[J]. 电子工艺技术,2005,26(5):301-303.
YANG P L,YAN W E,TIAN F,et al. Selective conformal coating equipment[J]. Electronics process technology,2005,26(5): 301-303.(in Chinese)
- [8] LE B C,VINCENT S,ARQUIS E. Impact and solidification of indium droplets on a cold substrate[J]. International journal of thermal science,2005,44(3):219-233.
- [9] 高宇,杨建飞,邱鑫,等. 基于数字微喷的金属粉末三维打印实现方法研究[J]. 南京师范大学学报(工程技术版), 2017,17(3):1-6.
GAO Y,YANG J F,QU X,et al. Research on the realization method of 3D printing system of metal powder based on digital micro injection[J]. Journal of Nanjing normal university(engineering and technology edition),2017,17(3):1-6.(in Chinese)
- [10] 吴任东,魏大忠,周浩颖,等. 三维数字微滴喷射成形技术的发展现状[J]. 新技术新工艺,2004(2):35-38.
WU R D,WEI D Z,ZHOU H Y,et al. The development of 3D digital micro-droplet jetting forming[J]. New technology & new process,2004(2):35-38.(in Chinese)
- [11] 李宗安. 基于数字化液滴微喷射的微流控芯片制备技术及实验研究[D]. 南京:南京理工大学,2015.
LI Z A. Digital droplet micro-jetting prepared microfluidic chip technology and its experimental research[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology,2015.(in Chinese)
- [12] 劳奇成,卢秉恒. 三维打印机喷头的驱动系统[J]. 机械工程师,2003(10):25-27.
LAO Q C,LU B H.The driving system of solid-ink jet printhead in three-dimension printer[J]. Mechanical engineer,2003(10): 25-27.(in Chinese)
- [13] 徐林峰. 均匀液滴喷射微制造技术基础研究[D]. 西安:西北工业大学,2005.
XU L F.Foundational research on uniform droplets spraying micro-fabrication technology[D]. Xi'an:Northwestern Polytechnical University,2005.(in Chinese)

[责任编辑:严海琳]