



压电式喷射点胶控制系统的电路设计*

陈丹儿, 王小萍, 王 申, 梁楚尉, 李益盼, 周如海, 蔡建法, 王凌云
(厦门大学, 福建 厦门 361005)

摘 要: 基于新型压电式点胶头采用的双压电陶瓷的推挽驱动作为胶体喷射的作用机制, 设计并搭建了压电式喷射点胶控制系统, 完成了硬件与软件模块的组装调试, 实现对下压电陶瓷信号的频率、占空比、幅值、上压电陶瓷信号幅值的连续可调, 具备人机交互、清洗、喷射点数可调等功能。经测试, 系统各参数达到预定指标, 频率显示误差: ± 1.2 Hz; 占空比显示误差: $\pm 1\%$; 幅值显示误差: ± 8 mV。在驱动方波电压200 V、频率65 Hz、占空比20%、喷嘴直径250 μm 、供料压力4 bar、喷射高度3.5 mm的条件下, 得到平均直径为1.07 mm左右的喷射胶滴, 一致性误差为 $\pm 2\%$ 。

关键词: 压电式喷射点胶; STC89C52RC; 压电陶瓷

中图分类号: TN402 **文献标识码:** A **文章编号:** 1681-1070 (2013) 07-0020-05

The Circuit Design of Piezoelectric Jetting Dispensing Control System

CHEN Dan'er, WANG Xiaoping, WANG Shen, LIANG Chuwei, LI Yipan, ZHOU Ruhai,

CAI Jianfa, WANG Lingyun

(Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: According to the working principle of newly piezoelectric dispensing head, which using the pushed driving of double piezoelectric ceramic for colloform jetting, we design and establish this piezoelectric jetting dispensing control system. Meanwhile, package the hardware and debug the software, achieve the goal that frequency, duty cycle and amplitude of the lower piezoelectric ceramic signal, amplitude of the upper piezoelectric ceramic signal can be continuously adjusted. The system has the function of man-machine interaction, cleaning, regulating injection points, and so on. After tested, all of the system parameters can meet the presupposed index, with the frequency display error: ± 1.2 Hz, duty cycle display error: $\pm 1\%$, amplitude display error: ± 8 mV. Under the condition that voltage of the driving square-wave 200 V, frequency 65 Hz, duty cycle 20%, diameter of nozzle 250 μm , pressure 4 bar, height of jetting 3.5 mm, we get the jetting drops with an average diameter of 1.07 mm, and its conformity error $\pm 2\%$.

Key words: piezoelectric jetting dispensing; STC89C52RC; piezoelectric ceramic

1 引言

微电子封装领域的表面组装技术(SMT)常用点胶来固定元件, 对元件进行密封等^[1]。随着SMT

的不断变革, 点胶技术从低速的接触式点胶向高效便捷的非接触式点胶演进。因为传统的接触式点胶需要与基板进行接触, 胶滴的质量和一致性对分配空间的依赖性很大^[2-5], 无法满足微电子封装对微型化、高集成度的发展要求。目前, 非接触式点胶即

收稿日期: 2013-01-28

*基金项目: 中央高校基金科研业务费专项资金资助项目 (2010121039)

喷射点胶有机械式和压电式两种。机械式喷射点胶所喷射出的胶点尺寸比压电式大很多, 结构复杂, 且喷射频率比压电式的低。而压电式喷射点胶喷射频率高, 设备结构简单, 可获得直径小至 $10\ \mu\text{m}$ 的胶点, 且压电结构的控制精度高, 可提高喷射点胶品质。

压电式喷射装置分为两种类型。第一类压电式喷射点胶作为热喷墨打印技术的主要竞争对手出现, 主要应用于LED中有机颜料的注入。压电式喷射器应用压电材料的变形, 直接推动流体运动, 流体在内外压力差的作用下加速从喷嘴喷出, 形成液滴。该技术的优点在于可以采用喷射器阵列, 并且以很高的速度喷射材料的小液滴; 但是只能用于喷射黏度小于 $0.03\ \text{Pa}\cdot\text{s}$ 的流体材料, 而且流体中存在的气泡会导致喷射困难。第二类压电式喷射点胶实现喷射的方法是快速的打开和关闭喷嘴, 这类喷射器的典型产品是德国EFD公司Picdot系列点胶阀。开关阀动作由压电致动器控制, 压电致动器与一个杠杆系统或位移放大机构配合使用, 可以实现精确快速的阀门开启和关闭动作。该喷射技术在电子器件封装的紫外固化粘结剂上的应用非常成功, 但此类喷射设备在国内研究甚少^[6,7]。

本文提出一种基于双压电陶瓷的压电式喷射点胶控制系统。创新性地利用电位器来实现信号的频率、占空比和幅值的连续可调; 采用两个单片机辅以与门和模拟开关实现上下压电陶瓷信号通断的协调控制; 规定了专门的通信协议来提高主、副CPU点对点串行通信的准确性。

2 双压电式点胶头的工作原理

压电陶瓷是具有双向作用的介质, 可以实现电力相互转换。双压电式点胶头的工作原理如图1。

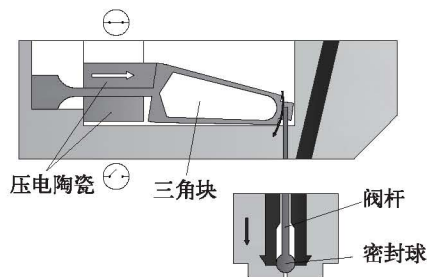


图1 压电式喷射点胶阀

在压电式喷射点胶阀中, 两压电陶瓷叠堆由三角块通过拉紧螺栓进行预紧。当点胶阀通电时, 上方的压电陶瓷叠堆受到恒定电压作用而伸长, 下方压电

陶瓷叠堆受到方波电压信号作用以一定频率伸缩, 此时, 三角块顶点则以相同频率近似做小弧度的摆动, 由此带动阀杆上下运动, 实现点胶阀的开关动作^[8]。

根据上述工作原理, 为方便地进行点胶工艺分析实验, 并保证压电陶瓷不被损坏, 系统需要实现下列功能: 可清洗、输入信号连续可调、限位保护、喷射点数可调、两路压电陶瓷信号协调工作、喷胶过程无需手动参与、喷头自动归位等, 同时达到以下指标:

- (1) 下压电陶瓷: (a) 频率 f : $20\sim 200\ \text{Hz}$; (b) 占空比 D : $15\%\sim 85\%$; (c) 幅值 A_d : $0.5\sim 2\ \text{V}$; (d) 频率显示误差: $\pm 2\ \text{Hz}$; (e) 占空比显示误差: $\pm 1\%$; (f) 幅值显示误差: $\pm 10\ \text{mV}$ 。
- (2) 上压电陶瓷: (a) 信号幅值 A_u : $0.5\sim 2\ \text{V}$; (b) 显示误差: $\pm 10\ \text{mV}$ 。

3 压电式喷射点胶控制系统的设计与实现

3.1 系统整体方案设计

根据需求分析, 系统至少包括主控CPU模块和信号发生模块。系统原理框图如图2。信号发生芯片产生的函数信号经放大、整形后分别发送给上、下压电陶瓷, 控制点胶头的喷射。电位器通过改变输入到信号发生芯片的模拟量, 从而控制电压信号的频率、占空比和幅值。主单片机测量上下压电陶瓷信号的频率、占空比和幅值; 测量值经AD芯片进行转换; 采用液晶显示屏显示上述测量值及预置的喷射点数; 通过串行通信将频率传送给副单片机; 控制电机1的运动使转盘转速与下压电陶瓷信号频率自适应。副单片机连接三个光电开关实现喷头的限位保护、开机自动回归机器原点和触发喷射等功能; 控制电机2的运动使喷头平移速度与下压电陶瓷自适应。

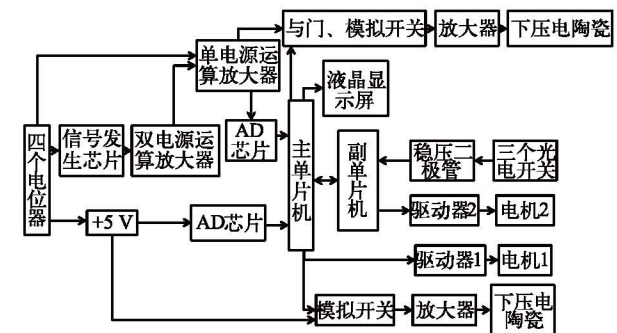


图2 系统原理框图

3.2 系统硬件模块

整个压电式点胶控制系统的硬件部分包括电源模块、单片机控制模块、信号发生模块、液晶显示

模块、AD转换模块、上下压电陶瓷信号的通断控制、光电开关模块、转盘移动模块、压电陶瓷负向电压保护模块和电机运动模块。在满足系统需求的基础上,进行了各个模块的方案论证,最终确定以STC89C52RC和STC12C4052为主控CPU,协调整个系统各个部分,以MAX038作为信号发生芯片,以OPA2134和MC350722作为信号整形的运算放大器,以MAX187作为ADC芯片,使用SN74LVC1G08和ADG701控制上下压电陶瓷信号的通断。下面介绍部分模块的设计。

3.2.1 信号发生模块

信号发生模块产生提供给下压电陶瓷的方波信号,要求频率、占空比、幅值分别连续可调,该部分是压电式点胶头能够喷射的前提。从性能和成本方面考虑,选择单片机集成芯片作为函数信号发生器,能产生多种波形且易于调试。目前,集成化的函数波形发生器多采用ILC8038或者5G8038,但是它们产生的信号的频率和占空比不能单独调节,芯片扩展功能少,调节方式不灵活。系统中产生信号的芯片选用了MAXIN公司的MAX038芯片,它具有功能较全、外围电路简单、频率占空比可单独调节、

使用方便等特点。信号整形选用双电源运算放大器OPA2134和单电源运算放大器MC35072。

信号整形过程:MAX038输出的波形幅值是固定的,峰峰值为4 V,并且上下对称。为了得到信号的频率、占空比和得到系统需要的波谷值为0的信号,首先使用双电源运算放大器做一个电压比较器,从而输出波形峰峰值为5 V、波谷值为0的信号。接着使用电位器和单电源运算放大器使输出波形的峰峰值可调。应用双电源运算放大器的反相器、跟随器和单电源运算放大器的电压比较器和跟随器便实现了输出信号的频率、占空比、幅值的单独连续可调。

3.2.2 单片机控制模块

压电式喷射点胶控制系统中使用了两块单片机,主CPU是STC89C52RC,副CPU是STC12C4052。STC89C52RC最高时钟频率可达80 MHz,Flash程序存储器8 k字节,RAM数据存储器512字节,并且包含2 k字节EEPROM,自带看门狗、ISP和IAP,可以双倍速工作,有2个数据指针,具有3个16位定时/计数器、一个全双工串行通信口和8个中断源。主CPU控制原理图如图3。

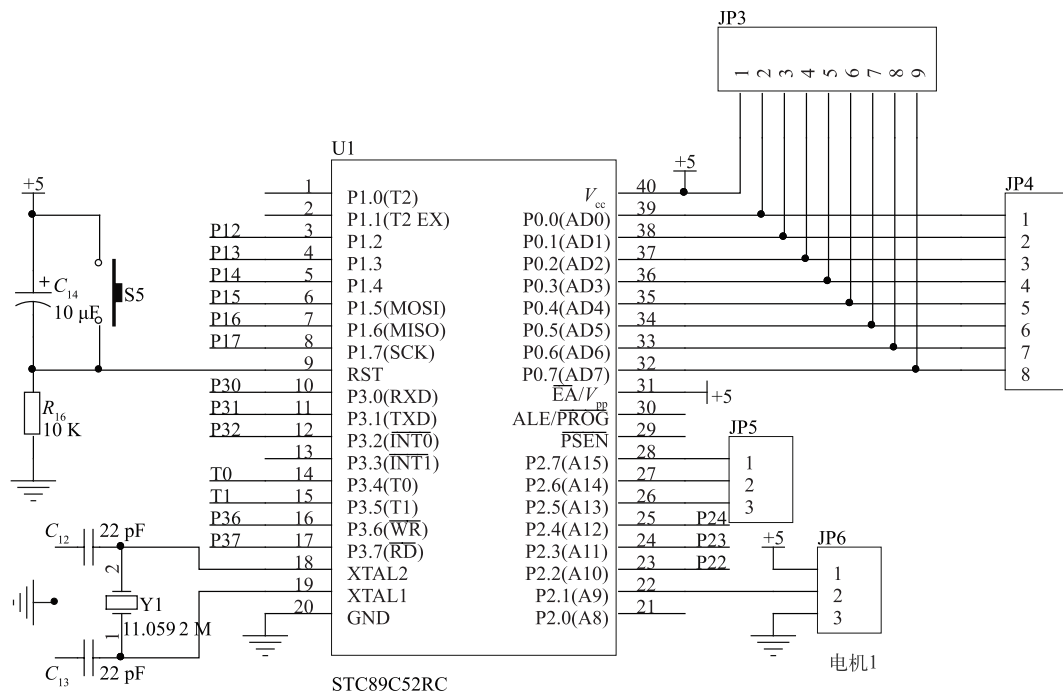


图3 STC89C52RC外围电路

其中,T2用于单片机点对点通信中的波特率发生器,P1.2~P1.4、P1.5~P1.7各与ADC芯片的管脚连接,分别用于测量上、下压电陶瓷电压信号的幅值,P2.1用于控制电机1的转速,P2.3、P2.2分别作为控制上、下压电陶瓷信号的通断信号,P2.4连接至

清洗按钮,P3.0和P3.1用于主、副CPU的串行通信,P3.2连接启停按钮,P3.4用于计算下压电陶瓷电压信号的频率和占空比,P3.5用于喷射点数的计数。

3.2.3 上下压电陶瓷信号的通断控制模块

根据系统的需求分析,上压电陶瓷的信号在清

洗时是低电平, 其他时候是高电平; 下压电陶瓷在喷射时是方波信号, 其余时刻为低电平。为了协调控制上下两个压电陶瓷的信号通断, 以两个单片机为主控芯片, 同时使用与门芯片SN74LVC1G08和模拟开关ADG701。SN74LVC1G08是TI公司的单2输入正与门芯片, 工作电压0~5 V, 最高可达5.5 V, 低功耗, 最大电流为10 μ A。ADG701是AD公司生产的单片CMOS低电压20 Ω SPST开关, 基于先进的亚微米工艺, 1.8~5.5 V单电源工作, 低功耗(典型功耗<0.01 W), 高开关速度(t_{ON} : 16 ns, t_{OFF} : 12 ns), 低电阻(5 V时最大3 Ω , 3 V时最大5 Ω)。

下压电陶瓷通断控制原理图如图4。当与门芯片U8上的A、B管脚均为高电平1时, 其Y管脚输出高电平1至模拟开关U9的IN管脚(控制SPST开关的通断)和与门芯片U10的A管脚, 此时, 信号OUT1可输出到下压电陶瓷, T1管脚可进行计数。若非同时为高电平, 则与门芯片U8的Y管脚输出低电平0, 模拟开关U9输出到下压电陶瓷的是地信号, 门芯片U10输出到T1管脚的也是地信号, 既不进行喷射也不进行计数。

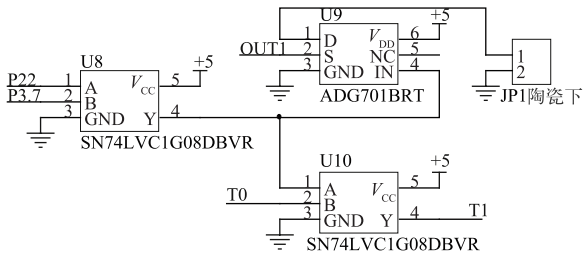


图4 下压电陶瓷信号通断控制原理图

3.3 系统软件设计

压电式喷射点胶控制系统的软件部分为STC89C52RC和STC12C4052两个主控CPU的程序设计。为了使整个系统协调工作, 必须使两个CPU相互配合, 才能保证系统的可靠稳定运行。因此, 两个单片机的串行通信显得尤为重要。

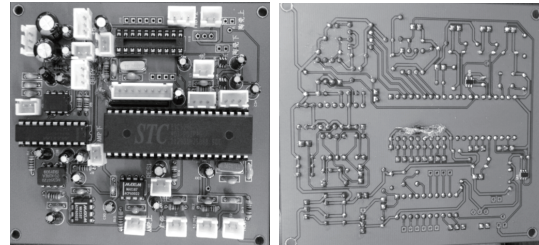
为了分别控制两个电机的运动, 需要两个单片机进行点对点的串行通信, 把主CPU测得的下压电陶瓷信号的频率发送给副CPU。在主CPU中, 使用T2管脚作为串行通信的波特率发生器。为了保证从主CPU发送给副CPU频率值的准确性, 提高系统的可靠性, 制定如下传输协议: 对于同一个数据, 主CPU发送两次, 如果副CPU收到的两次数据相等, 则此次传输有效, 发送一个标志位给主CPU, 主CPU接收到标志位后才会发送下一个数据。

3.4 系统实物图

在各个模块的设计分析基础上, 完成了PCB板

的制作和元器件的焊接, 电路板实物图如图5所示,

(a)、(b)分别为系统主电路板的正面和背面。主CPU和副CPU并列排布在电路板的中间, 周围紧密放置了去耦电容和滤波电容, 提高电路的抗干扰能力。串口和并口(图中白色插槽)基本布置在电路板的边缘或靠近边缘处, 便于接线。



(a) 正面

(b) 背面

图5 压电式喷射点胶控制系统电路板实物图

此外, 完成了点胶机的整体组装, 点胶机样机实物图如图6。喷头装置通过连接块安装在滚珠丝杆上, 由伺服电机来驱动丝杆, 从而控制喷头的左右平动; 为了实现喷头的上下移动, 将点胶喷头安装在螺旋调距仪上, 螺旋调距仪可以实现毫米量级的微调, 整个微调的量为25 mm。点胶喷头的下方有接收液转动圆盘和废液接收槽。圆盘是为了方便收集点胶喷嘴所喷出的液体, 它在旋转的同时还能前后移动, 其旋转速度由另一个置于箱体内的伺服电动机控制, 前后平移则通过改变气缸的进气方向来控制; 当喷胶过程结束后, 圆盘能收回丝杆底下, 这样可以使整个界面显得整洁宽敞。废液槽里放置了一个带把手状的杯子, 接收喷头清洗或换液时的废液, 杯子可随时拿起, 方便清洗。

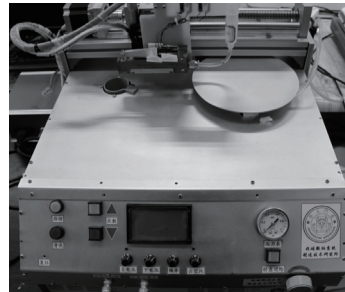


图6 压电式喷射点胶机样机实物图

4 系统指标测试结果与分析

为了测试本系统是否达到预设指标, 分别针对下压电陶瓷信号的频率、占空比、幅值, 上压电陶瓷信号的幅值进行指标测试。由于上述各个参数之间基本互不影响, 所以只需进行单独测试即可, 无

需关联测试。用示波器测量信号的频率和占空比，用六位半数字万用表测量幅值。测试实验均采用控制变量法，因此只选取某一个进行说明。其中下压电陶瓷信号的频率测试实验及分析如下：

在 D 为50%、 A_d 为1.914 V、 A_u 为1.555 V (D 为下压电陶瓷占空比， A_d 为下压电陶瓷信号幅值， A_u 为上压电陶瓷信号幅值)的测试条件下，下压电陶瓷信号频率的显示值和测试值的关系如图7。实验选取7组数据，用线性回归方程进行拟合，得出确定性系数 R^2 为1，说明频率的显示值与测试值之间有极好的线性度，证明设计所用的测量显示频率的方法在系统中是恰当的。系统实现了下压电陶瓷信号频率：14~300 Hz，显示误差： ± 1.2 Hz，达到预设指标。

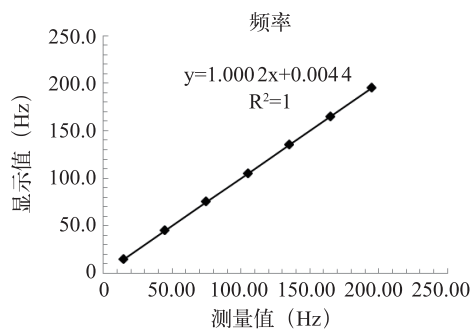


图7 下压电陶瓷信号频率的测量值与显示值关系

经过测试，系统的实际性能为：下压电陶瓷信号的频率14~300 Hz，占空比7%~91%，幅值0.5~3 V。频率、占空比、幅值的显示误差分别为 ± 1.2 Hz、 $\pm 1\%$ 、 ± 8 mV。上压电陶瓷信号幅值0.5~4 V，显示误差 ± 8 mV。对比可得，系统已经达到设计时的各项参数的指标要求。

在系统各个模块的控制作用下，进行了喷射实验，实验条件为：驱动方波电压200 V，频率65 Hz，占空比20%，喷嘴直径250 μm ，供料压力4 bar，喷射高度3.5 mm。在保证压电式喷射点胶头能稳定工作、喷射过程中无拉丝现象和卫星滴出现的情况下，得到的甘油（室温）喷射胶点平均直径为1.07 mm左右，一致性误差为 $\pm 2\%$ ，实验结果如图8。

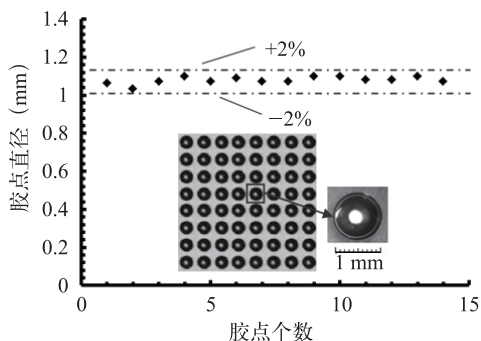


图8 点胶实际效果及分析图

5 结论

压电式点胶技术是在微电子封装和电路板组装中具有良好应用前景的非接触式点胶技术。基于双压电式高精密度点胶头，设计并搭建了压电式点胶控制系统，完成点胶机样机的组装。通过一系列的指标测试实验，得出频率显示误差为 ± 1.2 Hz，占空比显示误差为 $\pm 1\%$ ，幅值显示误差为 ± 8 mV，证明系统运行可靠，精度较高。只要设置好显示屏上的各个参数，系统即可自动运行，操作方便，为研究压电式点胶头的工作特性以及后续的点胶实验提供了良好的平台。

参考文献：

- [1] 鲜飞. SMT设备的II新发展趋势[J]. 印刷电路与信息, 2007, 11: 58-62.
- [2] Russ Peek. Small-volume dispensing [J]. Advanced Packaging, 2001.
- [3] John Sprovieri. Dispensing dots [M]. Assembly, 2002.
- [4] Jeffrey P. Precision Needle Dispensing-Get to the Point [Z]. Fugere, Chip scale review, 2002.
- [5] Patricia Carter-Roberts. Placing Tiny Parts Precisely [M]. Assembly, 2003.
- [6] Li Jianping, Deng Guiling. Technology Development and Basic Theory Study of Fluid Dispensing-a Review[C]. the Sixth IEEE CPMT Conference on High Density Microsystem Design and Packaging and Component Failure Analysis. Washington DC, 2004.
- [7] Babiarz A. Advances in Jetting Small Dots of High Viscosity Fluids for Electronic and Semi-conductor Packaging[J]. Global SMT & Packaging, 2006 (9) : 10-17.
- [8] 杜江, 陶巍. 压电式喷射点胶阀位移放大机构的优化设计[J]. 机电技术, 2011, 4: 78-80, 99.



作者简介：

陈丹儿（1991—），女，本科，主要研究方向为微纳机电系统（MENS/NENS）；

王小萍（1987—），女，硕士研究生，主要研究方向为微机电与微器件；

王凌云（1978—），男，博士，讲师，主要研究方向为微惯性器件的设计、制备工艺和测试以及微纳制造技术。