超声引线键合 PZT 驱动信号采集分析系统

王福亮, 韩 雷, 钟 掘 (中南大学机电工程学院, 长沙 410083)

摘 要:根据超声引线键合实验平台电路结构,设计了 PZT(压电陶瓷)驱动信号采集 电路。在此基础上开发了基于 LabView 和 M atlab的信号采集分析系统。针对 PZT驱动 电压和电流信号特征,提出了瞬时频率、相差和有效值曲线的计算方法,获得了实际键 合试验过程中电流电压瞬时频率及相差变化规律。并根据有效值曲线特征,提出了分 段特征点提取方法。根据大量试验分析了分段特征点的稳定性,这对于键合机理研究 具有重要意义。试验结果表明,系统稳定可靠,能有效采集分析键合过程中的 PZT驱动 信号。

关键词:超声引线键合;压电陶瓷驱动信号;信号采集和分析系统 中图分类号:TN911.6 文献标识码:A 文章编号:0253-360X(2006)01-01-05



王福亮

0序 言

超声引线键合是当前最重要的微电子封装技术 之一。它是指在常温环境下,通过超声振动和劈刀 压力的作用,将引线(金丝或铝丝)焊接(bonding)到 芯片焊盘和基板引脚上,从而将芯片与基板的电路 连接在一起的技术^[1]。其中,超声振动是由 PZT(压 电陶瓷)产生,PZT将超声频率的电压驱动信号转换 为相同频率的机械振动(压电逆效应)。该技术的 研究始于 20世纪 70年代末,虽然已有几十年应用 历史,但其机理却无确定说法,对超声引线键合强度 产生过程并无清晰认识[2~4]。一般认为超声引线键 合过程可分为引线 焊盘接触、氧化层去除、超声软 化、焊接和塑性变形、退火(temping)等几个阶 段^[59]。然而各个阶段的具体划分方法,以及它们 对键合强度的影响规律却也不清楚。在键合试验中 作者发现 PZT 驱动信号是不断变化的,且其过程与 键合强度的形成有一定联系。本质而言,键合过程 即能量消耗过程,采集分析键合过程 PZT驱动信号 变化,即能量输入过程,不仅有助于了解键合的真实 物理过程,而且可直接应用于其它试验参数的时序 确定和键合工艺参数优化调控,对于键合机理研究 具有重要意义。文中介绍了基于 LabView 和 Matlab 的信号采集分析系统。

1 PZT 驱动信号采集分析系统硬件组成

研究在超声引线键合实验台上展开,该实验台 由 U3000粗铝丝超声引线键合机(由深圳微讯自动 化设备有限公司制造)改装而成。其中,换能器系 统是实验台产生和传递超声振动的部分。

1.1 换能器系统的结构

换能器系统是超声引线键合实验台的核心部件 之一,如图 1所示,它由 PZT、变幅杆、劈刀等几部分 组成。其工作原理是,带有锁相环的超声发生电路 产生超声频率(60 kHz±2 kHz)的正弦电信号驱动 PZT; PZT将电信号转换成机械振动(压电逆效应); 振动经变幅杆和劈刀传输、放大后作用在工作界面 上,在键合压力的共同作用下,将穿过劈刀的引线分 别焊接在芯片焊盘和基板引脚上,以连接芯片和基 板的电路,实现引线键合功能。



图 1 引线键合实验台换能器系统结构

收稿日期: 2004-10-25

Fig 1 Transducer system structure of wire bonder experiment platform

基金项目:国家自然科学基金重大资助项目(50390064);国家重点 基础研究发展计划资助项目(2003CB716202)

在键合过程中,引线、劈刀、芯片、基板所组成的 界面工况不断改变。一方面使得系统机械特性(共 振频率、振型等)发生改变。超声发生电路的锁相 环能监测到这种变化,并及时调整电信号的频率,使 之与系统频率一致以产生谐振,提高超声传递效率。 另一方面是系统消耗的功率发生改变,反映在电路 系统上表现 PZT驱动信号的电流和电压改变。因 此,采集并分析 PZT驱动信号的变化在一定程度上 可了解界面工况和系统特性的变化,将有利于键合 机理的研究。

1.2 PZT驱动信号提取方法

原有电路中并无电流或电压传感器,因此需在 超声发生电路和 PZT间接入信号采集电路。其原 理如图 2所示。





其中,由于驱动 PZT的电压信号在峰值时刻可 达 100V(一般约 40 V),而数据采集卡最大输入电 压为 10V,因此电压信号需经分压电路衰减 20倍后 才能输入计算机进行采集。电流信号通过 9Ω的采 样电阻获得,因此测量值是实际值的 9倍。

1.3 PZT驱动信号采集分析系统原理

PZT驱动信号采集分析系统的原理如图 3所 示。系统采用 National Instruments公司的 PCI 6111 数据采集卡(该系列卡是高精度、多功能的同步多 功能数据采集卡,具有两路精度为 12位的同步模拟 量输入通道,它支持模拟输入、模拟输出、数字信号 IO、实时 IO 等多种功能,最高采样速率可达 5M Sa /s)完成对 PZT 驱动信号的电压、电流和频率 参数的采集。其中,频率参数可通过处理电压、电流 信号获得。





2 PZT驱动信号采集分析系统软件构架

21 采集系统软件

采集系统软件总体设计思路如图 4所示。软件 由 LabV iew 编写,分为前面板窗口和后流程窗口。 前面板窗口包括设置采集卡的各种参数、显示采集 数据、响应用户操作等;后流程窗口是对前面板窗口 功能的图形化语言的解释,除了实现前面板显示的 功能,还包括保存数据、处理意外错误等。前面板窗 口和后流程窗口共同组成整个采集系统的软件平 台。



图 4 采集系统软件总体设计 Fig 4 Collectivity design of acquisition system

采集系统使用中间触发方式,触发前预采 5000 个采样点,电压信号采集通道作为触发通道,触发电 平为 0.5 V,上升沿触发;采样频率为 1.2MHz采样 长度为 140000个采样点,大约相当 116 7ms(键合 过程大约 100ms)。

在试验过程中,超声启动后 PZT 驱动电压将超 过 0 5 V 并触发采集程序,直到采集点数目超过设 定值为止,从而将键合全过程 PZT 驱动信号记录下 来。采集完成后,数据以文本形式顺序分列存储在 指定文件中,以备进一步分析。

图 5是用 LabV iew 编写程序所获得的典型键合 过程 PZT 驱动信号电流和电压曲线。该曲线由 140 000个采样点绘出,展开后每个超声周期有 20 个采样点,足以详细了解键合过程的每一个细节。

2 2 分析系统软件

上述采集软件获得了大量 PZT驱动信号数据,



图 5 典型 PZT驱动信号 Fg 5 TypicalPZT driversignal

M atlab 对于大量数据的处理效率非常高,因此,分析 系统软件用 M atlab语言编写。主要完成两部分工 作,计算电流和电压的瞬时频率和相差,计算电流和 电压的有效值以及提取其有效值特征点,分析有效 值特征点的稳定性。后者对于进一步的键合过程各 阶段划分及各阶段对键合强度形成过程的影响研究 是非常有意义的。

瞬时频率的计算原理如图 6所示。电压和电流 信号均为交流信号,其特征是每周期有两个零点,由 于每个采样点时间 Δt 已知 (1/L 2 e 6 s),因此,确 定零点的位置及其间距 Δs 由 $\Delta f = 1 |\Delta s \Delta t$ 就可计 算瞬时频率。



图 6 瞬时频率的计算原理 Fig 6 Theory of instant frequency calculation

设通过数据采集卡获得的 PZT 驱动电流和电压信号的离散数字序列为

$$\begin{cases} U = \{u(k)\} \\ I = \{i(k)\} \end{cases}$$

式中: k=1,2,3 …140 000

以电压信号为例,瞬时频率的计算过程如下。 (1)计算零点位置 若 $\begin{cases} u(m) \times u(m+1) > 0\\ u(m-1) \times u(m) \leq 0 \end{cases}$ 则 u(m)为零点。 可得零点位置序列为 $U0 = \{u0(n) \mid n = 1, 2, 3, \cdots\}$ 。 (2) 计算周期间距序列 $\Delta Su = \{su(l)\} = \{u0(n+2) - u0(n)\}$ 。 (3) 计算瞬时频率序列

$$\Delta F u = \{ f_u(l) \} = \{ \frac{1}{su(l)\Delta_t} \}.$$

同理可得到电流信号的周期间距序列 $\Delta S i$ 和瞬时频率序列 $\Delta F i$ 相差 $\Delta \theta$ 的计算为

 $\Delta \theta = \frac{2\pi \left[\mathfrak{su}(l) - \mathfrak{si}(l) \right]}{\mathfrak{su}(l)},$

只考虑键合阶段(0~100 ms阶段),由上述计 算方法,对图 5所示的信号,可得电流、电压信号瞬 时频率和相差曲线如图 7所示。由图可知,在键合 开始阶段(约 0~0 332 5 ms),电压信号频率很快上 升到 60 kH z(设定工作频率),而电流信号则迅速下 降到 60 kH z 此后,信号的频率在 60 kH z 或 63 158 kH z间变化,直到键合结束。与此对应,它 们间的相差在键合开始的时候由零迅速上升到 0 235 md然后逐渐下降,最后趋于零。





Fig 7 Instant frequency of voltage and current signal and their phase difference

这表明系统在键合过程中并不处于谐振状态 (系统谐振的特征是系统阻抗为纯电阻,电流、电压 相差为零)。键合开始后系统处于 '非谐振状态 ; 随着键合进行,系统趋于 '谐振状态;直到键合结 束,系统达到 '谐振状态 '。这种由 '非谐振状态 ' 向 '谐振状态 '过渡的过程,与键合强度的形成是否 有联系,尚待进一步研究。

电流和电压均为交流信号,为便于分析,首先要 计算其有效值序列,即

$$U(m) = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{k=m-n}^{m+n} u^{2}(k)},$$
$$I(m) = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{k=m-n}^{m+n} i^{2}(k)},$$

式中: $m = 2cn(c = 1, 2, 3, \dots 14\,000\,2n)$,这里取 n = 100 对图 5所示信号,可得有效值曲线如图 8所示。



图 8 电压、电流信号的有效值曲线 Fig 8 Virtual value curve of voltage and current signal

为研究键合过程不同阶段对键合强度的影响, 可按图 8 所示方法用 5 个分段特征点 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 、 P_5 将有效值曲线分为 6段。它们分别对应键合 过程的不同阶段。由于电流和电压信号是同步采集 的,因此曲线特征点位置也是对应的,只需确定任意 曲线上相应特征点即可。经观测, P_1 、 P_2 和 P_5 易由 电压有效值曲线获得; 而 P_3 和 P_4 易由电流有效值 曲线获得,其方法分别为

P1 点位置 Posl: 在 0m s时刻附近, 且若

$$[U(m+1) - U(m)] > 10 \text{ M Pos1} = m.$$

P2点位置 Pos2 确定 Pos1后,若

 $U(m) = \max[U(pos1 - 10), U(pos1 + 10)],$ $\mathbb{N} Pos2 = m_{\circ}$

P5 点位置 Pos5 在 100m s时刻附近, 且若

 $[U(m+1) - U(m)] < -5 \text{ M} Pos5 = m_{\circ}$

而 P_3 和 P_4 由电流有效值曲线获得更方便,其 方法为 P3点位置 Pos3:确定 Pos2后,若

I(m)=max[*I(pos*2+50), *I(pos*2+150)], 则 *Pos*3=m. *P*₄点位置 Pos4.确定 Pos3后,若

I(*m*) =min[*I*(*Pos*3+40), *I*(*Pos*3+100)],则*Pos*4⇒*m*。 按上述方法对 1 000次(50次 1组,每组驱动电 压不同)键合试验中所获得的 PZT驱动信号进行分 析,可确定分段特征点位置的稳定性如图 9所示。





由图可知, *P*₁、*P*₂ 和 *P*₅ 的位置相对是比较稳 定, 分布的时间范围较小; 而 *P*₃ 和 *P*₄ 的位置却不 [下转第 8页] 时,接头原子扩散充分,在钢侧形成了相对脆硬的 (Fe Ni)+(Cu Ni)层,拉伸时首先容易在此形成裂 纹源,然后在这个部位发生断裂。

3 结 论

(1) 采用 Ag45CuZn钎料可以实现 TC 金属陶 瓷与中碳钢的真空钎焊连接,接头界面形成了四个 反应层,整个接头的界面结构为 TC 金属陶瓷 / (Cu N i)固溶体 Ag基固溶体 +Cu基固溶体 (Cu N i)固溶体 (Cu N i) +(Fe N i) 中碳钢。

(2)在所选择的工艺参数范围内,室温抗剪强 度随连接温度的升高和连接时间的延长都是先升高 后降低,在连接温度为 850℃、连接时间为 10m in时 得到最大值,为 121 M Pa.

参考文献:

- [1] 吴爱萍 任家烈.复合陶瓷挺柱钎焊连接的研究[A].第八次全国焊接会议论文集[C].北京:机械工业出版社.1997. 346-348.
- [2] 刘会杰 冯吉才.陶瓷与金属的连接方法与应用[J].焊接, 1999 (6):5-9
- [3] Matsuo Y, Ito M, Tanignch M. Ceramicm et al joining for automobiles [J]. Industrial Ceramics 1999 19(3): 203-207.
- [上接第 4页]

很稳定,分布的时间范围较大。这种稳定或不稳定 的特性与键合强度之间的联系尚待进一步的研究。

3 结 论

(1) 基于 LabV iew 的采集系统具有高达 5M Sa /s的采样速率,可获得键合过程中 PZT驱动 信号的微小变化和细节,有助于深刻全面了解键合 过程。

(2) 基于 M atlab 的分析系统具有强大的计算 能力,可方便获得实时曲线的瞬时频率、相差信息及 有效值曲线特征点信息。

参考文献.

 Chiu S \$ Chan H LW, OrSW, et al Effectof electrod e pattem on the outputs of piezosensors forwire bonding process contro [J]. Materials Science and Engineering 2003 B99(12): 121-126.

- [4] Durov A V, Kostjuk B D, Shevchenko A V, etal Joining of zir conia to metal with Cu-Ga Ti and Cu Sn Pb Ti fillers[J]. Mate rials Science and Engineering 2000 290A (1-2): 186-189
- [5] Lugscheider F. Tillmann W. Methods for brazing ceramic and metal ceramic joints[J]. Materials and Manufacturing Processes 1993 8(2): 219 – 238
- [6] Buck by I.A. Development of a brazed ceramic faced steel tappet
 [J]. The TW I Journal 1995, 4(2): 260 308
- [7] Peteves S D. Joining nitride ceramics [J]. Ceramics Internation al 1996 22(6): 527 - 533
- [8] 张春雷,施克仁,郭义.压力钎焊改善Si3N4 40Cr钢接头强度的试验研究[J].中国有色金属学报,1999 9(2);283-289.
- [9] Kliauga A M, Travessa D, Ferrante M. Al₂O₃ /Ti interlayer A H SI 304 diffusion bonded joint microstructural characterization of the two interfaces [J]. Materials Characterization 2001 46 (1): 65-74.
- [10] Travessa D Ferrante M, Den O G. Diffusion bonding of a km in ium oxide to stainless steelusing stress relief interkyers[J]. M a terials Science and Engineering 2002 337A (1-2): 287 – 296.
- [11] Siores E. Rego D. D. M icrow ave applications in materials joining
 [J]. Journal of Materials Processing Technology 1995, 48(1 4): 619 625.

作者简介: 冯吉才, 男, 1958年 10月出生, 教授, 博士生导师。主要从事陶瓷、金属间化合物、异种材料的钎焊及扩散连接研究工作, 发表论文 150余篇。

Email fengje@hit edu en

- [2] Lopez G. Chai I. Shaikh A. et al. W ire bonding characteristics of gold conductors for low temperature co-fired ceram ic applications
 [J]. M icroelectron ics Reliability 2004, 44(3): 287 294
- [3] Camass A. Jaeck lin V. P. Analytical methods to characterize the interconnection quality of gold ballbonds[A]. In proc. 2nd euro conf. e. lect. packag. technol. eupac. 96 [C]. Orlando USA 1996, 135 - 139.
- [4] Weiner J A. Clatterbaugh G V, Charles H K Jr et al. Gold ball bond shear strength effects of cleaning metallization and bonding parameters[A]. In proc. 33rd electronis component conference [C]. ECC 83 1983 208 - 220
- [5] OrSW, Chan H LW, LoVG etal Ultrasonic wire bond quality monitoring using piezoelectric sensor[J]. Sensors and Actua tors 1998 A65(8): 69-75.
- [6] Rodwell R, Worrall D A. Quality control in ultrasonic wire bonding
 [J]. Hybrid Circuits 1985 11(7): 67-72

作者简介: 王福亮, 男, 1979年出生, 博士研究生。主要研究方向为微电子封装技术与装备,发表论文 8篇。

Email wangfuliang@mail csu.edu.cn

MAN TOPICS, ABSTRACTS & KEY WORDS

A PZT driver signal acquisition and analysis system for ultrasonic wire bonding WANG Fu liang HAN Lei ZHONG Jue(College of Mechanical and Electronical Engineering Central South University Changsha 410083 China). p1 – 4

Abstract According to the circuit of ultrasonic wire bonding experiment platform a piezoelectric transducer (PZT) driver signal acquisition circuit was designed. Then a signal acquisition and analysis system was designed with LabV iew and M atlab. From the characteristics of the PZT voltage and current driver signals the methods were introduced in this system to calculate instant frequency virtual value curve and phase difference between them. Therefore, some rules of the instant frequency and phase difference during the bonding process were obtained. And extracting method of the characteristic points (for curve division) was also introduced based on the virtual value curve characteristics. With the driver signals of 1 000 experiments, the position stability of characteristic points was analyzed, which was very in portant for bonding mechanism research. The experiment results showed that the system is stable and reliable and it can be used to acquire and analyze the PZT driver signal effectively.

Keywords ultrasonic wire bonding PZT driver signa; signal acquisition and analysis system

Interface structure and bonding streng th of brazed joint of T iC cer met/steel FENG Jicai JNG X iang meng ZHANG Lixia LIU Hong (National Key Laboratory of Advanced Welding Production Technology Habin Institute of Technology Harbin 150001, China). p5 – 8

Abstract The vacuum brazing of TiC cernet (synthesized by SHS) to medium carbon steel was carried out with BAg45CuZn brazing fillermetal and the interface structure and shear strength of the joints were also investigated by means of SEM. EPMA and XRD. The experimental results showed that the bonding of TC cernet to medium steel can be performed with BAg45CuZn fillermetal. The interface structure of the joint is TiC cernet /(CuNi) /Ag(ss)+Cu(ss) /(CuNi) /(CuNi) + (FsNi) /medium carbon steel. The maximum shear strength of the joint brazed at 850 °C for 10 m in is up to 121 MPa at room temperature.

Keywords TiC cernet steel vacuum brazing interface structure bonding strength

Comparison of GTAW temperature field of stainless steel simulated by different software packages XU Yan li WEI Yan hong DONG Zhi bo ZHANG Yur lin (State Key Laboratory of A dvanced Weld ing Production Technology Harbin Institute of Technology Harbin 150001, China). p9 – 12, 16 Abstract Two kinds of software packages were introduced and compared about their functions and characteristics The simulated results of the temperature field of stainless steel SUS310 in GTAW process showed that pre-data treatment and post-data treatment of MARC aremore powerful than those of PHOEN ICS so it is easy for users to input the boundary conditions and get the results in MARC. But in PHOEN ICS the interfaces to the other software packages are provided for the post-data treatment and the results can be operated easily in this way. There is some difference between the results sinulated by two software packages as the solvers are not the same. In MARC, there are several integral points used to solve the results in every grid, while in PHOEN ICS the staggered grid technique is used. Simulated results of the two software packages show that the highest temperature calculated with MARC is 600 $^{\circ}$ higher than that with PHOEN ICS.

Keywords temperature field, GTAW; MARC; PHOENICS

Coaxial monitoring and penetration control in CO_2 laser welding (3) Relationship between optical signal and penetration statuses for oblique plate welding ZHANG Xu dong CHEN Wu zhu LIU Chun GUO Jing(Department of Mechanical Engineering Tsinghua Uni versity Beijing 100084 China). pl3 – 16

Abstract U sing a coaxialm on itoring system for detecting the optical emission in CO_2 laser beam welding the time field and frequency field characteristics of the coaxial optical signals under different penetration statuses for welding of oblique plates were studied in this paper. The experimental results showed that under constant laser power and welding speed the signal intensity varied with varying thickness and the signal intensity was maximum at the "moderate full penetration". In frequency field, the barycenter of frequency spectrum (FBC) of 2 - 6 kHz range was minimum at the "moderate full penetration".

Keywords kær wekling coaxialmonitoring penetration, oblique plate

Engineering criticalassessmentused for welded pipeline based on BS 7910 DENG Cai yan¹, ZHANG Yu feng¹, HUO Lixing¹, BA I Bing ren², LIXiaowe², CAO Jun² (1 School of Material Science and Engineering Tianjin University Tianjin 300072 China 2 Offshore Oil Engineering Co LTD Tianjin 300452 China). p17 – 20 25

Abstract British standard 7910 was applied to engineering critical assessment forwelded joints of the APISLX56 pipeline steelwith surface flaw at the weld toe. The failure assessment diagrams were derived from the tensile test results. In accordance with the BS 7448 Part4 frac