

功率型压电陶瓷振子的研制及应用

陈锡源 张顺富 欧阳波 陈孔丹

(汕头超声电子(集团)超声换能器厂 汕头 515041)

摘要: 介绍了功率型压电陶瓷振子的研制过程。采用二次水磨加黏合剂造粒方法, 并使用超细 ZrO_2 , 使烧结温度降低, 从而减少 PbO 的挥发。作者对铈锆钛酸铅系统做了大量的配方筛选工作, 确定了性能满足使用要求的配方 ($Pb_{1-a}Sr_a(Li_{1/4}Nb_{3/4})_{0.12}Zr_{0.46}Ti_{0.42}O_3$)。叙述了功率型压电陶瓷振子在超声清洗、超声焊接、超声钻孔等方面的应用。

关键词: 压电陶瓷振子 铈锆钛酸铅陶瓷 超声换能器 超声仪器

分类号: TN 712.5

1 引言

随着超声技术的发展和功率型超声仪器设备应用的深化, 对功率型超声仪器设备的要求也越来越高。功率型超声仪器设备性能的高低很大程度取决于功率型压电陶瓷振子品质的好坏, 其故障主要是核心部件——功率型压电陶瓷振子的损坏, 如: 振子破碎, 性能衰减快, 漏电流大等。因此, 振子的性能直接影响功率型超声仪器设备性能及其推广应用, 故作者着力这方面的研究工作。

2 功率型压电陶瓷振子的研制

功率型压电陶瓷振子既要有较强的压电效应和较好的场强特性, 又要承受大的功率极限和机械应变极限, 即: 既要有优越的材料性能, 如机电耦合系数 k (k_t, k_p, k_{33}) 大, 压电系数 d_{33} 大, 机械品质因数 Q_m 大, 介质损耗 $tg\delta$ 小, 又要振子的使用寿命长, 性能稳定, 机械强度高^[1]。前者主要在于材料配方的合理设计, 后者主要依靠相应的工艺手段保证。

2.1 材料配方试验

本工作所研究的材料配方的基本组成为 $Pb_{1-a}Sr_a(Li_{1/4}Nb_{3/4})_{x}Zr_yTi_zO_3$, 为了获得满足上述要求的材料配方, 在该系统中, 改变 x, y, z 配比, 进行基方试验, 选择在保证高 Q_m 和低 $tg\delta$ 的同时, d_{33}, k 和 ϵ_3^T/ϵ_0 也较高的基础配方, 即 $Pb_{1-a}Sr_a(Li_{1/4}Nb_{3/4})_{0.12}Zr_{0.46}Ti_{0.42}O_3$ 。为了进一步改善压电材料的压电性能, 在所选定的基方中, 掺入适量的 Sr^{2+} 取代 Pb^{2+} , 提高 ϵ_3^T/ϵ_0 和 k_p, Q_m 。在本工作中 Sr^{2+} 的最佳取代量 x 为 3%。另外, 还适量添加 MnO_2 和 La_2O_3 来进行改性。添加 MnO_2 的作用是为进一步提高 Q_m 和降低 $tg\delta$, 但同时 ϵ_3^T/ϵ_0 和 k_p 也受到损害, 特别是矫顽电场提高, 体电阻率下降, 不利于极化。为此, 又添加 La_2O_3 来提高体电阻率, 降低矫顽电场, 改善材料的老化性能^[1]。经过大量的配方的优选试验和多次的反复验证, 最终获得了性能满足要求的材料配方, 即 $Pb_{0.97}Sr_{0.03}(Li_{1/4}Nb_{3/4})_{0.12}Zr_{0.46}Ti_{0.42}O_3$, 外加质量比为 1.5% MnO_2 和 2% La_2O_3 , 其性能达到日本富士公司 90 年代产品的水平^[2], 如表 1 所示。

表 1 本厂产品和日本富士公司产品性能对比

厂家	$k_p/\%$	$k_{33}/\%$	ϵ_3^T/ϵ_0	$\frac{\rho}{g \cdot cm^{-3}}$	$\frac{d_{33}}{C \cdot N^{-1}}$	$tg\delta/10^{-2}$	Q_m
汕头超声	59	71	1 650	7.78×10^6	$> 360 \times 10^{-12}$	0.38	$1\ 100 \pm 200$
日本富士	60	—	1 620	—	330×10^{-12}	0.22	900 ± 200

2.2 工艺试验

功率型压电陶瓷振子的工艺流程: 配料 混料 预合成 造粒 成型 烧成 几何尺寸加工 上电极 极化 测试。

高品质的功率型压电陶瓷振子, 优良的压电材料配方是基础, 合理的生产工艺是保证。功率型振子是大尺寸的产品, 工

艺尤显重要, 其中关键在于造粒、成型和烧成。

2.2.1 造粒和成型

功率型振子是大尺寸产品, 在生产时, 采用干压成型方式。大片成型模具的模腔大, 所填充的粉料多, 为得到致密度均匀的成型坯体, 要求粉料的流动性好, 颗粒细小, 料配合理。我们采用两种不同的造粒方法试验造粒对成型坯体密度、瓷体密

收稿日期: 1998-04-22 修回日期: 1998-06-26

电子元件与材料 1998 年 10 月

度以及极化效果的影响。其结果见表 2~ 表 5。

表 2 球磨造粒和搅拌造粒的粉料粒径及分布

造粒方式	20 目	30 目	45 目	75 目	100 目
球磨造粒	100%	100%	100%	15%	0
搅拌造粒	100%	80%	20%	10%	5%

表 3 造粒方式对成型坯体的影响

造粒方式	成型压力 $p/M\text{Pa}$	坯体密度 $\rho/g \cdot \text{cm}^{-3}$
搅拌造粒	6.5×10^2	4.1×10^6
球磨造粒	$(3.9 \sim 5.2) \times 10^2$	4.7×10^6

表 4 不同造粒方式瓷体的密度

搅拌造粒瓷体密度 ρ $g \cdot \text{cm}^{-3}$	$(7.4 \sim 7.6) \times 10^6$
球磨造粒瓷体密度 ρ $g \cdot \text{cm}^{-3}$	$(7.6 \sim 7.8) \times 10^6$

表 5 清洗器用 $\phi 40\text{mm} \times 5\text{mm}$ 振子的极化情况

造粒方式	承受的极限极化电压 U/kV	$d_{33}/C \cdot N^{-1}$	合格率 %
搅拌造粒	12	280×10^{-12}	40
球磨造粒	18	340×10^{-12}	95

采用球磨造粒方法, 所得到的坯料的颗粒粒径小、粗细搭配合理, 大小颗粒的质量比满足所要求的 $6:1$ ^[3], 粉料的流动性也好, 在模腔中紧密堆集, 堆集气孔少^[3]。因此, 成型出来的坯体密度大, 内部缺陷少, 能承受的极限极化电压高, 极化效果好。

2.2.2 烧成

前面述及, 功率型压电陶瓷振子是大尺寸的烧结体, 比小而薄的压电陶瓷体的终温保温时间长, 内部温度梯度大, 高温 PbO 的挥发更为严重, 内外难于均匀烧结, 所以功率型振子生产的关键, 是如何解决高温铅的挥发的内外均匀烧结问题。为了尽可能减少 PbO 的挥发, 除采用传统的密封加 $PbZrO_3$ 陶瓷片作为“气氛片”和在配料中加入过量的 PbO 的措施外, 更为有效的措施是能够降低烧结温度^[1]。在配料中所用 ZrO_2 , 用超细 ZrO_2 替代普通 ZrO_2 , 能使预合成温度从 970 降至 930, 烧结温度从 1280 降至 1250, 并使振子的性能有所改善。见表 6。

表 6 超细氧化锆对性能的影响

ZrO_2	$k_p/\%$	$\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$	$tg\delta/10^{-2}$	$\rho/g \cdot \text{cm}^{-3}$
普通 ZrO_2	54	1500	0.6	7.6×10^6
超细 ZrO_2	56	1650	0.4	$(7.7 \sim 7.8) \times 10^6$

另外, 通过在 1050 和 1160 各保温 30min 的方法, 使

之在升至终温之前, 尽可能减少大尺寸烧结体的内部温度梯度, 保证瓷体的内外均匀烧结。

合理的配方设计, 针对性的工艺手段的采用, 使研制成功的功率型压电陶瓷振子, 在保证高 Q_m 和低 $tg\delta$ 的同时, 大幅度提高了 d_{33} 、 k 和 $\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$ 等; 其综合性能好, 能满足大的承受功率极限, 可以获得高的转换效率和大的声发射功率的条件; 性能指标处于国内领先水平, 达到国外同类产品 90 年代的水平。并于 1996 年 8 月通过了广东省科委组织的技术鉴定, 获得 1997 年汕头市科学技术进步二等奖。

3 功率型压电陶瓷振子的应用

功率型压电陶瓷振子应用于功率型超声仪器设备。其设备主要由超声波发生器和用压电陶瓷振子装配而成的换能器两大部分组成。超声波发生器提供一定频率和功率的电讯号, 驱动换能器工作。应用场合不同, 换能器的结构不一样, 工作机理也不同。下面举例说明。

3.1 超声清洗

超声清洗的机理是利用超声波在清洗液中传播时, 会产生空化、辐射压、声流等物理效应, 对清洗件上的污物有机械剥落作用, 同时能促进清洗液与污物发生化学反应, 达到清洗物件的目的^[4]。影响超声清洗效果的因素有声学参数、热力学参数和化学参数。声学参数的选择要视被清洗对象而定。一般情况, 普遍采用的频率范围是 20~40 kHz, 功率选择要适中, 低频适用于大部件且结构简单的物件清洗, 高频适用于小件且结构复杂的物件清洗。

超声换能器通常置于清洗槽的底部, 也有的直接浸入清洗液中。超声清洗能提高清洗速度、清洗质量, 降低劳动强度, 在电子、汽车、橡胶、印刷、飞机、食品、医院和医学研究等行业得到了越来越广泛的应用。

3.2 超声焊接

超声焊接有超声金属焊接和超声塑料焊接两大类。其中超声塑料焊接技术已获得较为普遍的应用。超声塑料焊接是利用换能器产生的超声振动, 通过上焊件把超声振动能量传送到焊区。由于焊区即两焊件交界处声阻大, 所以会产生局部高温使塑料熔化, 在接触压力的作用下完成焊接工作^[4]。超声换能器中功率型振子的大小及变幅杆(即工具头)的结构随着焊件、焊点、焊面的不同而异。

超声塑料焊接可以方便地焊接用其他焊接方法无法焊接的部位, 除此之外, 还有经济、快速和可靠等优点, 节约了塑料制品高昂的模具费, 缩短了加工时间, 提高了生产效率。因此, 超声焊接技术越来越被人们普遍接受和推广应用。

3.3 超声钻孔

超声钻孔装置主要由超声波发生器、换能振动系统、磨料供给系统、加压系统和工作台等部分组成。超声波发生器驱动换能器产生超声振动, 这种超声振动传输给工具头作纵向振动, 使待钻孔工作表面的磨料以相当大的冲击力连续冲击, 使钻孔部位破碎和去除而起起到钻孔作用^[4]。在超声钻孔中, 工具

(下转第 16 页)

生产等优点, 不仅整机小型化和电装工艺需要, 信息时代电子设备更需要。

(3) 抑制 EM I/RFI

为抑制 EM I/RFI 现已有如下措施: 采用高损耗材料吸收噪声的片式阻抗元件和滤波器, 在带状电缆和信号电缆上加电磁干扰抑制体系, 在印制电路板之间及机内或混合集成电路表面加电磁干扰抑制体系, 采用抗电磁干扰的自适应窄带表面滤波器。

(4) 低功耗、低损耗

这涉及许多材料和元器件的选择, 如采用高频低损耗材料的片式电源变压器、高 Q 值电感器件、石英晶体器件、高 Q 值漆包线等。

(5) 高精度、高稳定性和高可靠性

为便于统调, 对阻容元件的阻容值误差和温度系数都有更高的要求, 现有超精密激光微调电阻器, 用于频率调整的激光微调电容器, 结构稳定、精度高的 $^{\circ}5$ 和超 $^{\circ}5$ 计算机电缆, 高密度连接器, 高精度步进电机, 高精度敏感元件等。

(6) 功能化、组件化、模块化、智能化

一方面是随着集成电路集成度的提高, 一些纯匹配性的阻容元件已固化在集成电路内, 另一方面功能型元器件的作用越来越重要, 实际上许多抗 EM I/RFI 器件和各种网络都做成了组件。同时随着智能技术的发展, 具有自检自调的智能化模块和传感器发展得会更快。为了提高整机的可靠性和处理速率, 简化统调, 也需将一些功能部分分割开来, 变成模块, MCM 的发展也异常迅速。

2.2 值得关注的产品

各类模/数、数/模转换器件; 用于数字高速数据传输领域的各种终端和抗 EM I/RFI 的应用元器件, 如薄膜电阻-电容网络, 包括组合滤波器、组合终端负载; 小型化、薄型化固体继电器(包括利用光电导通 MOS 的半导体开关); 光无源元件, 波分复用器件; 功能型电子元件, 包括叠层陶瓷片状电容器、平滑电容器、多联电容器、中高压电容器以及双电层电容器; 各种表面波器件和压电陀螺; 宽带微波器件。

(编辑: 高卫宁)

(上接第 12 页)

头加工面的形状、接触压力、位移振幅、磨料硬度及磨料悬浮液的浓度等均影响钻孔速度。超声钻孔主要应用于宝石、玉器、大理石、玛瑙、硬质合金等硬脆物件的加工以及异形孔和细深孔的加工。

除上所述, 超声技术通过功率型压电陶瓷振子的应用还有许多, 如超声处理中的凝聚、乳化、雾化、粉碎、除气、疲劳试验等。还有应用于医学、生物学中的体外振波碎石技术、超声洁牙机、超声外科手术刀、超声加热治癌、治疗脑血管意外偏瘫, 同时通过超声的特性应用于医药制造业。最近应用于农业促进作物种子发芽生长和增产操作, 在工业中开发超声电动机的新技术等等。这些都是功率超声技术的应用, 而该技术其主要部件离不开功率型压电陶瓷振子所组成的换能器。因此, 功率型超声振子研制成功和水平提高, 无疑使功率超声技术的应用有更为广阔的前景。

4 小结与讨论

(1) 研制成功的功率型压电陶瓷振子在国内首次采用铌锆钽酸铅功率型压电新材料, 并采用二次水磨加黏合剂造粒新工艺、超细 ZrO_2 、分段控温烧成等新技术, 提高了振子的压电性。

(2) 功率型压电陶瓷振子配用于超声清洗、超声焊接、超声钻孔等功率型超声仪器设备, 在电子、汽车、纺织、医疗、化工、精工、体育及娱乐等行业具有广阔的应用市场和良好的应用前景。

(3) 由于受到工艺手段的局限, 性能指标的提高还有不尽人意之处, 如果采用更为先进的工艺设备(如气流粉碎、喷雾造粒等), 材料配方本身所具有的性能将得到更为充分的发挥; 并在降低成本、设计能够进入家庭的实用性、小型化和多功能性产品等方面作更为深入的工作, 将对进一步扩大功率型超声仪器设备的民品市场和普及应用有更为积极的意义。

5 参考文献

- 1 陈旭明 压电陶瓷材料及器件 广州: 华南工学院出版社, 1989
- 2 Miroslav Boudrys, Miroslav Veselsky, Jiří Hejhalík Characterization of piezoelectric ceramics for power ultrasonics *Ferroelectrics*, 1990; 109: 259~264
- 3 李标荣 电子陶瓷工艺原理 武汉: 华中工学院出版社, 1986
- 4 程存弟 超声技术——功率型超声及其应用 西安: 陕西师范大学出版社, 1993



陈锡源 工程师, 毕业于华南理工大学电子材料与元器件专业, 从事超声压电材料和超声换能器的研究开发工作, 研制的“钛酸铅压电陶瓷振子”项目曾获广东省科技进步奖, “功率型压电陶瓷振子”项目已获汕头市科技进步奖。

(编辑: 傅成君)