

高温压力传感器固态隔离封装技术的研究*

张生才** 姚素英 刘艳艳 赵毅强 张为

(天津大学电子信息工程学院 天津 300072)

【摘要】论述了多晶硅高温压力传感器小型化固态隔离封装技术、静电键合技术、不锈钢膜片的选择及波纹设计技术、激光焊接技术、硅油充灌和硅油隔离技术等。以不锈钢膜片和高温硅油为隔离材料,使传感器的封装直径缩小到15 mm,在1 mA电流激励下传感器满量程输出为72 mV,零点稳定性为0.48%F.S/mon,提高了传感器的可靠性,拓宽了传感器的应用领域。

关键词 高温; 压力传感器; 静电键合; 固态隔离; 封装; 硅油充灌

中图分类号 TP212.15; TN305.94

Research on Isolated Solid-state Encapsulation Technology of High-temperature Pressure Sensor

Zhang Shengcai Yao Suying Liu Yanyan Zhao Yiqiang Zhang Wei

(College of Electronics and Information Engineering, Tianjin University Tianjin 300072)

Abstract This paper mainly discusses miniature isolated solid-state encapsulation technology of high-temperature polysilicon pressure sensor, including static electricity bonding, stainless steel diaphragm selection and rippled design, laser welding, silicon oil infilling, isolation and other technologies used in sensor packaging. By adopting stainless steel diaphragm and high-temperature silicon oil as isolation materials, not only the encapsulation diameter of sensor is as small as 15 mm and under 1 mA drive, its full range output is 72 mV and zero stability is 0.48%F.S/mon, but also the reliability of the sensor is improved and its application is widely broadened.

Key words high-temperature; pressure sensor; static electricity bonding; isolated solid-state; encapsulation; silicon oil infilling

硅高温压力传感器以工作温度高、体积小、灵敏度高等优点,在石油测井、汽车检测、航空航天等领域倍受青睐。但长期以来,封装技术一直是制约传感器发展和广泛应用的重要因素。目前,传感器封装一般为非隔离封装,它只适用于对传感器芯片和电极金属无腐蚀,具有电绝缘性的气体或液体的压力测量,量程较低,且在长期工作中,冷凝效应也会使正面工作层遭受空气中水汽的侵害,造成传感器参数蠕变,性能降低以至失效^[1]。目前只有美国等少数国家开始研制小型化固态隔离封装的压力传感器,如美国EG & G ICSENSOR公司的扩散硅压力传感器采用了小型OEM封装结构。为扩大高温压力传感器的使用量程范围,提高可靠性,本文借鉴国际先进的封装技术,研究开发了多晶硅高温压力传感器的小型固态隔离封装技术。

1 固态隔离封装技术的原理

固态隔离封装就是借助于隔离膜片和隔离液的作用将敏感元件或传感器芯片与外界环境隔离,

2001年9月20日收稿

* 国家自然科学基金资助项目,编号:69876207

** 男 55岁 大学 副教授 硕士生导师

当外界压力作用在隔离膜片上时,其形变由密封腔体内充灌的隔离液转换成压力再传到敏感元的表面,敏感元依此压力测出外界压力。要保证芯片对外界压力的测试准确,膜片与隔离液必须实现线性的等压传递。硅油为不可压缩的无机液体,具有无腐蚀、黏度小、长期稳定性好等特性,在仪器仪表中广泛用于敏感元件与外部的隔离。而通过一定的波纹设计,不锈钢、哈氏合金、蒙乃尔合金、钽及其合金等金属或合金的膜片能在压力作用下进行线性形变^[2],不同厚度和直径的膜片可以对不同的压力作出线性响应。由于隔离膜片的线性形变和硅油的不可压缩性,具有隔离膜片充满硅油的腔体,当外部压力作用到膜片上时,可以实现压力到腔体内部的无损传递。

2 高温压力传感器的小型化全固态隔离封装的结构设计

根据国内石油测井、汽车、航空及轮船用发动机等领域的要求,借鉴国际小型OEM压力传感器结构,本文设计了直径 ϕ 为15 mm的固态隔离封装结构如图1所示。

硅油的充灌量对传感器的特性有直接影响,为减小因硅油的热膨胀造成的压力附加,硅油充灌量越小越好^[3]。故要求隔离膜片与芯片间的腔体体积要充分小,既要保证等压传递,又要防止隔离膜片变形后碰到内引线造成传感器短路失效。基于以上考虑,将传感器的整体结构设计成底座、中环和上环三部分。将静电封接好的芯片-玻璃片与底座粘接为一体,中环和上环间焊接隔离膜片。通过调整中环的高度来确定充灌腔的容积,便于调整设计和工艺。

为了进一步减小硅油充灌量,缩短内引线的长度,提高内部结构的可靠性,底座采用凹形结构,玻璃片嵌于底座上的凹槽内,芯片与外引线的内端面处于同一平面。

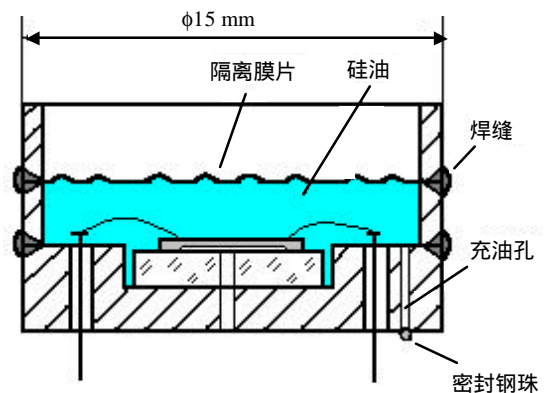


图1 多晶硅压力传感器的小型固态隔离结构

3 高温压力传感器小型化固态隔离封装的工艺及材料的选取

硅高温压力传感器小型化固态隔离封装的工艺过程如图2所示。

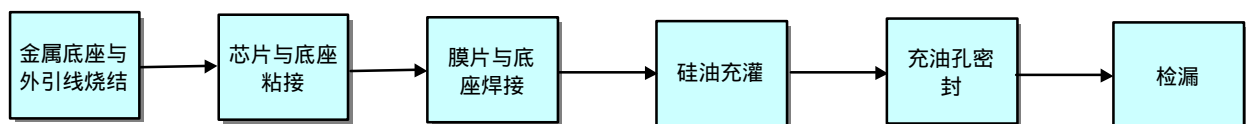


图2 固态隔离封装工艺

多晶硅压力传感器工作温度范围为 $-40\sim 220$ ，比扩散硅压力传感器的工作温区宽得多。传感器能否在高温下使用,并经受长期的温度循环冲击,是传感器设计和开发成败的关键。要提高传感器的热稳定性,最主要的工作是围绕传感器的结构特点,改善材料的热匹配和选择先进的封装材料。

3.1 底座和外引线

在烧结玻璃绝缘子的底座结构中,最佳材料为4J32可伐合金,在 $-20\sim 300$ 的温区内,该材料的平均线膨胀系数为 $3.2\times 10^{-6}/$ 。但是,这种合金材料的机械加工性和可焊性很差,且价格费用高。为兼顾加工性能和结构的可靠性,选用了膨胀系数与玻璃绝缘子相差不大、可加工性较好的不锈钢材料。外引线采用了直径为 $\phi 0.8\sim 1.0$ mm镀镍的4J29可伐丝。经密封打压实验证明,不锈钢底座可以经受10 MPa的高压。经2个月的反复测试,耐热冲击性能达到了要求。

3.2 隔离膜片

膜片的设计和加工是实现传感器小型化固态隔离封装的关键因素。隔离膜片应具有抗腐蚀、厚度小、韧性好等特点。设计中选用了西仪集团的316L不锈钢膜片，其厚度为50~100 μm，工作直径φ13 mm。为提高膜片的强度和等压传递特性，对膜片的波纹及数量进行了特殊的设计，波纹数量越多，承受的压力越大。在实践中，还发现对膜片进行进一步软化处理可以提高膜片的传压性能。如对316L不锈钢膜片经过特定条件退火后，其显微硬度可以降到HV 150。膜片被焊接在中环和上环之间，并与壳体焊接在一起。为避免焊接高温对芯片的热冲击造成芯片特性劣化或失效，本文选择了高温熔压很小的激光焊接技术^[4]。焊接过程中适当调节电压、脉宽和频率，可达到最佳焊接效果。实验证明，熔深1 mm的不锈钢传感器壳体，焊缝光亮、焊区应力小，可以承受30 Mpa的压力。

3.3 硅油选择和充灌工艺

对高温压力传感器用隔离硅油，要求其黏度小、闪点高，高于250 °C，膨胀系数在 $5\sim 7\times 10^{-3}/^\circ\text{C}$ 之间，在200 °C的温区内，体积要膨胀10%以上。这种膨胀呈线性，可以通过隔离膜片的波纹图形和数量加以补偿，本实验选用104#甲基硅油，在焊接好膜片后，即可充灌硅油。目前有浸灌和滴灌两种方法，由于滴灌法所需要的设备复杂，故采用浸灌的方法，浸灌要在真空中进行。将焊接好芯片和底座的密封腔浸入置于真空钟罩的硅油净化室中，抽真空至 1×10^{-2} Pa以上，打开阀门，使

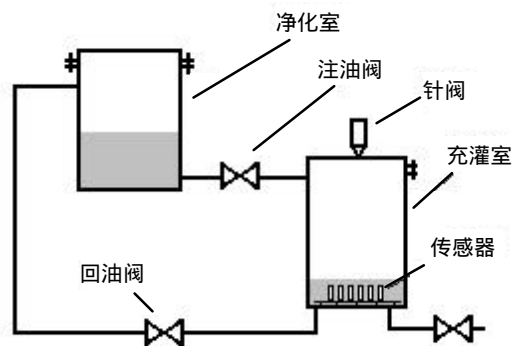


图3 浸灌法充硅油

硅油浸没传感器。由于负压的作用，硅油将通过注油孔充入传感器的芯片与隔离膜片间的腔体，然后钟罩放气，大气压力将剩余硅油压入回收容器中，再将注油孔密封，完成充灌。图3为浸灌过程的示意图。

硅油为不可压缩液体，在温度变化时，其体积变化将在密封腔体内引入额外压力，这个额外压力有规律，可以通过膜片的设计来补偿。但若硅油中存在可挥发杂质，如水和空气，当温度变化时，这些杂质的膨胀或压缩没有规律，将造成传感器的不稳定。因此在传感器充灌硅油前一定要对硅油进行净化处理。净化是在真空度为1 Pa，温度120 °C条件下进行，水的沸

点在真空中比硅油的低得多，硅油中的水分可以被排出。另外，利用磁搅拌，使硅油充分沸腾，增加与真空的接触面，可以使硅油充分去气，在净化过程中要尽量避免温度过高造成硅油的氧化。为充灌顺利，充灌孔设计成锥形，外部直径比内部略大，便于充灌后对腔体的密封。

4 结果与分析

在0~6 MPa，-40~220 °C条件下，对封装好的传感器进行了静态参数测试，其输出特性曲线如图4所示。根据曲线可计算出表征多晶硅高温压力传感器温度特性的零点温度系数和灵敏度温度系数为

$$\text{TCO}=2.4\times 10^{-4} \text{ F.S./}^\circ\text{C}$$

$$\text{TCS}=-5.2\times 10^{-4} \text{ F.S./}^\circ\text{C}$$

另外，还对传感器进行加速老化实验，1 mA电流激励下传感器的满量程输出为72 mV，在34天老化时间内，零点稳定性为

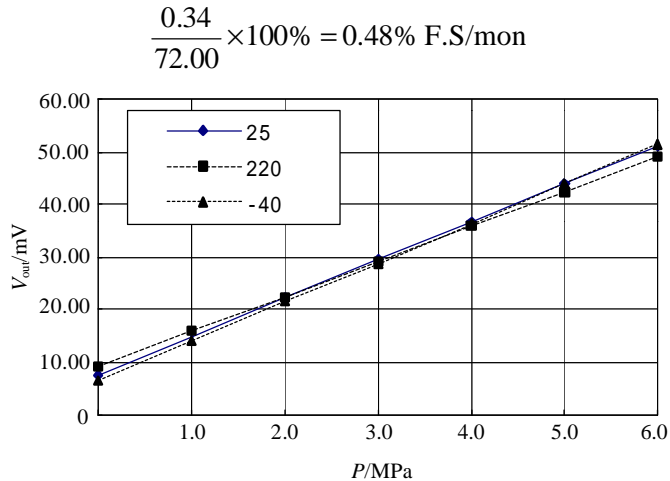


图4 0~6.0 MPa传感器-40~220 的输入-输出特性

5 结 论

本文讨论了多晶硅高温压力传感器的小型化全固态隔离封装技术,研究了芯片的静电封节、隔离膜片的波纹设计和热处理工艺,使316L不锈钢膜片的显微硬度降到了HV 150;研究了适合高温压力传感器的硅油充灌技术,使硅油隔离型传感器的工作温度达到了220,短期测试温度达到250。传感器保持了优良的静态特性,经汽车发动机检测、石油测井应用,获得了满意的效果。

参 考 文 献

- 1 Karsten Sager, Gerald Gerlach, Arne Nakladal, Andreas Schroth, Ambient humidity and moisture- a decisive failure source in piezoresistive sensors, Sensors and Actuators, A46-47 1995, 171-173
- 2 徐芝纶. 材料力学. 北京: 科学出版社, 1987, 28-36
- 3 刘 沁, 吕忠钢, 陈艳文. 扩散硅压力传感器结构设计及封装工艺研究, 仪表技术与传感器, 1996, (10): 18-19
- 4 金德宣. 微电子焊接技术. 北京: 电子工业出版社, 1990, 168-170

· 科研成果介绍 ·

光纤传输系统、微带单元和矢量调制器

主研人员: 周正欧 邱文杰 王 玲 刘仁厚 孔令讲 张春林 张 兴 杨晓波 任 曦 唐红艳 杨 涛 王琪贤

光纤传输系统、微带单元和矢量调制器包括波控信号光纤传输系统、宽波宽波瓣微带单元与阵列互耦研究和X波段矢量调制器三个部分。其中: 波控信号光纤传输系统采用8B/10B线路码编解码符合以太网规范, 宜于推广, 采用长波激光发送机和单模光纤, 可用于相控阵天线; 宽带、宽波瓣微带单元与阵列互耦项目设计了宽带、宽波瓣要求的天线微带单元, 优化了单元尺寸和最佳馈电点位置, 其设计方案合理, 建模和理论分析正确, 仿真软件先进, 对机载火控相控阵雷达选择单元和阵列的设计提供了较全面的分析和设计方法; X波段矢量调制器可能替代相控阵中移相器的矢量调制器, 研制的X波段矢量调制器的样品, 达到了性能指标的要求。

· 科 卞 ·