

Research on Packaging Technology of High Temperature Pressure Transducer^{*}

HE Qian, ZHAO Yu-long^{*}, ZHAO Li-bo, CHEN Xiaonan, JIANG Zhuang-de
(Institute of Precision Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: Three advanced packaging methods which could stand high temperature up to 200 °C were raised to package some pressure transducers with special structure. By stimulating using finite element method, we decided to take low temperature glass frits bonding technology to package pressure transducers and determined the appropriate thickness of the intermedia bonding layer. We chose a alloy substrate material with high strength and low expansion coefficient and designed the technological process of low temperature glass frits bonding, using advanced screen printing technology to ensure the intermediate bonding layer thickness. Experiments show that by the packaging process, pressure transducers have reliable performance in high temperature and can meet the needs of modern industrial measurements.

Key words: MEMS; High temperature pressure transducer; Packaging; Glass frits bonding
EEACC: 2575; 7230; 7320 V

MEMS 耐高温压力传感器封装工艺研究^{*}

何 潜, 赵玉龙^{*}, 赵立波, 陈晓南, 蒋庄德

(西安交通大学 精密工程研究所, 西安 710049)

摘 要: 为解决特种压力传感器结构的封装难题, 提出了三种能够适用于 200 °C 高温条件下的先进封装技术。通过有限元模拟, 确定了采用低温玻璃键合技术对多种压力传感器进行封装, 分析得出了适合的中间键合层厚度。选定了高强度低膨胀基底合金材料, 制定了低温玻璃键合的工艺流程, 采用先进的丝网印刷工艺确保中间键合层厚度。实验表明经过该工艺封装的压力传感器在高温下具有可靠的性能, 能满足现代工业测量需求。

关键词: 微机电系统; 高温压力传感器; 封装; 低温玻璃键合

中图分类号: TP212.12

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2008)02-0310-04

为了满足航空航天、石油化工、内燃机等高温恶劣工矿条件下的压力测试需求, 基于硅隔离 SOI (Silicon on Insulator) 技术的耐高温压力传感器得到了广泛应用^[1]。传统的扩散硅压阻式压力传感器采用 p-n 结隔离应变电桥与应变膜, p-n 结漏电流随着温度升高而急剧增大导致基于 p-n 结隔离的压力传感器难于在高于 120 °C 高温情况下工作。本文所述耐高温压力传感器敏感元件采用 MEMS 工艺, 基于先进的高能氧离子注入 SIMOX (Separation by Implantation of Oxygen) 技术, 在单晶硅 100 nm 表面下形成埋层二氧化硅层^[7], 以隔离作为测量电路

的顶部硅层与作为支撑的体硅之间因温度升高而造成的漏电流^[4]。

本单位依据国家 863 计划“面向石化等重要行业的 MEMS 耐高温压力传感器制造技术与实用化研究”项目, 设计了多种基于 SOI 敏感元件的具有特殊结构的压力传感器, 主要包括具有耐瞬时超高温冲击特点的梁膜结合结构传感器, 高压高过载特点的平膜结构传感器和高精度、高频响的齐平膜结构传感器。其中梁膜结合结构传感器由于采用了特殊的压力传递结构, 能够承受长达 2 s 的瞬时 2 000 °C 高温冲击, 其结构示意图如图 1。

基金项目: 国家自然科学基金项目资助(50535030, 50475085); 国家 863 计划项目“面向石化等重要行业的 MEMS 耐高温压力传感器制造技术与实用化研究”项目资助(2004AA404221)

收稿日期: 2007-09-30 **修改日期:** 2008-01-01

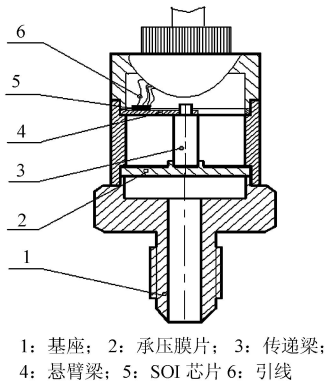


图 1 耐瞬超高温冲击的梁膜结合传感器

1 传感器封装结构

前述三种特种压力传感器结构中,实现压力敏感元件 SOI 芯片与基底材料有效封装并保证敏感元件输出信号不失真地反映待测介质压力是传感器封装的关键所在。对于梁膜结合传感器,由于待测介质仅直接作用承压膜片 2 上(如图 1),SOI 芯片通过感测压力传递机构部件悬臂梁上的应力与应变来间接感测待测介质压力,其简化封装结构如图 2。

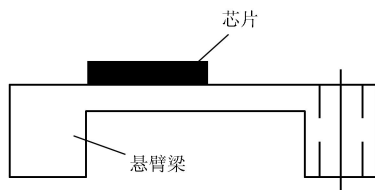


图 2 梁膜结合传感器封装结构

高压高过载的平膜传感器结构与梁膜结合传感器封装结构比较接近,流体介质压力作用在承压膜片上,SOI 芯片直接封接在承压膜片的另一侧,取代了压力传递机构。对于高频响的齐平膜结构传感器,将已经经过静电键合后的玻璃环与 SOI 芯片结构直接封接在金属基座上,或者直接将 SOI 芯片封接在金属基座上。

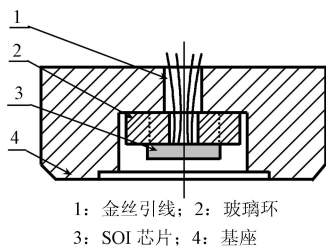


图 3 高频响齐平膜传感器封装结构

2 封装技术的选择

2.1 适用的特种封装技术

对于上述特种传感器结构,必须采用适用的特

殊封装技术,以满足传感器在 200 高温下工作要求。可以考虑采用的封装技术主要有以下三种。

2.1.1 基于聚酰亚胺胶的粘胶技术

在传感器领域,粘胶技术适用于硅芯片与玻璃、陶瓷、金属之间的相互连接^[5]。能够长时间在 250 高温下工作的胶粘剂主要有聚酰亚胺胶,聚酰亚胺胶是以芳香族二胺和二酐在二甲基乙酰胺中缩聚而成的,对各种金属材料 and 无机非金属材料的粘结性能最好。聚酰亚胺胶常需在较高温度下固化以达到较高的封接强度。

2.1.2 基于 AuSn 焊料的共晶键合技术

共晶键合技术利用共晶成分的液相具有最低熔点,通过共晶液相合金冷凝形成中间介质层实现芯片与基底材料的封接^[6]。常用的共晶材料包括 Au-Si, Au-Sn, In-Sn, Pb-Sn 等。共晶键合层连接牢固,机械强度高,封接气密性好,但是键合需要高的作业温度,冷却时会引入较大的热应力,易导致芯片开裂。

2.1.3 基于低温玻璃焊料的键合技术

玻璃键合技术是指依靠玻璃浆料在高温炉中烧结形成的致密化强固体中间介质层实现芯片与基底材料的封接^[2]。该封接工艺需要满足以下三个条件:

玻璃焊料的热膨胀系数与待封接材料匹配,即满足与硅片、基底金属材料的热膨胀系数相差在 $0.6 \times 10^{-6} / K$ 以内。

封接温度应低于硅片耐热极限,若温度较高,易导致硅片与硅片上引线层形成共晶,导致引线脱落。

熔融玻璃介质与待封接件良好浸润性,即要求熔融玻璃具有良好的流动性^[3]。

键合形成的玻璃态物质 SOI 芯片

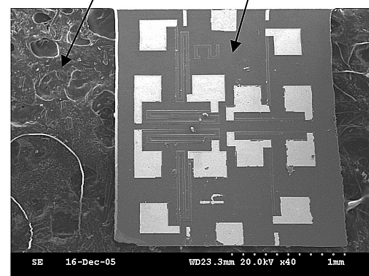


图 4 低温玻璃键合后芯片的 SEM 照片

2.2 封装技术对传感器性能的影响

各种封装技术最终形成的中间键合层对传感器输出性能具有重要影响,本文应用 ANSYS 有限元分析软件对传感器输出进行模拟和预测^[8],以确定最适合的封装技术。

2.2.1 中间层材料性能参数

表1 材料性能参数表

力、热学参数	聚酰亚胺	AuSn 焊料	低温玻璃
$20\sim 250 / K$	48×10^{-6}	16×10^{-6}	3.25×10^{-6}
弹性模量 E/ GPa	8.2	62.4	65
热熔 C/J (kg) ⁻¹	88	128	430
热导率/ W(m) ⁻¹	30	57	20
泊松比 μ	0.42	0.42	0.2

2.2.2 传感器灵敏度影响分析

SOI 芯片上力敏电阻条位置的最大应力、应变率是决定传感器灵敏度的最重要因素,最大应力或应变率越大,传感器反应越灵敏。通过有限元模拟高压高过载平膜结构传感器在 40 MPa 压力,同样厚度中间键合层 80 μm 的情况下,最大应力和应变率的计算结果为表 2。

表2 力敏电阻条的最大应力和应变率

模拟输出	最大应力(Mpa)	最大应变
玻璃焊料	462.7	0.098 %
AuSn 焊料	426.9	0.078 %
聚酰亚胺胶	353.5	0.062 %

从上表中可以得出,基于玻璃焊料的封接制作成的传感器的灵敏度最高。

2.3 中间层厚度对传感器的影响

采用低温键合工艺对高温高过载压力传感器进行封装,通过模拟比较不同键合层厚度下的传感器力敏电阻条处的最大应力和剪切应力随输入压力的变化,最终得出键合层厚度对传感器性能的影响。

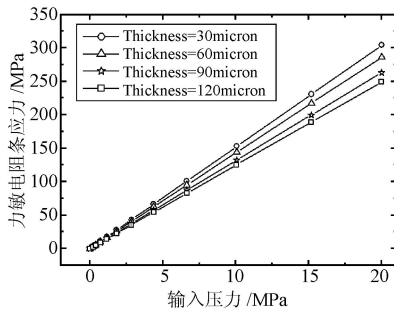


图5 中间键合层厚度对传感器灵敏度影响

如前所述,传感器力敏电阻条处的最大应力越大,传感器输出越灵敏。从图 5 中很明显看出,中间键合层厚度在其他同等情况下越小,最大应力值越大,传感器反应越灵敏。但是从图 6 中同样很明显可以看出,中间键合层厚度越小,压力导致的剪切应力就越大,就越容易导致芯片从基低材料上脱落,从而引起传感器的完全失效。

考虑到传感器灵敏度与剪切应力的相互制约,最终确定中间键合层的厚度为 60 ~ 80 μm 之间为宜。

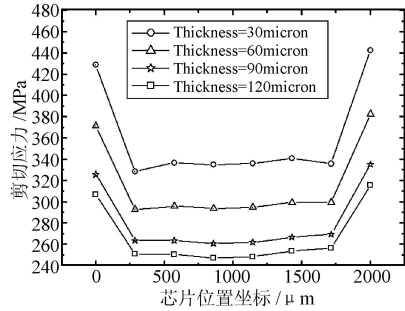


图6 中间键合层厚度对芯片上剪切应力的影响

3 低温玻璃键合工艺流程

3.1 基底材料、玻璃焊料的选择

为满足热膨胀系数与硅材料匹配和传感器结构设计的力学要求,基底材料采用美国 Ni-SpanC902 或北京金属研究院 HT-100 高强度低膨胀合金。另外键合层材料采用德国 Schott 公司的 G017-339 玻璃粉。

表3 封接材料热膨胀系数表

材料	硅片	玻璃粉	Ni-SpanC902
$20\sim 250$	2.6×10^{-6}	4.6×10^{-6}	4.1×10^{-6}

3.2 低温玻璃键合工艺流程

3.2.1 烧结前对基底材料表面处理

机械打磨,抛光;

脱脂,清除被粘物表面的油污,可使用有机碱溶液或者超声波设备进行;

用无机酸溶液浸泡去处表面氧化物;

用酒精进行最后的清洗;

在高温炉中保温 50 ,时间 30 min。

3.2.2 玻璃烧结具体工艺流程:

浆料调和,按确定的比例将无水乙醇与玻璃粉混合,配制成浆料。适当的比例能够保证焊料在高温下熔融状态下有良好的浸润性和流动性;

涂敷成型工艺,采用丝网印刷工艺将浆料涂敷在待封接件上。使用适当的丝网印刷工具保证前述设计的中间键合层厚度;

在高温炉中烘干刚涂敷的浆料层,温度 200 ,时间 10 min;

预烧结工艺,按照图 7 所示温度曲线进行预烧结。

SOI 芯片封接位置定位与加压,采用设计好的加压装置给予待封接件一定的压力,大约 50 KPa 左右,以保证键合强度。

烧结、回火过程,按照图 8 温度曲线在可控高温炉中进行烧结与回火处理。

在升温 and 降温过程中,应严格控制升温 and 降温速度在 5 K/min 以内。至此,SOI 耐高温芯片已被

牢固封装在传感器承压基座上。

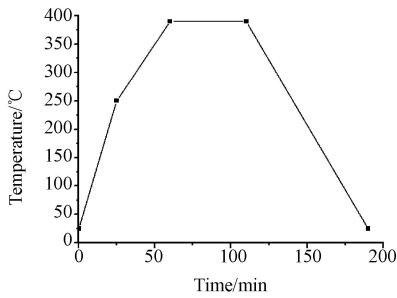


图 7 预烧结温度曲线

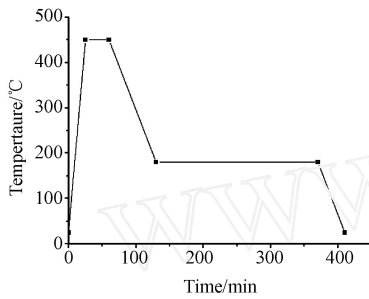


图 8 烧结与回火温度曲线

4 结论

敏感元件经过热压焊金丝、激光焊接等工序,制得完整的耐高温压力传感器。经过温度补偿后,传感器的灵敏度温度系数和零点温度系数均在 $3 \times 10^{-4}/$ 以下,非线性误差在、重复性误差和迟滞误差均在 0.2 %FS 以内,传感器的输入输出曲线如图 9。测试结果表明经过低温玻璃键合封装的耐高温压力传感器在高温下具有可靠的性能,能够满足现代工业压力测量需求。

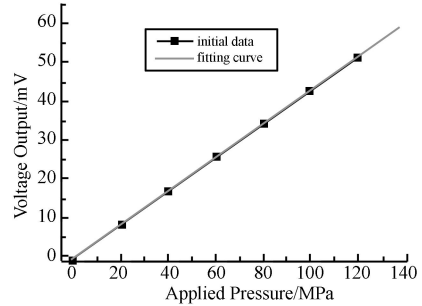


图 9 高压高过载传感器在 200 °C 高温下测试数据

参考文献:

- [1] 赵玉龙,赵立波,蒋庄德. 基于硅隔离技术的耐高温压力传感器. 西安交通大学学报[J]. 2002(11):1156-1158.
- [2] D Sparks, G Queen, R Weston, G Woodard, M Putty. Wafer-to-Wafer Bondings of Nonplanarized MEMS Surfaces Using Solder. Journal of Micromechanics and Microengineering [J]. 2001, 11:630-634.
- [3] Roy Knechtel. Glass Frits bonding: An Universal Technology for Wafer Level Encapsulation and Packing. Microsyst Technol[J]. 2005, 12:63-68.
- [4] 颜鹰. MEMS 高温压力传感器若干关键技术的研究[D]. 华中科技大学,2005 年 3 月,华中科技大学.
- [5] 孙以材,刘玉玲,孟庆浩. 压力传感器的设计、制造与应用 [M]. 北京:冶金工业出版社,2000 年,293-304.
- [6] 李科杰. 新编传感器技术手册 [M]. 北京:国防工业出版社,2002, 77-93, 118-166.
- [7] 李乃平. 微电子器件工艺 [M]. 武汉:华中理工大学出版社,1995.
- [8] 谭建国. 使用 ANSYS6.0 进行有限元分析 [M]. 北京:北京大学出版社,2002, 192-232.



何 潜(1982-),男,2001 年 7 月毕业于重庆大学机械工程学院获学士学位。现为西安交通大学机械工程学院精密工程研究所硕士研究生。主要研究方向为 CAD/CAE, MEMS 传感器及其工艺研究 ,cqheqian @stu. xjtu. edu. cn.



赵玉龙(1968-),男,2002 年 7 月毕业于西安交通大学获博士学位。现为西安交通大学机械工程学院教授、陕西省 MEMS 研究中心副主任,中国仪器仪表学会传感器分会常务理事、微纳器件与系统分会理事、全国高校传感器技术研究会理事。主要从事 MEMS 传感器及其工艺研究,近年来,发表相关论文 50 余篇,获授权发明专利 14 项,授权实用新型专利 3 项 ,zhaoyulong @mail. xjtu. edu. cn.