

# SOI硅压阻式压力敏感芯体填充硅油含气量影响分析

乔鑫

中国电子科技集团公司第四十九研究所

**[摘要]**在SOI硅压阻式压力敏感芯体生产过程中，如工序控制不当引入空气，会对敏感芯体压力传递造成影响。为了研究具体影响情况，文章以敏感芯体为研究对象，概述了其结构，分析了填充硅油含气量对压力敏感芯体输出的影响机理，以供参考。

**[关键词]**SOI硅压阻式压力敏感芯体；硅油；含气量；输出；影响

**[DOI]** 10.12252/j.issn.2096-6288.2021.10.1064

## 1 压力敏感芯体的结构

SOI硅压阻式压力敏感芯体是将压力敏感芯片粘贴并密封在不锈钢壳体内，采用不锈钢波纹膜片与被测介质隔离，内充硅油作为传递压力的介质。当压力作用在波纹膜片上时，硅油使压力敏感芯片感受压力，通过硅的压阻效应原理将压力信号转换成电信号。该信号经过零点偏移补偿、零点温度漂移补偿和灵敏度温度漂移补偿，最后形成敏感芯体的输出信号。敏感芯体结构图如图1所示。

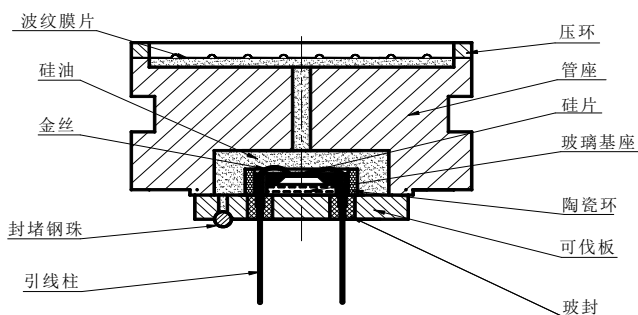


图1 敏感芯体结构示意图

## 2 封装工艺流程

敏感芯体的封装工艺流程主要包括芯片粘接、金丝键合、波纹膜片焊接、可伐板与管座储能焊接、真空注油、封堵钢珠储能焊接、温度补偿、性能测试等工序。

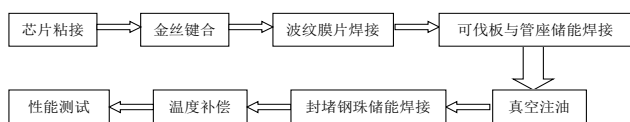


图2 压力敏感芯体封装工艺流程

## 3 机理分析

### 3.1 影响机理

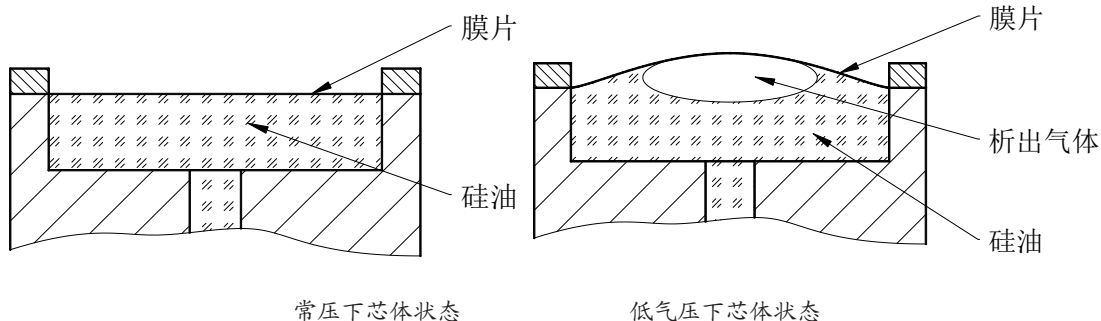
SOI硅压阻式敏感芯体内充硅油作为传递压力的介质，当被测压力作用在波纹膜片上时，由于硅油具有不可压缩性，被测压力会通过硅油全部传递给内部的敏感芯片，使内部的敏感芯片产生与被测压力成正比的电信号。根据传感器制作工艺过程和产品特性分析，如果真空注油工序硅油内水气排除不彻底、或者注油、封堵钢珠等工序控制不当，则会引入空气，从而影响压力信号的传递。液体中气体溶解度主要受温度和压力的影响，在低气压环境下，硅油的空气溶解度降低，产品芯体内部硅油中未除尽的溶解空气达到饱和并析出形成气泡，压力敏感芯体在常压、低气压下状态对比见图3。

填充含气硅油的敏感芯体，常压下由于硅油溶解度较大，容腔内没有气泡，产品输出即为实际加载的压力；低气压下硅油溶解度降低，析出空气形成气泡，由于芯体容腔为密封结构并充满了硅油，气泡出现后使容腔内物质体积增大，压迫膜片使其发生形变，产生应力，且由于气泡具有可压缩性，被测压力便不能全部真实地传递给内部的敏感芯片，影响硅片对真实压力的反应，此时容腔内气泡及硅油的压强等于标定气压与膜片变形产生的作用力之和，即为敏感芯片此时的测量值，因此敏感芯体的测量值大于实际加载的压力，造成敏感芯体输出超差。

### 3.2 仿真分析及空气溶解量计算

现通过某只含气压力敏感芯体的测试数据，对含气量的影响进一步对比、分析。

-45℃（即228.2K）时，给该敏感芯体施加10kPa标准气压，采集输出值为30kPa，则膜片作用力为20kPa。基于敏感芯体结构尺寸进行膜片形变分析，膜片中心处位移最大为0.11mm，膜片形变后容腔体积增大1.4mm<sup>3</sup>，即此时芯体内气



常压下芯体状态      低气压下芯体状态  
图3 敏感芯体不同压力下的气泡示意图

泡为1.4mm<sup>3</sup>，仿真结果见图4。

70℃（即343.2K）时，给该敏感芯体施加10kPa标准气压，产品输出值为40kPa，则膜片作用力为30kPa。基于敏感芯体结构尺寸进行膜片形变分析，膜片中心处位移最大为0.16mm，膜片形变后容腔体积增大2.1mm<sup>3</sup>，低压下芯体内气泡为2.1mm<sup>3</sup>，仿真结果见图5。

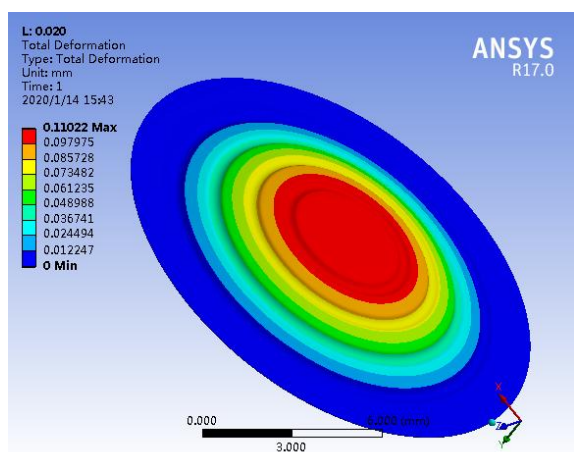


图4 -45℃膜片变形仿真

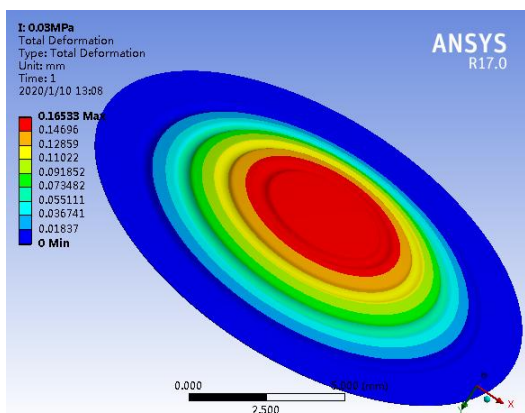


图5 70℃膜片变形仿真

温度为-45℃（即228.2K）时，芯体内气泡在压强30kPa时体积为1.4mm<sup>3</sup>。根据理想气体状态方程（公式（1）），其他条件不变的情况下，气体体积与气体压强成反比，与气体温度成正比。将低温低气压下气泡体积换算为标准状态（气压101.3kPa，温度298.2K）时，气体体积为0.5mm<sup>3</sup>。

$$V = \frac{nRT}{p} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

V—理想气体体积；

p—理想气体的压强；

n—气体物质的量；

T—理想气体物理学温度，单位为K；

R—理想气体常数。

温度为70℃（即343.2K）时，芯体内气泡在压强40kPa时体积为2.1mm<sup>3</sup>。根据理想气体状态方程（公式（1）），其他

条件不变的情况下，气体体积与气体压强成反比，与气体温度成正比。将低温低气压下气泡体积换算为标准状态（气压101.3kPa，温度298.2K）时，气体体积为0.7mm<sup>3</sup>。

### 3.3最大溶解度影响计算

芯体容腔内硅油体积为43.5mm<sup>3</sup>，硅油的密度为0.97g·mL<sup>-1</sup>，计算得出芯体内硅油质量为0.042g。空气标准状态下在硅油内的溶解量为0.168mL·g<sup>-1</sup>，标准状态下43.5mm<sup>3</sup>硅油最多可溶解7mm<sup>3</sup>空气。

空气在硅油中的本生溶解度为公式（2）。通过该公式可知，空气在硅油的溶解度与气体压强成正比。

$$\delta = \delta_0 \frac{p}{p_0} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

δ—本生系数，表示一定压力下，气体在液体中的溶解达到饱和状态时，溶解气体的体积（标准状态）与纯溶剂体积之比；

δ<sub>0</sub>—气体标准状态时的本生系数；

p—容腔内气体压强；

p<sub>0</sub>—标准大气，101.3kPa。

经计算，该芯体内的硅油在-45℃、30kPa条件下，最多可溶解2.1mm<sup>3</sup>空气（标准状态）。如标准状态下，空气在芯体内硅油的溶解为饱和状态，产品低压时硅油析出空气体积为4.9mm<sup>3</sup>（7mm<sup>3</sup>-2.1mm<sup>3</sup>），大于该芯体低温时实际测算的0.5mm<sup>3</sup>（标准状态）气体体积。

该芯体内的硅油在70℃、40kPa压强下，最多可溶解2.8mm<sup>3</sup>空气（标准状态）。如标准状态下，空气在芯体内硅油的溶解为饱和状态，产品低压时硅油析出空气体积为4.2mm<sup>3</sup>（7mm<sup>3</sup>-2.8mm<sup>3</sup>），大于故障产品高温时测算的0.7mm<sup>3</sup>（标准状态）气体体积。

高温、低温下，硅油在低气压时理论上析出的最大体积（极限值）均大于该芯体实际测算值，证明存在低气压条件下硅油析出的机理，从而导致敏感芯体输出超差。

### 4 结束语

通过多年研究，现已掌握了硅压阻式敏感芯体设计与制作关键技术，产品在民用及国防中已得到广泛应用，但在封装工艺的成熟性控制及批量化生产上仍存在差距，限制了敏感芯体精度及稳定性的提升。通过硅油含气量的影响分析，进一步说明完善工艺、改进装配技术的必要性，以提升敏感芯体技术指标与产品质量，实现高可靠性、高精度的信号测量。

### 参考文献

[1]杨娇燕，梁庭，李鑫，李旺旺，林立娜，李奇思，赵丹，雷程，熊继军.基于SOI岛膜结构的高温压力传感器[J].微纳电子技术，2018，55（09）：635-641。  
 [2]Shumail Khan. SOI压力传感器的结构仿真与分析[D].东南大学，2017。