

摘要：在压力测量中，通常是按照测量要求来提出不同的物理测量方法，比如绝对压力、相对压力（表压）和差分压力的测量。然而对于差分压力的测量往往有许多不同的理解。以硅压阻压力传感器 AMS 5812 为例介绍有关各种压力测量的不同应用情况，同时对硅压阻芯体相关的结构和惠斯顿电桥信号放大作了介绍。

关键词：差分压力传感器；双向差分压力传感器

中图分类号：TP212.12

文献标识码：B

文章编号：1006-883X(2016)05-0036-05

收稿日期：2016-04-07

单向差分压力和双向差分压力传感器的测量

N. Rauch¹（著） 施林生²（译）

1. Analog microelectronics GmbH 公司，德国 MAINZ；2. 上海芸生微电子有限公司，上海 201108

一、引言

在压力测量中，通常是按照测量要求来提出不同的物理测量方法，比如绝对压力，相对压力（表压）和差分压力的测量。然而对于差分压力的测量往往有许多不同的理解。为了较好的来理解不同的压力概念和不同的压力测量方法，这里借助于 AMS 5812 的硅压阻压力芯体来进行详细阐述。

图 1 是硅压阻芯体的裸片。在压力膜片上的紫色的区域是扩散注入的惠斯顿电桥，亮的线条铝质导线，亮的方块是铝质焊接点。在硅压阻压力芯体上受压膜片是用硅片制成的。在硅片上会扩散注入一个惠斯顿电桥，在压力的作用下，膜片发生微小变形，由于电压阻效应使桥臂电阻值发生变化，从而产生一个与压力成正比的差分电压信号。

二、绝对压力的测量

图 2 所示为压阻式绝对压力测量芯体的构造图。在绝对压力的测量中，是测量压力 P_1 与相对压力 P_2 （基准压力）

的差值。如果基准压力 P_2 非常之小，与所测量的压力 P_1 相比可以完全忽略，那么所测量的 P_1 就是绝对压力。 P_2 可以无限小，但不可能为零，而所谓的理想状态就是真空，也就是 $P_2=0$ 。这就意味着，生产时将压力芯体放在真空状态中（ $P_2 \sim 0$ ）并用派热克斯玻璃做底部密封，那么压力芯体就是可以测量绝对压力的传感器。此时密封在空腔内的压力 $P_2 \sim 0$ 原则上应该是一个长期保持稳定的数值。

当外加的压力 P_1 作用到膜片上表面时，因为 $P_1 \gg P_2$ ，膜片会向低压方向也就是向被刻蚀掉的密封的空腔内弯曲（见图 2）。由于半导体硅材料的压阻

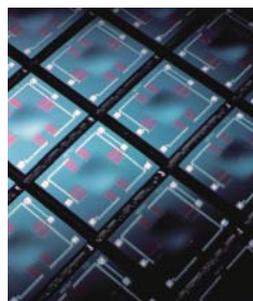


图 1 硅压阻压力芯体裸片

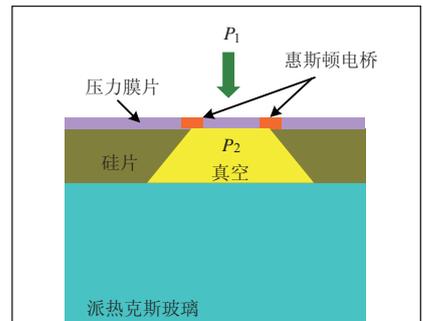


图 2 压阻式绝对压力测量芯体的构造

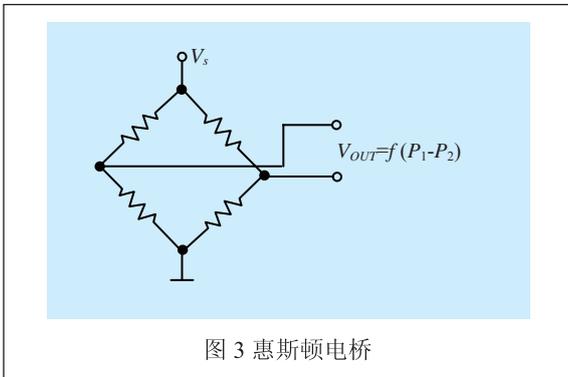
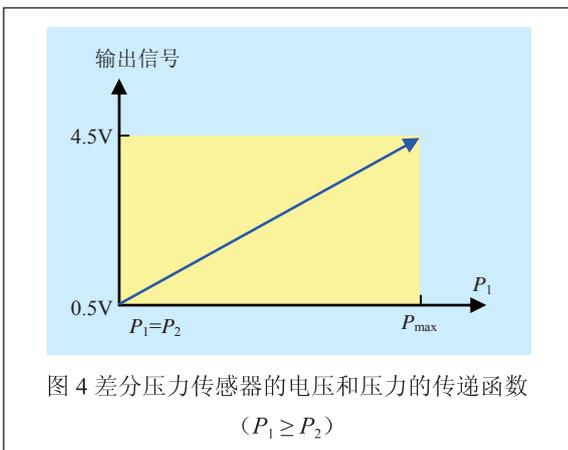


图3 惠斯顿电桥

图4 差分压力传感器的电压和压力的传递函数
($P_1 \geq P_2$)

效应，膜片上扩散注入的惠斯顿电桥就会产生一个与压力 P_1 成线性关系的电压信号（图3）。此时的压力与电压信号只是给出了它们的相互线性关系（ $V_{OUT}=f(P_1, P_2)$ ），零点和满度还没有确定。

在生产绝对压力传感器的时候，一个基准压力 P_2 是不能完全达到 0bar 的，只是将实际的压力值 P_2 作为了零点压力。通过校准手段将 P_2 的压力值调试到对应的电压输出，比如 0V 或者 0.5V，这个调试过程称做零点校准。在满度压力时（ P_1 最大），惠斯顿电桥输出的对应的电压值称作满度值。这个信号经过后级电路的放大处理，通常校准到一个标准的满度电压值 10V 或者 4.5V（图4）。

在大气压力的测量中，一般测量的绝对压力范围在 700~1200mbar 之间，此时通常是将 700mbar 作为零点，而将 1200mbar 作为满度来进行校准的。作为一个例子，图4是一个经过放大电路处理和校准过的压力传感器信号与

压力之间的传递函数曲线（比如型号为 AMS 5812 的 OEM 压力传感器）。

三、差分压力测量

所谓的差分压力测量，是指二个不同空间的压力的差值测量，与此相对应的是受压力的膜片的上方是 P_1 ，下方是 P_2 。通常是 $P_1 \leq P_2$ 或者相反 $P_1 \geq P_2$ 。在众多的应用场合中，大多数差分压力传感器只能要么测量 $P_1 \leq P_2$ 或者相反 $P_1 \geq P_2$ ，同时输出相应的信号。在很多差分压力传感器的资料 and 描述中都是指的这种单方向的压力测量。

图5是硅压阻压力传感器的差分压力测量时膜片变化示意图。当上下压力相等时（ $P_1=P_2$ ），受压膜片没有变形，传感器输出为0。上下压力有差值时（ $P_1>P_2$ ），受压膜片向低压力侧弯曲，由于压阻效应，惠斯顿电桥产生一个与压力差值成正比的输出信号： $V_{OUT}=f(P_1-P_2)$ 。

除了要考虑 $P_1 \leq P_2$ 或者相反 $P_1 \geq P_2$ 之外，还要注意压力传感器的压力膜片的最佳压力测量范围和最大可测量压力 $P_1-P_2 \leq P_{max}$ 或者 $P_2-P_1 \leq P_{max}$ 。这里的最大压力测量值 P_{max} 是由技术上和材料上（比如压力接头、膜片形变）的原因所限定。

如果要将压力接头连接到差分压力传感器上，进行差分压力的测量，比如管道通风过滤网的监控，必须注意到上述的传感器的使用条件。

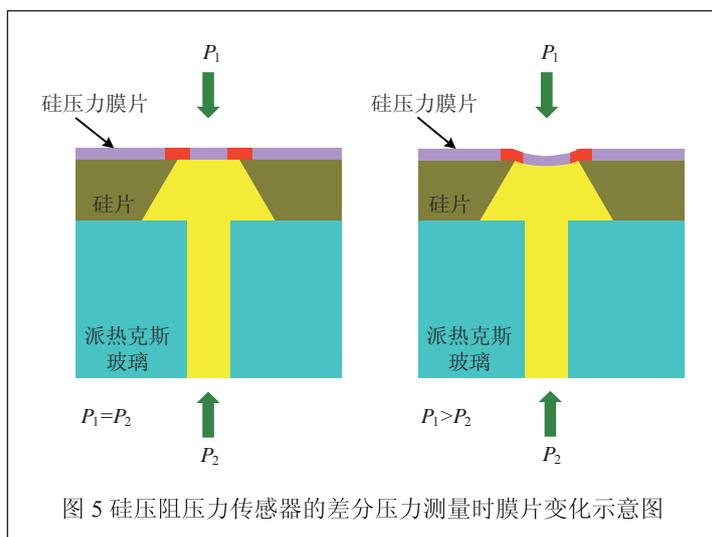


图5 硅压阻压力传感器的差分压力测量时膜片变化示意图

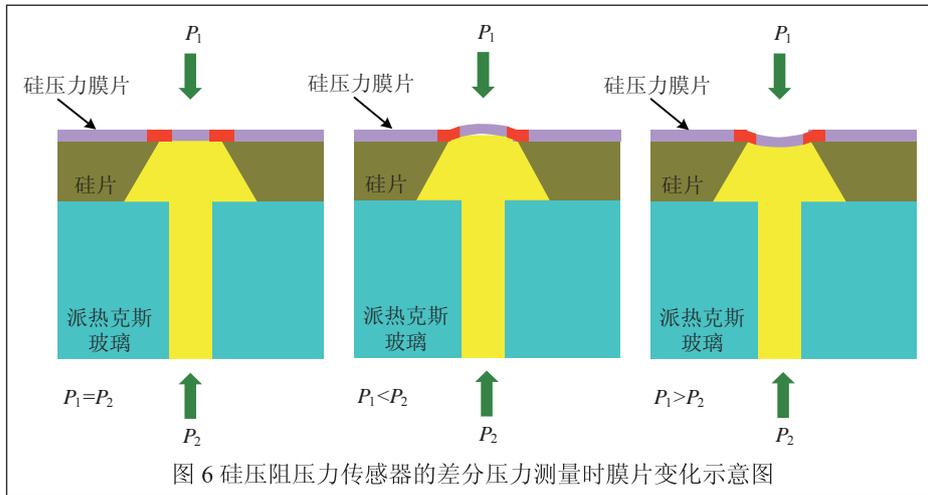


图 6 硅压阻压力传感器的差分压力测量时膜片变化示意图

它是由传感器的构造所决定（比如外壳和压力连接端口的机械强度）。

可以用来测量双向差分压力的传感器，通常要满足以下二个要求：

(1) 压力测量膜片的构造在两个方向弯曲时必须是对称的；

(2) 电桥信号的后续处理电路必须在零点和满度信号范围内可靠

工作。

四、双向差分压力传感器

常常有这样的差分压力测量要求，就是所测量的差分压力要求既满足 $P_1 \leq P_2$ ，又要满足 $P_1 \geq P_2$ ，比如在管道的进风和排气，低于或超过标准液位，呼吸时的吸入和呼出等等。因为这类差分压力传感器与通常意义上的差分压力传感器不同，AMG 公司和其他一些提供这类差分压力传感器的厂家把它们称之为双向差分压力传感器。这些双向差分压力传感器有这样的特点，它们可以测量不同方向的差分压力，也就是差压大的压力或小的压力可以在压力膜片二个方向上随意加载和测量，就是既可以测量 $P_1 / P_2 \geq 1$ ，也可以测量 $P_1 / P_2 \leq 1$ 。

图 6 所描述的是双向差分压力测量芯体在不同方向的压力加载后的膜片弯曲方向，这个不同的膜片弯曲方向导致压力测量芯体输出不同的正负电压信号。

这个被测量的差分压力在这种双向差分压力传感器的测量芯体中可以有正的或者负的信号输出。加载在测量膜片上方的压力 P_1 可以大于也可以小于加载在测量膜片下方的压力 P_2 。在压力测量膜片两边所加载的压力 P_1 和 P_2 应该满足下面的条件：

$$P_{\min} \leq P_1 - P_2 \leq P_{\max} \quad P_1, P_2 \leq P_{\text{System}}$$

其中， P_{\max} 是正的最大值， P_{\min} 是负的最小值， P_{\max} 、 P_{\min} 是整个压力测量范围的二个终端压力（见图 7），它由传感器本身的设计所决定。 P_{System} 是传感器可以承受的最大的系统压力，比如在传感器外部的环境压力，

针对第一点，对于硅压阻传感器的压力测量膜片来说，是一层很薄的半导体薄片层（几个微米），通常由多层膜组成，比如除了本身的硅片层外，还有在它的上表层的氧化层和钝化层，所以这个多层膜一般是不对称的。由于压力膜片的非对称构造，它的应变特性与加载压力的不同方向有关。在加载压力方向变化时，严重的会发生所谓的 Knackfrosch 效应 (Knackfrosch-Effekt)，也就是在加载压力方向变化时，压力膜片的应变特性会发生非连续的跳变现象，这个自然就会导致在压力范围内的零点附近的较大的非线性。

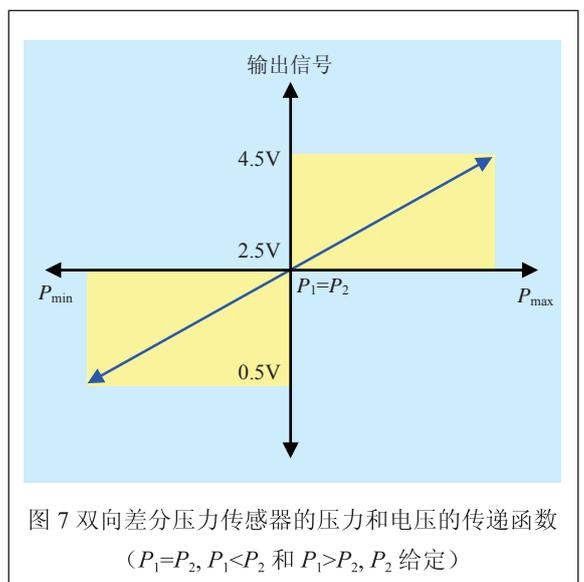


图 7 双向差分压力传感器的压力和电压的传递函数 ($P_1 = P_2$, $P_1 < P_2$ 和 $P_1 > P_2$, P_2 给定)

所以对于硅压阻芯体的生产商来说，要尽可能的确保这个用于双向压力测量的膜片在两个方向上的应变特性的对称性。

针对第二点，图7上的传递函数曲线是基于一个放大电路，它不是把仪表放大器的参考点放在零点，而是放在满量程的中点上。比如型号为AMS 5812的OEM压力传感器，它的电压信号输出的范围是0.5~4.5V。在双向差分压力测量时，对应的零点电压输出是2.5V，此时的压力 $P_1=P_2$ ；在压力 $P_1 \leq P_2$ 时，输出电压0.5~2.5V；在压力 $P_1 \geq P_2$ 时，输出电压2.5~4.5V。

五、相对压力（表压）

与双向差分压力传感器不同的是，在相对压力的测量中，其中的一个压力 P_1 或者 P_2 是始终处在一个环境压力之中。大家所说的相对压力测量，其实就是双向差分压力的一个特殊情况，就是其中一个压力是环境压力，通常是大气压力。如果 P_1 是被测压力， P_2 是环境压力，那么适用的条件是 $P_1 \geq P_2$ 。相对压力传感器上的压力连接端口常常只要一个就可以了。

六、OEM压力传感器 AMS5812 的介绍

OEM压力传感器AMS 5812是为数不多的可以用来测量双向差分压力的差分压力传感器。图8为AMS 5812外形图和截面图。

OEM压力传感器AMS 5812系列是通过高品质的压阻式压力传感器芯体和先进的模拟数字混合专用集成电路组合而

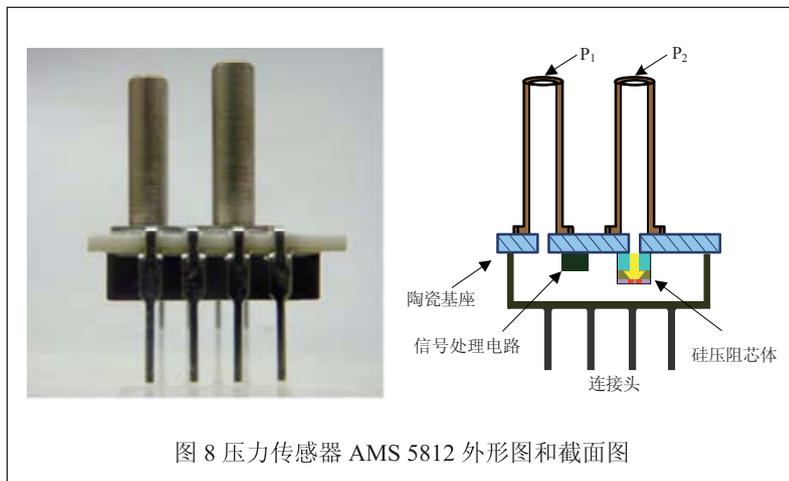


图8 压力传感器 AMS 5812 外形图和截面图

成的，它以厚膜电路的形式封装在陶瓷基底上，外壳是陶瓷材料，引脚是双立直插式，因此具有非常好的机械强度和热稳定性，同市场上的PCB基板和塑料外壳完全不同。它有两路相互独立的信号输出，一路是模拟电压0.5~4.5V或者 $2.5V \pm 2V$ 输出，一路是数字信号I²C输出（包含压力和温度信号）。该OEM传感器是经过校准和在-25~85℃的宽温度范围内进行补偿的，使得OEM压力传感器AMS 5812系列达到了非常高的测量精度和极小的温度漂移以及优异的长期稳定性。

AMS 5812系列的压力测量范围从5mbar到7bar，可以测量相对压力、双向差分压力、绝对压力和大气压力，在医疗器械（呼吸监控），气体流量，暖气通风和空调设备（HVAC），气动设备，大气和真空测量等等都有广泛的应用。

七、总结

通常意义上的差分压力测量，就是测量一侧压力始终大于另一侧压力的差值（要么 $P_1/P_2 \geq 1$ ，要么 $P_1/P_2 \leq 1$ ），这种差分压力的测量可以叫做单向差分压力测量。还有一种广义上的差分压力测量，叫做双向差分压力的测量，它可以同时测量两侧的压力差值，而不管哪一侧大小，也就是差压的大压力或小的压力可以在压力膜片二个方向上随意加载和测量，既可以测量 $P_1/P_2 \geq 1$ 也可以测量 $P_1/P_2 \leq 1$ 。这里以OEM压力传感器AMS 5812作为例子进行了详细的阐述。

在此感谢德国AMG公司（Analog Microelectronics GmbH）提供的本文资料——上海芸生微电子有限公司。

参考文献

[1] Analog Microelectronics 公司 . AMS5812 产品说明书 [EB/OL]: <http://www.amsys.de/>

sheets/amsys.de.ams5812.pdf

[2] Norbert Rauch. AMS5812 在介质兼容性方面的测量应用举例 [EB/OL]: <http://www.amsys.de/sheets/amsys.de.aan508.pdf>.

Differential and bidirectional differential pressure sensors

N.Rauch¹(author), SHI Lin-sheng²(translator)

(1.*Analog Microelectronics GmbH, MAINZ, Germany;*
2.*Shanghai Yunsheng Microelectronics Co. Ltd., Shanghai 201108,China*)

Abstract: In pressure sensor technology various physical measurement methods are adopted depending on the application requirements. These include the measurements of absolute pressure, relative pressure, and differential pressure. But there are many different understanding in how to measure the differential pressure. Taking the piezoresistive sensor AMS 5812 as an example, practical

application of various pressure measurement methods are introduced in this paper. To elucidate further, the important terms relevant to silicon pressure sensing elements and how to amplify the signal from a Wheatstone bridge are described too.

Keywords: differential pressure sensor; bidirectional differential pressure sensors

作者简介

Norbert Rauch (著), 德国 AMG 公司, 德国物理博士, 研究方向为压力传感器和信号处理。

施林生 (译), 上海芸生微电子有限公司, 高级工程师, 研究方向为压力传感器和信号处理。

通讯地址: 上海市金都路 3000 号 1422 室

邮编: 201108

邮箱: zzhijun@126.com