

数较大,但其随温度变化也较明显,而这对传感器性能是不利的。

2. 测量原理

硅压阻式传感器由外壳、硅膜片和引线组成,其核心部分是做成杯状的硅膜片,通常叫做硅杯。外壳则因不同用途而异。在硅膜片上,用半导体工艺中的扩散掺杂法做四个相等的电阻,经蒸镀铝电极及连线,接成惠斯登电桥,再用压焊法与外引线相连。膜片的一侧是和被测系统相连接的高压腔,另一侧是低压腔,通常和大气相通,也有做成真空的。当膜片两边存在压力差而发生形变时,膜片各点产生应力,从而使扩散电阻的阻值发生变化,电桥失去平衡,输出相应的电压,其电压大小就反映了膜片所受的压力差值。

通常硅膜片在受压时的形变非常微小,其弯曲挠度远小于硅膜片的厚度,并且膜片常取圆形。因而求膜片上的应力分布,可以归结为弹性力学中的小挠度圆薄板应变问题。

设均布压力为 P ,则薄板上各点的径向应力 σ_r 和切向应力 σ_t 与其作用半径 r 有如下关系:

$$\sigma_r = \frac{3P}{8h^2} [r_0^2(1+\mu) - r^2(3+\mu)] \quad (2-41)$$

$$\sigma_t = \frac{3P}{8h^2} [r_0^2(1+\mu) - r^2(1+3\mu)] \quad (2-42)$$

式中: r 、 h 为膜片的工作面半径、厚度; μ 为泊松比(硅取 $\mu = 0.35$)。

均布压力 P 产生的应力是不均匀的,且有正应力区和负应力区。利用这一特性,选择适当的位置布置电阻,使其接入电桥的四臂中,两两电阻在受力时一增一减,且阻值增加的两个电阻和阻值减小的两个电阻分别对接。这样既提高输出灵敏度,又部分地消除阻值随温度而变化的影响。因此,压阻式传感器广泛采用全等臂差动桥路。

2.2.3 测量桥路及温度补偿

压阻式传感器的输出方式是将集成在硅片上的四个等值电阻连成平衡电桥,当被测量作用于硅片上时,电阻值发生变化,电桥失去平衡,产生电压输出。但是,由于制造、温度影响等原因,电桥存在失调、零位温漂、灵敏度温度系数和非线性等问题,影响传感器的准确性。因此,必须采取有效措施,减少与补偿这些因素影响带来的误差,提高传感器测量的准确性。

1. 恒压源供电

假设四个扩散电阻的起始阻值都相等且为 R ,当有应力作用时,两个电阻的阻值增加,增加量为 ΔR ,两个电阻的阻值减小,减小量为 $-\Delta R$;另外由于温度影响,使每个电阻都有 ΔR_t 的变化量。根据图 2-34,电桥的输出为

$$U_o = U_{\infty} = \frac{U(R + \Delta R + \Delta R_t)}{R - \Delta R + \Delta R_t + R + \Delta R + \Delta R_t} - \frac{U(R - \Delta R + \Delta R_t)}{R + \Delta R + \Delta R_t + R - \Delta R + \Delta R_t} \quad (2-43)$$

$$\text{整理得} \quad U_o = U \frac{\Delta R}{R + \Delta R_t} \quad (2-44)$$

此式说明电桥输出与 U 成正比,这是说电桥的输出与电源的大小、精度都有关。同时

电桥输出 U_0 与 ΔR 有关, 即与温度有关, 而且与温度的关系是非线性的, 所以用恒压源供电时, 不能消除温度的影响。

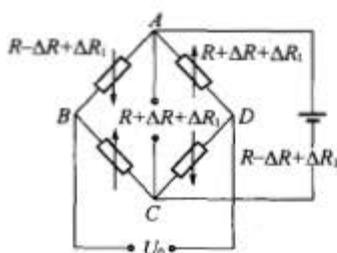


图 2-34 恒压源供电

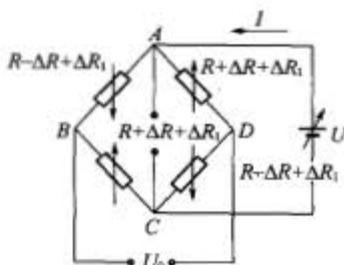


图 2-35 恒流源供电

2. 恒流源供电电桥

图 2-35 所示, 恒流源供电时, 假设电桥两个支路的电阻相等, 即 $R_{ABC} = R_{ADC} = 2(R + \Delta R_1)$, 故有 $I_{ABC} = I_{ADC} = \frac{I}{2}$, 因此电阻的输出为

$$U_0 = U_{BD} = \frac{I}{2}(R + \Delta R + \Delta R_1) - \frac{I}{2}(R - \Delta R + \Delta R_1) \quad (2-45)$$

整理得

$$U_0 = I\Delta R \quad (2-46)$$

电桥的输出与电阻的变化量成正比, 即与被测量成正比, 当然也与电源电流成正比, 即输出与恒流源供给的电流大小、精度有关。但是电桥的输出与温度无关, 不受温度影响, 这是恒流源供电的优点。缺点是, 恒流源供电时, 一个传感器最好配备一个恒流源, 这在使用中有时是不方便的。

3. 温度补偿

当压阻式传感器受到温度影响后, 会引起零位漂移和灵敏度漂移, 因而会产生温度误差。在压阻式传感器中, 扩散电阻的温度系数较大, 电阻值随温度变化而变化, 故引起传感器的零位漂移。传感器灵敏度的温漂是由于压阻系数随温度变化而引起的。

(1) 零点温度补偿

当温度升高压阻系数减小, 传感器的灵敏度要减小; 反之灵敏度增大, 零位温度一般可用串联电阻的方法进行补偿, 如图 2-36 所示。串联电阻 R_s 主要起调节作用, 并联电阻 R_p 则主要起补偿作用。

例如: 温度上升, R_s 的增量较大, 则 A 点电位高于 C 点电位, $V_A - V_C$ 就是零位漂移。在 R_2 上并联一负温度系数的阻值较大的电阻 R_p , 可约束 R_s 的变化, 实现补偿, 以消除此温度差。

当然如果在 R_3 上并联一个正温度系数的阻值较大的电阻也可以。电桥的电源回路中串联的二极管电压是补偿灵敏度温漂的。二极管的 PN 结为负温度特性, 温度升高, 压降减小。这样当温度升高时, 二极管正向压降减小, 因电源采用恒压源, 则电桥电压必然提高, 使输出变大, 以补偿灵敏度的下降。

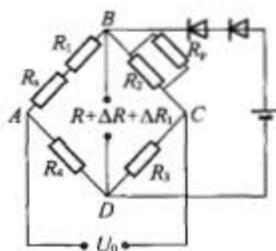


图 2-36 温漂补偿电路

(2) 灵敏度温度补偿

灵敏度温度漂移是由压阻系数随温度变化而引起的,当温度上升时,压阻系数变小;温度降低时,压阻系数变大,说明传感器的温度系数为负值。

补偿灵敏度温度漂移,可以采用在电源回路中串联二极管的方法。当温度升高时,由于灵敏度降低,使输出也降低,这时如果能提高电桥的电源电压,使电桥输出适当增大,便可达到补偿目的。反之,温度降低时,灵敏度升高,如果使电桥电源降低,就能使电桥输出适当减小,同样可达到补偿之目的。因为二极管的温度特性为负值,温度每升高 1°C 时,正向压降约减小 $1.9\sim 2.4\text{ mV}$ 。这样将适当数量的二极管串联在电桥的电源回路中,图 2-36 所示,电源采用恒压源,当温度升高时,二极管正向压降减小,于是电桥电压增大,使输出也增大,只要计算出所需二极管的个数,将其串入电桥电源回路中,便可达到补偿之目的。

2.2.4 压阻传感器的应用

1. 压阻式压力传感器

压力传感器主要由三部分组成:感压部分,直接承受被测应力;转换部分,将待测应力转换为电信号;激励部分,外加的激励电源。在硅弹性膜片上,用半导体器件制造技术在确定晶向上制作相同的四个感压电阻,将它们连接成惠斯登电桥,接上外加电源,就构成了基本的压力传感器。

图 2-37 所示为硅压阻式压力传感器结构图,主要由外壳、硅膜片及引线等组成,其核心部分是一块圆形膜片,在膜片上利用集成电路的成形工艺方法设置了四个阻值相同的电阻,构成平衡电桥的四个桥臂。膜片的四周用一圆环(硅环)固定,如图 2-38 所示。膜片的两边有两个压力腔:一个是和被测系统相连接的高压腔;另一个是低压腔,通常与大气相通。

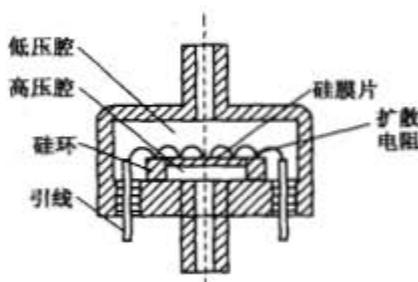


图 2-37 固态压力传感器结构图

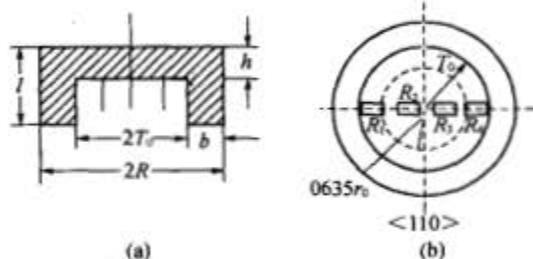


图 2-38 硅环上法线为 $\langle 110 \rangle$ 晶向的膜片

压阻式传感器的基本应用就是测压,其工作原理如上所述。但是,根据不同的使用要求,它的结构形式、外形尺寸和材料选择,有很大的差异。例如,用于动态或点压力测量,则要求体积很小,生物医学用传感器,尤其是植入式传感器,则更要求微型化,其材料选取还应考虑与生物体相容;化工领域或在有腐蚀性气体、液体中使用的传感器,则要求防爆、防腐蚀;在岩土力学研究中使用的传感器,则应考虑岩土与传感器材料的匹配,以及由于传感器的埋入而对原有应力场的影响等问题;气象部门要用绝对压力传感器,它在结构及形式上要考虑真空腔的设计;石油勘探部门不仅要求量程能达 600 大气压,而且温度要求在 200°C 下使用,如此等等。用户应根据自己的需要,选用合适的产品。

压阻式压力传感器的性能指标主要有: