

### (3) 组合式压力传感器

如图 2-31 所示,组合式压力传感器通常用于测量小压力。波纹膜片、膜盒、波纹管等弹性敏感元件感受压力后,推动推杆使梁变形。电阻应变计粘贴于梁的根部感受应变。因为悬臂梁刚性较大,所以这种组合可以克服稳定性较差,滞后较大的缺点。

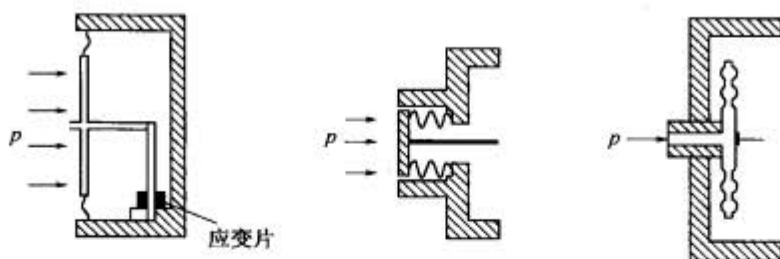


图 2-31 组合式压力传感器

### 3. 应变式加速度传感器

应变式加速度传感器如图 2-32 所示。在一悬臂梁的自由端固定一质量块。当壳体与待测物一起作加速运动时,梁在质量块惯性力的作用下发生形变,使粘贴于其上的应变计阻值变化。检测阻值的变化可求得待测物的加速度。若梁的上下各贴两片应变计,组成全桥,则灵敏度是原来的 2 倍。

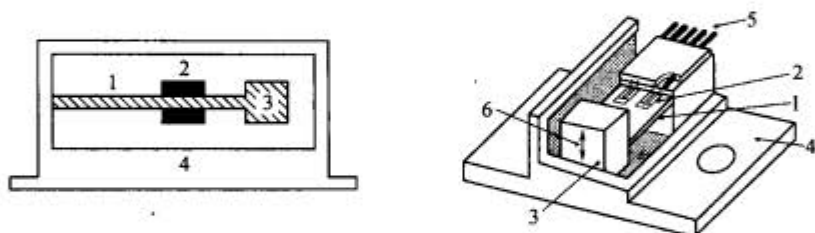


图 2-32 应变式加速度传感器

1—悬臂梁;2—应变计;3—质量块;4—壳体;5—电引线;6—运动方向

## 2.2 压阻式传感器

### 2.2.1 半导体应变计

半导体应变片的工作原理是基于半导体晶体材料的电阻率随作用应力而变化的所谓“压阻效应”。所有材料在某种程度上都呈现压阻效应,但半导体材料的这种效应特别显著,能直接反映出微小的应变。半导体压阻效应现象可解释为:由应变引起能带变形,从而使能带中的载流子迁移率及浓度也相应地发生相对变化,因此导致电阻率变化,进而引起电阻变化。

半导体应变计应用较普遍的有体型、薄膜型、扩散型、外延型等。

体型半导体应变计是将晶片按一定取向切片、研磨、再切割成细条,粘贴于基片上制作而成。几种体型半导体应变计示意图如图 2-33 所示。

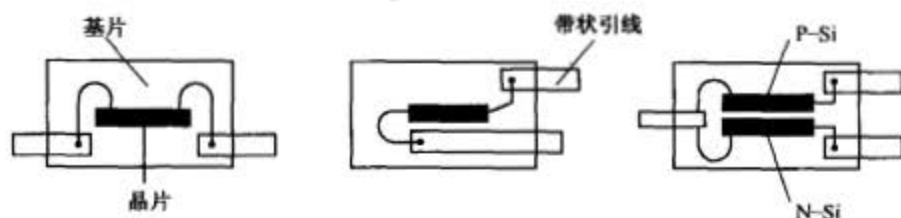


图 2-33 体型半导体应变计示意图

薄膜型半导体应变计是利用真空沉积技术将半导体材料沉积于绝缘体或蓝宝石基片上制成的。

扩散型半导体应变计是将 P 型杂质扩散到高阻的 N 型硅基片上,形成一层极薄的敏感层制成的。

外延型半导体应变计是在多晶硅或蓝宝石基片上外延一层单晶硅制成的。

半导体应变计有如下优点:

① 灵敏度高。比金属应变计的灵敏度约大 50~100 倍。工作时,不必用放大器就可用电压表或示波器等简单仪器记录测量结果。

② 体积小,耗电省。

③ 由于具有正、负两种符号的应力效应(即在拉伸时 P 型硅应变计的灵敏度系数为正值,而 N 型硅应变计的灵敏度系数为负值)。

④ 机械滞后小,可测量静态应变、低频应变等。

## 2.2.2 工作原理

### 1. 压阻效应与压阻系数

半导体材料受到应力作用时,其电阻率会发生变化,这种现象就称为压阻效应。

前面式(2-3)  $\frac{\Delta R}{R} = (1+2\mu)\epsilon + \frac{\Delta\rho}{\rho}$  同样适用于半导体材料,但这时因几何变形而引起的电阻变化可以忽略,电阻的变化率主要是由第二项决定,即

$$\frac{\Delta R}{R} \approx \frac{\Delta\rho}{\rho} = \pi \quad (2-39)$$

式中: $\pi$  为压阻系数; $\sigma$  为应力。

实际情况并非如此简单。当硅膜片承受外应力时,必须同时考虑其纵向(扩散电阻长度方向)压阻效应和横向(扩散电阻宽度方向)压阻效应。由于扩散型力敏传感器的扩散电阻厚度(即扩散深度)只有几微米,其垂直于膜片方向的应力远比其他两个分量小而可忽略。此时,在扩散电阻长度方向上的电阻变化率与给定点应力的关系变为

$$\frac{\Delta R}{R} = \pi_1\sigma_1 + \pi_2\sigma_2 \quad (2-40)$$

式中: $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$  分别为纵向应力和横向应力; $\pi_1$  反映纵向应力引起纵向电阻的变化,称为纵向压阻系数; $\pi_2$  反映横向应力引起横向电阻的变化,称为横向压阻系数。

压阻系数除了与晶向有关外,还与材料的掺杂浓度有关,掺杂浓度较低时,虽然压阻系

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  $\sigma_r$  和切向应力  $\sigma_t$  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; $\mu$  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  $\Delta R$ ,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  $\Delta R_t$  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