



阻抗式传感器

Impedance Sensors





3 阻抗式传感器

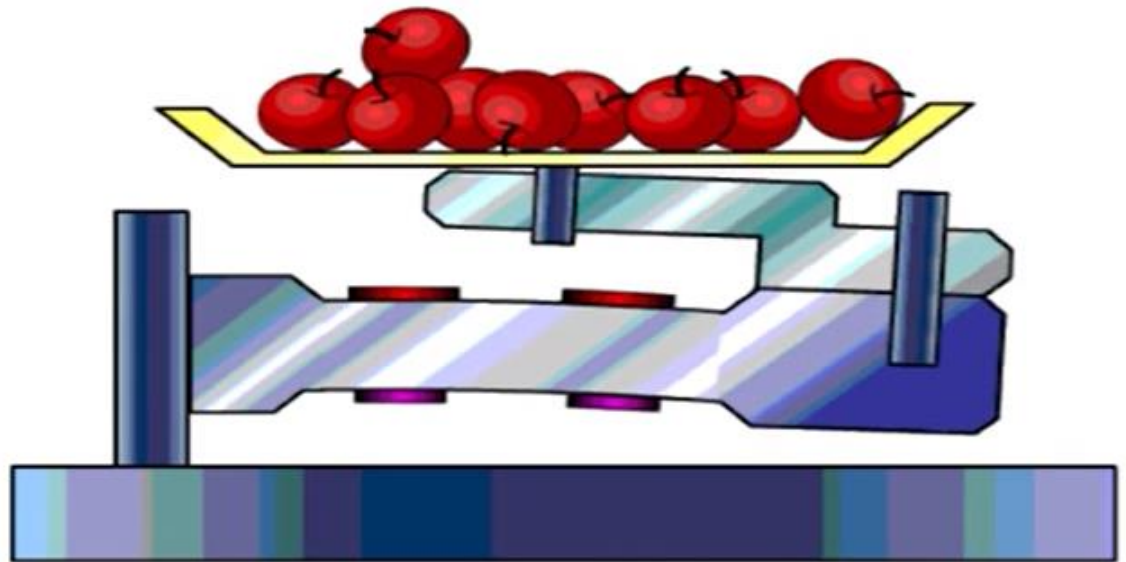
3.1 电阻应变式传感器

3.2 电容式传感器

3.3 电感式传感器



3.1 电阻应变式传感器





3.1 电阻应变式传感器

电阻应变式传感器的发展历史

- 1856年：发现金属材料的应变效应；
- 1931年：制成第一片应变片；
- 1940年：发明应变式传感器；
- 1952年：发现箔式应变片；
- 1970年：半导体应变片。



3.1 电阻应变式传感器

电阻应变式传感器的优点

- 测量灵敏度和精度高
- 测量范围广
- 频率响应好
- 应变片尺寸小、重量轻
- 可在各种复杂环境下测量
-

在常温时精度可达0.01%左右。

测量

可以测量从静态到数十万赫的动态应变。

最小的应变片栅长可短到0.178mm，安装方便，不影响构件的应力状态。

如高温、低温、高速旋转、强磁场等环境测量。



3.1 电阻应变式传感器



便携式吊钩秤





3.1 电阻应变式传感器



远距离
显示

磅秤



超市打印秤



3.1 电阻应变式传感器



机器人握力测量





3.1 电阻应变式传感器



应变式数显扭矩扳手



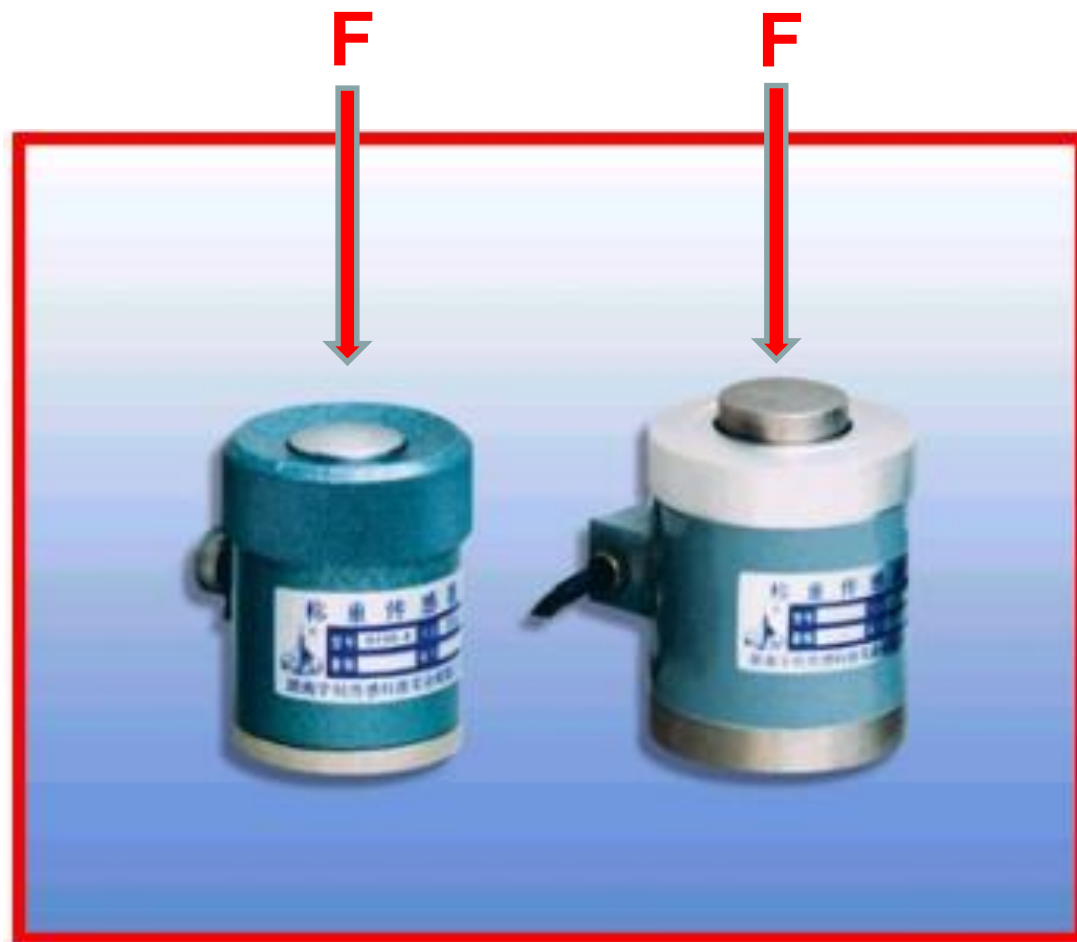
3.1 电阻应变式传感器





3.1 电阻应变式传感器

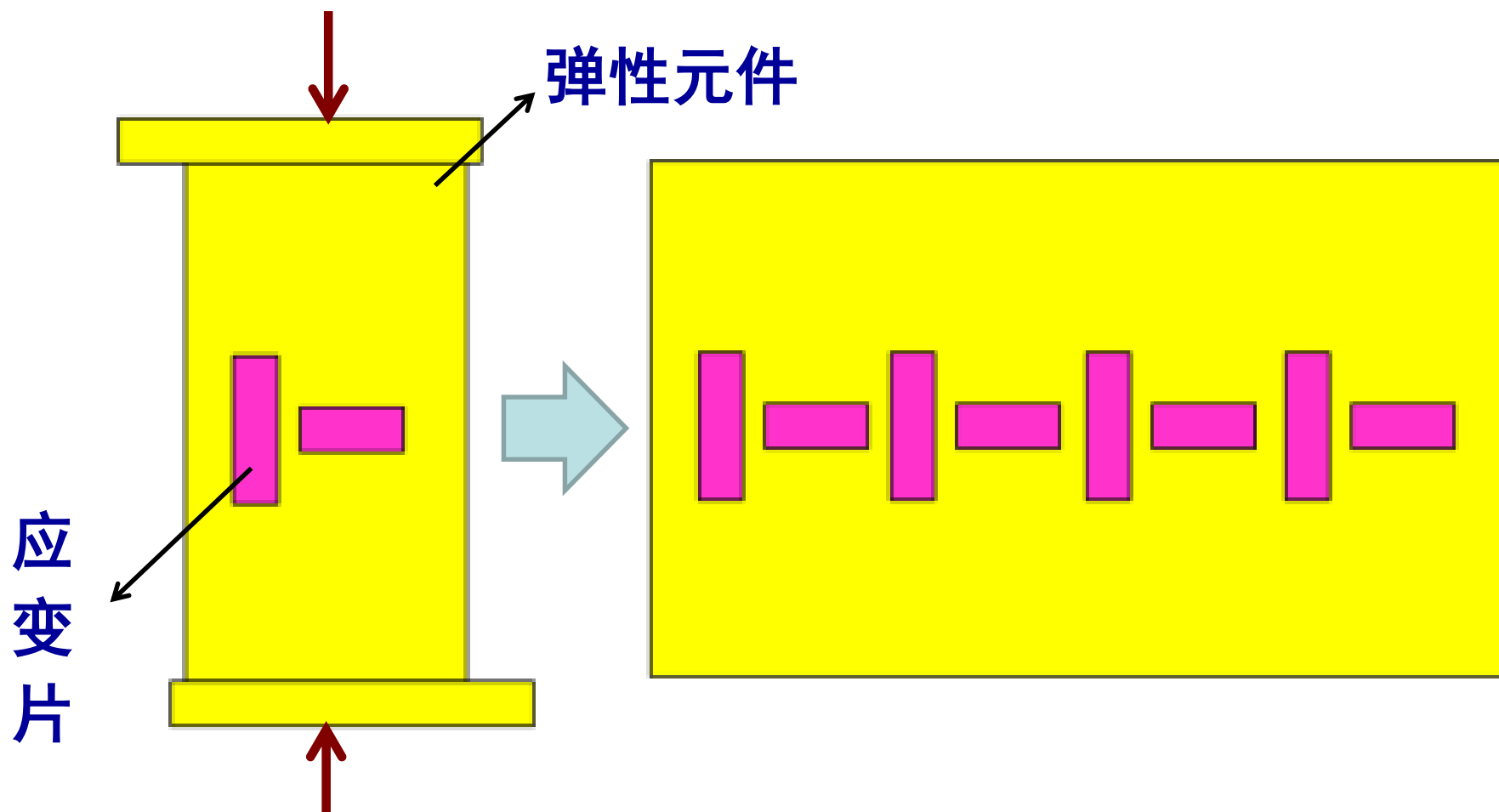
柱式力传感器外形及受力位置





3.1 电阻应变式传感器

柱式力传感器外形及受力位置





3.1 阻抗式传感器

3.1.1 电阻应变片（计）的工作原理

3.1.2 电阻应变片的种类、参数

3.1.3 电阻应变片的动态响应特性

3.1.4 电阻应变片的温度误差及其补偿

3.1.5 电阻应变片的型号代码

3.1.6 应变式传感器的信号调理电路



3.1.1 电阻应变片（计）的工作原理

金属丝拉伸实验





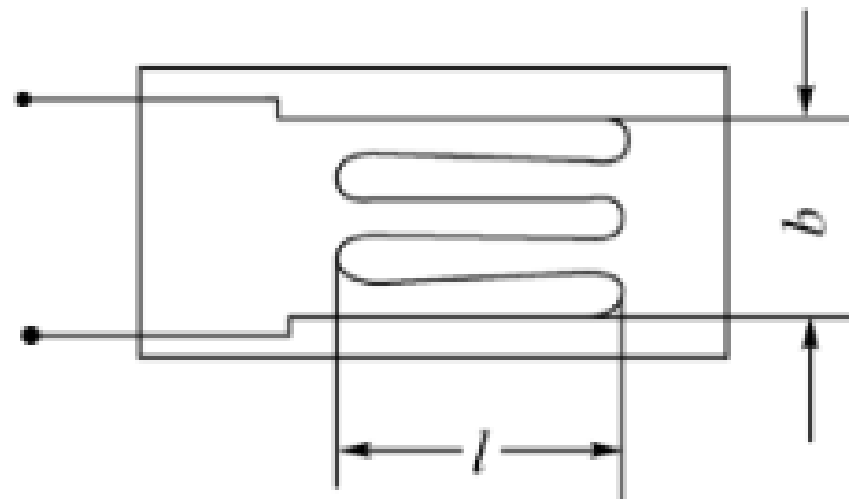
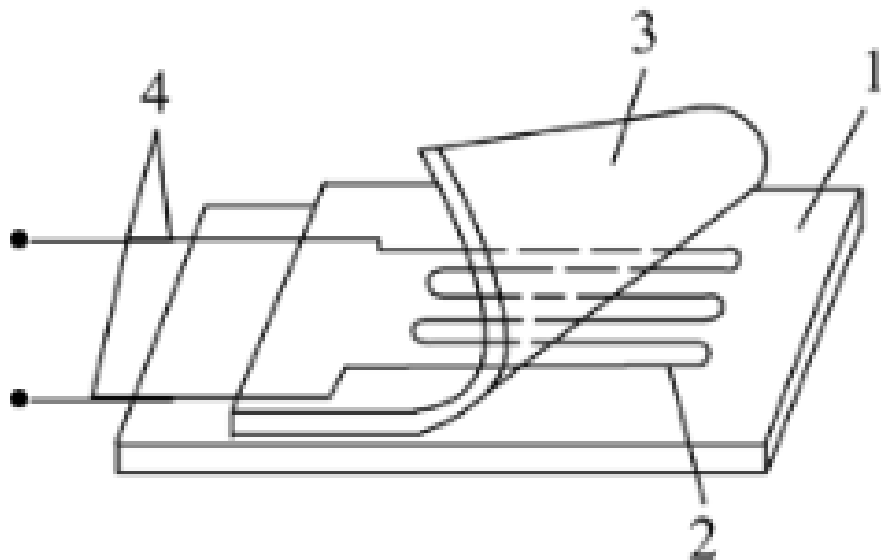
3.1 电阻应变式传感器

电阻应变效应：金属丝（导体）在外力作用下发生机械变形时，其电阻值随着所受机械变形（伸长或缩短）的变化而发生变化的现象。



压阻效应：半导体材料受到外力作用时，其电阻率发生变化的现象。

2. 应变片的结构



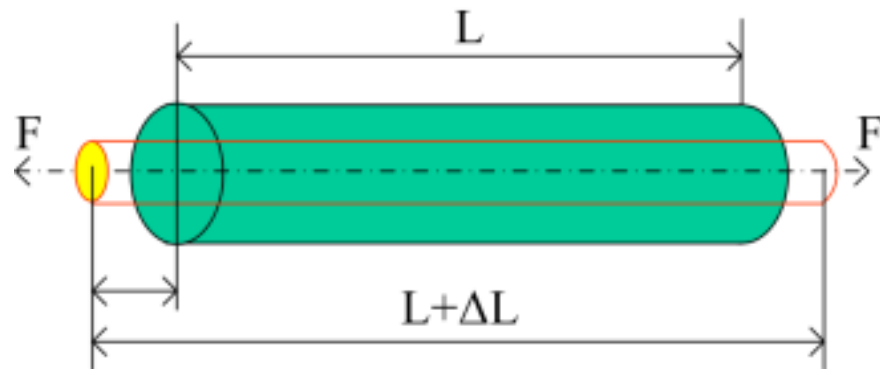
- 1 **基底**: 固定敏感栅，绝缘、薄、挠性好。
- 2 **敏感栅**: 金属丝绕成栅状，感受应变的变化大小。
- 3 **覆盖层**: 防潮、防蚀、防损等。
- 4 **引线**: 连接敏感栅和测量电路。



3. 电阻-应变特性

由物理学可知，金属丝的电阻为：

$$R = \rho \frac{L}{S}$$



当金属丝受拉力 F 时，其 L 、 S 、 ρ 和 R 的变化分别为 dL 、 dS 、 $d\rho$ 和 dR 。

$$dR = \frac{\rho}{S} dL - \frac{\rho L}{S^2} dS + \frac{L}{S} d\rho$$

$$\frac{dR}{R} = \frac{dL}{L} - \frac{dS}{S} + \frac{d\rho}{\rho}$$



3. 电阻-应变特性

轴向应变

$$\varepsilon_x = \frac{dL}{L}$$

径向应变

$$\varepsilon_y = \frac{dr}{r}$$

压阻系数

应力

弹性模量

$$\frac{d\rho}{\rho} = \pi_L \sigma = \pi_L E \varepsilon_x$$

泊松系数

$$\varepsilon_y = -\mu \varepsilon_x$$

$$\begin{aligned} \frac{dR}{R} &= (1 + 2\mu)\varepsilon_x + \frac{d\rho}{\rho} \\ &= (1 + 2\mu + \pi_L E)\varepsilon_x \end{aligned}$$



3. 电阻-应变特性

- 电阻丝的灵敏度系数 K_S ，表示单位应变所引起的电阻相对变化。

$$K_S = \frac{dR/R}{\varepsilon_x}$$

- 电阻应变片的灵敏度系数 K 称为**标定灵敏度系数**，由实验测定。

$$K = \frac{dR/R}{\varepsilon_x}$$



3. 电阻-应变特性

- 对金属材料，电阻率变化很小：

$$\frac{dR}{R} = (1 + 2\mu) \varepsilon_x$$

“电阻应变效应”

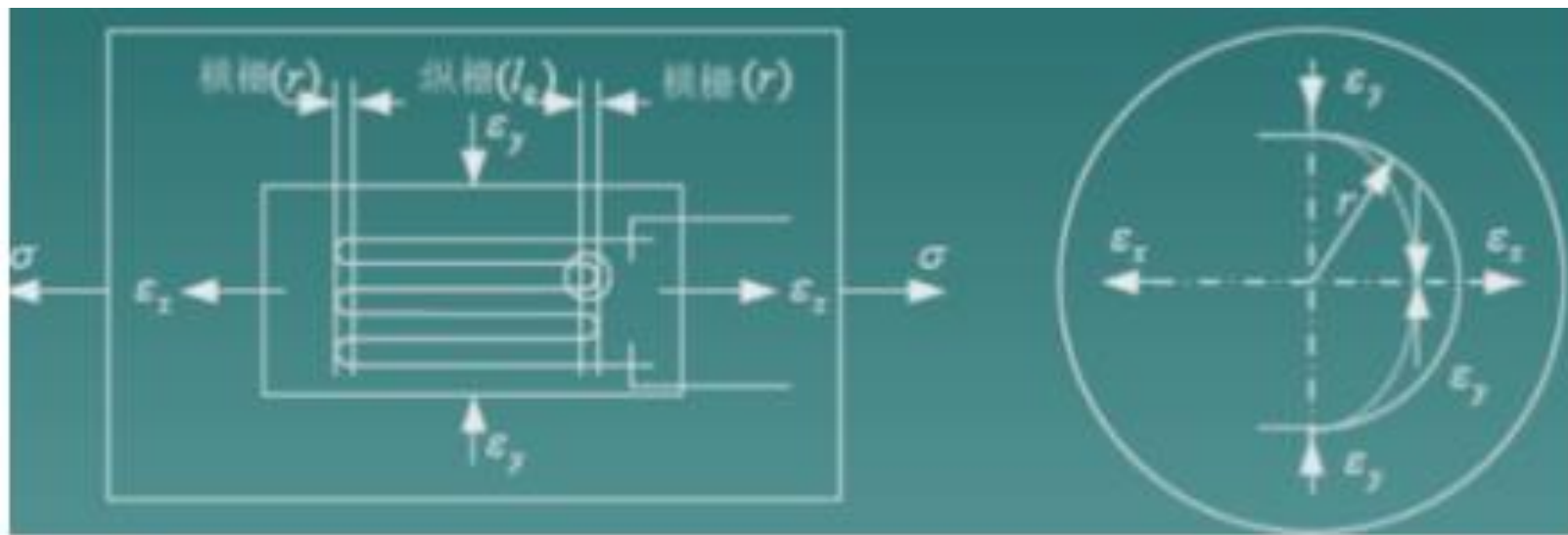
- 对半导体材料，主要是电阻率的变化：

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} = \pi_L E \varepsilon_x$$

“压阻效应”



4 电阻应变片的横向效应



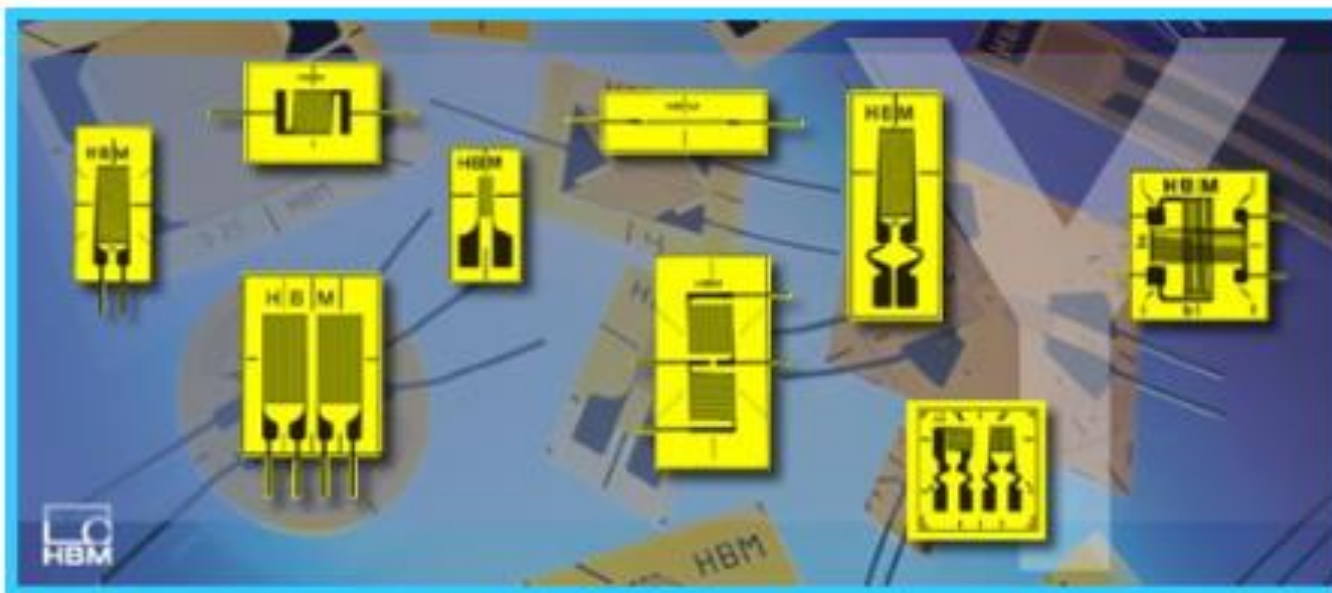
(a) 应变片及轴向受力 (b) 横向效应
应变片轴向受力及横向效应

分析:

- 应变片的纵向应与测量的形变方向一致
- 圆弧部分产生负的电阻变化，降低了应变片的灵敏度
- 必须采取措施减小横向效应的影响（改进结构等）



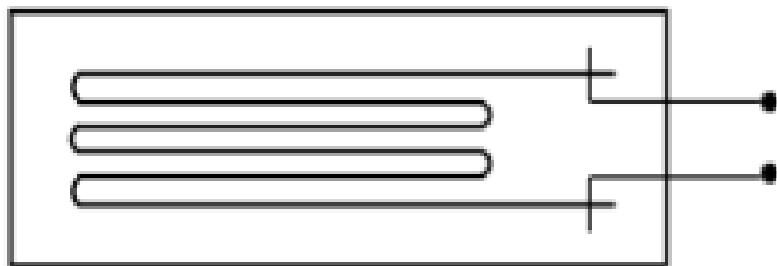
3.1.2 电阻应变片的种类、参数



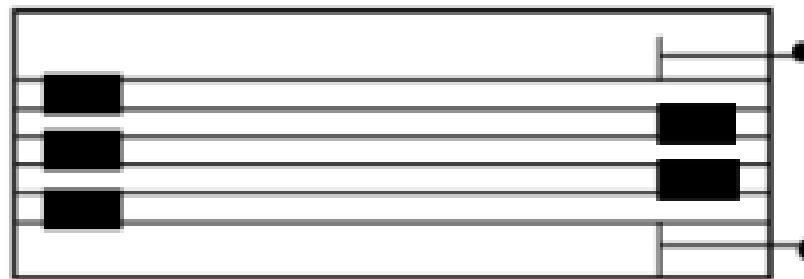


1. 电阻应变片的种类

1) 线性应变片



回线式应变片



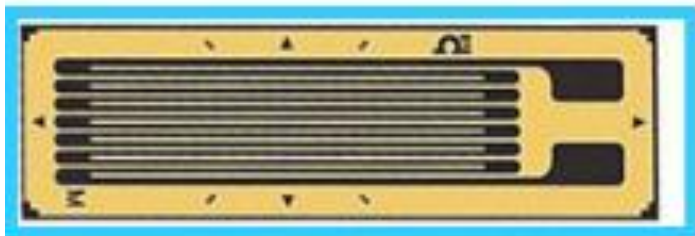
短接应变片

- 优点：制作简单，价格便宜，易安装。
- 缺点：横向效应大，测量精度较差，性能分散。



1. 电阻应变片的种类

2) 箔式应变片



敏感栅采用的是合金的金属箔，用刻图制板、光刻及腐蚀等工艺制作，其厚度一般在 $0.001\sim 0.01\text{mm}$ 。



1. 电阻应变片的种类

箔式应变片优点

- 可制成多种复杂形状、尺寸准确的敏感栅，以适应不同的测量要求；
- 横向效应小；
- 散热条件好，允许电流大，提高了输出灵敏度；
- 蠕变和机械滞后小，疲劳寿命长；
- 生产效率高，便于实现自动化生产。

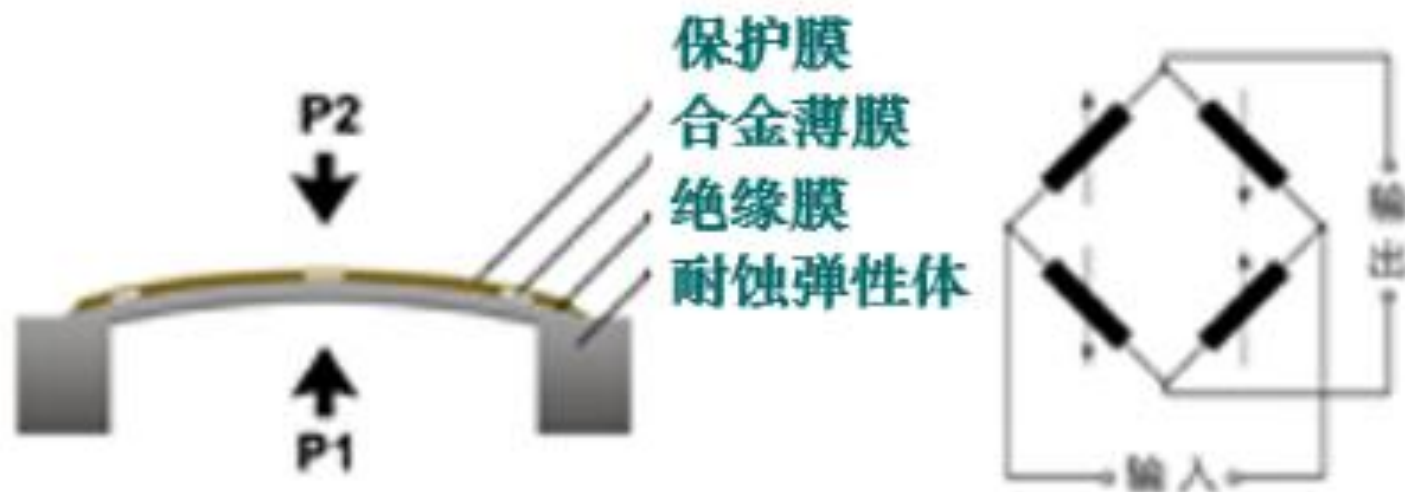




1. 电阻应变片的种类

3) 薄膜应变片

采用真空沉积或离子溅射等方法，在绝缘基片上形成厚度在 $0.1\mu\text{m}$ 以下的金属电阻材料薄膜的敏感栅—厚度大约为箔式应变片的十分之一以下。





1. 电阻应变片的种类

- **优点：**薄膜技术代替粘贴工艺，消除了胶的影响，无蠕变不老化；整体无可动部件，温度特性好，抗振、耐腐蚀；体积小、功耗低、响应速度快。
- **薄膜应变片具有优良的特性。**



中国电子科技集团48所 系列薄膜传感器



1. 电阻应变片的种类

4) 半导体应变片

半导体应变片的工作原理是基于半导体材料的压阻效应而制成的一种纯电阻性元件。当半导体材料某一轴向受外力作用时，其电阻率会发生变化。

