

# 电动势式传感器

#### **Electromotive Fore Sensors**





## 4 电动势式传感器

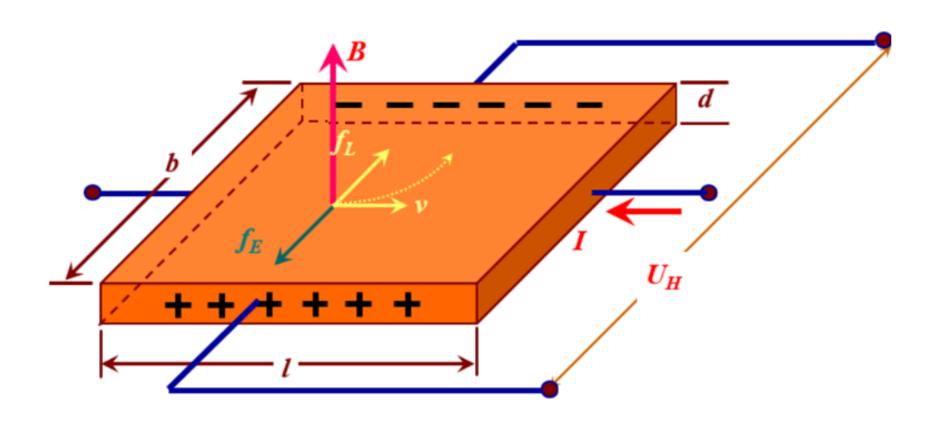
- 4.1 压电式传感器
- 4.2 霍尔式传感器



### 4.2 霍尔式传感器

- > 霍尔传感器是基于霍尔效应的一种传感器。
- 1879年美国物理学家霍尔首先在金属材料中发现了霍尔效应,但由于金属材料的霍尔效应太弱而没有得到应用。随着半导体技术的发展,使用半导体材料制成霍尔元件,由于它的霍尔效应显著而得到应用和发展。
- 霍尔传感器广泛用于电磁测量、压力、加速度、振动等方面的测量。







金属或半导体薄片置于磁感应强度为*B*的磁场中,磁场垂直于薄片,当薄片通以电流/时,在薄片的两侧面出现电势差*U*<sub>H</sub>,这个电势差就称为霍尔电势,这种物理现象称为霍尔效应。



设霍尔元件为N型半导体,通电流I时,那么在磁场B的作用下,半导体的电子受到磁场中的洛仑兹力的大小为

$$f_L = -q_0 VB$$

式中, $q_0$ 为电子电荷量, $q_0$ =1.602×10<sup>-19</sup>C;v为电子速度;B为垂直于霍尔元件表面的磁感应强度。

■ 在洛伦兹力的作用下,电子向垂直于磁场和电子运动的方向偏转,运动的结果便形成电荷积累,产生静电场,亦称霍尔电场。



电场力大小为: 
$$f_E = -q_0 E_H = -q_0 \frac{U_H}{h}$$

磁场力:  $f_L = -q_0 v B$  与电场力相等,动态平衡:  $U_H = v B b$ 

而电流密度 $j=-nq_0v$ ,其中n为金属导电板电子浓度,

即单位体积中的电子数。则电流为

$$I = jbd = -nq_0vbd$$

即: 
$$v = -\frac{I}{nq_0bd}$$
 霍尔电压为:  $U_H = -\frac{IB}{nq_0d}$ 

如果磁场方向与薄片法线方向为 $\alpha$ 角,则  $U_H=-rac{IBcoslpha}{nq_0d}$ 



若取 
$$R_H = -\frac{1}{nq_0}$$
  $\longrightarrow$   $U_H = R_H \frac{IBcos\alpha}{d}$ 

 $R_H$ 被定义为霍尔元件的霍尔系数(单位是 $m^2/C$ ),由载流材料的性质所决定,反映材料霍尔效应的强弱。

设 
$$K_H = \frac{R_H}{d}$$
  $\bigcup$   $U_H = K_H IB cos \alpha$ 

 $K_H$ 即为霍尔元件的灵敏度,它表示一个霍尔元件在单位控制电流和单位磁感应强度时产生的霍尔电压的大小,单位是 $mV/(mA \cdot T)$ 。



电子在电场作用下运动速度v常用载流子迁移率 $\mu$ 来表征,即在单位电场强度作用下,载流子的平均速度值。即 v

$$\mu = \underbrace{E_{I}}^{v} \longrightarrow \mathbf{e}$$
场强度

可以得到  $R_H = \rho \mu$ 

式中 $\rho$ 为电阻率。



### 结论

- ightharpoonup 如果是P型半导体,其载流子是空穴,若空穴 浓度为P,同理可得  $U_H = \frac{IB}{pq_0d}$
- ightharpoonup 霍尔电压 $U_H$ 与材料的性质有关:  $R_H = \rho \mu$
- ightharpoonup 霍尔电压  $U_H$  与元件的尺寸有关:  $K_H = \frac{R_H}{d}$
- ightharpoonup 霍尔电压  $U_H$  与控制电流及磁场强度有关:

$$U_H = K_H IB cos \alpha$$



### 4.2.2 霍尔元件及测量电路

#### 1. 霍尔元件

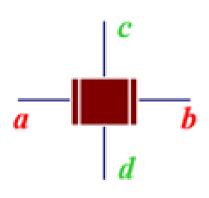
基于霍尔效应工作的半导体器件称为霍尔元件,霍尔元件多采用N型半导体材料。霍尔元件越薄(d越小), $K_H$ 就越大。霍尔元件由霍尔片、四根引线和壳体组成,如图所示。





### 4.2.2 霍尔元件及测量电路



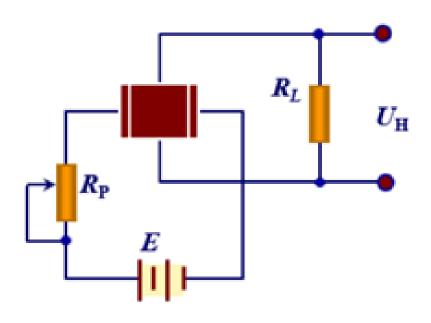


- > 半导体单晶薄片;
- 长度方向两端面上焊有a、b两根引线,通常用红色 导线,其焊接处称为控制电极;
- 另两侧端面的中间以点的形式对称地焊有c、d两根 输出引线,通常用绿色导线,焊接处称为霍尔电极。

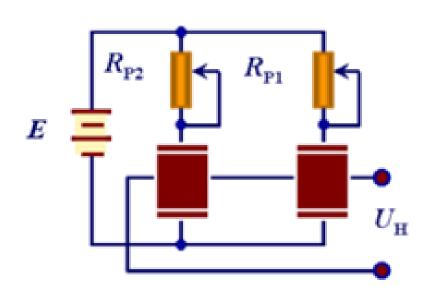


## 4.2.2 霍尔元件及测量电路

### 2. 测量电路



a) 基本测量电路



b) 霍尔元件的串联



### 4.2.3 霍尔元件的主要特性参数

### 1. 额定激励电流 $I_H$ 和最大允许激励电流 $I_M$

当霍尔元件自身温升10°C时所流过的激励电流称为额定激励电流。以元件允许最大温升为限制所对应的激励电流称为最大允许激励电流。

### 2. 输入电阻 $R_i$ 和输出电阻 $R_o$

激励电极间的电阻值称为输入电阻。霍尔电极输出电势对外电路来说相当于一个电压源,其电源内阻即为输出电阻。



### 4.2.3 霍尔元件的主要特性参数

### 3. 不等位电势 $U_0$ 和不等位电阻 $r_0$

当磁感应强度B为零、激励电流为额定值 $I_H$ 时,霍尔电极间的空载电势称为不等位电势(或零位电势) $U_0$ 。不等位电势 $U_0$ 与额定激励电流 $I_H$ 之比称为不等位电阻(零位电阻) $r_0$ 。

产生不等位电势的原因:霍尔电极安装位置不对称或不在同一等电位面上;半导体材料的不均匀造成了电阻率不均匀或是几何尺寸不均匀;激励电极接触不良造成激励电流不均匀分布等。



## 4.2.3 霍尔元件的主要特性参数

#### 4. 霍尔温度系数α

在一定的磁感应强度和控制电流下,温度变化 1°C时,霍尔电势变化的百分率。

### 5. 内阻温度系数β

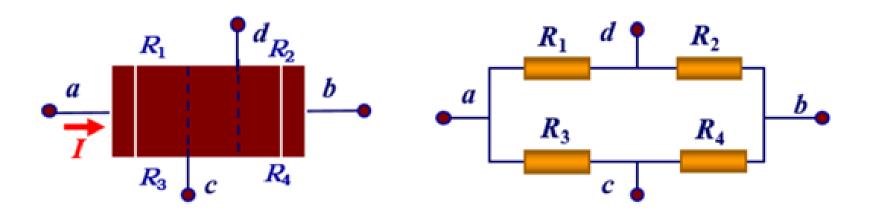
霍尔元件在无磁场及工作温度范围内,温度每 变化1℃时,输入电阻与输出电阻变化的百分率。

### 6. 灵敏度K<sub>H</sub>



#### 1. 不等位电势差及其补偿

霍尔元件有两对电极,各相邻电极之间的电阻 若为 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$ ,霍尔元件可等效为一个四 臂电阻电桥。

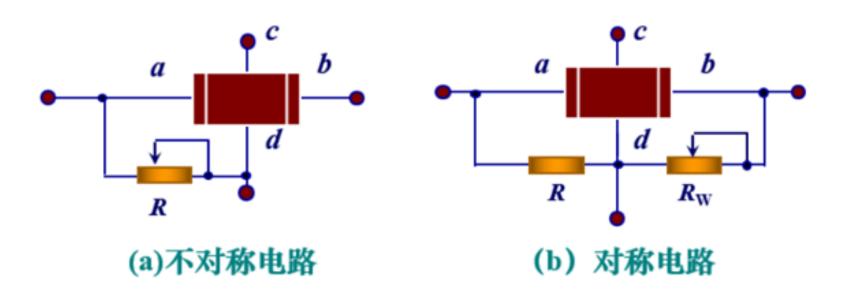


(a)不等位电势

(b) 霍尔元件的等效电路



能够使电桥达到平衡的措施均可以用于补偿不等位电势。图(a)是在电阻值较大的桥臂上并联电阻,图(b)是在两相邻桥臂上并联电阻,以增加电极等效电桥的对称性。



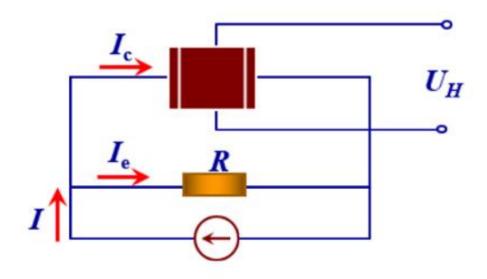


#### 2. 温度误差及补偿

霍尔元件是采用半导体材料制成的,因此它们的许多参数都具有较大的温度系数。当温度变化时,霍尔元件的电阻率及霍尔系数都将发生变化,从而使霍尔元件产生温度误差。



#### 恒流源温度补偿电路



### 温度为 to:

$$I_{Co} = \frac{R}{R + R_{io}}I$$

#### 温度为 t:

$$I_{Ct} = \frac{R}{R + R_{it}}I$$



霍尔元件灵敏度与温度的关系:  $K_{Ht} = K_{H0} (1 + \alpha \Delta t)$  温度系数

霍尔元件输入电阻与温度的关系:  $R_{it} = R_{i0}(1 + \beta \Delta t)$ 

霍尔元件的电阻温度系数

为了使霍尔电势不随温度而变化,即:  $U_{H0} = U_{Ht}$ 

则:  $K_{H0}I_{C0}B = K_{Ht}I_{Ct}B$ 

$$1 + \alpha(t - t_o) = \frac{R + R_{io} + R_{io}\beta(t - t_o)}{(R_{io} + R)}$$

$$R = \frac{(\beta - \alpha)R_{io}}{\alpha} \qquad \beta \gg \alpha \qquad R = \frac{\beta R_{io}}{\alpha}$$