

半导体压阻传感器

张慎行

(秦岭晶体管厂)

早在本世纪三十年代初期 Bridgman 和 Ailen 等人就对晶体的压阻效应做了很多工作。1954年 C. S. Smith 发现了锗和硅的压阻效应。不久, Herring 和 Vogt 等人对半导体的压阻效应进行了理论研究, 提出了半导体能带结构的多谷模型, 为半导体压阻传感器的出现奠定了理论基础。

一、半导体压阻效应

1. 半导体压阻效应的描述

和一切物体一样, 当半导体受到外力作用时, 其内部就伴随产生了与外力大小相等方向相反的内力。通常, 把单位面积上的内力叫做应力。

半导体的电阻率随其内部应力的变化而发生的变化叫做半导体压阻效应。

(1) 压阻系数 π

在一维情况下, 压阻系数 π 定义为单位应力 τ 作用下电阻率 ρ 的变化率, 即

$$\frac{d\rho}{\rho} = \pi\tau. \quad (1)$$

在三维空间中, 应力 τ 是二阶张量, τ_{kl} 表示作用在 k 面上 l 方向上的应力, 相应于二阶应力张量 τ_{kl} 的压阻系数是一个四阶张量 $\pi_{ijkl}^{[1,2]}$, 它们之间存在关系式:

$$\frac{\delta\rho_{il}}{\rho_0} = \sum_{kl} \pi_{ijkl} \tau_{kl}. \quad (2)$$

通常, 四阶压阻系数张量 π_{ijkl} 有 81 个分量。但是对于象锗和硅等金刚石和闪锌矿结构的晶体, 当坐标轴的选取和晶体坐标轴一致时,

独立的压阻系数只有三个, 它们是: π_{11} (即 π_{1111}), π_{12} (即 π_{1122}), π_{44} (即 π_{2323})。 π_{11} 和 π_{22} 相应于轴向应力 (即 τ_{kl} , 当 $k=l$ 时) 产生的压阻系数, π_{44} 相应于剪应力 (即 τ_{kl} , 当 $k \neq l$ 时) 产生的压阻系数。

半导体材料中的应力可分为纵向应力和横向应力。电流方向与应力方向相同时的应力称作纵向应力 τ_l , 相应纵向压阻系数 $\pi_l^{[3]}$:

$$\pi_l = (\delta\rho/\rho_0)/\tau_l = \pi_{11} + 2(\pi_{12} - \pi_{11} + \pi_{44}) \cdot (l_1^2 m_1^2 + l_1^2 n_1^2 + m_1^2 n_1^2), \quad (3)$$

式中 l_1, m_1 和 n_1 为电流方向相对于结晶轴的方向余弦。

电流方向与应力方向垂直时的应力称作横向应力 τ_t , 相应横向压阻系数 π_t :

$$\pi_t = (\delta\rho/\rho_0)/\tau_t = \pi_{12} + (\pi_{11} - \pi_{12} - \pi_{44}) \cdot (l_1^2 l_2^2 + m_1^2 m_2^2 + n_1^2 n_2^2), \quad (4)$$

式中 l_2, m_2 和 n_2 为横向应力与结晶轴的方向余弦。

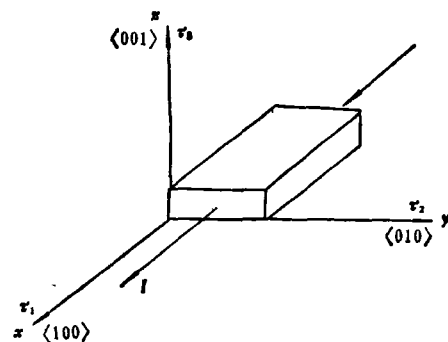


图1 半导体材料的坐标轴选取和电流方向

当半导体材料中同时有纵向应力和横向应力时, 则

$$\delta\rho/\rho = \pi_1\tau_1 + \pi_2\tau_2 \quad (5)$$

当半导体材料 x, y, z 三个坐标轴就是立方晶体的 $\langle 100 \rangle$, $\langle 010 \rangle$ 和 $\langle 001 \rangle$ 方向时, 且受到沿三个坐标轴的轴向应力 τ_1, τ_2 和 τ_3 , 而电流沿着 $\langle 100 \rangle$ 方向时, 则

$$\delta\rho/\rho = \pi_{11}\tau_1 + \pi_{12}(\tau_2 + \tau_3). \quad (6)$$

图 1 表示这种最简单的应力方向. 在这种情况下, π_{11} 为纵向压阻系数, π_{12} 为横向压阻系数, τ_1 为纵向应力, τ_2, τ_3 为横向应力.

表 1 根据 (3) 和 (4) 式列出几个常用晶向的压阻系数分量.

表 1

| | 应力方向 | 电流方向 | $(\delta\rho/\rho_0)/\tau$ |
|----|------|------|----------------------------------------|
| 纵向 | 100 | 100 | π_{11} |
| | 110 | 110 | $(\pi_{11} + \pi_{12} + \pi_{44})/2$ |
| | 111 | 111 | $(\pi_{11} + 2\pi_{12} + 2\pi_{44})/3$ |
| 横向 | 100 | 010 | π_{12} |
| | 110 | 110 | $(\pi_{11} + \pi_{12} - \pi_{44})/2$ |

(2) 弹性应变灵敏系数 G 因子

在一维情况下, 我们定义单位应变 ε 所引起的电阻的变化率为弹性应变灵敏系数 G 因子:

$$G = (dR/R)/\varepsilon. \quad (7)$$

因为

$$\begin{aligned} \frac{dR}{R} &= \frac{dL}{L} - \frac{dA}{A} + \frac{d\rho}{\rho} \\ &= (1 + 2\mu) \frac{dL}{L} + \frac{d\rho}{\rho} \\ &= (1 + 2\mu)\varepsilon + \frac{d\rho}{\rho}, \end{aligned} \quad (8)$$

式中 L 为半导体材料的长度, A 为截面积, μ 为泊松比, 应变 $\varepsilon = \frac{dL}{L}$.

对于半导体材料硅来说, 由于泊松比为 0.35, 而某些方向的压阻系数 π 值很大, 因此

$$\frac{dR}{R} \cong \frac{d\rho}{\rho} = \pi\tau = G\varepsilon = G\tau/Y, \quad (9)$$

式中 Y 为杨氏模量. 所以

$$G \cong \pi Y. \quad (10)$$

在三维情况下,

物理

$$\frac{\delta\rho_{\alpha}}{\rho_0} = \sum_{\lambda=1}^6 G_{\alpha\lambda}\varepsilon_{\lambda}, \quad (11)$$

式中 $\delta\rho_{\alpha}$ 为二阶电阻率变化张量, ε_{λ} 为二阶应变张量, $G_{\alpha\lambda}$ 为弹性应变灵敏系数四阶张量. 与压阻系数张量 π 的分析一样, 当半导体材料坐标轴选取与晶体坐标轴选取一样时, 四阶张量 $G_{\alpha\lambda}$ 也只有三个独立的分量 G_{11}, G_{12} 和 G_{44} . G 因子是一个无量纲的量.

(3) 扩散层的压阻性质

实验指出, 压阻系数与半导体材料中所含的杂质浓度有关. 杂质浓度越高, 压阻系数越小. 对于一般硅平面工艺中的硼磷扩散, 掺杂的杂质在硅中的分布是高斯分布, 压阻系数体现了整个扩散层杂质浓度按结深分布的平均效应. 当扩散电阻两端通过恒定的电流, 压阻效应表现为电阻两端电压的变化. 半导体材料的扩散层的平均压阻系数 $\bar{\pi}$ 只与表面浓度有关, 与扩散结深无关. 扩散电阻的压阻系数 π 和 G 因子随温度升高而下降. 在通常温度范围内, 扩散电阻随温度升高而升高.

2. 压阻效应的理论分析

(1) 液体静压强下的压阻效应

对于本征半导体, 在液体静压强下, 由于四周受压, 使晶体的晶格间距减小, 但是并不破坏晶体的对称性, 仅使能带的极值发生相对移动. 就是说, 使导带底 E_c 和价带顶 E_v 之间距亦即禁带宽度发生变化, 使得本征载流子浓度有较大变化, 因而电导率发生变化. 设 δE_c 和 δE_v 分别为单位体积变化引起的 E_c 和 E_v 的变化, 并假设迁移率不随压强变化, 则电导率 σ_i 随压强的变化为

$$\frac{d \ln \sigma_i}{dp} = - \frac{\delta E_c - \delta E_v}{2kT} \chi, \quad (12)$$

式中 χ 为晶体的压缩系数, 即 $\chi = -(dV/V)/p$, k 为玻耳兹曼常数.

但是, 对于杂质半导体来说, 在液体静压强下, 其电阻率随压强的变化主要是由于迁移率随压强变化而引起的^[4].

(2) 单轴应力下的压阻效应

当对半导体材料施以单轴拉伸或压缩力

时,由于晶体除纵向的伸长或缩短外,横向还要变窄或增宽,所以晶体的对称性发生变化,同时使能带结构发生变化^[3].对于锗和硅等半导体,它们的能带极值不在 $k=0$ 处(k 为波矢)具有多个极值,等能面为旋转椭球面,在单轴应力下,能带结构变化特别显著,会引起沿晶体某一方向特别强烈的压阻效应.例如,硅导带等能面是极值沿 $\langle 100 \rangle$ 方向的六个旋转椭球(如图2所示).

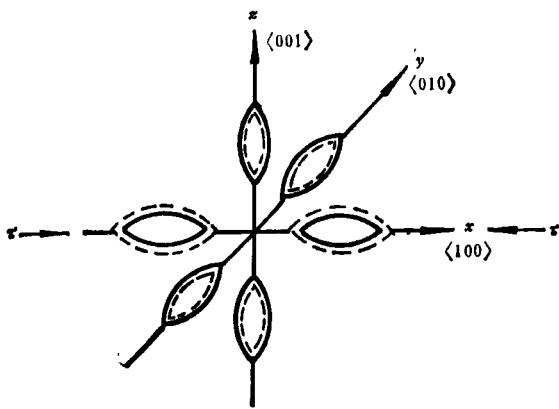


图2 在应力作用下,硅的等能面变化示意图

当沿 $\langle 100 \rangle$ 方向施加压缩应力 τ 时,则 $\langle 100 \rangle$ 方向被压缩,晶格间距减小,同时晶体的 $\langle 010 \rangle$ 和 $\langle 001 \rangle$ 方向发生膨胀,晶格间距反而增大.由于硅的禁带宽度随压强增加而减小,所以此时 $\langle 100 \rangle$ 方向的极值能量降低,而 $\langle 010 \rangle$, $\langle 001 \rangle$ 方向极值能量反而升高.图中实线表示没有受应力作用时某一定能量的椭球等能面.在 $\langle 100 \rangle$ 方向的应力作用下,该等能面相对于 $\langle 100 \rangle$ 极值来说,能差值增加;相对于 $\langle 010 \rangle$ 和 $\langle 001 \rangle$ 方向的极值来讲,能差值减小,结果等能面如上图虚线所示.

由于 $\langle 100 \rangle$ 方向极值降低, $\langle 010 \rangle$ 和 $\langle 001 \rangle$ 方向的极值升高,电子就要发生转移.设在无应力作用时,电子浓度为 n ,六个能谷中的电子浓度均为 $n/6$.在应力作用下,由于电子要占据能量低的状态,所以 $\langle 010 \rangle$ 和 $\langle 001 \rangle$ 能谷中的电子就要向 $\langle 100 \rangle$ 能谷中转移.图3表示电子转移情况.

图中(a)表示无应力时 $\langle 100 \rangle$ 和 $\langle 010 \rangle$ 方

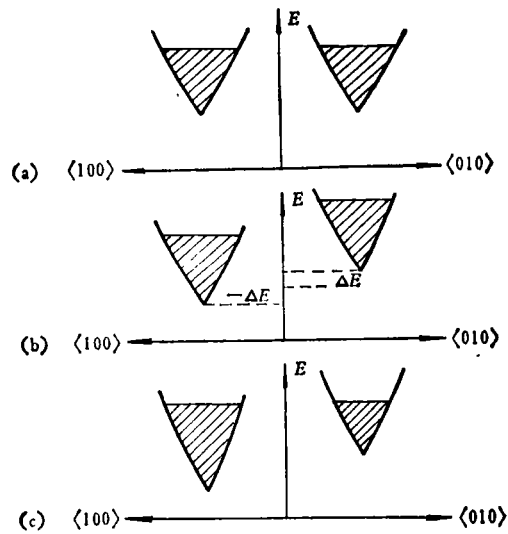


图3 在应力作用下,电子在能谷中转移示意图

向上的两个能谷,两能谷容纳相等数量的电子,(b)表示 $\langle 100 \rangle$ 能谷降低了 ΔE , $\langle 010 \rangle$ 能谷升高了 ΔE ,因而引起电子从 $\langle 010 \rangle$ 能谷向 $\langle 100 \rangle$ 能谷中转移.结果,如(c)所示, $\langle 100 \rangle$ 能谷中电子增多, $\langle 010 \rangle$ 能谷中的电子减少.

电子的上述重新分布就要引起电导率的改变.假设室温下n型非简并半导体杂质导电达到饱和,并且载流子浓度不随压强改变.由于电子纵向有效质量 m_l 和横向有效质量 m_t 不等,而 $m_l > m_t$,所以沿椭球的纵向迁移率 μ_l 小于垂直于主轴的横向迁移率 μ_t ,即 $\mu_l < \mu_t$.如果沿 $\langle 100 \rangle$ 方向施加应力 τ ,沿 $\langle 100 \rangle$ 方向通过电流,并且设由 $\langle 010 \rangle$ 和 $\langle 001 \rangle$ 方向的四个能谷中转移到 $\langle 100 \rangle$ 方向的两个能谷中的电子浓度为 Δn ,这些电子在原来能谷中对 $\langle 100 \rangle$ 方向电导率的贡献为 $\Delta n q \mu_t$,转移到 $\langle 100 \rangle$ 能谷中对电导率的贡献为 $\Delta n q \mu_l$,所以电导率的改变为

$$\Delta \sigma_1 = \Delta n q (\mu_l - \mu_t). \quad (13)$$

因为 $\mu_l < \mu_t$,所以 $\Delta \sigma_1 < 0$,即电阻率增大.

同理,对应力沿 $\langle 100 \rangle$ 方向而在垂直于它的 $\langle 010 \rangle$ 或 $\langle 001 \rangle$ 方向上通电流,则可测得电阻率降低.

实际上,由于电子在能谷间的转移时发生谷间散射效应,使迁移率也随应力而变.实验

证明，其作用与能带结构变化引起的电阻率变化的效应是相互加强的。

二、半导体压阻传感器

利用半导体压阻效应，把力、压力、压差、位移、速度、加速度、应力和应变等力学量变成电学量的器件叫半导体压阻传感器。

从五十年代末期起，就出现了将硅单晶切割、腐蚀成条状做成的体型半导体应变片。后来，又做成体型半导体压阻传感器。六十年代起，利用氧化、光刻、扩散等硅平面工艺制作的扩散型半导体压阻器件出现了，本文着重介绍利用这种器件装成的扩散型半导体压阻传感器。

1. 半导体压阻加速度传感器

半导体压阻加速度传感器结构如图4所示。

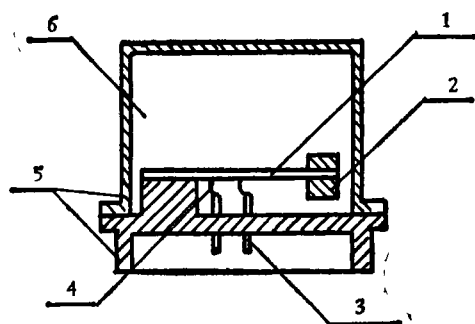


图4 压阻加速度传感器结构示意图

1.根部集成了惠斯登电桥的硅梁；2.质量块；3.玻璃绝缘子引出线；4.金丝；5.传感器壳体；6.整个内腔充满了硅油

在硅矩型梁的根部扩散了四个电阻，构成惠斯登电桥。这个硅梁被固定在加速度传感器的基座上，梁的另一端固定着质量块。电桥的输入和输出端由金丝引至玻璃绝缘子上，从而引出加速度传感器的内腔。腔内充满了硅油。

在这个加速度传感器中，质量块是敏感元件，硅梁及集成在上面的惠斯登电桥是力-电转换元件，硅油起着阻尼作用。

当传感器随着测量对象运动时，传感器就

具有与测量对象相同的加速度 a 。设传感器质量块的质量为 m ，则质量块受到与加速度方向相同的力 ma ，这个力作用在硅梁上，硅梁上即产生应力 τ （一般矩形梁各处应力不同）。设硅梁根部电桥处应力为 τ' ，则电桥的扩散电阻的电阻率 ρ 发生变化，使电桥产生一个不平衡输出 ΔV_{out} ，测出这个 ΔV_{out} 就可知道加速度 a 的值。

2. 半导体压阻压力传感器

半导体压阻压力传感器结构如图5所示。

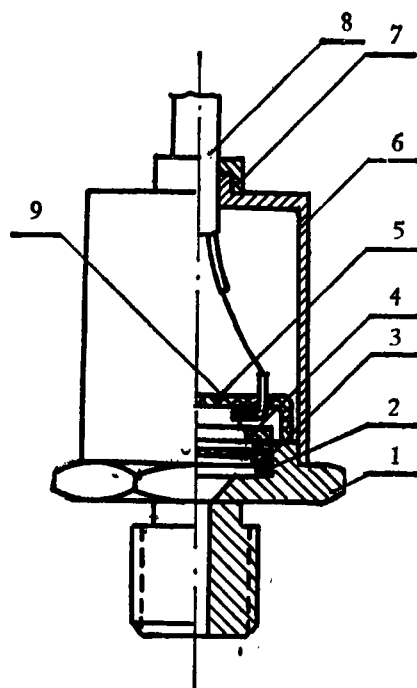


图5 压阻压力传感器结构示意图

1.底座；2.硅橡胶圈；3.杯状硅膜片；4.锁紧螺母；5.绝缘支架；6.外壳；7.引线架；8.引出电缆线；9.金丝

杯状硅膜片上，杯底的外侧面集成了惠斯登电桥。杯状硅膜片用“O”型橡胶圈或其它办法悬浮地支撑在传感器的外壳上，使外壳受到的机械应力和热应力不影响杯状硅膜片。

这里，硅膜片既作为敏感元件，又作为力-电转换元件。当气体或液体的压力 p 作用于硅膜片上时，由于膜片的受力可以用周界固定的圆膜片受均匀压力 p 的模型描述^[6]。通过计算可以得出径向应力：

$$\tau_r = \frac{3}{8} p(1 + \mu) \left(\frac{a}{h}\right)^2 \times \left[1 + \frac{3 + \mu}{1 + \mu} \left(\frac{r}{a}\right)^2\right]; \quad (14)$$

切向应力:

$$\tau_t = \frac{3}{8} p(1 + \mu) \left(\frac{a}{h}\right)^2 \times \left[1 - \frac{1 + 3\mu}{1 + \mu} \left(\frac{r}{a}\right)^2\right], \quad (15)$$

式中 a 为硅膜片的有效半径, h 为其厚度, μ 为硅材料的泊松比。

径向应力和切向应力分布图如图 6 所示。

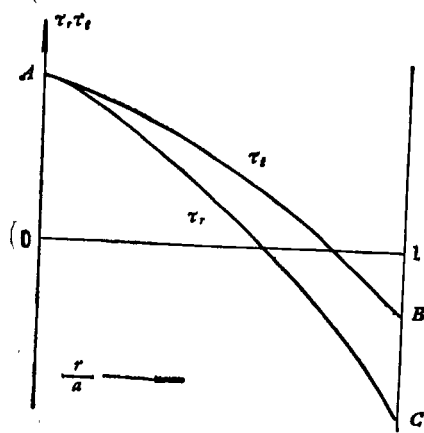


图 6 周界固定圆膜片受均匀载荷时应力分布图

$$A \text{ 点: } \frac{3(1 + \mu)a^2 p}{8h^2};$$

$$B \text{ 点: } -\frac{3}{4} \mu \frac{a^2 p}{h^2}; \quad C \text{ 点: } -\frac{3}{4} \frac{a^2 p}{h^2}$$

从图中可以看出: (1) 膜片中心及边缘处应力最大; (2) 膜片上的径向应力和切向应力从圆心的正的极大值经过各自的零点到达边缘处各自的负的极大值。

这种结构的传感器, 总是在某晶面上选择两个相互垂直的晶向 $\langle hkl \rangle$ (设为 x 轴方向) 和 $\langle rst \rangle$ (设为 y 轴方向) 作坐标轴, 使扩散电阻或平行于 x 轴(称 R_1)、或垂直于 x 轴(称 R_2), 根据空间两向量夹角公式可以计算得到如下结论:

(1) 某晶向的纵向压阻系数只与该晶向的指数有关, 两个互相垂直晶向的纵向压阻系数 π_1 一般是不相同的:

$$\pi_{1R_1} = \frac{2(h^2 k^2 + k^2 l^2 + l^2 h^2)}{(h^2 + k^2 + l^2)^2} \pi_{44}, \quad (16)$$

$$\pi_{1R_2} = \frac{2(r^2 s^2 + s^2 t^2 + t^2 r^2)}{(r^2 + s^2 + t^2)^2} \pi_{44}. \quad (17)$$

(2) 两个互相垂直晶向的横向压阻系数相同, 即:

$$\pi_{tR_1} = \pi_{tR_2} = \frac{-(h^2 r^2 + k^2 s^2 + l^2 t^2)}{(h^2 + k^2 + l^2)(r^2 + s^2 + t^2)} \pi_{44}. \quad (18)$$

(3) 对任一晶向, π_1 和 π_t 总是符号相反, 数值不等。

由以上分析, 我们一般选择 $\langle 100 \rangle$ 晶面或 $\langle 110 \rangle$ 晶面作为半导体压阻压力传感器的膜片晶向。然后, 将惠斯登电桥的两对电阻, 或利用其纵向压阻效应或利用横向压阻效应, 分别分布在正、负应力区以求得最大的输出值。

根据

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \pi_1 \tau_1 + \pi_t \tau_t, \quad (19)$$

使两对电阻中的一对随压力增加, 另一对随压力减小。这样, 获得最大的输出。

3. 传感器压阻电桥的性能分析

下面分别讨论传感器压阻电桥的电桥输出, 零点温度系数、灵敏度温度系数、非线性、零点时间漂移等特性, 并且比较恒压源和恒流源两种不同的直流电源供电时这些特性的情况。

(1) 电桥输出 V_{out}

设四个扩散电阻为 R_1, R_2, R_3 和 R_4 。

a. 在恒压源供电情况下, 恒压源电压 E_0 , 则

$$V_{out} = E_0 \frac{R_2 R_4 - R_1 R_3}{(R_1 + R_4)(R_2 + R_3)}; \quad (20)$$

b. 恒流源供电情况下, 恒流源电流 I_0 , 则

$$V_{out} = I_0 \frac{R_2 R_4 - R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}. \quad (21)$$

(2) 电桥零点温度系数

我们定义在传感器使用温度范围内无载荷时的输出电压随温度变化率与常温下满量程输出电压之比为零点温度系数。由式(20)和(21)可以得出, 在恒压源供电时, $V_0(\Delta T) = V_0$, 即零点不随温度变化。在恒流源供电时,

$$V_0(\Delta T) = (1 + \alpha \Delta T)V_0.$$

这里 ΔT 为温度差, α 为扩散电阻的温度系数.

(3) 灵敏度温度系数

在使用温度范围内, 满量程输出电压的温度变化率与常温下满量程输出电压之比叫做灵敏度温度系数. 设外力引起膜片的应变为 ε , 恒压源供电时, $V_{out} \cong E_0 G \varepsilon$; 恒流源供电时, $V_{out} = I_0 R G \varepsilon$. 式中 E_0 和 I_0 不随温度变化, ε 也不随温度变化. 灵敏度因子 G 随温度增加而下降; 在通常使用的温度范围内, 扩散电阻 R 随温度升高而升高, 所以恒压源供电时, 电桥灵敏度随温度升高而下降; 恒流源供电时, R 随温度增加而上升, G 随温度上升而下降. 实验指出, 在硅 P 型扩散电阻表面浓度为 $3 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 或 $2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 时, R 和 G 随温度的变化率的绝对值相等, 此时灵敏度温度系数不随温度变化.

(4) 非线性误差

在一维情况下, $dR/R = G\varepsilon$, 这个等式中的 G 一般并不是常数, 这就给传感器带来了非线性. 对于硅的压阻效应, 在应变不太大的范围内, 可以用下面的泰勒级数展开近似:

$$\Delta R/R = C_1 \varepsilon + C_2 \varepsilon^2 + C_3 \varepsilon^3 + \dots \quad (22)$$

在上式中, 略去高次项后, 非线性主要由平方项决定. 对硅来讲, 实验测得掺杂越重, 泰勒级数展开各项系数越小, 非线性也越小.

影响非线性的第二个因素是硅材料承受荷载与膜片应力之间的非线性关系. 因此, 在保证一定输出的条件下减小硅材料受载荷时的挠度可以减小非线性.

产生非线性的第三个原因是惠斯登电桥四个桥臂电阻 $\Delta R/R$ 不一致, 这需要在设计和工艺上加以注意. 此外, 恒流源供电比恒压源供电时非线性误差小.

(5) 压阻传感器的零点时间漂移

在半导体压阻传感器载荷为零时, 零点输出值越稳定, 测量越可靠. 零点随时间漂移的原因主要在于: p-n 结有反向漏电流; 硅和二氧化硅膨胀系数不一致使扩散电阻上有一附加热应力; 引线孔硅铝欧姆接触不良引起漂移等.

物理

三、半导体压阻传感器的特点和发展概况

半导体压阻传感器目前已广泛地应用于航空、宇航、海洋、化工、医疗和动力等部门作为检测力、压力、速度、加速度、真空度、大气参数、人体压力、心音、脉象、海洋浪涌和液位等多种重要参数. 这是因为它有下述显著的特点:

(1) 灵敏度高、精度高

由于半导体传感器没有传动机构, 所以没有摩擦误差; 同时由于敏感元件和力-电转换元件的一体化, 所以消除了迟滞误差. 精度一般可达到 0.1%—0.5%. 另一方面, 由于半导体灵敏度因子较金属丝高 50—100 倍, 所以灵敏度可达几十到几百毫伏.

(2) 体积小、可微型化、集成化

由于采用集成电路的工艺方法, 所以体积可做得很小. 同时还可将运算放大器集成在硅膜片上, 使输出进一步提高. 美国库利特公司做的一种小型传感器最大外径仅 0.8 mm, 额定压力为 $7\text{kg}/\text{cm}^2$, 输出达 40mV. 我国也有外径仅数毫米的半导体压力传感器生产. 用这样的传感器插入管道测量流体的参数不影响流体的形态.

(3) 结构简单, 工作可靠

半导体压阻压力传感器在做完几十万次疲劳试验后, 性能毫无变化.

(4) 动态性能好

压阻压力传感器的频响一般在几千赫兹到几百千赫兹之间, 可较好地用于动态测量. 压阻加速度传感器的频响一般为几十赫兹到几百赫兹.

由于半导体压阻传感器有上述特点, 因此各国竞相发展. 五十年代出现半导体体型应变片, 六十年代扩散型半导体压阻器件和压阻传感器在实验室问世, 七十年代它们已广泛地在各工业国家生产. 例如, 法国 Schlumberger 公司生产的 CZ 1023 型等型号的半导体压阻压力传感器曾在协和号飞机和阿波罗飞船上使用.

美国 Honeywell 公司生产的 DADS 高精度压力传感器的精度为 0.02%，它用于美国 DC-10 飞机的大气数据处理系统。

我国从六十年代起有些单位研制了体型半导体应变片和传感器。从 1970 年起一些研究所、院校和工厂研制和生产了多种型号的扩散型半导体压阻传感器，其技术指标达到和接近国外产品水平。

由于半导体压阻传感器特别适合批量生产，价格低廉，所以发展很快。它将成为最有竞

争能力的一种普及型传感器。

参 考 文 献

- [1] C. S. Smith, *Solid State Physics*, Vol. 6. Acad. Press, New York, (1958), 175.
- [2] E. G. S. Paige, *Progress in Semiconductors*, Vol. 8, Temple Press, London, (1964), 155.
- [3] D. E. Fulkerson, *IEEE Trans. Electr. Devices*, ED-16 (1969), 867.
- [4] W. Paul, *J. Phys. Chem. Solids*, 8 (1959), 196.
- [5] C. S. Smith, *Phys. Rev.*, 94-4 (1954), 42.
- [6] 王龙甫编, 弹性理论, 科学出版社, (1979).

硅 霍 耳 元 件 和 特 斯 拉 计

梁晓春 丁丕光 徐 彬 李士俊 傅长保

(北京师范大学半导体器件厂)

霍耳效应是美国物理学家霍耳于 1879 年在金属中发现的。1948 年以后，半导体的霍耳效应得到了广泛重视，制成了各种霍耳元件。首先出现的是锗霍耳元件，1955 年出现了硅霍耳元件。近二十年来，随着化合物半导体材料(如 InAs, InAsP, GaAs 等)的出现，用化合物半导体制造的霍耳元件由于有较高的稳定性而越来越引起人们的重视(如西德西门子的 FA, FC 和 SV 系列, 美国贝尔公司的 BH 系列)。其中有的元件可用作 0.2 级甚至 0.1 级特斯拉计的测磁探头。而硅霍耳元件则相形见拙，在进口产品中，我们只见过配用在 2.5 级特斯拉计(日本横河电机 3251 样机)上的硅霍耳测磁探头，更高精度的至今未见过。

我们经过对硅霍耳元件制造工艺的研究和试验，提高了硅霍耳元件的稳定性，形成了硅霍耳元件生产线。并且用自己生产的 SH 型硅霍耳元件测磁探头制造出了 SG-1 型和 SG-2 型 1.0 级数字特斯拉计，其中部分产品在定标范围内实际精度可达 0.5 级。

一、对霍耳元件性能的要求

霍耳元件是根据霍耳效应在形状规则(最简单的是矩形)的 n 型单晶薄片(或外延层)上制造四个欧姆接触电极并焊上四条引线(a, b, c, d)构成的。(如图 1 中实线部分所示)。

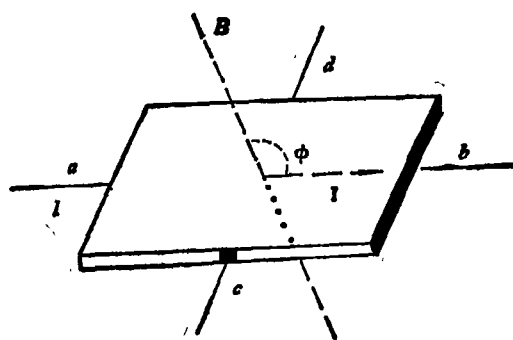


图 1 霍耳元件工作原理示意图

霍耳元件的输入量有三个(图 1 中虚线所示): (1) 由电流极 a, b 输入的电信号 I (mA); (2) 穿过半导体片的磁信号 B (T); (3) I 与 B