

# 横向电压型压力传感器的磁敏性 及其消除法\*

齐薇佳 鲍敏杭 于连忠

(复旦大学电子工程系, 上海)

1987年5月19日收到

横向电压型压力传感器的几何形状与霍尔器件相同因此也存在有磁敏性。本文用弱场近似的统计理论导出了非均匀掺杂薄层的霍尔电势表达式, 理论计算与实验结果相当一致。最后, 介绍了一种实际上能完全消除磁场对压力传感器影响的方法, 得到了很好的结果。

主题词: 传感器, 压力, 磁场

横向电压型压力传感器结构简单, 性能优良, 具有很好的应用前景<sup>[1]</sup>。由于它的几何形状与霍尔器件相同, 因此存在有对磁场敏感的问题。因此, 分析横向电压型压力传感器的磁敏性及其消除方法具有重要的实用意义。

横向电压型压力传感器一般是在n型衬底上用扩散或离子注入等工艺形成的p型器件, 其杂质的纵向分布是不均匀的, 因此不能简单的采用均匀材料器件的结果。

根据半导体中载流子运输的统计理论, 在弛豫时间近似和弱场条件下, 电磁场中的电流密度为<sup>[2]</sup>

$$j = \sigma_0 E + \alpha E \times B \quad (1)$$

式中  $\sigma_0$  和  $\alpha$  由下式定义

$$\sigma_0 = \frac{pe^2}{m_*} \langle \tau \rangle, \quad \alpha = \frac{pe^3}{m_*} \langle \tau^2 \rangle \quad (2)$$

其中  $p$  为空穴浓度,  $\langle \tau \rangle$  和  $\langle \tau^2 \rangle$  为对  $\tau$  和  $\tau^2$  的统计平均值。如把器件表面取作为  $x-y$  坐标平面,  $x$  方向沿器件纵向, 亦即电流方向, 如图1所示, 电流密度的两个分量为

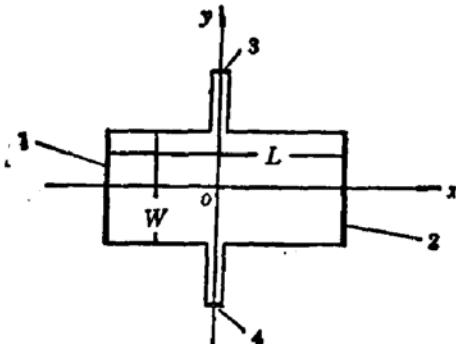


图1 横向电压型压力传感器图形及坐标

\* 国家自然科学基金资助课题。

$$\begin{cases} j_x = \sigma_0 E_x + \alpha B_z E_y, \\ j_y = -\alpha B_z E_x + \sigma_0 E_y, \end{cases} \quad (3)$$

如磁场随时间的变化可以忽略, 则由 Maxwell 方程, 得到  $\nabla \times \mathbf{E} = 0$ 。设器件横向尺寸比纵向尺寸大得多, 可以得到  $\frac{\partial E_y}{\partial z} = \frac{\partial E_x}{\partial z} = 0$ , 即  $E_x$  和  $E_y$  在  $z$  方向是均匀的。对式(3)沿  $z$  方向从 0 到结深  $d$  积分, 可得到在  $x$  和  $y$  方向上薄层电流密度

$$\begin{aligned} j_{xz} &= E_x \int_0^d \sigma_0 dz + E_y \int_0^d \alpha B_z dz, \\ j_{yz} &= E_x \int_0^d (-\alpha B_z) dz + E_y \int_0^d \sigma_0 dz. \end{aligned} \quad (4)$$

如输出端没有电压负载, 即  $j_{yz} = 0$ , 由式(4)可得到,

$$E_y = \frac{\int_0^d \alpha B_z dz}{\int_0^d \sigma_0 dz} E_x \quad (5)$$

在器件  $x$  向二端电极间加有电压  $V_x$ , 器件长为  $L$ , 宽为  $W$ , 横向霍尔电压  $V_H$  为

$$V_H = \frac{W}{L} V_x B_z \frac{\int_0^d p_e \frac{e^2 \langle \tau^2 \rangle}{m^*} dz}{\int_0^d p_e \frac{e \langle \tau \rangle}{m^*} dz} \quad (6)$$

在非简并, 长声学波散射为主时,  $\langle \tau^2 \rangle = 1.18 \langle \tau \rangle^2$ 。利用关系  $\mu = \frac{e \langle \tau \rangle}{m^*}$ , 并考虑到电极短路效应引入的因子  $f_H$ <sup>[3]</sup>, 有

$$V_H = 1.18 \frac{W}{L} V_x B_z \mu_H f_H \quad (7)$$

$$\mu_H = \int_0^d p_e \mu^2 dz / \int_0^d p_e \mu dz, \quad (8)$$

知道杂质的分布, 由式(7)(8)可以算出  $V_H$ 。为比较掺杂类型对磁敏性的影响, 在掺杂量  $10^{14}/\text{cm}^3$ , 结深  $1\ \mu\text{m}$  和衬底杂质浓度  $10^{15}/\text{cm}^3$  条件下, 计算了余误差分布, 高斯分布和均匀分布的  $\mu_H$  值, 结果依次为  $109, 111$  和  $114\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{S}$ 。计算中利用了迁移率  $\mu$  和掺杂浓度  $N$  间的如下经验公式<sup>[4]</sup>

$$\mu = \frac{\mu_{\max} - \mu_{\min}}{1 + \left| \frac{N}{N_r} \right|^a} + \mu_{\min} \quad (9)$$

其中  $a = 0.76, N_r = 6.3 \times 10^{14}/\text{cm}^3, \mu_{\max} = 495 \text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{S}, \mu_{\min} = 47.7\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{S}$ 。另对, 对一个

离子注入的实际器件, 根据工艺条件用 SUPREM 程序模拟得到杂质的分布, 再由式(7)–(9)算出  $V_H$ , 计算结果与实验测得的值仅相差 5%。

分析和实验结果表明, 100 高斯磁场约给压力传感器带来 1% 误差, 这对器件在较弱

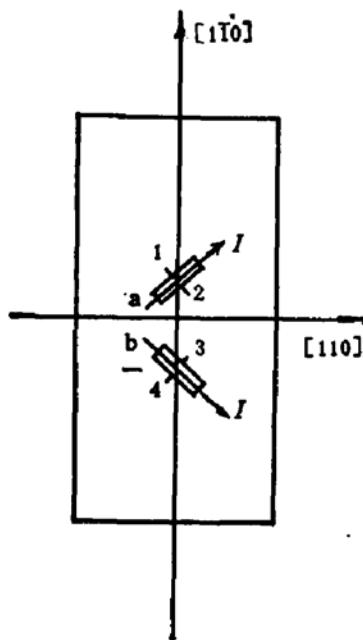


图 2 (100)面长方膜中心的两个力敏器件

磁场中的应用是一个限制。由于  $\mu_B$  对掺杂分布不是很敏感，因此不宜用控制杂质分布的方法来降低磁敏性。下面我们介绍一种能消除横向电压型压力传感器磁敏性的有效方法。

根据横向电压型压力传感器的理论分析<sup>[3]</sup>，压力引起的输出信号可因器件取向而变号。如在(100)长方膜中心的器件，其输出电压决定于电阻率张量分量  $\rho_0$

$$\rho_0 = \frac{1}{2} \rho_0 \sin(2A) \pi_{44} (T_{x0} - T_{y0}) \quad (10)$$

式中  $A$  为器件取向与膜边的夹角， $\pi_{44}$  为硅的剪切压阻系数， $T_{x0}$  和  $T_{y0}$  为膜中心处  $x$  和  $y$  方向的正应力。由式(10)，对几何尺寸相同但取向角  $A$  分别为  $45^\circ$  和  $-45^\circ$  的两个器件(图 2 中的 a 和 b)，其压阻灵敏度有相反的符号。因此，将图 2 中两个器件的输出 1 和 3 相连，从 2 和 4 端输出就可以获得加倍的压力信号，而磁场引起的信号则互相抵消。

根据以上原理设计制造的一个实验器件，在 5000 高斯磁场下，二个器件的霍尔电压分别为  $3.35\text{mV}$  和  $3.19\text{mV}$  ( $V = 1$  伏)，而串接相消后的霍尔电压输出为  $34.3\text{\mu V}$ 。该二个器件在  $300\text{mm Hg}$  压强下的压力信号分别为  $5.95\text{mV}$  和  $4.89\text{mV}$ ，在叠加后则为  $10.91\text{mV}$ 。即 1000 高斯磁场仅引入万分之六的误差，可以忽略不计。利用这一方法，也可在其它硅膜上实现消磁敏的横向电压型压力传感器设计。

本研究工作得到谢希德教授，唐璞山教授的热心支持。工作中得到电子工程系和物理系许多同志的帮助，在此表示衷心感谢。

### 参 考 文 献

- 〔1〕 鲍敬杭、王吉，复旦学报，第 24 卷，第一期，P. 315 (1985).
- 〔2〕 叶良修编著，半导体物理学，高等教育出版社(1984).
- 〔3〕 片冈照荣，磁电变换素子，日刊工业新闻社(1966).
- 〔4〕 M. Kurata, Numerical Analysis for Semiconductor Devices, Lexington Books D. C. Heath and Company, 1982.
- 〔5〕 Minhang Bao, Yan Wang, Sensors and Actuators, 12, 49 (1987).

## Magnetic Sensitivity and Magnetically Insensitive Design of Transverse Voltage Pressure Sensor

Qi Weijia, Bao Minhang and Yu Lianzhong

(*Department of Electronic Engineering Fudan University, Shanghai*)

### Abstract

As the geometry of transverse-voltage pressure sensor is similar to that of Hall element, it is susceptible to the interference of magnetic field. From Boltzmann transportation equation in weak field, the expression of Hall voltage for an inhomogeneously doped layer has been derived. The calculated results for a practical device agree well with the experimental data. A method to eliminate the interference of magnetic field is described. The results are very satisfying.

**KEY WORDS:** Transducer, Sensor, Pressure, Magnetic field