

一种基于 MEMS 技术的压力传感器芯片设计

王大军, 李淮江

(淮 北 师 范 大 学 物 理 与 电 子 信 息 学 院, 安 徽 淮 北 235000)

摘 要: 硅压力传感器是利用半导体硅的压阻效应制成, 其品质的优劣主要决定于敏感结构的设计与制作工艺. 文章从硅压力传感器敏感薄膜的选择、敏感电阻条的确定以及敏感电阻位置的选取, 设计了一种方案并进行了实验验证, 得出所设计的压力传感器精度达到 0.1% ~ 0.25% F.S.

关键词: 压阻式压力传感器; 力敏电阻; 芯片设计

中图分类号: TP212 文献标识码: A 文章编号: 1674-3873(2011)01-0133-04

0 引言

微机电系统(MEMS)制作的硅压力传感器具有质量轻, 体积小, 成本低, 响应快, 输出大, 结构简单等优点, 主要是利用了半导体硅的压阻效应原理. 采用 MEMS 技术在单晶硅片上的特定晶向, 用扩散或离子注入等集成电路工艺制成敏感电阻条, 将四个压敏电阻条构成惠斯顿全桥检测电路, 同时利用刻蚀等立体集成电路工艺制造出敏感薄膜. 在此类器件中敏感薄膜与压敏电阻条的设计, 对传感器灵敏度输出、线性、温漂、时漂等性能有着非常重要的影响. 本文通过对方形、矩形和圆形膜片的最大应力、挠度以及膜片长宽比对输出地影响选择方形敏感薄膜; 对于压敏电阻条的设计主要从掺杂类型, 掺杂浓度, 节深及压敏电阻的最大功率确定其长度、宽度、折数; 从压敏电阻灵敏度与应力大小的关系确定了敏感薄膜上的位置为重点, 阐述了半导体硅压阻式传感器敏感结构的设计要点.

1 工作原理

半导体单晶硅材料在受到外力作用产生应变时, 电阻率发生变化, 由其材料制成的电阻也就发生电阻变化, 这种物理效应叫压阻效应. 由相关物理学和材料力学知识可知半导体材料由于其电阻率的变化而导致电阻的相对变化为^{[1][9]}:

$$\frac{\Delta R}{R} = \pi_l \sigma_l + \pi_t \sigma_t$$

π_l 为纵向压阻系数, π_t 为横向压阻系数; σ_l 为纵向

应力, σ_t 为横向应力.

由以上公式可知对应应力变化时电阻就发生变化. 将按照一定的晶向掺杂形成的四个敏感电阻构成惠斯顿电桥如图 1 所示. 当敏感薄膜受到一定的压力作用时, R_1 、 R_4 受到拉伸作用, R_2 、 R_3 受到挤压作用, 从而引起电桥失去平衡, 使输出达到最大, 电桥输出电压达到电测量的目的. 控制工艺条件使 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_0$, 依靠公式 $U = E \frac{\Delta R}{R_0}$, 即可算出输出电压^[2-3].

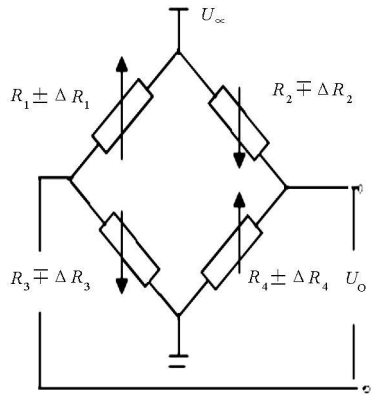


图 1 惠斯顿电桥

2 弹性薄膜结构

压阻式压力传感器的弹性薄膜是利用 MEMS 刻蚀工艺在单晶硅片上刻蚀形成的一个未刻透的薄的膜片——弹性薄膜结构. 依据弹性薄膜的平面形状可分为圆形、矩形、和正方形. 基于相同的振动面积, 厚度和施加压力, 从最大应力和最大挠度上看圆形

收稿日期: 2010 12 28 基金项目: 安徽省 2010 年科技计划项目(10080703003), 安徽省教育厅自然科学研究重点项目(KJ2008A059)
第一作者简介: 王大军(1970-), 男, 山东省泰安人, 现为淮北师范大学物理与电子信息学院硕士研究生. 研究方向: 硅压力传感器芯片设计.

膜片最好, 方形次之^[4]. 由于方形几何形状对称, 很容易进行晶体切割, 且有研究表明在固定面积下, 弹性薄膜长宽比对理论输出的影响是当该比例为 1:1 ~ 1:2 之间时可达最大理论值^[5]. 所以它成为当今压力传感器工业中最常用的几何形状^[4]. 本文的设计就是方形, 压力传感器正方形芯片的截面如图 2 所示^{[4][10]}. 其中 a 是正方形弹性膜片的边长, h 为弹性膜片的厚度, H 为硅压力芯片的厚度, b 为开口孔径的大小, c 为基座部分的宽度, A 为设计芯片的边长.

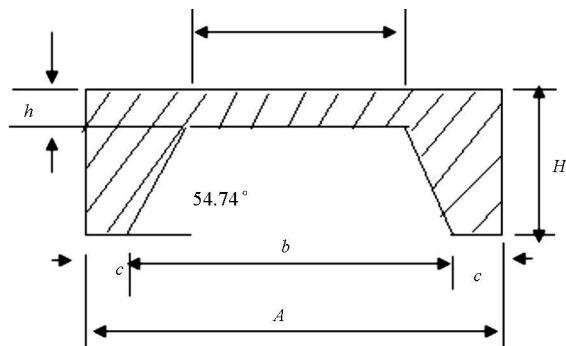


图 2 压力传感器正方形芯片的截面图

硅压力传感器的输出灵敏度与弹性膜片有极大的关系, 膜片越薄, 平面尺寸越大, 形变越大时则输出灵敏度越大, 当形变很大时输出的非线性将受到影响. 综合考虑工艺条件的限制及非线性等因素的影响, 目前国内加工的压阻式微型压力传感器芯片的整体边长一般为 1 000 μm ~ 2 000 μm , 厚度约为 200 μm ~ 400 μm , 弹性膜片的边长一般为 500 μm ~ 1 000 μm , 膜厚为 20 μm ~ 40 μm , 当采用 SOI 厚度可达 10 μm 以下.

3 敏感电阻条的设计

3.1 设计时需要考虑的几个问题

3.1.1 电阻条宽长一致

设计时要求各电阻条的宽长一致, 其阻值取决于掺杂的均匀性, 当四个电阻的掺杂浓度和阻值一致时, 电桥的零点输出电压小, 热零点漂移和灵敏度漂移小, 这就要求做到掺杂一致. 由于扩散的掺杂分布不易做到均匀, 因此要求敏感电阻越接近越好, 越短越好. 在离子注入工艺条件下, 同一个芯片上不同的桥臂的电阻注入不规则性很小, 他们的电阻温度系数相同, 所造成的零点输出随温度的变化及温漂都相对较小^[1].

3.1.2 电桥设计成开环形式

为了便于后道工序中的补偿和校正, 电桥设计成开环形式, 如图 3 所示, 这样也有利于测量敏感电阻的值.

3.1.3 掺杂类型和掺杂浓度

本设计中敏感电阻条采用 P 型硅掺杂于 N 型硅

的表面, 掺杂浓度不仅影响压阻系数值, 而且还影响压阻系数随温度变化的剧烈程度. 当扩散电阻表面掺杂浓度取 $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$, 结深在 3 μm 左右时, 电桥的零点输出值和灵敏度有较好的温度特性, 相应方块电阻 R_s 的取值范围约为 250~ 300 Ω/\square .

3.2 敏感电阻的确定

3.2.1 敏感电阻 R_0 的值

由于硅压阻式传感器对温度敏感, 应尽量降低自加热产生的热量, 桥臂电流一般不宜过大, 为 1 mA 左右, 激励电压为 5~ 10 V, 则 R_0 的值在 K Ω 量级, 如激励电压取 5 V, 则知 $R_0 = 5 \text{ K}\Omega$.

3.2.2 力敏电阻的宽度

在确定扩散电阻表面掺杂浓度的情况下, 电桥输出的时间漂移同电流流过电阻时引起的自身发热有关, 因此在满足系统布局的情况下, 电阻条应当尽量宽. 电阻单位面积的功耗为^[7]:

$$P_s = \frac{I^2 R}{WL} = \frac{I^2 R_s \frac{L}{W}}{WL} = \frac{I^2 R_s}{W^2}$$

其中 $R = \frac{R_s L}{W}$, 由上式知单位条宽的工作电流为:

$$\frac{I}{W} = \sqrt{\frac{P_s}{R_s}} \quad (1)$$

其中, I 为流过电阻的电流, W 为电阻宽度, L 为电阻条的长度.

一般单位表面积最大功耗为 $P_{\max} = 5 \times 10^{-3} \text{ Mw}/\mu\text{m}^2$, 当电阻条上有钝化膜时, 影响散热, P_{\max} 还应更小. 将 R_s 为 250 $\Omega \sim 300 \Omega/\square$, $P_s = 5 \times 10^{-3} \text{ Mw}/\mu\text{m}^2$ 代入^{[7][9]} (1) 式可求得: $I_{\max} = 0.129 \sim 0.141 \text{ mA}/\mu\text{m}$, 又实际应用中电阻条上的电流为 1~ 3 mA, 则求得电阻的宽度为 7.09 $\mu\text{m} \sim 7.75 \mu\text{m}$ 到 21.18 $\mu\text{m} \sim 23.25 \mu\text{m}$ 之间. 综合考虑力敏电阻条长宽等平面尺寸对掺杂均匀性的要求, 以及传感器零点输出在此部分的影响, 同时考虑到加工尺寸还受到工艺水平的限制, 压敏电阻条宽一般为 5~ 20 μm , 本设计中取 $W = 10 \mu\text{m}$.

3.2.3 敏感电阻条的长度 L

由长度 L 和电阻 R 的关系式^[1]:

$$R = R_s \left(\frac{L_1}{W_1} + \frac{L_2}{W_2} + 2K_1 + nK_2 \right) \quad (2)$$

可以计算敏感电阻条的长度. 式中 K_1 为端头因子, $K_1 = 0.35 \sim 0.65$, K_2 是拐角因子, $K_2 = 0.5$, n 是常数. 当 $L_2 \ll L_1$, $W_2 \gg W_1$ 时,

$$L_1 = \left(\frac{R}{R_s} - 2K_1 - nK_2 \right) W_1 \quad (3)$$

根据以上公式, 若 $R = 5 \text{ K}\Omega$, $R_s = 270 \Omega/\square$, $W = 10 \mu\text{m}$ 我们可算出:

5 结束语

将上述设计方案在某集成电路研究所的生产线上流片, 试制了压力传感器芯片获得微机械加工的

微型敏感元件并组装成传感器, 实验表明该设计方案工艺简单, 灵敏度高, 准确度可达 0.1% ~ 0.25% FS, 为合理设计、应用微型硅压力传感器提供了一种参考依据.

参 考 文 献

[1] 孙以材, 刘玉岭, 孟庆浩. 压力传感器的设计制造与应用[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2000.
[2] 赵艳平, 丁建宁, 杨继昌王等. 硅压力传感器芯片设计分析与优化设计[J]. MEMS 器件与技术, 2006, (9): 438~ 441.
[3] 李伟东, 吴学忠, 李圣怡. 一种压阻式微压力传感器[J]. 仪表技术与传感器, 2006, (7): 1~ 5.
[4] [美] 徐泰然著, 王晓浩等译. MEMS 和微系统设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
[5] 倪智琪, 姚素英, 张生才. SOI 单晶硅压力传感器模拟计算与优化设计[J]. 传感技术学报. 2003, (1): 92~ 95.
[6] 沈桂芬, 付 世, 丁德宏. 硅压力传感器非线性分析与优化设计[J]. 传感技术学报. 2003, (1): 39~ 43.
[7] 刘君华. 智能传感器系统[M]. 西安: 西安电子科技出版社, 1999.
[8] 吴志军. 一种硅基顶发射有机发光器件[J]. 吉林师范大学学报(自然科学版), 2008, 29(3): 60~ 62.
[9] French, P. J. and Evanc, A. G, R. . Piezoresistence in Single Crystel and Ploy Crystalline Si. Sec. in Properties of Silicon, INSPEC, 1998. 94~ 104.
[10] Bryæk, j. , Peterson, K. Mallon, Jr. et c. Silicon sensors and Mirostructures, Lucas NovaSensors Froment, California, 1991.

Design of Silicon Piezoresistive
Pressure Sensor ChipBased on MEMS Technology

WANG Da-jun, LI Huai-jiang
(College of Physics and Electronic Infomation, Huaibei Nomal University, Huaibei 235000, China)

Abstract: Silicon pressure sensor is made based on the piezoresistance effect of semiconductor. The advantages and shortcoming of the sensor is determined by the design and the workmanship of sensing structure. The choice of an elastic diaphragm and the optimal key location of the sensing resistor is discussed in the case. The dimension of the sensing resistor is determined. A scheme is experimental validation and the pressure transducer accuracy of sensor has reached to 0.10%-0.25% F. S.
Key words: piezoresistive pressure sensor; sensing resistor; chip design

(上接第 132 页)

Experimental Study and Geometrical Analysis on the
Aiming Point of Free Throws

WANG Er-quan^{1, 2}
(1. Physical Education, Science School of Harbin Nomal University, Harbin 150080, China;
2. P. E. Dept. of Northeast Agriculture University, Harbin 150030, China)

Abstract:Twelve basketball players of Harbin Normal University are chosen as the research objects. SMI iView X HED Eye Tracker is used to track the aiming points of the players, and we find that the aiming points are mainly located in the front edge of the basket and some points over the basket. Then the height scope of aiming point and the distance betweenplayers’ eyes and the aiming point are calculated by physical and geometry methods.
Key words: basketball; free throw; aiming point; experimental study