

# 基于 SIMOX 的耐高温压力传感器芯片制作\*

王 权<sup>1</sup> 丁建宁<sup>1</sup> 王文襄<sup>2</sup> 熊 斌<sup>3</sup>

(1 江苏大学微纳米科学技术研究中心, 镇江 212013)

(2 昆山双桥传感器测试技术有限公司, 苏州 215325)

(3 中国科学院上海微系统与信息技术研究所, 上海 200050)

**摘要:** 针对石油化工等领域中高温下较高压力测量的要求, 设计了压阻式压力传感器敏感芯片, 采用 SIMOX 技术的 SOI 晶片, 在微加工平台上通过低压化学气相淀积法 (LPCVD) 均相外延硅测量层、浓硼离子注入、热氧化、光刻、电感耦合等离子体 (ICP) 深刻蚀、多层合金化等工艺流程制作了该芯片, 将其封装后, 研制出了高精度稳定性佳的耐高温压阻式压力传感器. 封装工艺进一步改善后, 该芯片工作温区有望拓宽到 300 ~ 350 .

**关键词:** 高温压力传感器; SIMOX; 低压化学气相淀积; 电感耦合等离子体深刻蚀

**PACC:** 0630N; 6855; 8110

**中图分类号:** TP212.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0253-4177(2005)08-1595-04

## 1 引言

在石油开采、化工领域的反应釜和冶炼塔等的压力测量中, 对压力传感器提出了耐高温、微型化、抗腐蚀等要求<sup>[1]</sup>, 传统的硅扩散压阻式压力传感器用重掺杂 4 个 p 型硅应变电阻构成惠斯顿电桥的力敏检测模式, 采用 pn 结隔离, 当温度在 100 以上时, pn 结漏电流很大, 使器件无法工作. 因此设计制作压阻式高温压力传感器, 必须取消 pn 结隔离而采用绝缘体介质隔离, 较易的方法之一是采用 SOI (silicon on insulator) 结构<sup>[2]</sup>, 此类晶片制作成的传感器芯片, 由于采用二氧化硅隔离且力敏电阻仍然由单晶硅构成, 因此其灵敏度与体硅压力传感器相当, 而工作温度要大于传统的硅扩散压阻式压力传感器的工作温度, 理论上达到耐温 350 , 此外此芯片能保持长期高温下工作的稳定性和较大的过温容限.

制备 SOI 材料的两种主流技术<sup>[3]</sup>是注氧隔离 (separation by implantation of oxygen SIMOX) 技术<sup>[4]</sup>和键合 (bonding) 技术, SIMOX 技术是指工艺

中大剂量的氧离子被注入到起始硅片中, 然后进行高温退火处理形成 SOI 结构; 键合技术, 包括键合与背面减薄 (bonding and etch - back SOI BESOI) 技术<sup>[5]</sup>和智能剥离 SMARTCUT ((或 UNIBOND) 技术. 键合技术工艺较复杂, 成本控制较难.

文献[6]利用 SMARTCUT 技术的 SOI 晶片, 研制了高温压力传感器, 其高温特性测到 150 , 量程为 0 ~ 8MPa, 灵敏度为 63mV/(MPa · 5V); 专利 [7, 8] 利用 BESOI 技术制作了高温压力传感器, 其耐温到 200 ; 本文针对高温、高压、高频测量的要求, 设计了圆平膜硅芯片, 采用 SIMOX 技术的 SOI 晶片在微加工平台上, 制作了耐高温压阻式压力传感器芯片, 针对 - 40 ~ 220 的工作环境, 完成了耐高温封装工艺, 选用了恒流源激励, 完成了静态标定, 获得了量程 0 ~ 40MPa, 高性能稳定性佳, 高频响应的耐高温压力传感器.

## 2 芯片设计

针对高温高压的要求, 选用圆平膜设计<sup>[9]</sup>, 惠斯顿电桥的两对桥臂力敏电阻分别布置在 (100) 晶面

\* 国家高技术研究发展计划 (批准号: 2002AA404470) 和国家“九五”传感器技术攻关 (批准号: 96-748-02-01/07) 资助项目

王 权 男, 1973 年出生, 博士研究生, 研究方向为耐高温微型压力传感器. Email: wangquan100 @126.com

2004-10-30 收到, 2005-01-26 定稿

©2005 中国电子学会

内互相垂直的 $[110]$ 和 $[\bar{1}\bar{1}0]$ 晶向上,位于圆膜边缘处,如图 1 所示.在 $[110]$ 晶向上的电阻顺着晶向排列,在 $[\bar{1}\bar{1}0]$ 晶向上的电阻垂直于晶向排列,四个电阻互相平行.显然, $R_1$ 、 $R_3$  是径向电阻; $R_2$ 、 $R_4$  是切向电阻,硅膜片受力后,力敏电阻值变化率为:

$$\frac{R_1}{R_1} = \frac{R_3}{R_3} = \frac{R_r}{R_r} = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{r}{r_0} \right) \quad (1)$$

$$= - \frac{3pr^2}{8h^2} \left( 1 - \frac{r}{r_0} \right)$$

$$\frac{R_2}{R_2} = \frac{R_4}{R_4} = \frac{R_t}{R_t} = - \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{r}{r_0} \right) \quad (2)$$

$$= \frac{3pr^2}{8h^2} \left( 1 - \frac{r}{r_0} \right)$$

式中  $r_r$ 、 $r_t$  分别是力敏元件测量点处径向和切向应力; $r$ 为硅膜的有效半径; $h$ 为膜片厚度; $\nu$ 为泊松系数; $p$ 为所测压力; $\mu_{11}$ 为硅剪切压阻系数分量,从而获得了四个臂的差动等臂等应变的惠斯登检测电桥.

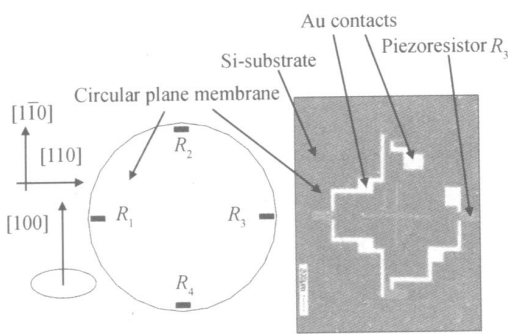


图 1 硅基(100)晶面上圆膜边缘电阻布置和圆平膜硅芯片

Fig.1 Layout of piezoresistors on the (100) crystal plane and piezoresistive pressure sensor chip with circular plane membrane

### 3 基于 SIMOX 的力敏元件制作

选用的硅片为 75mm,厚度为 500 $\mu\text{m}$  的 n 型 (100) 晶向的双面抛光片 (电阻率为 5 ~ 8  $\Omega\cdot\text{cm}$ ),清洗干燥后,使硅片衬底温度控制在 650  $^{\circ}\text{C}$  时进行高能氧离子注入,注入能量为 200keV,氧离子注入剂量为 1.8  $\times 10^{18} \text{cm}^{-2}$  时,可得到距离上部硅层 0.2 $\mu\text{m}$  下 0.3 ~ 0.4 $\mu\text{m}$  的二氧化硅隔离层,在 1350  $^{\circ}\text{C}$  高温条件下退火 6h,以修复氧化物上硅层的晶体质量.为了得到较好的 SOI 材料质量,在添加了 0.5% ~ 2% 氧气的氩气中进行退火,以防止退火时硅表面出现凹坑<sup>[10]</sup>.

将所获得 SOI 晶片上层硅外延.制作中,采用了 LPCVD (low pressure chemical vapor deposition) 均相外延硅,所获得满足硅测量压阻效应的单晶硅层厚度约为 1.35 $\mu\text{m}$ .

采用浓硼离子注入,获得 p 型硅作力敏掺杂电阻,有利于提高敏感元件的灵敏度,硼源 GS-126,浓硼离子剂量为 1.5  $\times 10^{15} / \text{cm}^2$ ,是指注入大圆片表面单位面积内的离子数.然后推进扩散与激活.

热氧化工艺(高温干氧-高温湿氧-高温干氧,时间 60min,温度 1180  $^{\circ}\text{C}$ ,高温湿氧水温 95  $^{\circ}\text{C}$ ),形成  $\text{SiO}_2$  层.再用 LPCVD 生成  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,作为钝化保护层,形成  $\text{Si}_3\text{N}_4$ — $\text{SiO}_2$  双层结构,净应力接近零,即使在高温下界面也有较好的附着力,从而有效地阻止了杂质的扩散,选用  $\text{SiH}_4/\text{NH}_3/\text{N}_2$  化学反应体系,生长温度 350 ~ 450  $^{\circ}\text{C}$ ,生长厚度约 0.12 $\mu\text{m}$ .

常规工艺光刻电阻条浓硼短路头,然后浓硼预扩散与主扩散,二次光刻电阻条图形,留电阻条,相当于反刻.然后用 ICP(inductively coupled plasma) 深刻蚀硅力敏电阻条,离子通过气体放电产生,在气体放电中基底与等离子体接触,使用气体为  $\text{CF}_4$ ,流量为 70sccm,真空度为 0.8Pa,射频电源  $W_1$  为 400W, $W_2$  为 100W,射频辉光放电, $\text{CF}_4$  被击穿,产生等离子体,其中起蚀刻作用的是游离基  $\text{F}^+$  和  $\text{CF}^+$ ,反应生成挥发性气体  $\text{SiF}_4$ .

下面的流程是:三次光刻引线通电极 多层化金属溅射淀积 四次光刻(反刻引线 and 压焊块) 合金化处理 划片 初测.

为避免芯片封装连接中产生金属间化合物和柯肯德尔(Kirkendall)效应<sup>[10]</sup>,采用了四层结构  $\text{Pt}_5\text{Si}_2$ -Ti-Pt-Au 系统,即用铂硅来形成对硅的欧姆接触,而后用三层金属:钛、铂和最后的金(用作基本导体)来完成金属化系统.在光刻引线孔后溅射铂,经 700  $^{\circ}\text{C}$  热处理后在接触窗口上硅与铂形成  $\text{Pt}_5\text{Si}_2$  合金,然后去掉氮化硅上的铂,再依次溅射钛和铂,最后蒸发金层.其中  $\text{Pt}_5\text{Si}_2$  是性能较稳定的化合物,其与重掺杂的硅形成了良好的欧姆接触,钛作为粘附层,把  $\text{Pt}_5\text{Si}_2$  和氮化硅以及上层金属粘合起来,最外层金作为导电层,为了防止金与钛反应形成高阻化合物,中间夹着一层铂作为过渡层,从而解决了高温传感器引线的难点.

最后所获得传感器芯片尺寸为 5.0mm  $\times$  5.0mm  $\times$  0.5mm,其俯视图如图 1 所示,剖面结构如图 2 所示.由于采用埋层二氧化硅隔离,避免了因

温度升高造成上层硅测量层与体硅之间的漏电流，使其理论上耐高温到 350 。通过静电键合技术，将其与 Prex7740 玻璃环键合在一起，即可得耐高温压力传感器测量单元。

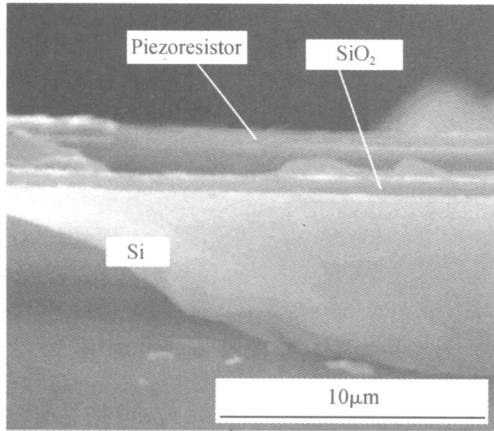


图 2 传感器芯片剖面结构图

Fig. 2 Sensor chip section picture

### 4 传感器研制

将敏感芯片封装后，在 - 20 ~ 200 补偿温区内，选用了 2mA 恒流源激励，温度漂移补偿后，热零点漂移 TCO (temperature coefficient of offset) 和热灵敏度漂移 TCS (temperature coefficient of sensitivity) 的值小于  $1.0 \times 10^{-4} / \text{V} \cdot \text{MPa}^{-1} \cdot \text{FS}$ ；非线性误差 (Non-linearity) 小于 0.1 % FS，不重复性和迟滞误差均小于 0.05 % FS，总精度小于 0.2 % FS，高、低温时漂均小于 0.1 mV/8h，在 220 时灵敏度为 0.37 ~ 0.8 mV / (V · MPa)，静态技术指标优于同类型 KULITE 公司产品，实现了低成本化，具有较高的性能价格比，某一台 40MPa 高温传感器在室温与高温下的输入输出和在 2mA 恒流源激励下此传感器部分特性分别如图 3 和表 1 所示。

### 5 结论

采用 SIMOX 技术的 SOI 晶片在微加工平台上，制作了压阻式高温压力传感器芯片，将其封装后，获得了量程从 0 ~ 40MPa、耐高温 - 40 ~ 220 ，具有一定抗瞬时高温冲击能力和抗过载能力，高精度稳定性佳的压阻式压力传感器，产品达到了国际同类产品的先进水平，并实现了低成本化和系列化。实

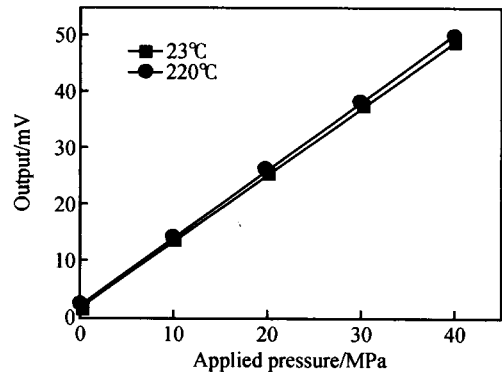


图 3 某一台 40MPa 高温传感器在室温与高温下的输入输出  
Fig. 3 One measurement of 40MPa range sensor under room temperature and high one

表 1 在 2mA 恒流源激励下此传感器部分特性

Table 1 Performance characteristics of the high temperature pressure sensor with a constant current of 2mA

Parameter	Value	
Temperature/	23	220
Pressure range/ MPa	40	40
Non-linearity( ± % FSO)	0.03	0.02
Hysteresis( % FSO)	0.02	0.04
$V_{os}$ / mV	1.85	2.21
$V_{FSO}$ / mV	49.03	49.79
TCS( $\times 10^{-4} / \text{V} \cdot \text{MPa}^{-1} \cdot \text{FSO}$ )		0.82
TCO( $\times 10^{-4} / \text{V} \cdot \text{MPa}^{-1} \cdot \text{FSO}$ )		0.39
Sensitivity/ (mV · V <sup>-1</sup> · MPa <sup>-1</sup> )	0.46	0.39

践表明，若封装工艺进一步改善，该芯片工作温区有望拓宽到 300 ~ 350 。

致谢 感谢中国科学院上海微系统与信息技术研究所对芯片制作的大力支持。向提供研制条件的昆山双桥传感器测试技术有限公司及该公司传感器组李宗萍对研制的协助表示衷心感谢！

### 参考文献

[ 1 ] Kasten K, Amelung J, Mokwa W. CMOS-compatible capacitive high temperature pressure sensors. Sensors and Actuators, 2000, 85: 147

[ 2 ] Plö l A, Kräuter G. Silicon-on-insulator: material aspects and applications. Solid-State Electron, 2000, 44(5) : 775

[ 3 ] Wang Xi, Chen Meng, Chen Jing, et al. Novel approaches for low cost fabrication of SOI. Current Appl Phys, 2001, 1 : 225

[ 4 ] Chen Meng, Chen Jing, Zheng Wang, et al. Study of low dose SIMOX wafer. Chinese Journal of Semiconductors, 2001, 22

- (8) :1019(in Chinese) [陈猛,陈静,郑望,等. 低剂量 SIMOX 圆片研究. 半导体学报,2001,22(8):1019]
- [ 5 ] Zhu Shiyang,Zhang Miao,Lin Chenglu. A novel SOI technology:H<sup>+</sup> implantation,bonding and separation. Chinese Journal of Semiconductors,1997,18(9):706(in Chinese) [竺士炆,张苗,林成鲁,等. 一种新的 SOI 制备技术:H<sup>+</sup> 离子注入、键合和分离. 半导体学报,1997,18(9):706]
- [ 6 ] Huang Yiping,Zhu Shiyang,Li Aizhen,et al. High temperature pressure sensor fabrication with smart-cut SOI materials. Chinese Journal of Semiconductors,2001,22(7):924(in Chinese) [黄宜平,竺士炆,李爱珍,等. 智能剥离 SOI 高温压力传感器. 半导体学报,2001,22(7):924]
- [ 7 ] Zhang Xuanxiong,Lu Deren,Wang Wenxiang,et al. Fabrication of high temperature pressure sensor chip. China Patent,ZL99124237.8.2000-06-07 [张轩雄,陆德仁,王文襄,等. 高温压力传感器芯片的制作方法. 中国专利,ZL99124237.8.2000-06-07]
- [ 8 ] Zhang Xuanxiong,Lu Deren,Wang Wenxiang,et al. The fabrication method of high temperature and pressure sensor based on SOI. China Patent,ZL99124238.6.2000-05-31 [张轩雄,陆德仁,王文襄,等. 绝缘体上硅高温超高压压力传感器的制作方法. 中国专利,ZL99124238.6.2000-05-31]
- [ 9 ] Zhao Yulong,Zhao Libo,Jiang Zhuangde. A novel high temperature sensor on the basis of SOI layers. Sensors and Actuators A,2003,108:108
- [10] Yin Y,Rioux R,Erdonmez C,et al. Formation of hollow nanocrystals through the nanoscale Kirkendall effect. Science,2004,304:711

## Fabrication of a Pressure Sensor Gauge Chip Based on SIMOX\*

Wang Quan<sup>1</sup>, Ding Jianning<sup>1</sup>, Wang Wenxiang<sup>2</sup>, and Xiong Bin<sup>3</sup>

(1 Center of Micro/ Nano Science and Technology, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

(2 Kunshan Shuangqiao Sensor Measurement Controlling Co. LTD, Suzhou 215325, China)

(3 Institute of Microsystem & Information Technology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050, China)

**Abstract:** To meet special applications,such as high temperature,high efficiency or high dynamic range sensors,piezoresistive detection with silicon on insulator (SOI) strain gauges seems to be a better solution than one with conventional bulk-silicon. The successful batch fabrication of a piezoresistive pressure sensor chip,based on separation by implantation of an oxygen (SIMOX) SOI wafer,is described. The micro machining process mainly includes SIMOX,homoepitaxy silicon,a heavy dose of boron ion implantation doping,thermal oxidation,apassivation layer of silicon nitride and standard optical lithography,inductively coupled plasma (ICP),multi-layer metallization and Au sputtering,etc. A sensor packaged with this kind of sensing chip has high accuracy and a good long-term stability in high temperatures up to 220 . The results also show the potential to operate the device at temperatures up to 350 exists after issues relating to the packaging are resolved.

**Key words:** high temperature pressure sensor; SIMOX; LPCVD; ICP

**PACC:** 0630N; 6855; 8110

**Article ID:** 0253-4177(2005)08-1595-04

\* Project supported by the National High Technology Research and Development Program of China(No.2002AA404470) and the 'Nine-Five' Key Project on Sensor Technology(No.96-748-02-01/07)

Wang Quan male,was born in 1973,PhD candidate. He is engaged in research on micro high temperature pressure sensors. Email:wanguan100@126.com

Received 30 October 2004, revised manuscript received 26 January 2005

©2005 Chinese Institute of Electronics