

# 高温压力传感器的 力敏电阻条的制备

**摘要：**本文探讨了一种金属薄膜高温压力传感器的力敏电阻条的制作方法，采用氮化铝作铜衬底和金属力敏电阻条之间的电绝缘层，利用铜金属在高温条件下也能够表现出压阻特性，制作力敏电阻条。通过直流磁控溅射制作力敏电阻条，并引线，封装，进行测试，最后反应出随压力的变化电阻的变化关系。

**关键词：**压力传感器；引线；直流磁控溅射；力敏电阻

中图分类号：TP212.1 文献标识码：A 文章编号：1006-883X(2009)04-0018-04

何建建 孙以材 潘国峰

## 一、系统总体设计方案

本课题拟开展高温压力传感器的研制，并对开发中涉及芯片理论分析、结构设计、加工工艺及封装等问题进行研究。

由于实验条件所限，无法光刻出力敏电阻条、接触孔及引线孔，所以我们在整个基片上只制作一个传感器芯片，确定了以 $\phi 50$ 为主体封装结构进行设计，传感器结构如图1所示。当外部压力作用于弹性承载膜(基片)时，将使弹性承载膜产生应变，这种应变将被传递到金属薄膜上，在金属薄膜层此应变表现为力敏电阻条电阻值的变化。力敏电阻产生压应变时，电阻率变小；产生拉应变时，电阻率变大，当恒流源通过电桥时，输出电压出现差值。它反映压力大小及其变化，力敏电阻变化  $R/R$  越大，传感器灵敏度越高；4个力敏电阻值(绝对值)变化越一致，传感器稳定性越好。首先我们制作一块相当于掩膜版的版(图2)，其上有我们需要的力敏电阻条图形，其次确定整个压力传感器的生产制造工艺过程。<sup>[1]</sup>

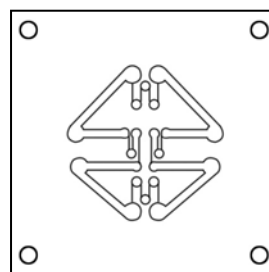
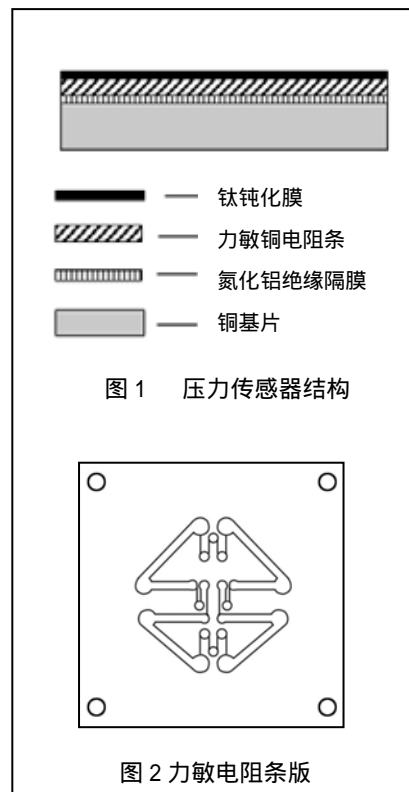
## 二、制作工艺设计与试制

### 1、传感器的制作工艺步骤

- (1)制作铜基片及其他的 stainless 基座以及铜模版以及铝壳；
- (2)用焊接的方法将铜衬底封接在 stainless 基座上，清洗铜基片；
- (3)正面溅射沉积  $0.3\mu\text{m}$  厚的氮化铝薄膜；
- (4)放上铜模版，溅射  $0.4\mu\text{m}$  厚的铜，接着溅射  $0.2\mu\text{m}$  厚的钛；
- (5)焊接外引线，将芯片封装然后装入铝壳；
- (6)测试芯片。

### 2、铜基片的清洗

器件制作过程中，铜片的清洗对器件的成品率、寿命和可靠性



具有重要影响。清洗是指清除吸附在表面上粒子和各种杂质的工艺，一般用不同的化学试剂与杂质发生化学反应和溶解作用，使杂质从被清洗物体的表面脱附，从而获得洁净的表面。清洗一般是先去除铜基片表面的有机沾污，然后去除氧化膜。

铜片上的油脂、蜡等有机杂质可用溶解性很强的丙酮和乙醇等有机溶剂浸渍去除，同时采用加温或超声波清洗更佳。

铜基片表面沾污的无机杂质或氧化物（离子型或原子型）主要是使用酸等通过化学反应把它们溶解掉。清洗时常用的酸为稀盐酸。

最后使用压缩氮气将铜基片吹干。特别需要注意的是，清洗过的废液一定不能重复使用。

### 3、氮化铝绝缘膜的制备

利用直流磁控溅射仪在铜圆片（基片）上反应溅射氮化铝薄膜。靶为纯铝（99%）材质。溅射时，先抽本底真空，真空度为  $8.0 \times 10^{-4}$  Pa，然后往反应室先通入氩气，氩气为溅射气体，首先溅射一层铝，溅射时间约为 0.2h（形成过渡有利于提高氮化铝薄膜的附着力），衬底自转速率为 3r/min。再通入氩气和氮气（氩气流量 20.4sccm，氮气流量 5.1sccm，气体比例为 4:1）。氩气为溅射气体，氮气为反应气体。然后开始反应溅射，溅射电压  $V=420V$ ，溅射电流  $I=0.3A$ ，溅射时衬底自转速率为 3r/min（有利于提高氮化铝薄膜的均匀性），工作气压为 1.4Pa（工作压强过低时反应速度慢）。持续溅射沉积 2h 即可完成氮化铝薄膜制备。

反应溅射得到的氮化铝薄膜应是一层绝缘膜，其绝缘性可以用万用表直接检测，应表现为高阻特性，但要防止表笔端划破氮化铝膜面而暴露出膜下的铜，从而表现出低阻特性。通常溅射法制备的氮化铝薄膜在显微镜（80倍）下观察有针孔，针孔会破坏膜的绝缘性，分析其原因可能是溅射时电压和电流不稳定。当溅射时电压过高、电流过大时靶与基片之间发生放电，氮化铝薄膜被击穿，形成微小的针孔。所以用溅射方法制备氮化铝时要尽量保持电压和电流的稳定，以制



图3 力敏电阻条模版



图4 溅射好力敏电阻条的铜片

备出合适的氮化铝薄膜。因此，溅射时宁可减小溅射速率而避免过高的溅射电压和溅射电流。

### 4、溅射力敏电阻条的制备

溅射制备力敏电阻条的原理和方法与溅射制备氮化铝绝缘层的原理和方法基本一致。在已溅射了氮化铝绝缘层的铜片中心对齐摆放力敏电阻条模版（图3）。利用直流磁控溅射仪在该圆铜片（基片）进行透模版溅射。靶为纯铜（99.9%）材质。先抽本底真空，抽到  $6.3 \times 10^{-4}$  Pa，然后通入氩气，氩气流量 30.0sccm，等工作气压为 1.4Pa 时开始溅射，溅射时溅射电压  $V=380V$ ，溅射电流  $I=0.3A$ ，工作功率 114W，衬底自转速度：3r/min（有利于提高薄膜的均匀性）。图4为溅射好力敏电阻条的圆铜片。

溅射完电阻条以后我们还需要溅射一层钛作为保护层，防止铜在加热的时候被氧化。同样也是利用直流磁控溅射仪在该圆铜片（基片）进行透模版溅射。靶为纯钛（99.99%）材质。先抽本底真空，抽到  $6.8 \times 10^{-4}$  Pa，然后通入氩气，氩气流量 30.0sccm，等工作气压为 1.6Pa 时开始溅射，溅射时溅射电压  $V=420V$ ，溅射电流  $I=0.3A$ 。工作功率为 126W，衬底自转速率为 3r/min。

### 5、传感器的密封

在制作高温压力传感器过程中，溅射法制备力敏电阻时我们选择了磷铜片和大硅片作为单一的弹性膜片。由于使用大型弹性膜片受光刻板条件限制，我们采用了自制的大型掩膜板。我们曾设想使用低温玻璃封接，但大型弹性硅膜片用玻璃封接时，由于热膨胀系数即使相差不大，但膨胀量的绝对差别很大而开裂，不能封接。需使用高温密封粘接剂封接。对于磷铜片与钢底座的封接我们采用了高温锡焊料封接。

在对传感器密封方法进行研究后，我们决定在实验中使用高温焊接与高温粘接两种密封方法。高温焊料用无铅锡焊，适用于钢底座与磷铜片的焊接。高温粘接剂适用于硅片或铜片与钢底座的焊接。都能适用于 300 以下工作条件。

对于密封材料的选择，我们主要从以下二方面考虑：

(1)焊料的选择：根据合金应用温度高低可将无铅焊料分为高温无铅焊料、中温无铅焊料与低温无铅焊料。实验中，我们选用了高温无铅焊料 Au-20Sn，耐热温度为 278 。

(2)密封胶的选择：对密封胶要求其耐高温性能良好，耐热温度达到 800 。

实验中选用了天津汉泰开发有限公司的 WL - 093K 耐高温型密封胶。该胶是一种新型密封材料，耐温范围宽、耐压高、施工方便，对油类、有机溶剂及各种气体有良好的密封性能。

## 6、铜片与金属底座的焊接与粘接

首先将圆铜片和铝环用高温焊丝和 200W 的烙铁进行焊接。焊接时先在铜片和铝环边缘均匀平整的点上助焊膏，然后在铜片和铝环最边缘，点上大约 5mm 宽的薄薄的一层焊锡，这样有助于二者的焊接，然后将铜片和铝环中心对齐焊接。将焊接好的铜片放入铝桶状的外壳中（先放入一合适大小的胶垫），最边缘用耐高温胶均匀涂抹粘接，将其放入烤箱中，进行高温（200℃）烘干固化 2h，使之密封完好不透气。再将预先准备好的铝环片放入铝壳中，使铜片上下紧贴铝壳内壁。最后，盖上铝壳的盖子，将螺丝拧紧。

## 7、高温压力传感器的引线

引线连接的最关键问题是可键合性与可靠性。可键合性是指两种金属依靠一定键合工艺使他们结合起来的能力。连接应有一定的强度，使用较长时间后不会脱开。可靠性是指引线结合处在一定的环境（温度、湿度、气氛）下在结合处不会因产生界面层或空洞、裂纹而导致连接失效。

我们采用高温电子浆料将导线（0.1mm 的漆包线，引线头去漆）与力敏电阻连接，然后进行高温烘烤，引线与力敏电阻便固定住了。引出线相互缠绕在一起，从高温压力传感器帽口引出。高温电子浆料由西安宏星电子浆料厂出品。

### 高温电子浆料

#### (1)工艺参数：

相对温度：15℃ ~ 35℃；

相对湿度：35% ~ 75%；

基板：96%氧化铝，表面粗糙度 3 ~ 5μm；

印刷：200 ~ 250 目不锈钢丝网；

流平：室温下 5 ~ 15min；

烧结：隧道炉大气气氛下烧结，峰值温度  $850 \pm 2$ ℃，峰

值时间 9 ~ 11min；

稀释剂：v-100。

#### (2)特性：

浆料特性：细度：8μm，粘度 240 ~ 360Pa.s

烧结膜特性：烧结膜厚：6 ~

10μm；

电阻率：5mΩ (测试图形 0.6mm × 60mm)；

附着力：测试图形 2mm\*2mm 的剥离拉力。老化的条件为 150℃，保温 24h；

初始附着力：29.4N；

老化附着力：19.6N。

## 引线过程：

将溅射好力敏电阻条的铜片上，先将 5 个铜铂线利用高温胶固定在远离力敏电阻条的铜片或钢圈基座上，然后选取力敏电阻条中互不相连的 5 个圆端点与 5 个铜铂线用电子浆料粘接，然后放入低温烘箱使其快速的粘接上。

## 8、密封性检测

将封接好的半成品或封接好的压力传感器进行下列试验。

### (1) 封接强度试验

将封接好的样品用 YL - 1 型标准活塞式压力计（图 5）进行耐压试验。该压力计的最大量程为 6MPa。封接面承受压力用下式计算：

$$P = P_0(S_0/S_1) \quad (1)$$

其中， $P_0$ —标准压力计提供的压力；

$S_1$ —封接接触面；

$S_0$ —芯片承压面积。

经实验，标尺柱无下降现象说明仪器并无漏气现象，铝桶内部无漏油现象，说明铝壳内部密封性完好，测得的封接强度可达 3MPa。

### (2) 耐水、油试验

将已封接好的压力传感器在沸水中煮 2h，油浸 72h，封接强度不变。

### (3) 热冲击试验

对半成品进行室温 ~ 150℃ 迅速温度冲击 10 次，封接处无异常现象出现。

## 三、实验结果及其分析

对制作的一个电阻进行测量，然后装入油压测试系统进行测试，观察其电阻的变化（阻值单位：Ω），见图 6 及表 1。对每一位置的阻值与压力的变化用 Matlab 进行画图，见图 7。

结果分析：随着压力的增加并且逐渐的稳定，其阻值是逐渐增加的。呈现一定的线性关系，符合设计要求，这为我



图5 YL - 1 型标准活塞式压力计

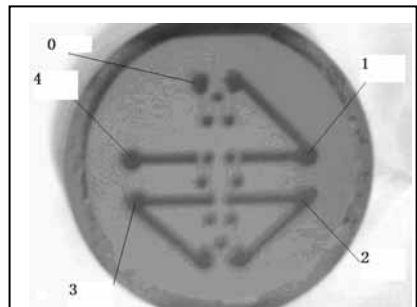


图6 引线及其测量

们接下来做将其引入电路的分析提供了基础。

参考文献：

- [1] 王云彩, 孙以材, 陈杰. 基于 AlN 绝缘的多晶硅高温压力传感器的设计[J], 传感器世界, 2008, 14 (1): 12-16
- [2] 沈今楷, 孙以材. 压力传感器芯片的低温玻璃封接[J], 传感器技术, 1999(1):10-12
- [3] 孙以材, 沈今楷. 压力传感器芯片的低温玻璃封接[J], 电子器件, 2000, 23 (1): :36-42
- [4] 孙以材, 孟凡斌等. 硅芯片封接用 PbO、ZnO、B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 三元系易熔玻璃特性与封接工艺的关系[J], 半导体学报, 2002, 23(5):555-559
- [5] Sun Yicai, Pan Guofeng. Property revealing for silicon chip-bonding glass[A], The 52nd Electronic Components and Technology conference, San Diego[C], California USA, 2002, May 28-31:1575-1580

**Fabrication of force-sensitive resistor strip for high temperature pressure sensor**

HE Jian-jian, SUN Yi-cai, PAN Guo-feng  
(Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China)

**Abstract:** The fabrication method of the force-sensitive resistor strip for the metal thin film pressure sensor used in high temperature is discussed in this paper. AlN is used as insulation layer between copper substrate and force-sensitive metal resistor strip. Then the copper metal's force-sensitive speciality that copper metal can still display the piezoresistance characteristic even under the high temperature condition is taken advantage of. The force-sensitive resistor strip is made by DC magnetron sputtering method and is lead, packaged, test subsequently. The resistance curve changing with the pressure changes is obtained in the end.

**Keywords:** pressure sensor; high temperature welding; DC magnetron reactive sputtering; mounting technique

作者简介：

何建建, 河北工业大学微电子所硕士, 研究方向: 高温压力

表 1 各个位置下随压力变化的阻值

| 方位          | 装入测试系统前 | 装入测试系统后 |        |        |        |        |        |
|-------------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
|             |         | 0MPa    | 0.1MPa | 0.2MPa | 0.3MPa | 1.0MPa | 1.1MPa |
| 第一片 0-4 (Ω) | 25      | 21      | 22     | 21     | 22.7   | 23.4   | 23.6   |
| 1-4 (Ω)     | 90      | 21      | 21     | 22     | 22.7   | 23.7   | 24.2   |
| 2-4 (Ω)     | 23      | 22      | 23     | 22     | 23     | 24     | 24.1   |
| 3-4 (Ω)     | 27      | 26      | 26     | 26     | 26     | 27     | 27.6   |
| 第二片 2-3 (Ω) | 81.2    | 71.6    | 72.2   | 72.8   | 73.4   | 74.5   | 75.9   |
| 第三片 3-4 (Ω) | 83      | 82      | 80.8   | 81.8   | 82.0   | 81.9   | 82.4   |

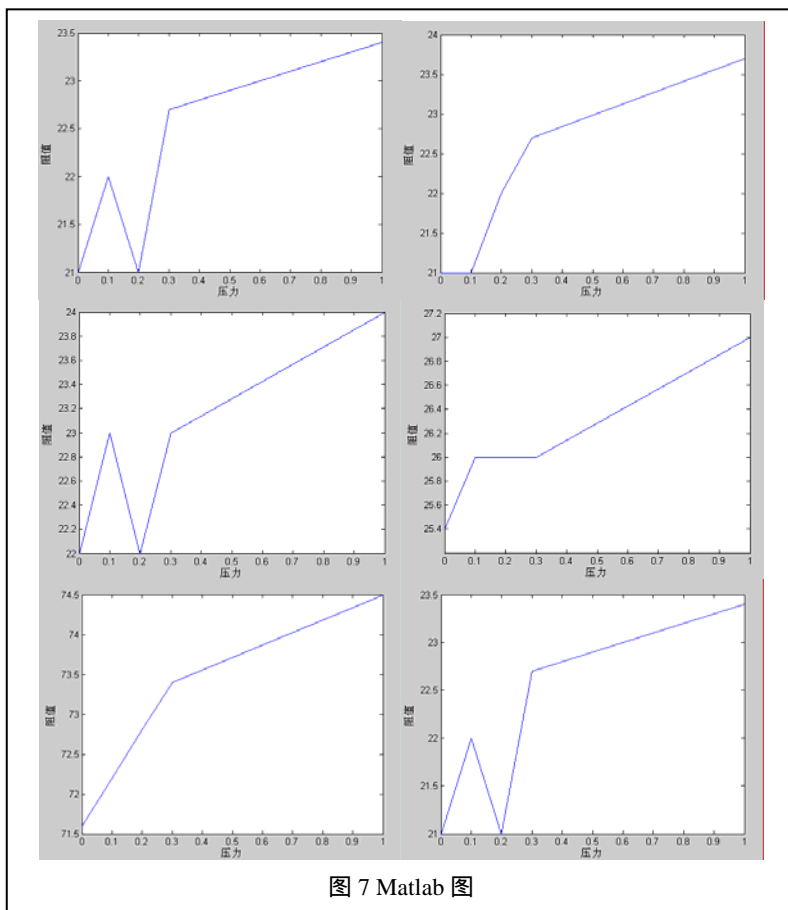


图 7 Matlab 图

传感器的研制。

通讯地址: 天津市红桥区丁字沽光荣道河北工业大学(东院) 微电子所 邮编: 300130

联系电话: 13011304016 E-mail: hejianjian\_0123@163.com

孙以材: 河北工业大学微电子所教授, 博士研究生导师, 主要研究方向为传感器及微电子检测技术

潘国峰: 河北工业大学微电子所讲师, 从事传感器的研制与应用

读者服务卡编号 004