

## CMOS Compatible Tungsten Micro-Hotplate \*

WANG Jia-qi, TANG Zhen-an \*

(Department of Electronic Engineering, Dalian University of Technology, Dalian Liaoning 116024, China)

**Abstract :** The polysilicon micro-hotplate in the standard CMOS process is limited because the thermal property of the polysilicon is increasingly stable. This paper reports a CMOS compatible tungsten micro-hotplate. In the standard CMOS process, the tungsten has been traditionally used as a plug material to form via pathways between various metal layers and the silicon substrate. In the design of the tungsten micro-hotplate, the tungsten is used to connect one of metal layers to fabricate the tungsten resistor as the heating and temperature measurement resistor of the micro-hotplate. The measurement results show that the temperature coefficient of tungsten is about 0.0015/°C and the thermal impedance of the tungsten micro-hotplate is about 17 °C/mW. The design of the tungsten micro-hotplate can be applied to other thermal-based sensors in the standard CMOS process.

**Key words :** CMOS technology; MEMS; tungsten resistor; tungsten micro-hotplate

**EEACC :** 7230; 7320 R; 2575

## 一种与 CMOS 工艺兼容的钨微热板 \*

汪家奇,唐祯安 \*

(大连理工大学电信学院,辽宁 大连 116024)

**摘 要 :** 标准 CMOS 工艺中的多晶硅的热性能越来越稳定,因此多晶硅微热板受到一定的限制。本文设计了一种与标准 CMOS 工艺兼容的钨微热板。钨在 CMOS 工艺中作为通孔材料连接两层金属或者金属与硅衬底。但在钨微热板的设计过程中,钨连接一层金属,构成钨电阻,作为微热板的加热和测温电阻。测量结果显示钨的温度系数是 0.0015/°C,钨微热板的热阻是 17 °C/mW。本文的钨微热板的设计可以应用到相关的与标准 CMOS 工艺兼容的热传感器的设计之中。

**关键词 :** CMOS 工艺; MEMS; 钨电阻; 钨微热板

**中图分类号 :** TP212.2

**文献标识码 :** A

**文章编号 :** 1004-1699(2009)01-0042-03

微热板是伴随着微电子技术和微机械加工技术而发展起来的一种微型加热器。目前,它已经广泛应用在气压检测<sup>[1]</sup>,气体检测<sup>[2]</sup>等方面。能够与 CMOS 工艺相兼容的微热板一般采用多晶硅为加热和测温电阻<sup>[3]</sup>。但是随着集成电路工艺的发展,作为加热与测温电阻的多晶硅的温度系数越来越小,这对于 CMOS 工艺来说是优点,但是会提高微热板的加热功耗,降低其温度测量精度。最坏的情况是,多晶硅的温度系数非常的小,以致于它根本不再适合微热板的设计。所以,寻找微

热板新的加热材料成为关键。Paul 尝试了使用集成电路工艺中的铝作为微热板的加热电阻<sup>[4]</sup>,但是铝会面临电迁徙的问题,而且铝本身熔点低,这两点制约了铝不能承受大的加热电流。R. Puers 使用钨作为加热电阻设计了一种微热桥来感知气压<sup>[5]</sup>,但是它需要比较复杂的工艺。本文设计了一种以 CMOS 工艺中作为通孔的钨为加热电阻和测温电阻的微热板。钨(包括阻挡层,例如钛,氮化钛等)在标准的 CMOS 工艺中主要用来做两层金属或金属与硅衬底(或多晶硅)之间的连接,它

**基金项目 :** 国家自然科学基金重点项目资助(90607003)

**收稿日期 :** 2008-08-01 **修改日期 :** 2008-09-16

不仅熔点高,而且抗电迁徙。另外,钨的温度系数比较大,这些优点使得钨非常适合于微热板的设计。

本文介绍了钨微热板的设计过程,测量了钨的温度系数和钨微热板的热阻。钨微热板的设计可以应用到与此相关的热传感器的设计之中。

### 1 钨微热板的设计

钨在标准的 CMOS 工艺中主要用来做两层金属或金属与硅衬底(或多晶硅)之间的连接,这主要是由于钨能够很好地填充到通孔之中<sup>[6]</sup>。钨微热板的设计采用的工艺是 0.5 μm CMOS 混合工艺,它包含两层多晶硅 (Poly<sub>1</sub>, Poly<sub>2</sub>) 和三层金属 (Metal<sub>1</sub>, Metal<sub>2</sub>, Metal<sub>3</sub>)。在 Metal<sub>1</sub> 与 Metal<sub>2</sub> 之间的连接是采用钨作为连接的,而 Metal<sub>2</sub> 和 Metal<sub>3</sub> 之间的连接是采用铝作为连接的。

在标准的 CMOS 电路设计过程中,钨作为通孔用来连接 Metal<sub>1</sub> 和 Metal<sub>2</sub>。在本设计之中,钨只连接 Metal<sub>2</sub>,而不连接 Metal<sub>1</sub>,形成钨电阻,进而形成钨微热板,它的具体工艺如图 1 所示。在钨微热板的下面预先埋下 0.34 μm 的多晶硅 Poly<sub>2</sub> 作为牺牲层。在 CMOS 工艺中光刻压焊孔的同时也光刻微热板的腐蚀窗口,形成刻蚀窗口,如图 1(a) 所示。图 1(b) 说明在刻蚀压焊孔的时候把微热板的腐蚀窗口打开,由于刻蚀压焊口的工艺采用的是过刻蚀,所以可以保证刻蚀到预先埋下的多晶硅牺牲层,这样在刻蚀工艺之后,作为牺牲层的多晶硅会暴露出来。以上两个步骤是在芯片加工厂完成的。经过划片之后,要进行 post-CMOS 加工,如图 1(c) 所示。利用不腐蚀铝焊盘的 TMAH 溶液来腐蚀 Poly<sub>2</sub> 牺牲层<sup>[7]</sup>,在腐蚀之前,需要在芯片的背面溅射一层铝,这主要是为了防止 TMAH 腐蚀液腐蚀芯片的背面,大约需要 8 个小时溶解 Poly<sub>2</sub> 牺牲层。牺牲层腐蚀结束后,微热板悬浮起来了,图 2 是钨微热板的显微镜照片。

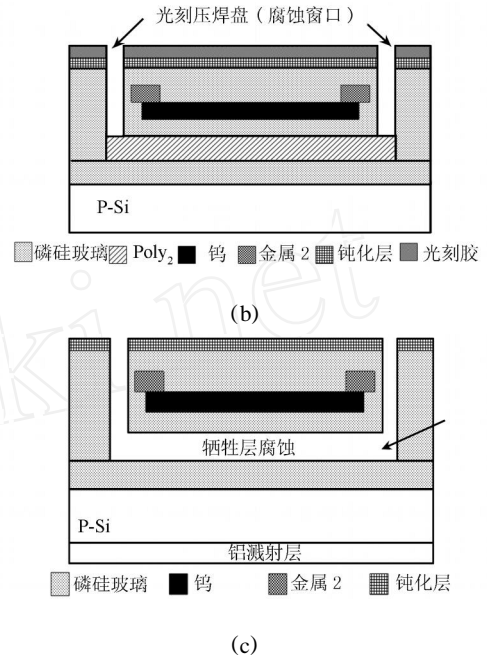


图 1 微热板的工艺步骤

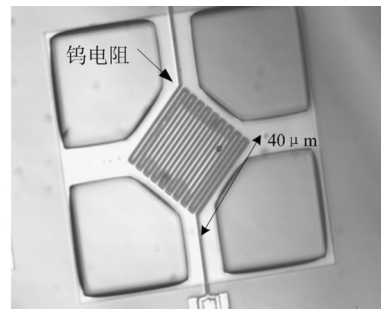


图 2 钨微热板的显微镜照片

钨微热板的面积是 40 μm ×40 μm,支撑梁的尺寸是 30 μm ×15 μm。钨电阻的宽度是 0.8 μm,微热板与衬底的悬空高度就是 Poly<sub>2</sub> 牺牲层的厚度0.34 μm。

### 2 参数测试

测量了在微热板设计过程中的两个重要的参数,一个是钨的温度系数,一个是钨微热板的热阻。

将钨电阻采用标准的集成电路封装之后,放入恒温箱中,调整温度从 35 变化到 150,每隔 5 记录一次温度与电阻值。记录的结果显示在图 3

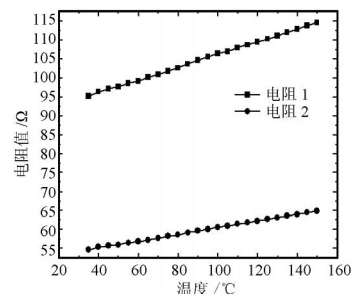
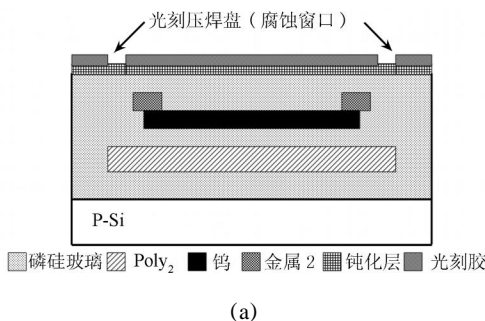


图 3 钨电阻的温度系数



中。我们一共测试了两个不同阻值的钨电阻。经过计算,钨电阻的温度系数大约是  $0.0015/^\circ\text{C}$ 。

利用恒流源(Keithley 2400)给钨微热板提供恒定的电流,同时测量微热板两端的电压,通过它们可以计算出微热板的功耗和对应的电阻值。根据已经测得的温度系数,计算得到钨微热板的温度。采用线性拟合的方法得到微热板的热阻,它就是拟和直线的斜率<sup>[8]</sup>,如图4所示。经拟和计算,微热板的热阻是  $17^\circ\text{C}/\text{mW}$ 。

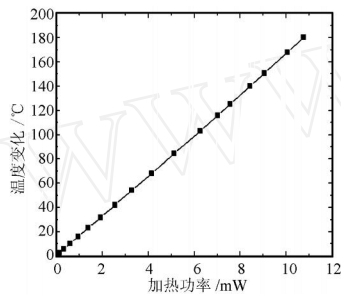


图4 钨微热板的热阻

### 3 结论

本文设计了一种能够与 CMOS 工艺兼容的钨微热板,较之同样能够与 CMOS 工艺兼容的多晶硅微热板,具有更多的优势。钨具有高的温度系数与熔点,利用钨作为加热与测温电阻的微热板能够承受更大的电流,加热功率降低,温度测量精度提高。

钨在标准的 CMOS 工艺中主要用来做两层金属或金属与硅衬底(或多晶硅)之间的连接。在本设

计之中,只让钨连接一层金属,形成钨电阻,进而形成钨微热板。经过测量钨的温度系数是  $0.0015/^\circ\text{C}$ ,钨微热板的热阻是  $17^\circ\text{C}/\text{mW}$ 。由于钨具有很好的热性能,可以应用到与 CMOS 工艺兼容的热传感器的设计中。

### 参考文献:

- [1] Zhang F T, Tang Z, Yu J, Jin R C. A Micro-Pirani Vacuum Gauge Based on Micro-Hotplate Technology[J]. Sensors and Actuators A, 2006, 126(2): 300-305.
- [2] 吕品,唐祯安,魏广芬. 基于微气体传感器阵列和神经网络的 VOCs 的辨别. 传感技术学报, 2007, 20(8): 1712.
- [3] Diego Barrettino, Markus Graf, Stefano Taschini, et al. CMOS Monolithic Metal-Oxide Gas Sensor Microsystems[J]. IEEE Sensors Journal, 2006, 6(2): 276-286.
- [4] Paul O and Baltes H. Novel fully CMOS-Compatible Vacuum Sensor[J]. Sensors and Actuators A, 1995, 46/47(1-3): 143-146.
- [5] Puers R, Reyntjens S and De Bruyker D. The Nano Pirani—an Extremely Miniaturized Pressure Sensor Fabricated by Focused Ion Beam Rapid Prototyping[J]. Sensors and Actuators A, 2002, 97-98(1): 208-214.
- [6] Quirk M and Serda J. Semiconductor Manufacturing Technology[M]. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 2001: 299-313.
- [7] Yan G, Chan P, Hsing M, Sharma R, Sin J and Wang Y, An Improved TMAH Si-Etching Solution without Attacking Exposed Aluminum[J]. Sensors and Actuators A, 2001, 89(1/2): 135-141.
- [8] Chae J, Stark B H and Najafi K. A Micromachined Pirani Gauge with Dual Heat Sinks[J]. IEEE Trans. Adv. Packag., 2005, 28(4): 619-625.



汪家奇(1981-),男,大连理工大学博士研究生,研究方向是 CMOS-MEMS 技术, wjq5003@gmail.com



唐祯安(1955-),男,1982年2月毕业于西安电子科技大学技术物理系半导体物理与器件专业。现任大连理工大学微电子所所长、教授、博士生导师,曾长期在香港科技大学、日本东京大学和法国斯特拉斯堡大学合作研究。 tangza@dlut.edu.cn