

阴极-敏感膜复合型真空微电子压力传感器研究¹

陶新昕 夏善红 苏杰 陈绍凤

(中国科学院电子学研究所 传感技术国家重点实验室 北京 100080)

摘 要 该文提出了“阴极-敏感薄膜复合”结构的新型真空微电子压力传感器,并研制出了“阴极-敏感薄膜复合”结构,对硅薄膜在外力作用下产生的形变及其应力分布进行了计算机模拟计算,并讨论了薄膜结构参数对其敏感特性的影响。

关键词 真空微电子, 压力传感器

中图分类号 TP212

1 引言

真空微电子 (VME) 压力传感器出现于 90 年代初期,是在新兴的真空微电子技术发展中诞生的一种新型传感器,与一般的力敏器件相比,由于其具有灵敏度高、温度稳定性好、抗辐射、体积小等优点,在航空、航天、汽车、智能机器人等高科技领域有很好的应用前景。

VME 压力传感器制作中的关键工艺之一是真空腔密封,这是当前还没有完全解决的工艺难点。本文作者提出了一种“阴极-敏感薄膜复合”的 VME 压力传感器,新结构与 VME 压力传感器的传统结构相比,简化了封装工艺,有利于提高传感器的封装成功率。作者已研制出了“阴极-敏感薄膜复合”的新型结构,并研究了传感器的封装技术。

2 “阴极-敏感薄膜复合型”压力传感器的结构、特点及制备

2.1 新型压力传感器的结构

VME 压力传感器和工作原理已有文献报道和论述^[1,2]。在已见报道的 VME 压力传感器中,敏感薄膜作为阳极使用,为了保证传感器工作在最佳状态,传感器封装时场发射阴极与阳极压力敏感膜的对准精度应控制在几微米以内,这么高的对准精度要借助于显微镜才能实现,因而要求封装系统带有高精度的对准装置。“阴极-敏感薄膜复合”结构的提出,可以解决这个困难。

图 1 为“阴极-敏感薄膜复合”结构 VME 压力传感器的结构示意图,其特点是:阴极发射尖锥直接做在压力敏感膜上,即阴极与压力敏感膜合为一体,这样压力敏感膜与场发射阵列的对准由光刻工艺很容易实现,使封装时对准精度要求降为几十微米至几百微米,简化了封装工艺,有利于提高传感器封装成功率。

2.2 新型结构压力传感器的制备

新型结构压力传感器的制备主要包括“阴极-敏感薄膜复合”结构的制备和阴阳极键合封装两个步骤。

(1) “阴极-敏感薄膜复合体”的制备 阴极可以采用类金刚石碳等发射薄膜,也可以采用尖锥场发射阵列,本文作者制作了硅尖锥发射阵列“阴极-敏感膜复合”的结构,其扫描电镜 (SEM) 照片如图 2 所示,制作方法如下:

¹ 1999-04-01 收到, 1999-09-25 定稿

国家 863 计划和国家自然科学基金资助项目

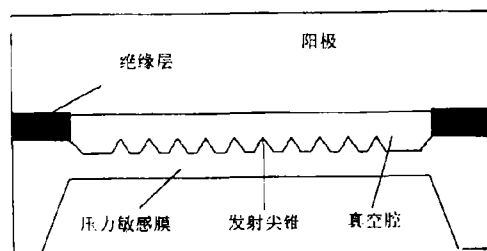


图1 “阴极-敏感膜复合”型压力传感器结构示意图

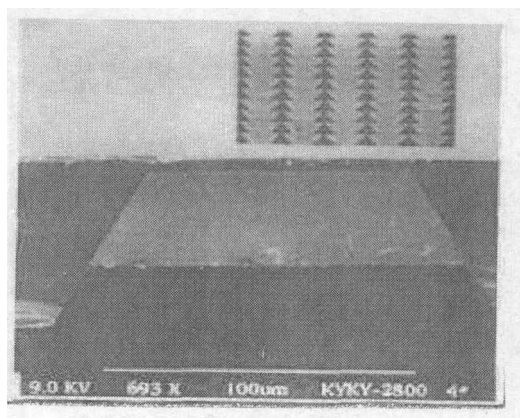


图2 “阴极-敏感薄膜复合”结构的 SEM 照片

选用双面抛光的 $n(100)$ 型硅片，清洗后进行高温氧化，得到约 $2\mu\text{m}$ 的 SiO_2 ，作为阴阳极间的绝缘层；淀积 Si_3N_4 ；光刻；用 40%KOH 溶液作各向异性腐蚀，从背面腐蚀出敏感薄膜；然后套刻正面，用 HF、 HNO_3 和 HAc 的混合溶液进行各向同性腐蚀；再进行氧化削尖，可得到曲率半径约 30nm 的硅尖。

(2) 键合封装 作者采用了硅-二氧化硅键合技术来进行传感器的封接^[3]。

封装实验正在进行中，实验结果将在后续论文中予以报道。

2.3 新型结构的优点

(1) 在光刻发射尖峰图形时，将尖峰阵列与敏感薄膜对准，由于双面光刻机对准精度高（可达到微米的量级），可以使发射尖峰阵列与敏感薄膜的位置偏差控制在微米量级；而作为阳极使用的硅片上面没有图形，因此键合时不需要考虑对准问题，只需将两硅片的晶向对齐。

(2) 可以在阳极上制作反馈、控制和测量等电路，有利于传感器的集成化。

3 硅敏感薄膜的压力特性研究

压力敏感膜的形变特性和阴极的发射特性决定了真空微电子压力传感器的灵敏度，作者曾对 VME 压力传感器的阴极发射电流进行过计算机模拟^[4]，本文对敏感薄膜形变进行了计算机模拟计算。计算模型所采用的结构参数为：膜厚 $h = 20\mu\text{m}$ ，膜宽 $a = 1000\mu\text{m}$ ；物理参数为：(100) 晶面的弹性模量 $E = 1.3 \times 10^7 \text{N/cm}^2$ ，泊松比为 $\nu = 0.18$ 。

在对薄膜形变的数值计算中，采用了清华大学力学系编制的有限元法计算软件，提取薄膜中心最大的形变量，其结果见图 3 和图 4。图 3 为不同膜厚时薄膜中心的形变量 W 与压力 p 的关系，其规律近似有 $W \propto 1/h^3$ ；图 4 是不同膜宽时薄膜中心的形变量 W 与压力 p 的关系，其规律近似有 $W \propto a^4$ 。图 5 为薄膜在单位压强下形变后的形状，图中 z 轴代表形变量，在 101.325 kPa (一个大气压) 下，厚 $20\mu\text{m}$ 边长 $1000\mu\text{m}$ 的方形薄膜，其中心形变最大，为 $1.427\mu\text{m}$ 。图 6 为 101.325 kPa (一个大气压) 下膜上的应力分布情况，图中数值是对外加压力归一后的值，各种灰度值表示不同大小的应力，由图可见，方形薄膜上的应力分布不均匀，其四个边的中部所受应力最大，如果采用圆形薄膜将得到均匀的应力分布。为节省实验费用，本文作者在实验研究中采用了方形薄膜。

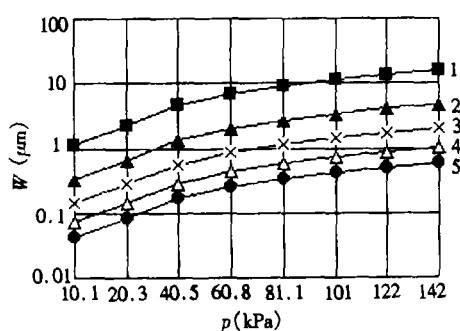


图 3 不同厚度薄膜中心的形变量 W 与压力 P 的关系 (薄膜边长 $1000\mu\text{m}$)

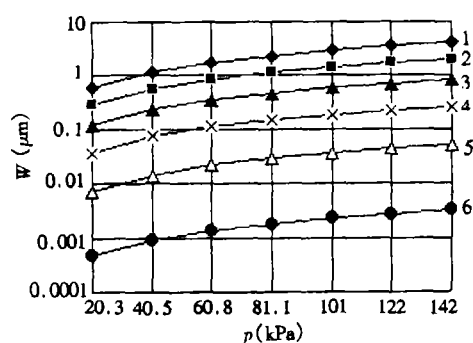


图 4 不同宽度薄膜中心的形变量 W 与压力 P 的关系 (膜厚 $20\mu\text{m}$)

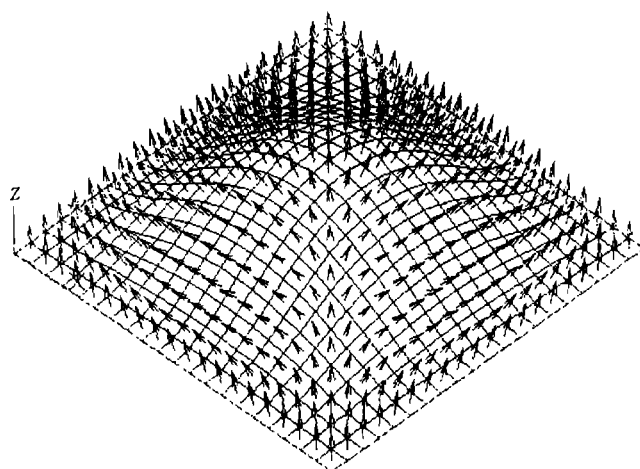


图 5 外加压力下的薄膜形变

4 结 论

作者提出了“阴极-敏感薄膜复合”结构的真空微电子压力传感器, 这种结构有利于简化封装工艺, 提高传感器的封装成功率; 利用半导体工艺技术实现了“阴极-敏感薄膜复合”结构的制作; 利用有限元计算软件对硅薄膜的形变进行了计算机模拟计算, 讨论了薄膜结构参数对其敏感特性的影响。

参 考 文 献

- [1] Jiang J C, White R C, Allen P K. Digest of technical papers of 1991 international conference on solid-state sensors and actuators: 238-240.
- [2] Xia S H, Liu J, Chen F C, Han J H, Cui D F. J. Vac. Sci. Technol, 1997, B-15(4): 1573-1576.
- [3] 陶新昕, 夏善红, 陈绍凤. 中国电子学会真空电子学会第十一届学术年会论文集, 北京: 1997, 335-337.
- [4] Xia S H, Liu J. J. Vac. Sci. Technol, 1998, B-16(3): 1226-1232.

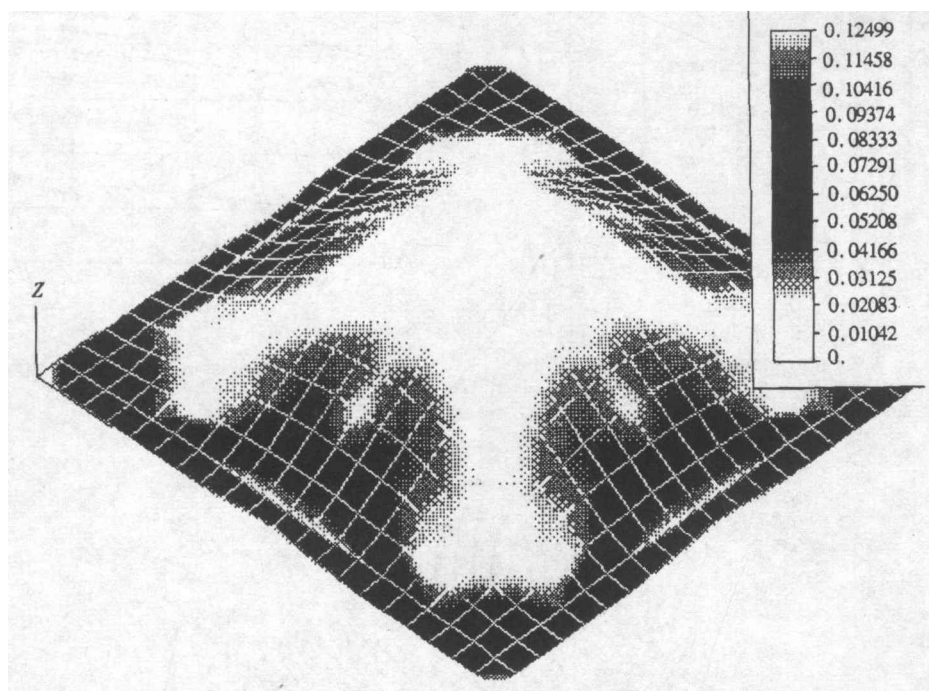


图 6 薄膜的应力分布

RESEARCH ON “CATHODE-ON-MEMBRANE” VACUUM MICROELECTRONIC PRESSURE SENSOR

Tao Xinxin Xia Shanhong Su Jie Chen Shaofeng

(Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences,

State Key Laboratory of Transducer Technology, Beijing 100080)

Abstract This paper proposes a novel “cathode-on-membrane” vacuum microelectronic pressure sensor. The “cathode-on-membrane” structure has been fabricated. The properties of the silicon membrane under pressure are simulated, and the effects of the parameters of membrane structure on the sensitivity are discussed.

Key words Vacuum microelectronic, Pressure sensor

陶新昕: 男, 1972 年生, 研究实习员, 真空微电子器件.
夏善红: 女, 1958 年生, 研究员, 微机械与真空微电子.
苏 杰: 男, 1973 年生, 研究生, 真空微电子传感器.
陈绍凤: 女, 1947 年生, 工程师, 真空微电子器件.