

文章编号: 2095-4980(2015)06-0980-03

## Au 薄膜溅射功率对 ZnO/Au 复合薄膜质量的影响

王旭光, 姚明秋, 席仕伟, 徐 韩

(中国工程物理研究院 电子工程研究所, 四川 绵阳 621999)

**摘 要:** 在 ZnO 薄膜上采用不同溅射功率制作了 Au 薄膜, 研究不同溅射功率对 Au 膜成膜速率、结晶质量和结合力的影响, 表明在本实验中 100 W 功率下 Au 膜的成膜质量比较好。同时对 ZnO 薄膜电阻的影响进行了研究, 结果表明溅射功率越高, ZnO 导通的可能性越大, 通过实验, 溅射工艺在 100 W 下制备的 Au 薄膜对 ZnO 电阻影响最小。

**关键词:** 溅射; 溅射功率; Au 薄膜; ZnO 电阻

**中图分类号:** TH703; TN305.2 **文献标识码:** A **doi:** 10.11805/TKYDA201506.0980

## Performance of ZnO/Au composite film at different sputtering powers

WANG Xuguang, YAO Mingqiu, XI Shiwei, XU Han

(Institute of Electronic Engineering, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621999, China)

**Abstract:** Au films sputtered at different sputtering powers on ZnO surfaces are deposited. The effects of different sputtering powers on the deposition rates, crystal quality and bonding force between Au and ZnO film are researched. Au films at sputtering power of 100 W features the best performance compared with that at other sputtering powers. The influences of different sputtering powers on the resistances of ZnO membranes are studied as well. The results show that the higher the sputtering power, the more likely the ZnO resistance is broken-down; and an Au film at the sputtering power of 100 W shows the smallest influence on ZnO resistance.

**Key words:** sputtering; sputtering power; gold membrane; ZnO resistance

在许多微传感器和执行器中都会用到压电材料, 如惯性传感器、压力传感器、触觉传感器、流量传感器等等<sup>[1]</sup>。制备的压电材料的质量直接影响压电 MEMS 器件的性能。由于 ZnO 的 c 轴可以自发成型而无需极化, 与其他压电材料相比具有一定的优越性, 应用比较广泛。ZnO 材料的生长方法有很多, 包括射频或直流溅射、离子电镀和化学气相淀积等。不管采用何种方式, 相对于块状材料而言, 薄膜材料的密度会比较低, 制备的 ZnO 薄膜一定程度上存在孔洞的缺陷。对于某些器件, 如压电加速度传感器, 需保证工艺制作完成后 ZnO 不会失效, 在其表面制作其他薄膜材料都必须保证不影响 ZnO 的性能。本文主要通过改变溅射功率研究制备金属上电极对 ZnO/Au 复合结构性能的影响。

### 1 实验方法

硅片选用常用的(100), p 型, 电阻率为  $1\ \Omega\cdot\text{cm}\sim 10\ \Omega\cdot\text{cm}$ , 厚度为  $400\ \mu\text{m}$ ; 采用溅射工艺在其上先后制备 Cr-Au 电极和 ZnO, ZnO 厚度为  $1.5\ \mu\text{m}$ , 采用溅射工艺在 ZnO 上制作 Cr(30 nm)-Au(300 nm)的电极。溅射设备采用 alliance concept 的 AC450, 本底真空为  $8\times 10^{-7}\ \text{mbar}$ , 工作气压为  $1.8\times 10^{-2}\ \text{mbar}$ , 基片温度为常温, 溅射功率分别为 50 W, 100 W, 150 W, 200 W, 400 W。因 Cr-Au 图形化所用的腐蚀液也会对 ZnO 产生破坏, 需要采用剥离 (lift-off) 工艺, 即先进行光刻再溅射 Cr-Au 电极。光刻胶选用瑞红 304, 胶厚为  $2.2\ \mu\text{m}$ , 一般光刻胶越厚越容易剥离, 但同时也要兼容分辨率。

溅射完成后, 将基片放入丙酮中浸泡 1 h~2 h, 后经超声将有光刻胶的部分去除, 然后再用酒精、去离子水清洗干净。采用光学显微镜和场发射扫描电镜 (FESEM) 观察 Au 电极表面形貌, 并用探针台测试 ZnO 的电阻, 从成膜速率、Au 薄膜的结晶质量、Au 薄膜与 ZnO 薄膜的结合力及对 ZnO 电学性能的影响 4 个方面研究

射功率对 ZnO/Au 复合薄膜性能的影响。

## 2 实验结果及分析

溅射功率会影响溅射速率, 功率越高, 速率越快, 图 1 所示为不同溅射功率下的 Au 薄膜沉积速率。溅射过程是通过高能离子轰击靶材使靶材表面的原子逃逸出来, 被轰击出的靶原子会输送到处于阳极的基片上, 在达到基片之前, 被溅射出的高能粒子会与氩气发生碰撞, 变为中性, 碰撞过程会降低粒子到达基片时的能量, 减少达到基片的粒子流, 低的粒子流意味着低的沉积速率, 所以落在基片上的原子速度与气压和功率有关, 降低溅射速率可以通过增加工作气压或降低溅射功率, 但增加气压同时也会引入气体杂质, 为保证沉积薄膜的纯度可以选择通过改变溅射功率来改变沉积薄膜速率。由公式(1)可看出<sup>[2]</sup>, 要提高沉积速率, 可以通过提高功率来实现, 因功率会直接影响溅射系数。

$$Q = C \cdot I \cdot r \quad (1)$$

式中:  $Q$  为沉积速率;  $C$  为表示溅射设备特性的常数;  $I$  为离子流;  $r$  为溅射系数。

在其他溅射条件不变的情况下, 仅改变溅射功率, 沉积的 Au 薄膜表面形貌会随之改变。在一定范围内, 功率增加会提高薄膜的致密性, 因沉积速率的增加使掉落到基片之前的 Au 原子的动能增加而降低形核的自由能, 导致高的形核速度和致密的薄膜结构, 但过高的功率会影响结晶程度, 因从初始状态稳定的母相经形变形成稳定的新相需要在体系达到一定的过冷度时才能完成<sup>[3-5]</sup>, 该过程需要足够的时间, 而过高的沉积速率会导致基片表面温度高于新相形成所需温度, 使形核受到影响, 从而使薄膜产生缺陷, 如图 2 中 SEM 观察到的 Au 表面形貌。在本实验条件下, 100 W 溅射功率下薄膜颗粒比较均匀, 间隙较少。随着溅射功率的增加, 表面颗粒的均匀性逐渐变差, 但致密性有所提高。

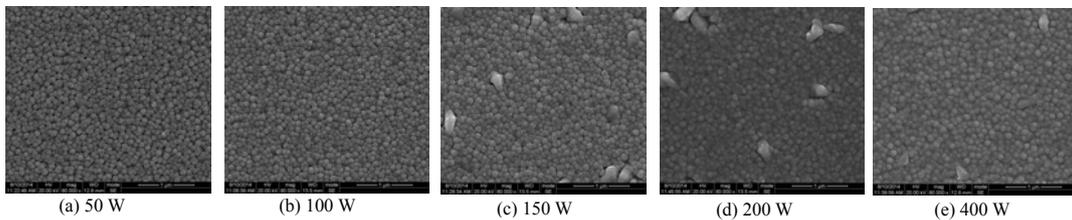


Fig.2 SEM results of surface morphologies of Au films deposited at different sputtering powers

图 2 SEM 观察的不同溅射功率下制备的 Au 薄膜表面形貌

将不同溅射功率下制备的 Au 薄膜放入超声清洗机中进行剥离, 剥离后由光学显微镜观察的图形形貌如图 3 所示, 在 400 W 下制备的薄膜脱落较明显, 如图 3(e)所示, 说明一定程度上溅射功率越高, 结合力越差。可能是由于高溅射功率能提供具有更高能量的原子流, 从而原子在基片表面可以自由移动, 还可能冲走已经在基片上的原子, 同时原子或分子到达基片表面的能量越大, 越可能对基片表面造成一定损伤, 影响层间结合力。

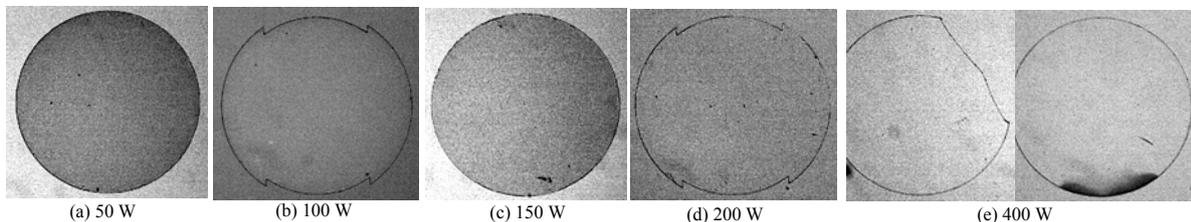


Fig.3 Morphologies of Au films deposited at different sputtering powers after ultrasonic observed by optical microscope

图 3 光学显微镜观察的不同溅射功率下制备的 Au 超声后的形貌

溅射功率越高, 提供给从靶材逃逸出原子的能量越大, 高功率不仅会对基片表面造成损伤, 同时会使部分 Au 原子进入 ZnO 内部, 导致 ZnO 穿通。保证 ZnO 薄膜的性能是保证 MEMS 器件具有良好性能的关键<sup>[6-8]</sup>之一。通过降低溅射功率, 溅射速率减慢, 在随后的离子到达基片表面之前, 已经沉积到基片表面的原子有一定的时间进行结构重排和晶核长大, 会使结构更为致密, 同时离子到达基片表面的力减小, 避免离子进入 ZnO 薄膜的缝隙中。不同溅射功率下的 ZnO 电阻情况如表 1 所示。在 ZnO 薄膜表面采用不同功率金属薄膜作为上电极, 并采用 lift-off 工艺将上电极图形化为均匀分布的 1 mm×1 mm 的区域, 每个样片选取 30 个上电极分别进行测试。从表中可以看出, 溅射功率越高, ZnO 穿通的可能性越大。

表 1 不同溅射功率下的 ZnO 电阻情况

Table 1 Resistance distribution of ZnO deposited at different sputtering powers

power/W	number of 10 $\Omega$ to 1 000 $\Omega$ resistors	number of 10 k $\Omega$ to 1 M $\Omega$ resistors	number of 1 M $\Omega$ to 20 M $\Omega$ resistors	number of 20 M $\Omega$ resistors
50	0	0	1	29
100	4	0	4	22
150	5	3	7	15
200	6	4	3	17
400	8	10	4	8

### 3 结论

金属膜制备一般选用直流磁控溅射, 溅射高功率下能提供具有更高能量的原子流, 原子在基片表面可以自由移动, 还可以冲走已经在基片上的原子, 一定程度上可以消除原子在基片上的松散结构而增加结合力使结构更加致密, 但同时过高的能量会损坏基片表面结构。从本文实验可看出, 溅射功率会影响 Au 膜的溅射功率、致密性、结合力和基底 ZnO 的电学性能。本文工艺条件下, 100 W 内, 功率越大致密性越好, 但超过 100 W, 随着溅射功率的增大, Au 薄膜晶格表面颗粒变得不均匀且存在缺陷。因为形核过程需要克服母相的动能和自由度改变而引起的自由能, 功率太低, 形核的自由能较高, 达到从母相到稳定新相能量的原子数量少; 功率太高, 晶格来不及冷却和重排就有新的原子落到表面, 影响沉积薄膜的致密性。且溅射功率越高, 穿通的可能性越大, 从而导致 ZnO 的电阻变低。综合考虑 Au 薄膜性能和对 ZnO 电阻的影响, 100 W 溅射功率下制备的 Au 膜性能较好。

#### 参考文献:

- [1] 格雷戈里 T A,科瓦奇. 微传感器与微执行器[M]. 张文栋,译. 北京:科学出版社, 2003:65-68. (Gregory T A Kovacs. Micromachined Transducers Sourcebook[M]. Translated by ZHANG Wendong. Beijing:Science Press, 2003:65-68.)
- [2] 陈宝清. 离子镀及溅射技术[M]. 北京:国防工业出版社, 1990:90-96. (CHEN Baoqing. Ion Plating and Magnetron Sputtering Technology[M]. Beijing:National Defense Industry Press, 1990:90-96.)
- [3] Sami Franssila. 微加工导论[M]. 陈迪,译. 北京:电子工业出版社, 2006. (Sami Franssila. Introduction to Microfabrication[M]. Translated by CHEN Di. Beijing:Publishing House of Electronics Industry, 2006.)
- [4] Burger A,CHEN H,Chattopadhyay K,et al. Characterization of metal contacts on and surfaces of cadmium zinc telluride[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 1999,428(1):8-13.
- [5] 张柯,刘峰,杨根仓,等. 材料相变过程中的形核理论[J]. 西安工业大学学报, 2012,32(12):947-958. (ZHANG Ke,LIU Feng,YANG Gencang,et al. Nucleation theories for material transformation processes[J]. Journal of Xi'an Technological University, 2012,32(12):947-958.)
- [6] Ndong R O,Sorli B,Giani A,et al. Film bulk acoustic resonator based on zinc oxide thin film[J]. Advances in Physics Theories and Applications, 2013,23:31-35.
- [7] YUAN Y,SHYONG C K,DU H,et al. A ZnO thin-film driven microcantilever for nanoscale actuation and sensing[J]. International Journal of Smart and Nano Materials, 2013,4(2):128-141.
- [8] Yoshino Y,Inoue K,Takeuchi M,et al. Effects of interface micro structure in crystallization of ZnO thin films prepared by radio frequency sputtering[J]. Vacuum, 1998,51:601-607.

#### 作者简介:



王旭光(1978-), 男, 四川省绵阳市人, 学士, 主要研究方向为微电子机械系统. email: wxg1503@163.com.

姚明秋(1985-), 女, 河北省衡水市人, 在读博士研究生, 主要研究方向为微电子机械系统.

徐 韩(1984-), 男, 四川省绵阳市人, 在读博士研究生, 主要研究方向为微电子机械系统、惯导技术.

席仕伟(1965-), 男, 四川省绵阳市人, 高级工程师, 主要研究方向为微电子机械系统.