

工艺参数对 Ta/Al 合金电阻薄膜性能的影响

贾宇明* 杨邦朝

(电子科技大学信息材料工程学院 成都 610054)

【摘要】 Al 原子含量约为 50% 的 Ta/Al 合金薄膜具有优良的电阻性能。使用直流共溅射的方法制作这种薄膜,靶极采用了 Al 面积为 43% 的 Ta/Al 复合靶。研究了工艺参数如溅射气压、溅射电压以及热处理条件等因素对该薄膜的性能影响。结果表明,这种 Ta/Al 合金薄膜能用于制作功率稳定的电阻器或电阻网络。

关键词 Ta/Al 合金薄膜; 电阻性能; 共溅射; 工艺参数

中图分类号 TB33. 331

Ta/Al 合金薄膜是一种性能优良的电阻薄膜材料,它制作工艺简单,重复性好,不仅具有良好的长期稳定性和较好的温度系数,而且易于阳极氧化,在膜表面生成一层致密的氧化物钝化膜,在热老化和功率老化中具有很好的稳定性^[1,2]。因此它可用于制作高精度、高稳定的功率电阻网络,例如薄膜功率衰减器^[3,4]。我们研究了各种不同原子比的 Ta/Al 合金电阻薄膜,发现当 Al 原子含量约为 50% 时, Ta/Al 薄膜的综合电性能最优^[4]。基于以上原因,选用 Al 面积约为 43% 的 Ta/Al 复合靶,采用二极溅射的方法,制出 Al 原子含量约为 50% 的 Ta/Al 合金电阻薄膜。通过研究工艺因素对薄膜电性能的影响,探索出制备 Ta/Al 薄膜工艺的规律,找出较佳的工艺条件,制出电性能优良的 Ta/Al 合金电阻薄膜

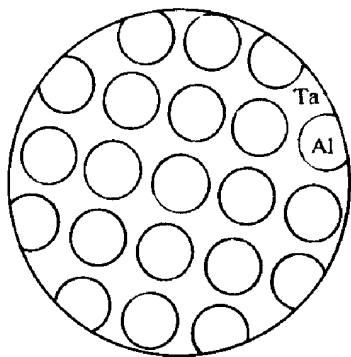


图 1 Ta/Al 复合靶结构示意图

1 实验方法

采用 SJ-450 型溅射镀膜机制备 Ta/Al 合金电阻薄膜,所用的靶为 Ta/Al 复合式结构,如图 1 所示。Ta 材纯度为 99.99%, Al 材纯度为 99.97%, Al 面积约为 43%。经长期实验证实,这种结构的靶制作的 Ta/Al 合金薄膜均匀性和工艺重复性都很理想。溅射工作气体为经过纯化的氩气,其纯度 99.99%。选用微晶玻璃基片和 高铝瓷抛光基片(均经过严格清洗)。样品的制备工艺流程为:靶制作→基片、掩膜准备→溅射合金电阻薄膜→蒸金电极→大气热处理→分析与测量。实验的溅射及热处理条件如表 1 所示。

表 1 实验用工艺条件

背景真空 /Pa	溅射气压 /Pa	溅射电压 /kV	靶-基距 /cm	基片温度 /℃	热处理温度 /时间	℃ · h ⁻¹
1.3~ 2.7 × 10 ⁻³	2.0~ 3.1	3.5~ 5.0	5~ 7	200~ 300	250~ 350/3~ 8	

样品的膜层厚度 d 用 6JA 型干涉显微镜测量,方阻 R_s 用 D41-4 型四探针仪测出,电阻率 d 由

1996 年 12 月 19 日收稿,1997 年 3 月 11 日修改定稿

* 男 39 岁 硕士 副教授

膜厚和膜方阻算出,电阻温度系数 TCR 在 $25^{\circ}\text{C}\sim 125^{\circ}\text{C}$ 范围内用惠斯顿电桥测量,膜的成分与结构用 X 射线衍射方法进行分析。

2 实验结果与分析

2.1 膜厚的影响

为了研究 Ta/Al 薄膜电阻的实用方阻范围,对 $50\text{ nm}\sim 350\text{ nm}$ 厚度的薄膜进行了方阻和 TCR 测试,结果如图 2 所示。当膜厚由 50 nm 增加到 350 nm 时,薄膜的方阻 R_s 约在 $10\ \Omega/\square\sim 50\ \Omega/\square$ 范围内变化,而 TCR 却随着膜厚度的增加而变化,在约 100 nm 后逐渐趋向一个稳定值,这以后膜厚对 TCR 几乎没有影响。

在相同溅射条件下制出的各种厚度的钽铝电阻薄膜,虽然其成分和结构大致相同,但经大气热处理后,不仅在薄膜表面形成一层较薄的氧化层,同时氧分子也会扩散到电阻薄膜的表层晶界中,形成氧化物绝缘层,使表层电阻膜电性能改变。显然对于较厚的电阻膜(大于 100 nm),这种影响不会很大,而对于较薄的电阻薄膜,这种影响会使其电性能有较大的变化。

2.2 溅射气压的影响

溅射气压的大小对薄膜质量影响很大。如气压过高,电离粒子流密度高,则溅射电流较大,导致淀积速率过快,大于结晶速率,结果使得膜层疏松,内部缺陷增多,内应力加大,因而薄膜的结构容易随温度而变化,结果其阻值也随之变化,电阻率也增加。当然,若溅射气压过低,辉光不能产生,或溅射速率太小,则溅射也不能进行。可见严格控制好溅射时氩气压的大小是决定 Ta/Al 膜电性能好坏的重要因素。

溅射 Ta/Al 薄膜前所选用的背景真空度为 $1.3\text{ Pa}\sim 2.7\times 10^{-3}\text{ Pa}$,并用工作气体反复冲洗真空室,以尽量减少真空室内的残余气体对膜造成的不良影响。溅射时选择的氩气压为 $2\text{ Pa}\sim 3\text{ Pa}$ 。图 3 绘出了薄膜 TCR 电阻率 d 与溅射氩气压 P_{Ar} 的关系曲线。由图 3 可见,在较低的氩气压下制出的薄膜 TCR 接近于零,电性能较好。

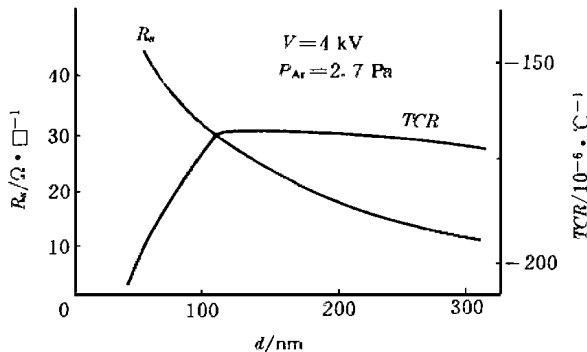


图 2 TCR 和 R_s 与膜厚 d 的关系

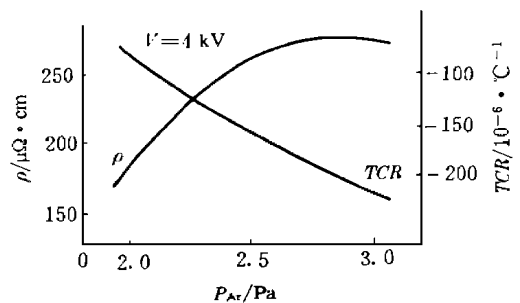


图 3 TCR d 与溅射气压 P_{Ar} 的关系

2.3 溅射电压的影响

在其他条件不变的情况下,如改变溅射电压也会明显影响薄膜的电性能。实验中使用了 3.5 kV 、 4 kV 、 4.5 kV 、 5 kV 等电压,制备出的钽铝电阻膜 TCR d 与电压 V 的关系如图 4 所示。在低电压下制出的薄膜其 TCR 值较好,但表面分析发现这种薄膜结构比较疏松,呈多孔性,连续性较差,因而 d 较高,经试验这种膜长期稳定性差。在高电压下溅射速率太快,也会使淀积的膜层疏松,增加膜的内应力使 TCR d 变化。在 $4\text{ kV}\sim 4.5\text{ kV}$ 条件下制出的电阻薄膜结构致密,不易发生结构和

阻值的变化,长期稳定性好。

2.4 热处理的影响

在溅射时,钽铝原子先在基片上以准液态形式不断变化,首先形成晶核,晶核长大成小岛,小岛合并成大岛,大岛结合形成带有沟道和孔洞的薄膜,最后在沟道和孔洞处二次或三次成核,逐渐形成连续薄膜。这种薄膜实际并不完整,存在多种缺陷,必须进行热处理加以消除。热处理时,处于高能状态下的原子向低能状态移动,晶格原子重新排列即再结晶,成为连续性较好的薄膜;另一方面,热处理可消除薄膜与基片间的应力,起到降低 TCR 的作用。

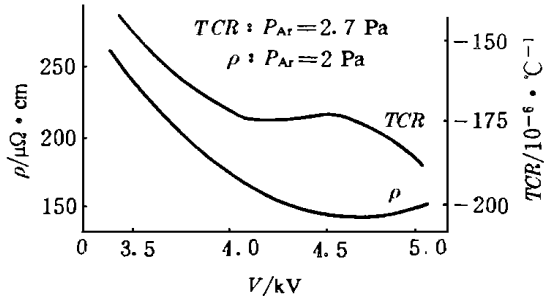


图 4 TCR 与溅射电压 V 的关系

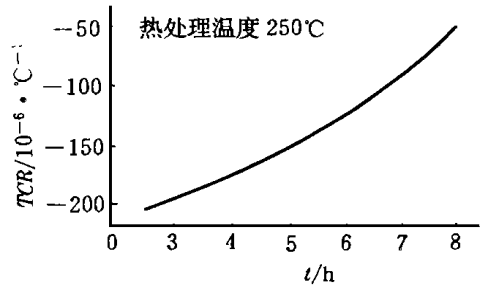


图 5 TCR 与热处理时间 t 的关系

图 5 是热处理时间与薄膜 TCR 的关系,热处理温度为 250°C 。由图可见,热处理时间较长的样品 TCR 较好。将 250°C 和 350°C 下热处理薄膜进行热稳定试验,结果表明,后者长期热稳定性好。这是由于在较高的温度和较长的时间下,薄膜中的缺陷和应力可较好地消除,且膜表面形成致密的氧化层较好地保护了薄膜。

2.5 成分和结构分析

用 X 射线衍射分析了薄膜中的 Ta 和 Al 原子含量及薄膜结构,结果表明: Ta/Al 电阻薄膜中 Ta/Al 原子含量分别为 53.7% 和 46.3%,薄膜具有微晶结构,含有 $\text{T}_{53.7}\text{Al}_{46.3}$ 晶相。

3 结 论

用 Al 面积 45% 的 Ta/Al 复合靶可制出 Al 原子含量 46.3% 的 Ta/Al 合金电阻薄膜,具有稳定可靠、温度系数好以及抗热氧化的优点,适用于制作精密电阻网络和功率型电阻。

工艺因素对 Ta/Al 合金电阻薄膜电性能影响很大。所选工艺条件范围如下:背景真空 $< 2 \times 10^{-3}$ Pa;溅射气压 2 Pa~ 2.7 Pa;溅射电压 4 kV~ 4.5 kV;热处理温度 250°C ~ 350°C ;热处理时间 5 h~ 8 h。在此工艺参数范围内制出的 Ta/Al 电阻薄膜的主要性能如下:电阻率 $150 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ ~ $300 \mu\Omega \cdot \text{cm}$;电阻温度系数 $-50 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$ ~ $-200 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$;长期稳定性 ($85^{\circ}\text{C} / 1700\text{h}$) $\frac{\Delta R}{R} < 0.08\%$ 。

本文承蒙曲喜新教授审阅,在此谨表谢意。

参 考 文 献

- 1 Kallfass T. A single Ta/Al film for temperature-compensated resistors and capacitors. Thin Solid Films, 1979, 56: 357~ 360
- 2 Reddy P K. Ta/Al thin film resistor with improved electrical properties. Thin Solid Films, 1980, 70: 27~ 35

- 3 贾宇明. Ta/Al 合金薄膜中功率衰减器的研究. 电子科技大学学报, 1993, 22(2): 203~ 206
- 4 贾宇明. 钽铝合金电阻薄膜及其功率衰减器的研制. [学位论文]. 成都: 电子科技大学, 1989

Effect of Technological Parameters on Performance of Ta/Al Alloy Resistive Films

Jia Yuming Yang Bangchao

(Inst. of Information Materials and Engineering, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract The Ta/Al alloy film containing Al 50% at. has an excellent resistive performance. The film is deposited by DC co-sputtering from tantalum cathode, 45% of which is covered with area of aluminum discs. The influence of technological parameters such as sputtering pressure, sputtering voltage and heat-treatment conditions etc. on the properties of the film is explored. The results show that the Ta/Al alloy film can be used for stable power resistor or resistive network.

Key words Ta/Al alloy film; resistive performance; co-sputtering; technological parameters

编辑 徐培红

.....

.....

.....

。科研成果介绍。

全光纤无源器件及全光纤四波分复用原型光端机研究

主研人员: 胡 力 罗小兵 叶昆珍 谢绍义 王 旭

该成果深入研究了光纤熔锥耦合理论与制作工艺,提高了双波分复用器件的性能指标,开发出具有使用价值的全光纤的四波分复用器件,研制了用于演示的二次群四波分复用原型光端机、器件,技术指标为:

- 1) 高隔离度双波分复用器,复用波长位于 1.31 μ m/1.55 μ m,隔离度 \geq 35 dB~ 40 dB,器件的插入损耗 \leq 1 dB; 同端隔离度 \geq 55 dB
 - 2) 四波分复用器,复用波长位于 1.287 μ m 1.316 μ m 1.508 μ m 1.547 μ m;窗口间隔隔离度 \geq 20 dB,窗口内隔离度 \geq 20 dB,同端隔离度 \geq 55 dB,插损 \leq 2.5 dB
- 原型端机及系统。LD工作波长位于 1.289 μ m 1.316 μ m 1.510 μ m 1.546 μ m 发射光功率 \geq - 6 dBm,接收灵敏度 \leq - 50 dB,动态范围 \geq 20 dB
- 双波分系统模拟通信距离 15 km~ 40 km,四波分系统模拟通信距离 15 km~ 35 km

光纤抽头延迟线的研究

主研人员: 胡 力 王 旭 谢绍义 罗小兵 叶昆珍

对光纤抽头延迟线的数理模型、工作机理和结构设计作了大量的理论和实验研究。自行设计研制了光纤抽头熔锥工艺设备以及工艺过程在线监测系统,研制了十余种直列链式和环形反馈式结构延迟网络组件,筹建了网络组件测试的时域和频域测试系统,研究了组件测试方法,并对所研制组件进行了具体测试。研究中,关于非等延迟间隔阵列结构,利用损耗补偿分光比误差,双极探测技术的采用等工作具有创新意义。

。科 卞。