

# NiCr 电阻器电阻温度系数的控制

淄博无线电六厂 高金庆

电阻温度系数 (TCR) 是电阻器的重要电参数之一, 一些整机制造厂在定货时, 对其已提出具体的要求。如果金属膜电阻器的 TCR 能够从  $100\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$  降低到  $50\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$ , 其出口价格可以提高一倍。因此对 TCR 进行深入研究和试验, 找出可行的方法加以控制, 这在技术上和经济上都有着重要的意义。本文主要介绍研究 NiCr 薄膜电阻器的几个有代表性的试验, 介绍电阻合金成份、工艺因素对 TCR 的影响, 同时介绍一种能控制工艺因素和 TCR 的优越的薄膜淀积法——导线馈送瞬间蒸发法。

## 淀积方法

试验所用的蒸发工艺、蒸发装置及操作, 对所淀积的 NiCr 薄膜的性能有很大的影响。有人使用超高真空退火或长时间真空退火来处理淀积的薄膜。试验虽然取得了效果, 但是这在生产上不实用。可以选择块状 Ni 和 Cr 按一定比例加热真空蒸发, 也可以用  $\text{XNiYCr}$  合金块熔化蒸发。蒸发时可以通过分馏或升华来控制淀积成份。有些试验用合金粉或合金导线作材料, 采用瞬间蒸发工艺来控制薄膜的 TCR。溅射是控制薄膜成份的另一种方法, 它还可以控制薄膜中的气体含量。试验发现, 用电子束蒸发淀积的 NiCr 膜, 其 TCR 可以控制在  $100\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$  以下, 但是用电子束蒸发工艺控制 TCR 难度大, 而且形成的薄膜电阻, 每次往往不一样。也常用合金粉蒸发法和导线馈送瞬间蒸发法进行试验, 但是, 合金粉真空蒸发的参数和薄膜的成份较难控制。一般认为, 用导

线馈送瞬间蒸发法, 合金膜的成份和淀积参数较易控制。下面简单地介绍后一种方法。

图 1 为这种蒸发装置的示意图。为使淀积的薄膜均匀, 基体在真空室内旋转。薄膜成份、厚度和淀积速率通过导线馈送速度加以控制。真空室可用液氮冷却的  $150\text{mm}$  扩散泵组抽气。

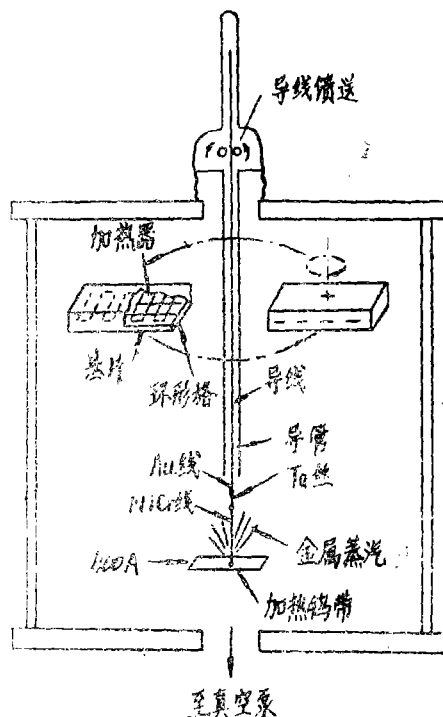


图 1 蒸发装置示意图

**基片固定** 基片放在水平环形格里, 每一格内有一基片加热器。这样做的优点是: 基片温度均匀, 与环形格运动无关, 其热密度计算简单。可以把一定的热量耦合到监控基体, 测量实际温度分布、位置和与时间的关系。通过汇流环带给环形格内加热器的总

加热电流约 5A。环形格一转动就开始加热, 12分钟后就可达到最高温度 360℃。断开加热源, 经适当的时间后, 开始瞬时蒸发, 在基片上淀积膜层。淀积导体时, 基体的温度比淀积电阻体时要低些。

**瞬间蒸发** 除金导体外, 薄膜是通过导线馈送瞬间蒸发而成的。把所要蒸发的金属导线用电机送入, 当导线碰撞发热的钨带外表面时, 迅速被熔化, 发生瞬间蒸发。合金导线瞬间蒸发与合金粉蒸发相比有如下优点:

1. 通过控制馈送导线的伺服电机的直流电压, 能容易而准确地控制淀积速率。
2. 改变导线成份易于实现分层蒸发, 使薄膜按成份分层。
3. 薄膜厚度可通过控制馈送导线的长度或重量而加以控制。
4. 薄膜淀积的速率和膜厚, 不用监控器就能加以控制。

可以用这种方法淀积的材料有 Ni、NiFe、NiCr、Al、Cu 和 Au 等。但这种方是有局限性的: 淀积的材料必须能拉成导线(纯 Cr 就不行), 发热的钨带必须达到一定的温度才能熔化和蒸发; 此外, 导线触及热钨带表面时趋于球形, 会导致电源波动, 因此对电源的稳定性和频率要求高。

**导线的制备** NiCr 合金不是良导体, 当 Cr 含量高于 30% 时, 就不能拉制成导线。因此, 可在直径为 254μm 的 70Ni30Cr 芯线上镀铬来增加 Cr 的含量, 镀到 345μm 粗细时 Cr 的含量约为 60%。在高阻 NiCr 线上再镀一定量的 Cr, 不是一件容易的事, 因为电镀时沿导线有电压降, 镀层厚度成锥形分布。要控制淀积薄膜的成份和厚度, 应选择导线截面, 选择合适的平均线密度和总质量。

改变导线成份的其他方法是用其他导线缠绕在这根导线上。例如, 要把 Au 掺在 NiCr 膜里, 可把一定长度的、直径为 50.8 μm 的金导线均匀地绕在 NiCr 线上。

为了适应大量生产, 曾多次进行了试验, 寻找最佳工艺过程。抽真空 5 分钟后, 开始加热基体, 所有其他操作都按预定时间进行。除 10 分钟的装料、检查维护设备等时间外, 蒸发室都保持真空。一个试验的全部真空工艺过程一般在 30 分钟内完成。

蒸发室内, 如水气的吸附作用强, 则淀积时真空度就要高。试验发现, 真空室内含有一定量的水气, 对淀积膜的 TCR 并没有显著的影响, 但方电阻则要增高 20% 左右。真空度对 TCR 的影响也不明显, 但对薄膜的稳定性有较大的影响。目前各种试验的结果是不一致的。由于目前已找到了简单有效地控制 TCR 的方法, 已放弃了这方面的努力。蒸发 NiCr 后, 在 5 分钟后基片温度降低到 200℃ 下时, 再蒸金。为了防止 Au 向 NiCr 中扩散, 蒸 NiCr 和 Au 之间有几分钟的间隔或者淀积 Ni 阻挡层。表 1 中列出了一组典型的淀积参数。

表 1 典型淀积参数

|                |                      |
|----------------|----------------------|
| 基片             | 99.6% 氧化铝            |
| NiCr 蒸发量       | 26.5mg               |
| 材料成分           | 40Ni60Cr             |
| 基片温度 (淀积 NiCr) | ≤ 330℃               |
| NiCr 淀积速率      | 10nm/分               |
| 阻挡层            | 无                    |
| 淀积导体 (Au)      | 100nm                |
| 导体淀积速率         | 100nm/分              |
| 基片温度 (淀积 Au)   | ≤ 200℃               |
| 淀积真空度          | $1 \times 10^{-6}$ 托 |
| 蚀刻后热处理         | 在 325℃ 下, 1 小时       |

### Cr 含量的影响

试验表明, NiCr 薄膜中 Cr 的含量为 20~30% 时, 其 TCR 大于 200ppm/℃。Cr 的含量为 30% 时, 调整其他参数还是不能把 TCR 降低到 +200ppm/℃ 以下; Cr 含量为 50~70% 时, 薄膜的 TCR 基本不变。

### 掺 Au 的影响

大家知道, Au 对 TCR 有很大的影响,

所以进行了一定量的Au和NiCr共同连续蒸发的试验。表2列出了掺杂Au的淀积参数。NiCr导线的馈送速度全部为2.54cm/分。没有掺入Au时，40Ni60Cr的淀积速度为10nm/分，掺入Au后，淀积速率与所加Au的体积成正比地增加，但是，在实际使用条

表2 掺Au的淀积参数

|            |               |
|------------|---------------|
| NiCr蒸发的量   | 24~36.5mg     |
| Ni与Cr之比    | 40/60         |
| Au的百分含量    | 0~42%         |
| 基片温度       | ≤330℃         |
| 淀积速率       | ≈10nm/分       |
| 阻挡层(Ni)    | 100nm         |
| 基片温度(淀积Ni) | 200℃(常用)或170℃ |
| 淀积导体(Au)   | 100nm到3.8μm   |
| 蚀刻后的热处理    | 在325℃下一小时     |

件下淀积速率并不是影响TCR大小的决定因素。在NiCrAu薄膜中，Au的含量对TCR的影响如图2所示。图中每个点旁括号内的数字表示除Au外的NiCr蒸发量。从图可看出，掺入35%的Au时可得到TCR等于零；也可看出，TCR虽然不是方电阻的函数，但是与膜厚有关。

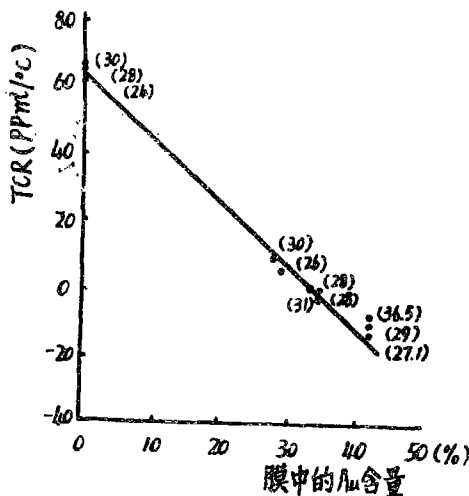


图2 Au含量对TCR的影响

### 基片温度的影响

基片温度的高低对TCR有很大的影响。

曾对40Ni60Cr和NiCrAu作不同蒸发量的试验。发现，基片温度提高时，TCR上升；而加入Au后，TCR对基片温度的灵敏度降低。图3示出了基体温度不同时TCR与Au含量的关系曲线。在其他条件一定的情况下，相对地降低基片温度(150℃)和适当地提高Au含量，都可以使TCR降低。同时也可看到，即使基片温度较高，35%的Au含量也可以把TCR降低到零。

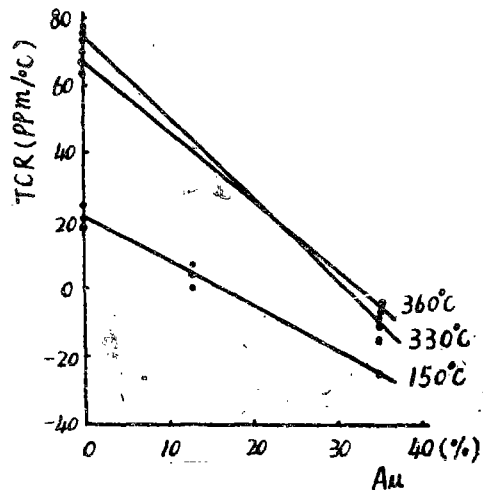


图3 掺金和基片温度对TCR的影响

### 膜厚的影响

上面的试验已经表明，淀积量对TCR有一定影响。在其他条件相同的情况下，蒸发量越大，薄膜的TCR越小。薄膜的厚度决定方电阻。进行下面的试验，目的在于设计怎样的方电阻能使TCR接近零。试验中选定Ni与Cr的比为40:60，基片温度为150℃。把薄膜的厚度和百分比含金量分别作为控制方电阻和TCR的参数。选择不同的淀积量和不同的含金量：先固定淀积量，含金量变，然后选定一个最佳含金量固定不变，变动淀积量，这样反复进行试验。图4表示基片温度为150℃、含金量为25%不变时，TCR与膜厚的关系曲线；图5表示淀积量为31mg不变时，TCR与百分比含金量的关系曲线。从图4可看出，金的含量为25%时与

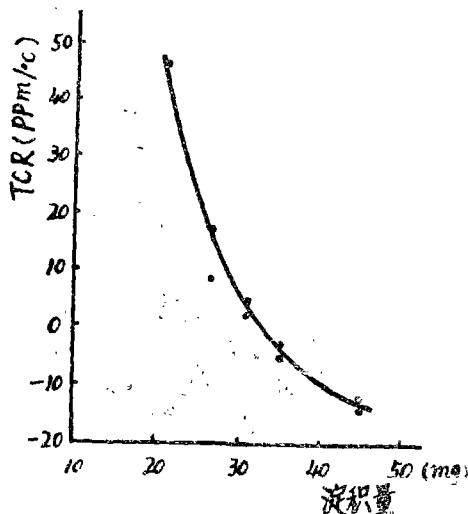


图4 膜厚对TCR的影响

基片温度: 150℃ 金的含量: 25%

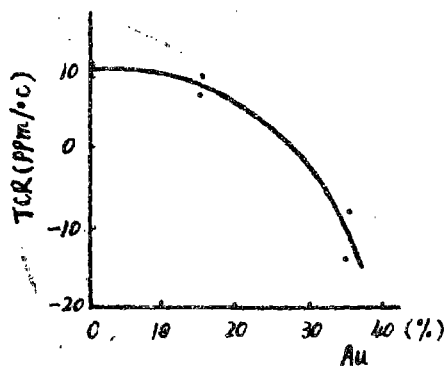


图5 金的含量对TCR的影响

基片温度: 150℃ 淀积量: 31mg

淀积量32mg相对应的薄膜的TCR接近零, 方电阻为  $180\Omega/\square$ 。蒸发量越大, 方电阻越低, 这是不难理解的。但是随着膜厚减小, TCR 增加, 这一现象就难解释, 而且有人从试验中得出不同的试验结果。Ni、Cr 及其块状合金都具有正的 TCR, 但它们的膜很薄时, TCR 都变成负的。后一特性曾用孤岛间电子的隧道导电机理进行过解释, 这样

(上接第53页)

字形尺寸:  $h \times w = 2.54 \times 1.7\text{mm}$ ;

$3 \times 2\text{mm}$

发热元件阻值:  $80 \sim 120\Omega$

膜越薄, TCR 应当越低。这与上面的试验结果是不一致的。可以这样认为, 当膜很薄时, 特性已发生了质的变化, 影响薄膜的因素是多方面的。

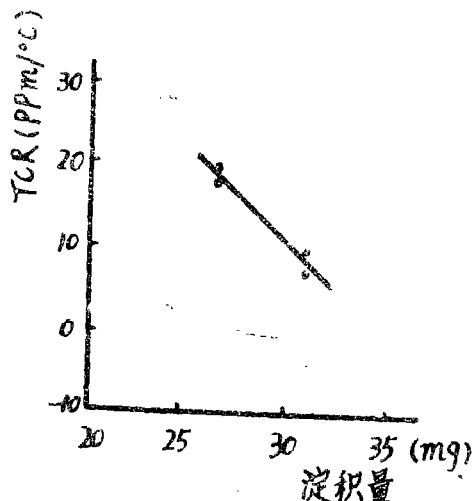


图6 NiCr淀积量对TCR的影响

基片温度: 150℃ 含金量: 0%

最后介绍一个蒸发材料中不含 Au 的试验结果 (图6)。虽然获得的数据不多, 而且得到这些数据也比较困难; 但已能看出, TCR随着膜的厚度减小, 趋于增加。当然, 膜太厚时, 这些数据显不出对 TCR 有什么影响了。蒸发量为 32mg 时, 为使 TCR 为零, 方电阻应为约  $150\Omega/\square$ , 甚至更低。

## 参 考 文 献

- [1] Papers was presented at the 29th Electronic Components Conference, Cherry Hill, NJ, P.14~16, May, 1979
- [2] IEEE Trans.Components, Hybrids and Manufacturing Technology, Vol.CHMTZ, No.4, P. 467~475, 1979

印刷速度: 50字符/秒

使用寿命:  $>2 \times 10^6$  字符

(715厂 孟惕平)