

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 $100\text{ppm}/\text{℃}$ 降低到 $50\text{ppm}/\text{℃}$ ，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 $X\text{Ni}Y\text{Cr}$ 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 $100\text{ppm}/\text{℃}$ 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，基片在真空室内旋转。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 150mm 扩散泵组抽气。

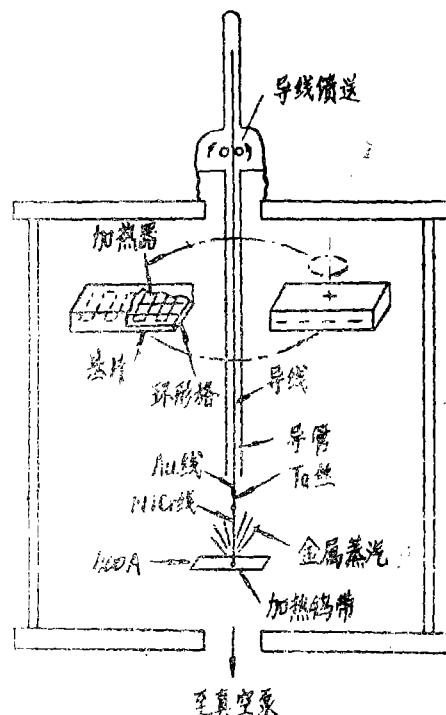


图 1 蒸发装置示意图

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50.8μm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	1×10 ⁻⁵ 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的沉积参数。NiCr导线的馈送速度全部为2.54cm/分。没有掺入Au时，40Ni60Cr的沉积速度为10nm/分，掺入Au后，沉积速率与所加Au的体积成正比地增加，但是，在实际使用条

表2 掺Au的沉积参数

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℃
沉积速率	≈10nm/分
阻挡层(Ni)	100nm
基片温度(沉积Ni)	200℃(常用)或170℃
沉积导体(Au)	100nm到3.8μm
刻蚀后的热处理	在325℃下1小时

件下沉积速率并不是影响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。

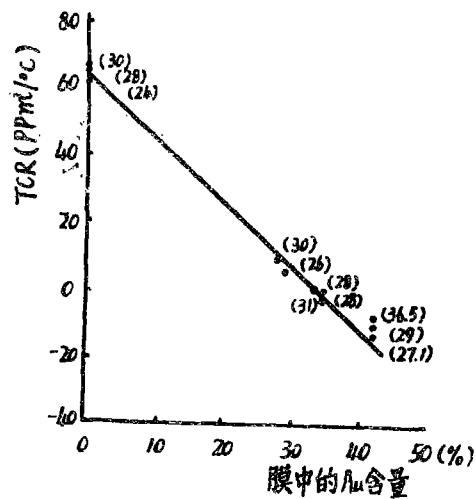


图2 Au含量对TCR的影响

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示出了基片温度不同时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。

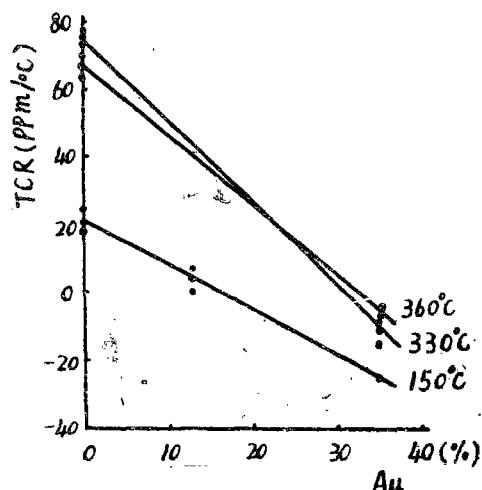


图3 掺金和基片温况对TCR的影响

膜厚的影响

上面的试验已经表明，沉积量对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。选择不同的沉积量和不同的含金量：先固定沉积量，含金量变，然后选定一个最佳含金量固定不变，变动沉积量，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表示沉积量为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

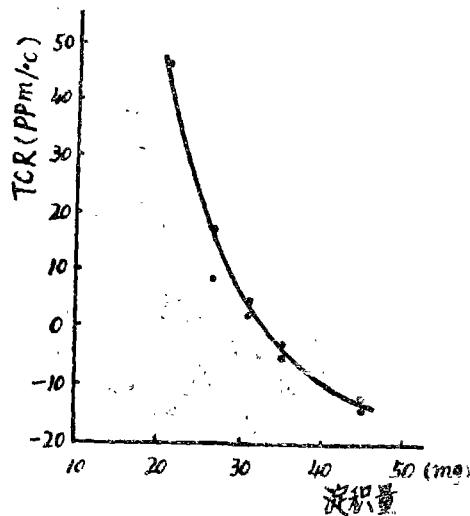


图4 膜厚对TCR的影响

基片温度: 150℃ 金的含量: 25%

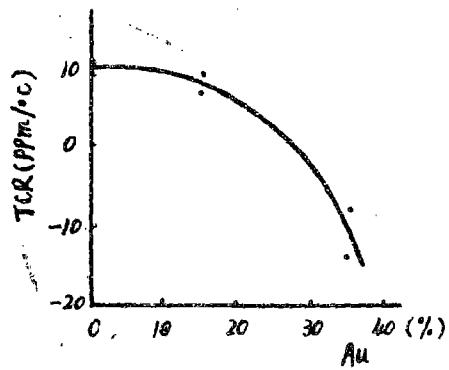


图5 金的含量对TCR的影响

基片温度: 150℃ 沉积量: 31mg

沉积量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。

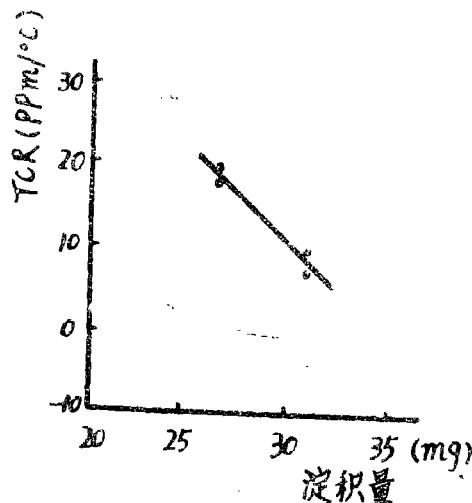


图6 NiCr沉积量对TCR的影响

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 蔡惕平)