

RF平面磁控溅射技术制备ZnO膜

王 哲 何静富

摘要: 本文主要叙述应用 RF平面磁控溅射技术进行ZnO膜的研制, 并扼要地介绍RF平面磁控溅射技术的原理。同时指出制备工艺条件对ZnO膜性能的影响和所取得的初步结果。

一、引 言

应用RF平面磁控溅射技术进行ZnO压电膜的制备, 并取得初步结果。

众所周知, ZnO压电膜目前被广泛地应用于集成光学, 各种声电和声光器件中。用 RF磁控溅射技术制备的透明、光滑、高电阻率的ZnO膜, 通常是在纯氩气或氩气和氧气按一定比例混合的气体中制成; 其透过波长在400—800nm之间, 透明度高于80%, 并且具有普克尔光电效应; 电阻率约为 $10^6 \Omega \cdot \text{cm}$, 在空气中进行高温处理还可以提高到 $10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ 。用X—射线衍射分析发现ZnO膜的电气性能与其结晶性能有密切关系。因此, 有关ZnO膜的研究及其应用广泛地为人们所关注, 是一种很有前途的薄膜材料。

二、ZnO膜的制备

根据使用单位提出的要求, ZnO压电膜的膜层厚度要在 $4 \mu\text{m}$ 以上, 如果用普通二极溅射法, 由于溅射速率太低需要几十个小时才能达到。为此我们选择溅射率比普通二极溅射法高一个数量级的平面磁控溅射技术制备ZnO膜。

首先, 简单介绍一下平面磁控溅射技术的原理。我们知道普通二极溅射法, 在辉光放电溅射时, 由于靶材处在高的负电位, 被离子轰击出的二次电子由于受到电场加速而获得很大能量, 这些二次电子在加速运动中由于碰撞而使中性溅射气体原子电离, 所形成的气体离子反过来又轰击靶材, 从而维持稳定的辉光放电, 但其中一部分二次电子由于碰撞次数不够多而仍然具有很大能量飞越到阳极的基片上, 轰击基片并将其能量以热的形式释放出来, 这样造成基片表面的急剧加热, 对膜层生长有很大影响。消除由于二次电子轰击而导致基片过热就是实现“低温”溅射的关键, 也就是磁控溅射工艺的主要优点之一。

从二极溅射到磁控溅射的发展过程, 体现了镀膜技术不断追求高溅射速率的特征。我们知道, 溅射速率 R 有如下关系:

$$R \propto S J_i$$

式中 S 是溅射系数, J_i 是入射离子流密度。要提高 R , 一是增大 S (但靶材确定之后 S 即定)。另外就是增大 J_i , 即溅射气体的电离度要大大增加; 磁控溅射为达到提高 J_i 目的, 是在同样的靶功率 (放电功率) 下采用低电压, 大电流并利用与电场正交的磁场作用于二次电子, 使二次电子落入正交场的捕集阱中, 按特定的轨道运动并被约束在阱中, 这样二次电子到达阳极的行程被大大地加长了; 也就是说, 二次电子被约束在靶材表面按着水平磁场强度分布不停地运动着, 碰撞溅射气体分子的几率大大增加, 因而电离度也大大增加; 这样到达基片

上时二次电子本身能量已基本耗尽。实验结果已充分证明磁控溅射技术具有“低温、高速”两大优点。

实验设备：我们的实验是在北京仪器厂生产的 JS—450型射频溅射装置上完成的，只改装一个北京仪器厂研制的平面磁控小圆靶电极，如图 1 所示。

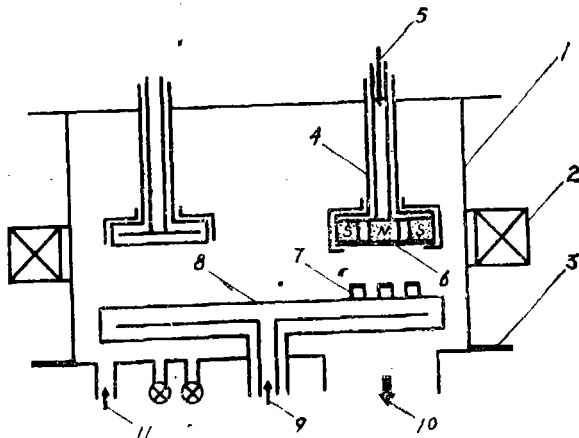


图 1 RF平面磁控溅射室

- 1 溅射室 2 外磁场 3 底盘 4 磁控电极 5 冷却水
6 ZnO靶材 7 样品 8 阳极 9 冷却水 10 扩散泵 11 充气口

平面磁控电极不同高度水平磁场强度分布曲线由图 2 给出。图中 h 表示垂直平面磁控小圆靶电极的高度， R 为小圆靶电极的半径。因此，在同一高度 h 下不同半径距离 R ，其水平磁场强度 B 也不相同；同样在相同的半径距离 R 的地方，随着高度 h 不同，则其磁场强度也不相同；然而，磁场强度的分布是由磁体的排列所决定的。

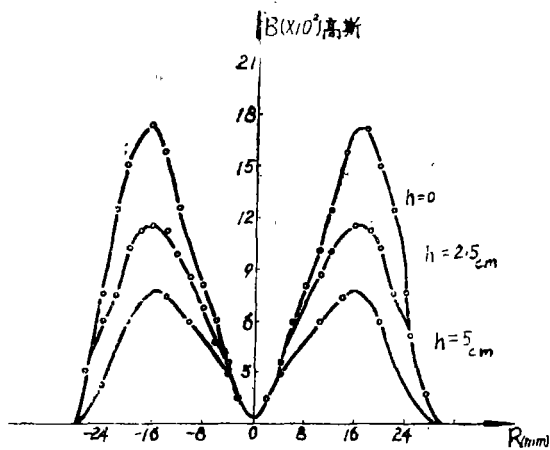


图 2 平面磁控电极水平磁场强度分布曲线

由图 2 磁控电极的水平磁场强度分布曲线可以看出，随着离开靶材距离 h 的增加强度 B 在减弱，也就是说在相同溅射功率下溅射速率也不相同。由于靶材中心点的磁场强度几乎为零，而当靶材与基片距离确定之后，溅射速率高的区域就是磁场强度分布强的地方，此处靶材消耗也最快。这也是磁控溅射技术不能充分利用靶材的不足之处。

实验中制备 ZnO 膜的溅射条件如表 1 所示。

表 1 ZnO膜制备条件

ZnO 靶材	$\phi 65 \times 5$
靶与基片距离	4—6 cm
溅射气体	Ar + O ₂ (1:1)
气 压	8×10^{-3} Torr ~ 1×10^{-2} Torr
溅射速率	1.1 $\mu\text{m}/\text{h}$

三、结果与讨论

我们通过实验认识到ZnO压电膜的性能与制备工艺条件密切相关，同时靶材的成份也是不可忽视的，靶材的质量甚至会影响到ZnO膜的性能是否能满足使用者的要求。我们实验中所用的靶材是外购的。

因为ZnO属于六角晶系，在这种6 mm点群的晶体中垂直C轴取向的多晶膜也具有象单晶那样的压电性能，为获得性能优良的ZnO压电膜，必须严格控制制备工艺条件。基片的温度及其性质、溅射速率的高低与气体的成份、气压的高低等对膜层的微观结构和电性能都有影响。根据使用要求，样品为 $4 \times 7 \times 20\text{mm}^3$ 长方形石英基片，按照石英/Cr·Au/ZnO/Cr·Au膜系溅射出膜层厚度为 $4 \mu\text{m}$ 以上的光滑、透明的ZnO压电膜。透明度曲线由图3给出。

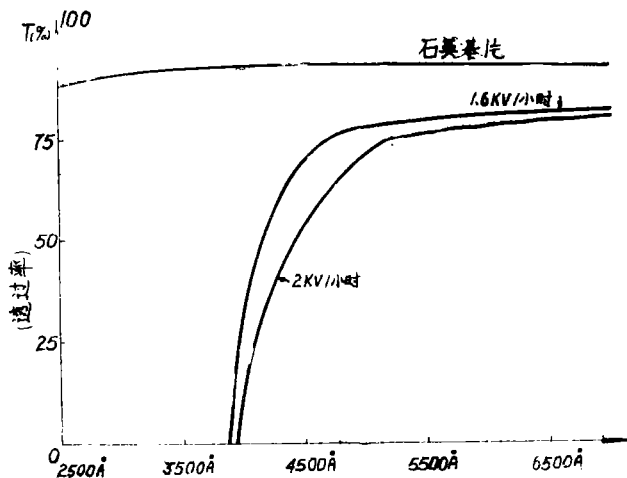


图 3 ZnO膜透过光谱曲线

ZnO薄膜微观结构由X—射线衍射分析得出了有明显结构的衍射图，如图4所示。

由图4表明我们所制备的ZnO压电膜不但具有光滑、透明特性，其微观结构也有明显的结构（即C轴取向垂直于基片表面或与基片垂直成一定角度）。这一点与实验结果压电效应显著是一致的。

但是，我们的实验工作进行的较短，有许多深入细致的工作尚待进一步研究，制备工艺和ZnO膜性能更需要进一步提高。

最后，对帮助进行X—射线衍射分析工作的曲向春同志和膜层厚度测量工作的李大朋等同志以及王毓斌、刘扬、贾淑芝同志表示感谢！同时林开华同志也给予很多指导特表谢意。

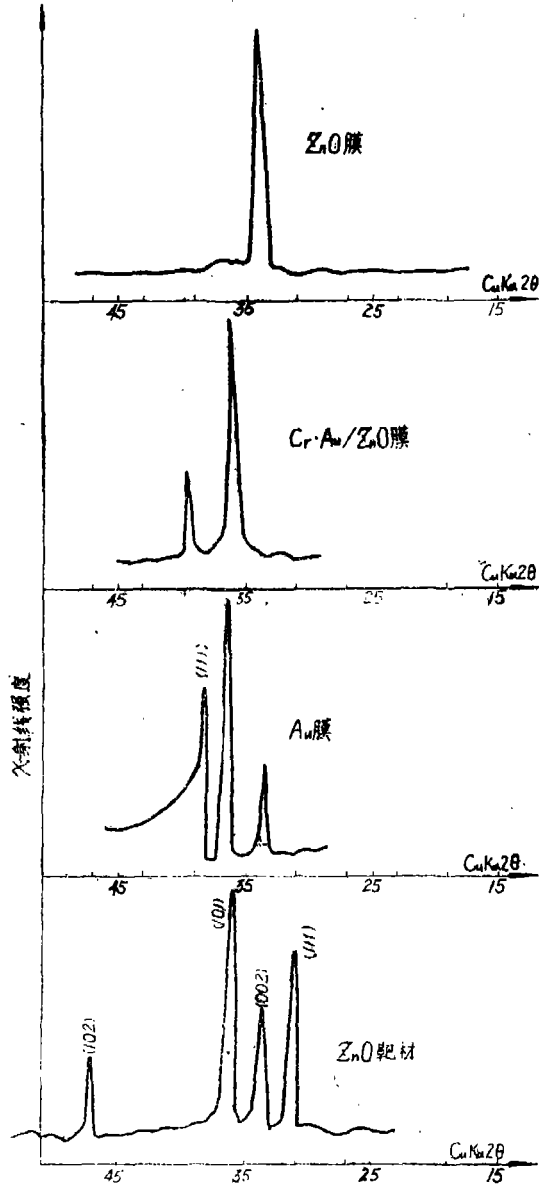


图4 分别为ZnO靶材、Au膜、Cr·Au膜/ZnO膜和ZnO膜的衍射曲线

参 考 文 献

- [1] H.W. Lehmann and R.Widmer; Rf sputtering of ZnO shear-Wave frausducers, Journal of Applied Physics, 1973, No. 9, 3868.
- [2] 王文如等, 制备ZnO压电膜的射频平面磁控溅射装置, 《真空》, 1982, 5, 8.
- [3] 张化一, 王克礼, 平面磁控溅射的研究, 《真空》, 1982, 6, 1.