

淀积参数对 ITO 膜电阻率的影响

张怀武 许武毅* 过壁君

电子科技大学 90B, 成都 610054

1991年10月18日收到; 1991年12月8日收到修改稿

本文研究了基体偏压、氧分压强和淀积后退火对 ITO 膜电阻率的影响, 通过比较理论结果和实验结果, 弄清了这几个参数影响 ITO 膜电阻率的机理, 并确定出最佳镀制参数。

PACC: 7360, 8115H

一、引言

氧化铟锡(ITO)半导体膜以其低的电阻率和在可见光区高的透射率受到各国学者的极大关注^[1,2,3]。为了得到光电性能极佳的 ITO 膜, 人们不仅在制膜方法上不断改进, 而且对其中一些工艺参数也进行了详细的研究。归纳这些研究为: 靶成份和密度、退火时间和温度^[4]、环境及微结构^[5]、氧分压强和真空度^[6]、衬底温度和淀积速率等。而下述问题仍未解决: 1. 基体偏压的作用及机理; 2. 氧分压强影响电阻率的机理; 3. 退火影响 ITO 膜电阻率的机理; 4. 上述几个参数最佳值的确定。根据上述存在的问题, 我们首先研究了氧分压强和基体偏压影响 ITO 膜电阻率的机理, 得到这两参数与电阻率的函数关系并作出理论曲线; 其次通过多次实验测试出 ITO 膜电阻率与这两参数的关系曲线, 并就理论曲线与实验曲线进行了比较, 两者基本吻合; 最后从实验上确定出最佳退火温度以及时间。通过以上研究, 我们镀制出电阻率为 $3.9 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ 、可见光区透射率 85% 和厚度 900~1100 Å 的 ITO 膜。

二、实验装置

镀膜设备采用 TS3-450II 型直流三极反应溅射镀膜机。如图 1 所示。

工作参数是: 靶压: -1.4 kV, 偏压: -80~+80 V, 热三极: -90 V, 靶成份: 83 wt% In + 17 wt% Sn, 衬底: Kg 玻璃, 膜厚: 900~1100 Å, 氧分压由图 2、图 3 定出, 背景真空度 $1.33 \times 10^{-4} \text{Pa}$, 氩压为 10^{-4}Pa 。

* 现在陕西机械学院。

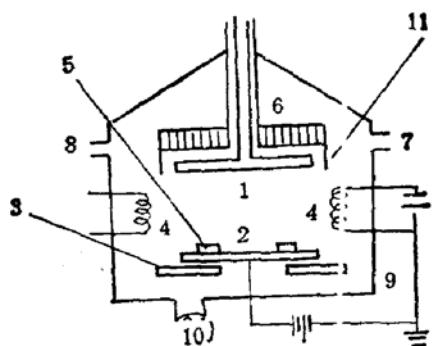


图 1 镀膜设备简图

1. 铁， 2. 基体， 3. 阳极， 4. 三极灯丝， 5. 衬底， 6. 盖环， 7. 反应气体入口， 8. 惰性气体入口， 9. 功率源， 10. 泵， 11. 阴极屏蔽

三、基体偏压和氧分压强影响 ITO 膜电阻率的机理

1. 基体偏压和氧分压强与电阻率的函数关系

在膜淀积过程中, 反应剩余的部分氧原子一方面被膜吸附, 另一方面一些被吸附原子由于离子轰击而解吸(因为基体偏压), 最终这和吸附和解吸过程达到动态平衡。因而吸附在膜中的氧原子浓度可从下面推导确定出。

设当轰击离子能量减小 $-e|dU|$ 时, 吸附在膜中的氧原子浓度增加 dn , 则:

$$dn \propto -\lambda n \frac{e|dU|}{E_d},$$

$$dn = -C \lambda n \frac{e|dU|}{E_d},$$

积分

$$n_f = n_d e^{-C_1 \frac{|dU|}{E_d}}. \quad (1)$$

C 是与离子种类及浓度有关的常数, λ 是能量传递函数, 显然与粒子质量有关, U 是基体偏压, E_d 是解吸能, n_d 是偏压为零时, 膜中吸附的氧原子浓度, 它包括了悬浮电位的影响。

根据 Freundlich's 吸附公式, 设 φ 为化学反应(生成 $In_2O_3 + SnO_2$) 必须的氧分压强, 它的量级为 10^{-3} Pa, 可求出式(1)中的 n_d .

$$\frac{x}{w} = KR^k. \quad (h = 0 \sim 1) \quad (2)$$

(x : 被吸附在膜中单位体积的氧质量, w : 膜质量, R 是氧分压强或浓度, k 为吸附常数)

$$n_d = \frac{x}{m_0} = \frac{k w}{m_0} (P - \varphi)^k. \quad (3)$$

(m_0 是氧原子质量, P 是通入真空室的氧分压强)

考虑被吸附的氧原子对膜面附近氧原子也具有吸附作用, 故

$$n_d = k k' \frac{w}{m_0} (P - \varphi)^{2k}. \quad (4)$$

(k' 为二次吸附常数)

将(4)式代入(1)式:

$$n_p = k k' \frac{w}{m_0} (P - \varphi)^{2k} e^{-C_1 \frac{e|U|}{E_d}}. \quad (5)$$

对于导电膜, 载荷粒子不仅被晶格散射, 而且被吸附的氧原子和杂质原子散射。对 ITO 膜, 其电阻率表示如下:

$$\rho = \rho_0 + \rho_s + \rho_F. \quad (6)$$

由载流子浓度和迁移率与电阻率关系式

$$\rho_F = \frac{1}{n q \mu_F}, \quad (7)$$

可得到 ρ_F 与基体偏压和氧分压强的关系:

因为: $n \mu_F \propto \frac{1}{n_p}$, $\rho_F \propto n_p$

$$n \mu_F = \frac{A}{n_p}, \quad (8)$$

即: 氧杂质浓度增大, 载流子由于被散射, 其浓度和迁移速度均减小; 反之, 吸附在膜中氧杂质浓度减小, 则载流子浓度和迁移速度均增大。

(n 为载流子浓度, μ_F 为迁移率, q 为电荷量, A 是比例常数, ρ_0 是大块材料电阻率, ρ_s 是“尺寸”效应电阻率, ρ_F 是吸附的氧原子对载流子散射而引起的电阻率)

所以: (6)式可写为:

$$\begin{aligned} \rho &= \rho_0 + \rho_s + \frac{1}{A q} n_p, \\ &= Q + K_1 (P - \varphi)^{2k} e^{-C_1 \frac{e|U|}{E_d}}. \end{aligned} \quad (9)$$

$$\left(Q = \rho_0 + \rho_s, \text{ 量级为 } 10^{-4} \Omega \text{ cm}, K_1 = \frac{1}{A q} K' K \left(\frac{w}{m_0} \right) \right)$$

2. 理论曲线和实验曲线

将(9)式改写为:

$$\rho = Q + K_2 (P - \varphi)^2. \quad (h = 1) \quad (10)$$

可作出电阻率随氧分压强变化曲线, 如图 2 所示。

将(9)式改写为:

$$\rho = Q + k_3 \exp \left(-C_1 \lambda \frac{e|U|}{E_d} \right). \quad (11)$$

取 正离子 (Ar^+) $C_1 = 10^{-1}$ $\lambda = 0.82$ (经计算)

$$E_d = 1 \text{ eV}$$

负离子 (O^{-2}) $C_2 = 3 \times 10^{-2}$ $\lambda = 1$

$$E_d = 1 \text{ eV}$$

电子 $C_3 = 3 \times 10^{-2}$ $\lambda \ll 1$ $\lambda = 0$

$$E_d = 1 \text{ eV}$$

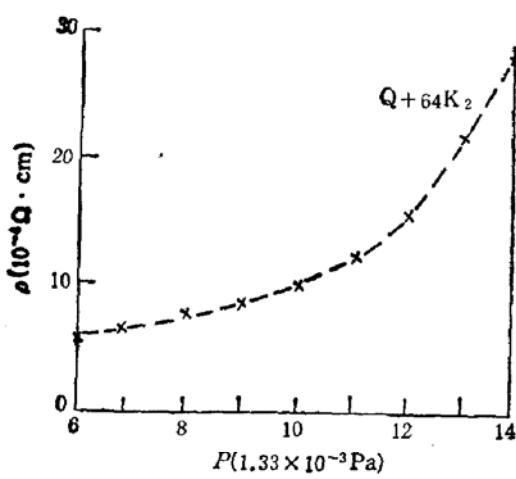


图 2 电阻率随氧分压变化曲线

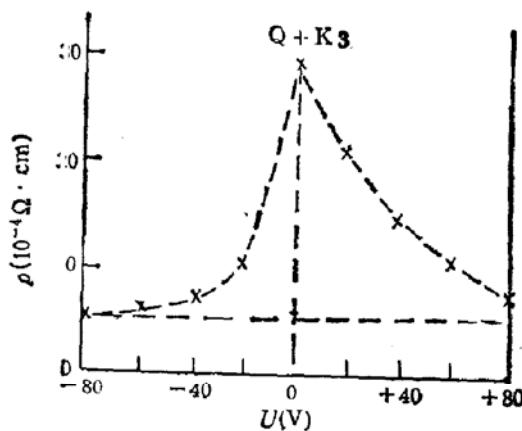


图 3 电阻率随基体偏压变化曲线

可作出电阻率随基体偏压的变化曲线,如图 3 所示。

在不同氧分压强和基体偏压下镀制出 ITO 膜后,用四探针技术测量其电阻率,经多次实验,作出电阻率随这两参数变化的实验曲线如图 4,图 5 所示。

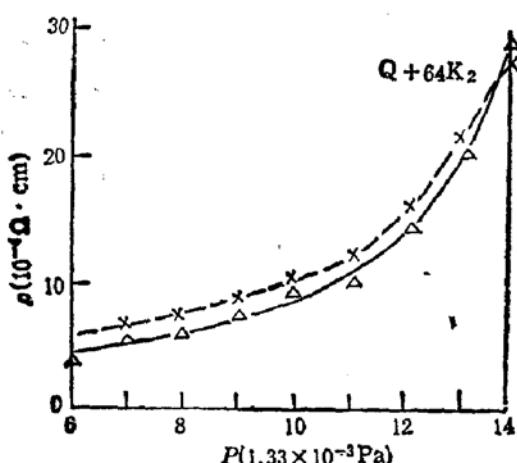


图 4 电阻率随氧分压强变化曲线
* 理论曲线, △ 实验曲线

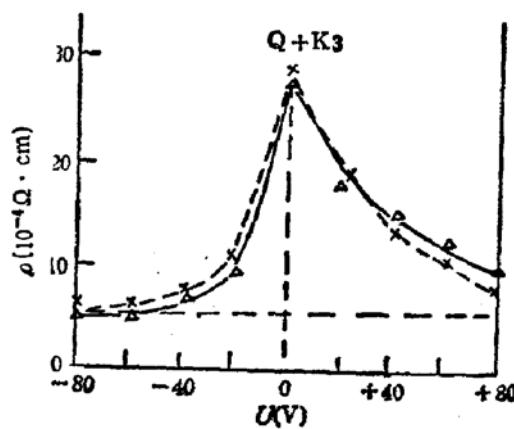


图 5 电阻率随基体偏压变化曲线
* 理论曲线, △ 实验曲线

比较实验曲线同理论曲线,二者基本吻合。从曲线可知: 1. 氧分压强在 $(8 \sim 10) \times 10^{-3}$ Pa 范围, ITO 膜电阻率较低, 大于此范围, 电阻率极快上升。故氧分压强最佳值应选在此范围; 2. 基体加偏压可以降低电阻率, 且负偏压优于正偏压。从兼顾透射率考虑, 偏压选在 -60V 左右为宜。

四、退火对 ITO 膜电阻率影响

经过退火的 ITO 膜,部分吸附的氧原子可以解吸,从而使膜中氧原子对载流子的散射作用减弱,相应地降低了膜的电阻率。显然,退火温度和时间是降低膜电阻率的两个重要参数。退火是在真空室进行的(真空中度 1.33×10^{-3} Pa)。退火后用四探针技术测量其

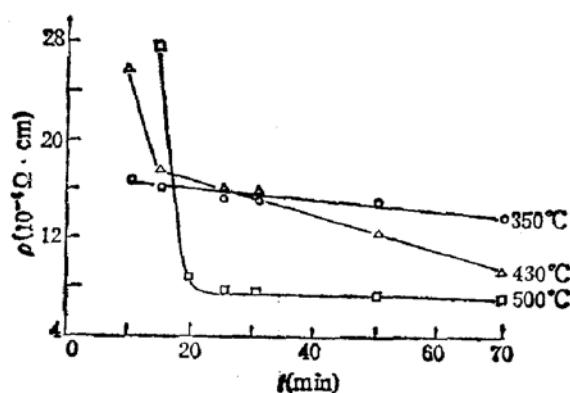


图 6 电阻率随退火时间和温度变化曲线(-40V 偏压)

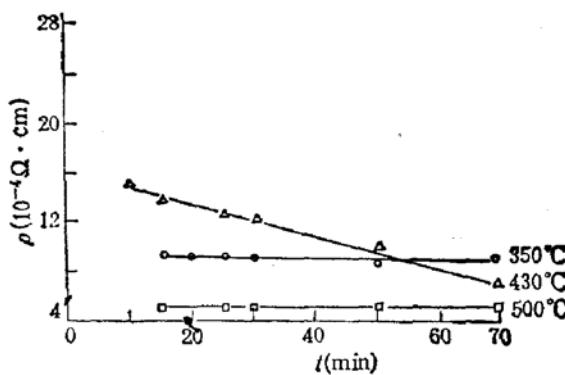


图 7 电阻率随退火温度和时间变化曲线(-80V 偏压)

电阻率,经多次实验,作出退火温度和时间对 ITO 膜电阻率影响曲线如图 6 和图 7 所示。

从曲线可知:随着退火时间延长和退火温度升高,在同一偏压下 ITO 膜电阻率较快减小。从曲线可以确定出退火温度 500°C,时间 30 分钟为宜。

五、结 论

通过以上的研究,我们得到如下几点结论:

1. 当氧分压强大于溅射反应必须量时,部分氧原子被膜吸附,从而使膜电阻率增加,电阻率是氧分压强平方的函数;
2. 在基体上加偏压时,带电粒子轰击膜面,使吸附的氧原子部分解吸,吸附的氧原子对载流子散射相应减弱,从而使膜电阻率减小,且负偏压优于正偏压;
3. 退火减小膜电阻率的原因主要是由于对吸附的氧原子和杂质原子有解吸作用。退火温度和时间是影响膜电阻率的两个重要参数;
4. 最佳氧分压强在 $(8 \sim 10) \times 10^{-3}$ Pa 范围,基体偏压在 -40~ -80V 范围为佳,退火温度 500°C、时间大于 30 分钟为宜。

参 考 文 献

- [1] V. Vasu, *Thin Solid Films*, 193, 697(1990).
- [2] M. Mudrik, *Thin Solid Films*, 185, 257(1990).
- [3] G. H. L. Weijt, *Thin Solid Films*, 196, 1(1991).
- [4] M. Libra, *Vacuum*, 38, 455(1988).
- [5] Josep Calderer, *Vacuum*, 37, 441(1987).
- [6] L. Bardos, *Vacuum*, 39, 33(1989).

Effect of Deposition Parameters on Resistivity of ITO Film

Zhang Huaiwu Xu Wuji and Guo Bijun

University of Electronic Science & Technology of China P. O. Box. 90B, Chengdu, Sichuan, 610054

(Received 18 October 1991; Revised manuscript received 8 December 1991)

Abstract

Effects of base bias voltage, oxygen partial pressure and post-deposition annealing on the resistivity of ITO film have been studied. Comparing the theoretical results with experimental results, the mechanism of the effect has been clarified. The optimum parameters have also, been determined.

PACC: 73.60; 81.15H