

薄 SiO₂ 膜厚度的椭偏测量方法

张瑞智 罗晋生

(西安交通大学)

摘 要

应用常规椭偏方法测量膜厚小于 300 Å 的薄 SiO₂ 膜厚度时, 由于膜的折射率对已知参数比较敏感, 因而测量误差较大。本文给出一种薄 SiO₂ 膜厚度的椭偏测量方法, 引入等效入射角的概念, 用曲线拟合求交点的办法精确确定了膜的折射率和厚度。

一、测量方法

椭偏测量根据基本方程

$$N = f(\psi, \Delta, \phi, \lambda, N_0, N_s, K_s), \quad (1)$$

$$T = g(\psi, \Delta, \phi, \lambda, N, N_0, N_s, K_s), \quad (2)$$

式中 N 和 T 分别为薄膜的折射率和厚度, ψ 和 Δ 称为椭偏参数, ϕ 和 λ 分别为测量时的入射角和波长, N_s 和 K_s 分别为衬底材料的折射率和消光系数, N_0 代表空气的折射率, $\lambda =$

6328 Å, $N_s = 3.864$, $K_s = 0.02$, $N_0 = 1.0$, $\phi = 70^\circ$ 。当 T 大于 300 Å 时, 求解(1)和(2)式, 可精确求得 N 和 T ; 当 T 小于 300 Å 时, 求

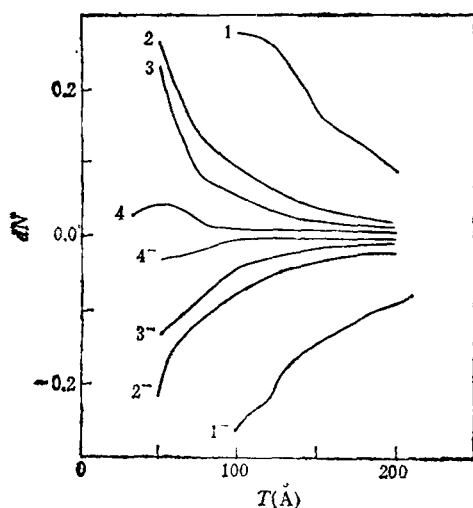


图 1 折射率误差曲线

- 1— $dN_s = -0.04$; 1'— $dN_s = 0.04$;
- 2— $d\phi = -0.01^\circ$; 2'— $d\phi = 0.01^\circ$;
- 3— $d\psi = -0.02^\circ$; 3'— $d\psi = 0.02^\circ$;
- 4— $d\Delta = -0.04^\circ$; 4'— $d\Delta = 0.04^\circ$

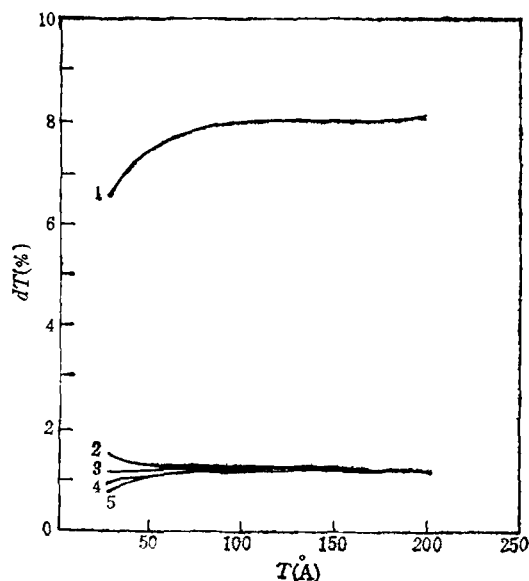


图 2 膜厚的相对误差曲线

- 1— $dN = 0.1$; 2— $d\phi = 0.01^\circ$; 3— $dN_s = 0.04$;
- 4— $d\psi = 0.02^\circ$; 5— $d\Delta = 0.04^\circ$

解(1)式得到的 N 值误差很大^[1]。主要原因是: 当 T 较小时, N_s , ϕ 和 ψ 等已知参数对 N 和 T 非常敏感, 它们数值的微小变化都将引起 N 和 T 值的较大变化^[2]。图 1 给出了 SiO₂ 膜的理论计算结果。可以看出, 所有曲线当 T 减小时, N 的误差都增大, 特别是 N_s , ϕ 和 ψ 对 N 非常敏感; 随着 T 的增加, dN 趋于零。

图 2 给出了由于已知参数的不准确而引起的厚度的相对误差曲线。结果表明, N 的影响最大。当 $N = 1.46$, $T = 100 \text{ \AA}$ 时, 若 $dN = 0.1$, 则所引起的 T 的相对误差为 8% 左右。

由上面分析可知, 当 T 较小时, 必须考虑 ϕ , ϕ 和 N_s 的误差对 N 和 T 测量精度的影响。为此, 我们从理论上计算了不同 SiO_2 膜厚度的 $N \sim \phi$ 关系, 并作了曲线。计算时, 除 ϕ 改变外, 其余参数固定, 结果如图 3 所示。这些曲线应相交于一点, 交点的坐标 (N, ϕ) 分别为膜的折射率及测量时的入射角。

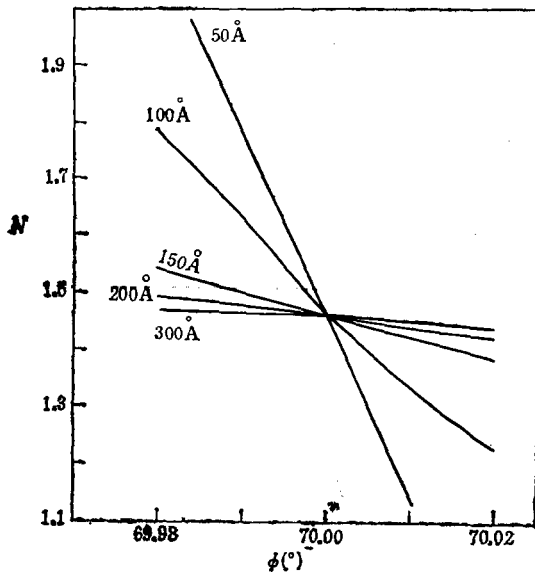


图 3 不同膜厚的 $N \sim \phi$ 曲线

因此, 我们可以把 ϕ 和 N_s 的偏差等效为一入射角的偏差, 即认为 $d\phi$ 和 dN_s 的影响等效于入射角的偏差 $d\phi = \alpha d\phi + \beta dN_s$, (α 和 β 为常数)。然后, 通过不同厚度(同一生长条件)的样品的 $N \sim \phi$ 曲线的交点来确定薄膜的折射率。方法是: 首先在 $\phi = 70^\circ$ 时测量不同膜厚样品的 ϕ 和 Δ , 然后利用 (1) 式计算出每一样品的 $N \sim \phi$ 曲线, 找出这一簇曲线的交点坐标。与理论曲线不同的是, 这时交点所对应的 ϕ 值并不是仪器所指示的入射角的数值, 而是一个等效的入射角。这样, 求出 N 和 ϕ 后代入 (2) 式就可以计算出厚度 T 。

Si 和 SiO_2 界面所存在的过渡层也对结果有影响。本文在处理数据时, 采用空气- SiO_2 -过渡层- Si 衬底四相模型。为了使计算简单, 假设过渡层折射率为 2.8、厚度 10 \AA [3]。

二、实验及结果

用干氧化法生长 SiO_2 膜, 衬底为 P 型, 电阻率 $10 \sim 20 \Omega \cdot \text{cm}$, 晶面 (111) 面。所用测量仪器为自己制造的一台激光自动偏振仪。图 4 是用本文方法得到的不同膜厚度的样品的 $N \sim \phi$ 曲线。

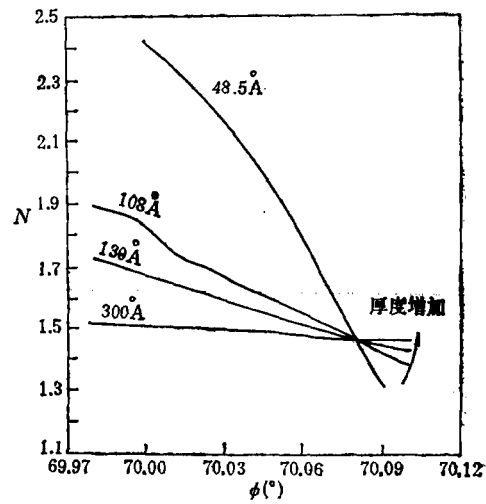


图 4

从图 4 中可以得到 $N = 1.467$, $\phi = 70.08^\circ$ 。把 N 和 ϕ 代入 (2) 式, 得到各个样品的厚度如表 1 所示。表 1 也给出了常规偏振方法的测量结果。用常规方法对同一生长条件的薄膜, N 的分散性较大, 且与膜厚有关, 这与已发表的结果不符 [3, 4]。

表 1 实验结果

样品	本文方法	常规方法
1*	$T = 48.5 \text{ \AA}$	$N = 2.42$ $T = 44.0 \text{ \AA}$
2*	$T = 108.0 \text{ \AA}$	$N = 1.73$ $T = 92.0 \text{ \AA}$
3*	$T = 130.0 \text{ \AA}$	$N = 1.67$ $T = 113.0 \text{ \AA}$
4*	$T = 300.0 \text{ \AA}$	$N = 1.50$ $T = 289.0 \text{ \AA}$

(下转第 273 页)