

利用振动电容法测量SiO₂薄膜的电荷分布

吴振辉 梁本镜 余秉才 黄炳忠

(物理学系)

由于开尔文探针对表面性质响应十分灵敏, 因此在表面性质的研究中, 如测量半导体材料表面的结构变化^[1]、测量光压响应及测量如非晶态a-Si的扩散长度、监视表面化学吸附变化等方面, 都采用了开尔文振动电容法。

最近几年来, 由于采用了压电陶瓷作探针的振动元件^[2], 使整个探针装置大为简化、体积小、操作方便, 电磁辐射干扰小, 减少了杂散电的影响, 因此使整个测量精度大为提高, 是目前表面研究中一个有力的检测手段。

本文采用的开尔文探针, 是参照文献[2]的结构, 经二年多的试验, 找到了一种比文献[2]更为优越的探针。并利用它对SiO₂层进行测量, 获得了SiO₂层电荷的整个分布。

一、测量原理与装置

我们采用如图1所示的模型^[3,4], 从Si到参考电极的总距离为 l , 真空部分为 $l-a$ 。

如果我们的测量满足如下三个条件:

(1) 假定Si表面态密度很高, 则整个测量过程中, 表面势不受氧化层电荷变化的影响。

(2) 假定SiO₂中的电荷由三部分组成: ①由参考电极带有电荷 σ 而引起SiO₂表面的感应电荷 $\sigma' = \pm\sigma(1-1/\epsilon_0)$; ②位于Si-SiO₂界面附近的可动电荷和固定电荷所组成的绝缘层空间电荷 Q_{ss} ; ③由加工玷污在SiO₂表面上($x=a$)残留未被补偿的电荷 Q_c 。

(3) 假定SiO₂层的电荷分布 $\rho(x)$ 可看成由各个薄层的线性迭加,

则有

$$-V_B + \phi_M - \phi_{Si} + \phi_{Si} + \int_0^a E_0 dx + \int_0^l E_1 dx = 0. \tag{1}$$

根据边界条件进行一些数学运算可以得到

$$\frac{dV_B}{da} = -\frac{a\rho(a)}{\epsilon_0\epsilon} - \frac{Q_c}{\epsilon_0\epsilon}. \tag{2}$$

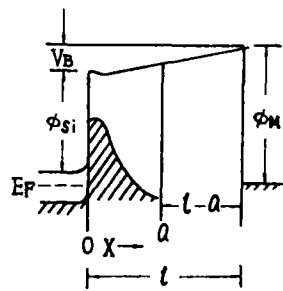


图1 能带模型

本文1982年10月收到

其中 V_B 为补偿电压, a 为氧化层厚度(\AA), ϵ_0 为真空介电常数, ϵ 为SiO₂介电常数.

当 $Q_c = 0$ 时, 则有

$$\frac{dV_B}{da} = - \frac{a\rho(a)}{\epsilon_0\epsilon}, \quad (3)$$

$$\therefore \rho(a) = - \frac{\epsilon_0\epsilon}{a} \cdot \frac{dV_B}{da}. \quad (4)$$

由(4)式可见, 只要测出 $V_B \sim a$ 的关系曲线, 就可以由(4)式得出SiO₂层的电荷分布. 这就是本文的测量依据.

V_B 的测量采用图2所示的自动反馈补偿线路. 接触电势差在100%负反馈回路中自动调零.

因为样品和参考电极之间的电容十分小($\sim 1\text{pF}$), 故需采用高阻抗输入的锁定放大器, 将振动电容系统的交流信号 V 放大, 经锁定放大器检波整流后, 反馈到振动电容, 这样就能达到自动平衡输出接触电势差. 但锁定放大器的输出必须满足:

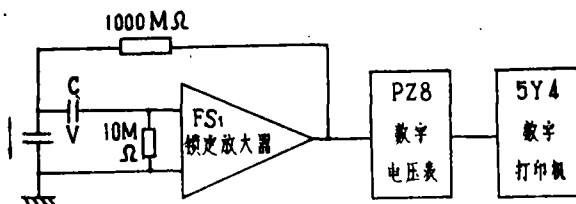


图2 测量装置示意图

$$V_B = V(1 + \frac{1}{G}), \quad (5)$$

当 $G \gg 1$ 时(例如 $G = 1000$), 则有

$$V_B = V. \quad (6)$$

因此锁定放大器的输出就真实地表示了接触电势差 V_B .

为了保证在振动期间没有电荷漏出电容板, 以便得到最大的交流电压, 必须保证 $RC > \tau$ (其中 R 为采样电阻, C 为振动电容), 因此我们采用了频率为480Hz的驱动源, 满足了这个要求.

本文采用如图1所示的结构, 压电陶瓷为钡酸铅(PZT)薄片(厚度为0.12mm, 长为1.8cm, 宽为2.5mm)与黄铜片(厚度为0.12mm)粘在一起作探针振动元件, 这样做成的振动头比文献[2]更为稳定可靠, 且不易损坏. 驱动信频率为480Hz, 峰-峰值为

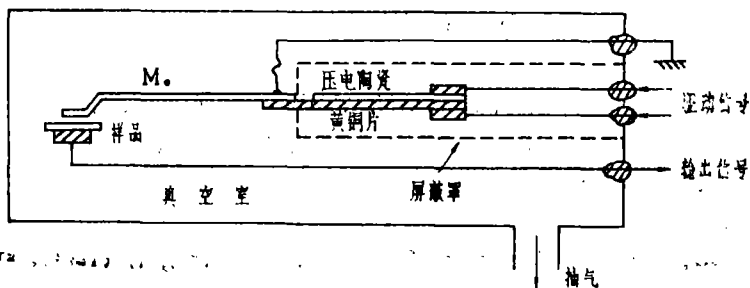


图3 振动头结构

3—8V的正弦电压。参考电极与样品表面的距离为1mm，振幅为0.1~0.2mm，参考电极为多晶钼(Mo)，厚度为0.1mm，其功函数为4.6eV^[5]。

二、测量结果

本文所使用的样品电阻率为 $1.6\Omega\text{-cm}$ 的P⁺/p Si单晶外延片，在 $T = 1180^\circ\text{C}$ 作45分的湿氧化，流量为50ml/分，生成6500Å厚的SiO₂层。

测量是在真空中进行， V_B 用图2的装置测，相应的厚度是采用TPI—型椭圆偏振光测厚仪得到，测量结果如图4所示。若假定 $Q_c = 0$ ，那么由图4的结果并利用公式(4)进行计算得出如图5所示的SiO₂层整个电荷分布曲线，即 $\rho(a) \sim a$ 的关系曲线。这个 $\rho(a)$ 为可动电荷和固定电荷的总和。

从图5中，我们看到了SiO₂电荷分布大部分集中于Si—SiO₂界面几百埃处，在 $x = 300\text{Å}$ 处得到 $Q = 3 \times 10^{12}$ 电荷/厘米²，比典型值 2×10^{11} 电荷/厘米²大一个数量级^[3]，这是由于我们故意采用了极端工艺条件引入的正电荷特别多所致。在该处由于存在的正电荷特别多，引起Si的有效功函升高特别显著(约升高0.54eV)。因此，在表面处感应出相反的负电荷使Si耗尽或反型。

从所得结果表明，利用本法所得的结果与文献[4]完全一致。说明我们的探针和测量方法是可靠的。

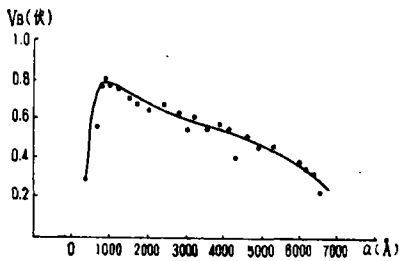


图4 $V_B \sim a$ 的关系

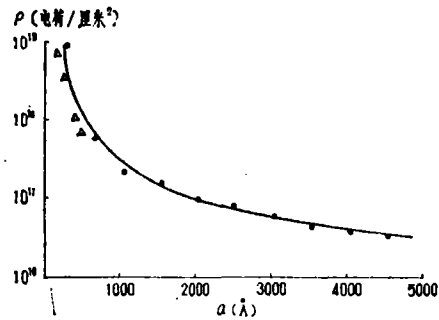


图5 $\rho(a) \sim a$ 的关系

参 考 文 献

- [1] W. Monch, H.J. Clemens, *J. Vac. Sci. Technol.*, 16 (1979), 5, 1238.
- [2] K. Besocke and S. Berger, *Rev. Sci. Instrum.*, 47 (1976), 840.
- [3] 吴振辉, 余秉才, 黄炳忠, 在1981年全国第三届半导体年会上所作的报告, 《利用功函数研究硅的界面态》。
- [4] M. Bess, R. Oswald and M. Ohring, *Solid-State. Electro.*, 17 (1974), 813.