

# 用电导法测定 Si-SiO<sub>2</sub> 低界面态密度和俘获截面\*

史常忻 陆德仁 顾为芳  
(中国科学院上海冶金研究所)

本文用国产仪器完成了电导法的测量装置,对氯化氢氧化的硅样品测量结果表明,能够可靠地获得界面态密度几乘 10<sup>9</sup> cm<sup>-2</sup>·eV<sup>-1</sup> 的测量数据和相应的俘获截面。

已知,N型衬底 MOS 电容中界面态的等效并联电导 G<sub>p</sub> 为:

$$G_p/\omega = \frac{1}{2} \cdot q \cdot N_{ss} \cdot I(\sigma) \tag{1}$$

$$I(\sigma) = (2\pi\sigma^2)^{-1/2}(\omega\tau_n)^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{\Delta u_s^2}{2\sigma^2} + \Delta u_s\right) \cdot \ln[1 + \omega^2\tau_n^2 \exp(-2\Delta u_s)] \cdot d\Delta u_s \tag{2}$$

其中,时间常数  $\tau_n = (c_n \cdot n_i)^{-1} \exp[-(\bar{u}_s - u_B)]$ , 相对于平均表面势之偏差  $\Delta u_s = u_s - \bar{u}_s$ ,  $N_{ss}$  为界面态密度,  $\omega$  为测试圆频率,  $\sigma$  为表征表面势起伏的方差,  $u_B$  为体费米势,  $q$  为电子电荷,  $n_i$  为本征载流子浓度,  $c_n$  为电子的俘获几率, 式(2)积分给出: (1) 以  $\sigma$  为参量的一族等效并联电导对频率的归一化曲线,  $(G_p/\omega) / \left(\frac{G_p}{\omega}\right)_m = \omega/\omega_m$ ; (2) 积分最大值  $I_m(\sigma)$  作为  $\sigma$  的函数曲线和 (3) 对应于最大值的极值点  $(\omega\tau_n)_m = f_r(\sigma)$  作为  $\sigma$  函数的曲线。所以,只要测得  $(G_p/\omega)_m$  和  $(\omega\tau_n)_m$  就可以由下式计算  $N_{ss}$  和  $\tau_n$  (其中  $\Delta_s$  为电容面积):

$$N_{ss} = \frac{1}{\Delta_s} \frac{2}{q} \left(\frac{G_p}{\omega}\right)_m \frac{1}{I_m(\sigma)} \tag{3}$$

$$\tau_n = \frac{f_r(\sigma)}{\omega_m} \tag{4}$$

而直接用电桥测得的电导 G<sub>m</sub> 和电容 C<sub>m</sub> 与 G<sub>p</sub> 的关系为:

$$\frac{G_p}{\omega} = \frac{\omega c_{0x}^2 G_m (G_m^2 + \omega^2 c_m^2)}{\omega^2 c_{0x}^2 G_m^2 + [\omega^2 c_m (c_{0x} - c_m) - G_m^2]^2} \tag{5}$$

装置和方法. 以 QS-16 型电容电桥测得 G<sub>m</sub> 和 c<sub>m</sub>, 精度分别可达 0.00001 微姆欧和 0.01 微微法. YY-7 型多频电桥振荡器给出不同频率测试讯号,经衰减后为 20—50 毫伏峰——峰值电压接至电桥. 频率经数字频率计校准,误差在 ±1% 以内. 电桥检零讯号在 AZ4 型射线平衡指示器上显示并再接入 FD-1 型测量放大器上进一步放大,同时观测电桥平衡以获得精确读数. 直流偏压用数字电压表读至 0.0001 伏.

\* 1980年10月27日收到.

测量时, (1) 测量 1 千赫和 10 千赫时的  $C_m-V_G$  和  $G_m-V_G$  曲线 (图 1). 由前者计算出氧化物电容 ( $C_{ox} = 2.24 \times 10^{-8}$  法·厘米<sup>-2</sup>) 和杂质浓度 ( $N_D = 1.0 \times 10^{15}$  厘米<sup>-3</sup>). 由后者  $G_m$  峰值大致决定测量电导-频率关系时选用的直流偏压范围. (2) 在不同直流偏压下测量  $G_m$  和  $C_m$  的频率特性, 然后由式 (5) 计算得到对应的  $G_p/\omega-\omega$  关系. (3) 将各条  $G_p/\omega-\omega$  实验曲线归一化后与理论曲线比较得到方差  $\sigma$  值. (4) 由  $\sigma$  求出  $I_m$  和  $f_r$ . (5) 由式 (3) 和 (4) 可以得到  $N_{ss}$  和  $\tau_n$  与  $V_G$  的关系. (6) 由准静态 C-V 曲线的伯格兰德积分并与理论曲线比较, 得到直流偏压与表面势的关系. (6) 最后把  $V_G$  转换为表面

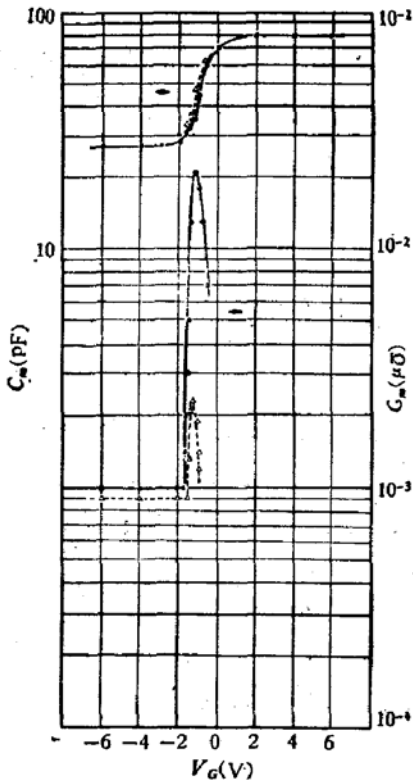


图 1 1<sup>k</sup>c (虚线) 和 10<sup>k</sup>c (实线) 下的  $C_m-V_G, G_m-V_G$  测量结果

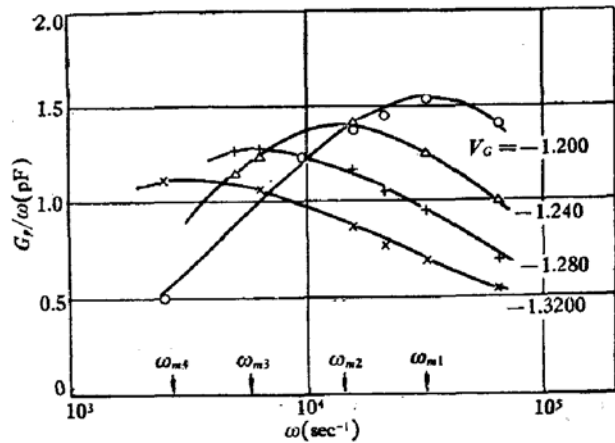


图 2 不同直流偏压下的  $\frac{G_p}{\omega}-\omega$  测量结果

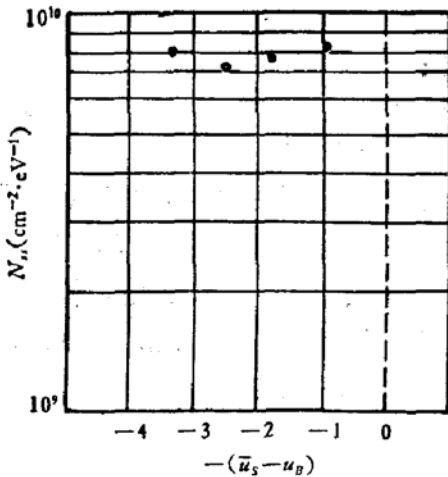


图 3  $N_{ss}$  在禁带中的分布

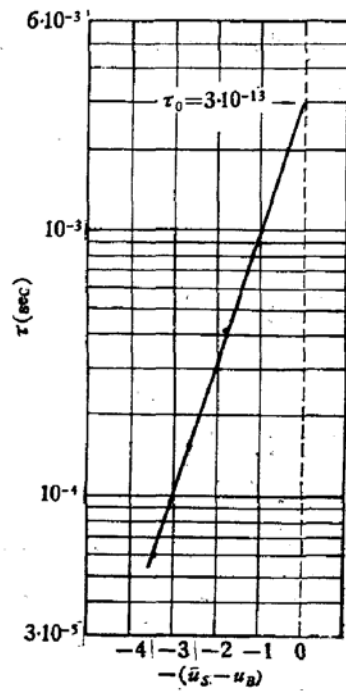


图 4  $\tau_n$  与表面势的关系

势就得到  $N_{ss}$ ,  $\tau_n$  和表面势的关系 (图 3 和 4). 因为禁带中心处的  $\tau_0 = (\sigma_n \cdot \bar{v} \cdot n_i)^{-1}$ , 故可以得到俘获截面  $\sigma_n$ . (取  $\bar{v} = 10^7 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ )

结果. 对严格清洁氧化的 N 型 (100) 晶面硅 MOS 电容进行了测量. 图 1 中  $G_m$  在 -1.1 伏和 -1.3 伏附近出现尖锐峰值, 平坦部分表示反型区. 表 1 给出测量数据. 图 2 中各条曲线是用表 1 中数据由式 (1) 计算而得, 可见与实验符合较好. 由  $\tau_0 = 3 \times 10^{-13}$  秒计算而得的俘获截面为  $\sigma_n = 2.4 \times 10^{-15} \text{ 厘米}^2$ .

表 1

$V_G$ (V)	-1.200	-1.240	-1.280	-1.320
$(G_p/\omega)_m$ (pF)	1.53	1.40	1.28	1.13
$\omega_m$ (sec <sup>-1</sup> )	$3.14 \times 10^4$	$1.40 \times 10^4$	$5.70 \times 10^3$	$2.70 \times 10^3$
$\sigma$ ( $\frac{kT}{q}$ )	0.5	1.0	1.0	1.5
$N_{ss}$ (cm <sup>-2</sup> ·eV <sup>-1</sup> )	$8.05 \times 10^9$	$9.37 \times 10^9$	$7.85 \times 10^9$	$8.22 \times 10^9$
$\tau_n$ (sec)	$7.02 \times 10^{-3}$	$1.58 \times 10^{-4}$	$4.12 \times 10^{-4}$	$9.04 \times 10^{-4}$

## 参 考 文 献

- [ 1 ] E. H. Nicollian, and A. Goetzberger, *B. S. T. J.*, **46**, 1055 (1967).  
 [ 2 ] A. Goetzberger, E. Klausmann and M. J. Schulz, *CRC Critical Reviews in Solid State Sciences*, January, (1976).

### Measurements of Low Densities and Capture Cross Section of the Surface States at the Si-SiO<sub>2</sub> Interface by the Conductance Technique

Shi Changxin, Lu Deren and Gu Weifang

(Shanghai Institute of Metallurgy, Chinese Academy of Sciences)