

长产生寿命的快速测量方法¹

丁扣宝 张秀森

(杭州大学电子工程系 杭州 310028)

摘 要 本文提出了线性电压扫描下长产生寿命的快速测量方法。该法具有不需使 $C-t$ 瞬态曲线达到饱和、数据处理简单、且不需知道样品的掺杂浓度等优点。

关键词 半导体, 产生寿命

中图分类号 TN307

1 引言

MOS 结构电容-时间 ($C-t$) 瞬态技术可用于确定半导体材料中的产生寿命, 是评价半导体材料质量和器件工艺监控的重要手段之一。作为测试产生寿命的重要方法之一, 线性电压扫描法已由许多作者进行过研究^[1-4]。这些方法一般都需要得到饱和的 $C-t$ 曲线, 对于寿命较长的样品, 测量很费时间。

本文探讨利用没有达到饱和的 $C-t$ 曲线确定产生寿命的方法。

2 理论

考虑一个 N 型衬底的 MOS 结构, 设加于其栅上的电压 $|V_g|$ 随时间线性变化, 变化率为 α ,

$$|V_g| = |V_{g0}| + |\alpha|t, \quad (1)$$

式中 V_{g0} 为扫描起始电压, 它使 MOS 结构在起始时间处于平衡反型状态。

如果把金属和半导体间的功函数差、二氧化硅中的各种电荷和界面态电荷等造成的电势差在界面态不变的情况下均归于平带电压 V_{FB} , 则有

$$|V_g| = \frac{1}{C_{ox}}(Q_i + Q_d) + \Psi_s + |V_{FB}|, \quad (2)$$

式中 Q_i 和 Q_d 分别为半导体表面单位面积反型电荷和空间电荷, C_{ox} 为氧化层单位面积电容, Ψ_s 为表面势。设 V_{FB} 在电压扫描过程中不变。

根据耗尽近似,

$$Q_d = qN_dW, \quad \Psi_s = (qN_d/2\epsilon_s)W^2, \quad (3)$$

式中 q 为电子电荷, N_d 为半导体掺杂浓度, W 为空间电荷区宽度, ϵ_s 为介电常数。

将 (2) 式代入 (1) 式, 结合 (3) 式, 得

$$(1/C_{ox})(Q_i + qN_dW) + qN_dW^2/(2\epsilon_s) + |V_{FB}| = |V_{g0}| + |\alpha|t. \quad (4)$$

¹ 1997-07-03 收到, 1997-12-29 定稿
硅材料国家重点实验室资助课题

上式对时间 t 微分, 得

$$|\alpha| = \frac{1}{C_{ox}} \frac{dQ_i}{dt} + qN_d \left(\frac{1}{C_{ox}} + \frac{W}{\epsilon_s} \right) \frac{dW}{dt}. \quad (5)$$

利用 MOS 电容器中熟知的关系:

$$1/C = 1/C_{ox} + W/\epsilon_s, \quad (6)$$

式中 C 为高频 MOS 电容, (5) 式可变换为

$$\frac{dQ_i}{dt} = C_{ox} \left[|\alpha| + (qN_d\epsilon_s/C^3) \frac{dC}{dt} \right]. \quad (7)$$

另一方面, 由于扫描从强反型开始, 反型少子的屏蔽作用使得表面产生可以忽略, 则 Q_i 的变化来源于体产生:

$$\frac{dQ_i}{dt} = qn_i(W - W_F)/(2\tau_g), \quad (8)$$

式中 τ_g 即为产生寿命, n_i 为本征载流子浓度, W_F 为 W 的平衡反型值, 它与 C 的平衡反型值 C_F 之间存在如下关系:

$$1/C_F = 1/C_{ox} + W_F/\epsilon_s. \quad (9)$$

(8) 式变为

$$\frac{dQ_i}{dt} = [(qn_i\epsilon_s)/(2\tau_g C_F)](C_F/C - 1). \quad (10)$$

联系 (7) 式和 (10) 式, 得

$$d(C/C_F)/d(t/T) = [1 - (1 + K)(C/C_F)](C/C_F)^2, \quad (11)$$

其中

$$T = 2\tau_g N_d C_{ox} / (n_i C_F), \quad (12)$$

$$K = 2\tau_g |\alpha| C_{ox} C_F / (qn_i \epsilon_s). \quad (13)$$

上述方程在初始条件 $t = 0, C(0) = C_F$ 的解为

$$1 - C_F/C(t) + (1 + K) \ln[K/(1 + K - C_F/C(t))] = t/T. \quad (14)$$

这是描写瞬态电容 $C(t)$ 随时间变化的方程式, 产生寿命 τ_g 隐藏在其中.

只要扫描速度足够快, 可使器件进入足够深的深耗尽态, 使 $C(t) < C_F/3$. 图 1 为一个 MOS 电容器在此情况下的 $C - t$ 曲线示意图.

在图上读取 $C = 2C_F/3$ 和 $C = C_F/3$ 的时间, 分别记作 $t_{2/3}$ 和 $t_{1/3}$ ($t_{2/3} < t_{1/3}$), 根据 (14) 式, 有

$$(1+K)\ln[K/(K-1/2)] - 1/2 = t_{2/3}/T, \quad (15a)$$

$$(1+K)\ln[K/(K-2)] - 2 = t_{1/3}/T, \quad (15b)$$

两式相比, 得

$$\frac{(1+K)\ln[K/(K-1/2)] - 1/2}{(1+K)\ln[K/(K-2)] - 2} = \frac{t_{2/3}/T}{t_{1/3}/T} = \delta. \quad (16)$$

显然此式的 K 与 δ 的关系是普适的, 与具体的 MOS 电容参数无关, 并且 $\delta < 1$. 图 2 给出了 $K-\delta$ 的函数关系图.

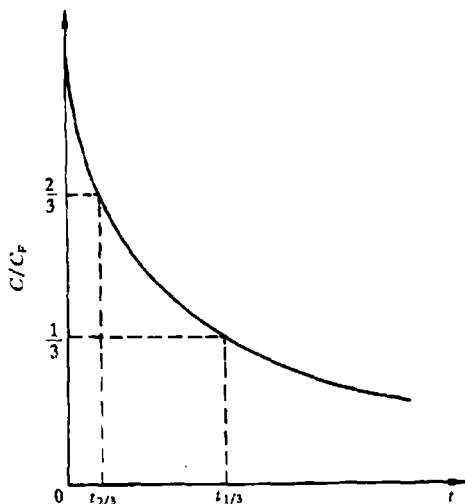


图 1 线性电压扫描下 $C-t$ 曲线示意图

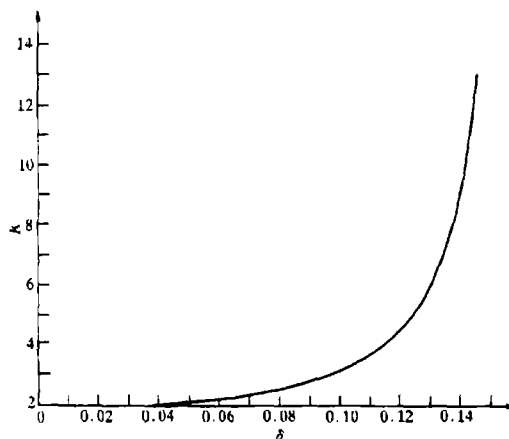


图 2 $K-\delta$ 关系图

在实验所得 $C-t$ 曲线上读出 $t_{2/3}$ 和 $t_{1/3}$, 算出 $\delta = t_{2/3}/t_{1/3}$, 在 $K-\delta$ 图上找出对应的 K 值. 又根据 (13) 式, 有

$$\tau_g = K \cdot qn_i\epsilon_s / (2|\alpha|C_{ox}C_F). \quad (17)$$

3 实验结果

实验中所用的铝栅 MOS 电容是在 $\langle 100 \rangle$ 晶向的 N 型硅片上制作的, 材料的电阻率约为 $10\Omega\cdot\text{cm}$, 线性扫描电压由 XFD-8 型低频信号发生器产生, 高频 MOS 电容由 CTG-1 电容测试仪测量, 并由 X-Y 记录仪记录 $C-t$ 曲线.

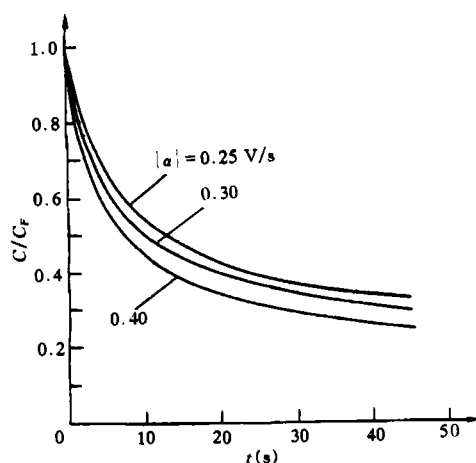
图 3 为线性电压扫描下一个典型样品的 $C-t$ 曲线.

按照前面所述的方法, 我们得到了该样品的产生寿命 (见表 1).

表 1

$ \alpha (\text{V/s})$	0.25	0.30	0.40
δ	0.117	0.127	0.133
K	4.16	4.85	6.60
$\tau_g(\mu\text{s})$	107.9	104.8	106.8
$C_{ox} = 2.9 \times 10^{-8} \text{F/cm}^2, C_F = 6.5 \times 10^{-9} \text{F/cm}^2$			

可以看到, 不同电压扫描率下测得的产生寿命值基本一致.

图 3 一个典型样品实验 $C-t$ 曲线

4 讨论和结论

(1) 注意到 (17) 式中并不含有施主浓度 N_D , 因此, 本文的方法可用于确定未知掺杂浓度的样品的产生寿命。

(2) 本文方法属图解法, 可避免复杂的计算。

(3) 本方法不要求 $C-t$ 瞬态达到饱和, 因而与一般的饱和电容法相比, 更适合于测定长寿命样品。

参 考 文 献

- [1] Pierret R F. A linear-sweep MOS-C technique for determining minority carrier lifetimes. IEEE Trans. on Electron Devices, 1972, ED-19(7): 869-873.
- [2] 包宗明, 苏九令. MOS 电容法测硅的产生寿命和表面产生速度. 物理学报, 1980, 29(6): 693-697.
- [3] 张秀森. 饱和电容法快速确定体产生寿命和表面产生速度. 半导体学报, 1982, 3(2): 102-106.
- [4] 张秀森, 丁扣宝. 一种可用于直接计算产生寿命的产生区宽度模型. 电子学报, 1993, 21(5): 43-46.

RAPID DETERMINATION OF LONG GENERATION LIFETIME

Ding Koubao Zhang Xiumiao

(Department of Electronic Engineering, Hangzhou University, Hangzhou 310028)

Abstract A method for rapidly determining long generation lifetime under linear voltage sweep was presented. The $C-t$ transient curve needs not to reach saturation. The data processing is simple. Furthermore, it needs not to know the sample's impurity density.

Key words Semiconductor, Generation lifetime

丁扣宝: 男, 1965 年生, 讲师, 现从事半导体物理、半导体器件 CAD 和半导体材料生长及测试工作。
张秀森: 男, 1938 年生, 教授, 现从事半导体科学的研究。