

非饱和 $C-t$ 法确定体产生寿命和表面产生速度

张秀森 贺国根

(杭州大学物理系)

1982年9月11日收到

提 要

本文在分析线性扫描电压下 MOS 电容的 $C-t$ 瞬态响应基础上, 提出了一种直接由测量得到的非饱和 $C-t$ 曲线确定体产生寿命和表面产生速度的新方法。该方法尤其适用于长寿命测量。所测结果与阶跃电压法和饱和电容法相符。

一、引言

$C-t$ 瞬态技术已广泛用来确定少子体产生寿命和表面产生速度。但是对于长寿命样品, 由于少子的产生率非常低, Zerbst^[1] 建议的阶跃电压法的 $C-t$ 瞬态会持续很长时间, Pierret 等^[2,3] 的饱和电容法由于只有在非常低的电压扫描率下瞬态电容才会在较小的栅压下趋于饱和, 使测量直到饱和的 $C-t$ 瞬态也变得很费时间。 dC/dV 法^[3] 需要在 $C-t$ 曲线上逐点作图求微商, 确定体产生寿命和表面产生速度的手续十分繁复。用同时测量 $C-t$ 和 $I-t$ 瞬态的方法^[4] 测定长寿命样品的体产生寿命和表面产生速度, 在一定程度上使装置和测量手续复杂化。

本文在分析线性电压扫描下 MOS 结构的非饱和 $C-t$ 响应基础上, 提出了一种快速测定体产生寿命和表面产生速度的新方法。

二、原理分析

处在强反型的 P 型衬底 MOS 结构, 若在其上施加一耗尽的线性扫描电压, 当半导体表面反型层中的反型电荷变化率跟不上由电压扫描引起的金属栅上的电荷积累率时, 半导体表面势垒区宽度将随时间不断扩展, MOS 结构的瞬态电容将逐渐减小而进入深耗尽态。

若在整个电压扫描过程中, 反型电荷只来源于势垒区和表面的产生——复合中心的产生, 则 MOS 结构的瞬态电容 C 随时间 t 变化的微分方程可表为^[3]

$$\alpha + \frac{qN_A\epsilon_0\epsilon_{si}}{C^3} \frac{dC}{dt} = \frac{qn_i\epsilon_0\epsilon_{si}}{2\tau_g C_f C_{ox}} \left(\frac{C_f}{C} - 1 \right) + \frac{qn_i S_k}{C_{ox}}, \quad (1)$$

其中 α 为电压扫描率, q 为电子电荷, ϵ_0 为真空电容率, ϵ_{si} 为硅相对介电常数, N_A 为受主浓度, n_i 为本征载流子浓度, C 、 C_f 和 C_{0x} 分别为单位面积的瞬态电容、稳态电容和氧化层电容, τ_g 和 S_g 分别为体产生寿命和表面产生速度。

若令

$$A = \frac{n_i}{2N_A C_{0x} \tau_g}, \quad (2)$$

$$E = \frac{C_f}{N_A \epsilon_0 \epsilon_{si}} \left(\frac{\alpha}{q} + \frac{n_i \epsilon_0 \epsilon_{si}}{2 \tau_g C_f C_{0x}} - \frac{n_i S_g}{C_{0x}} \right), \quad (3)$$

则(1)式可写为

$$\frac{dC}{dt} = \left(A - E \frac{C}{C_f} \right) C^2. \quad (4)$$

对上式积分, 并利用初始条件 $t = t_0$ 时 $C = C_0$, 得 MOS 结构的 $C-t$ 瞬态方程为

$$AC_f(t - t_0) = \frac{C_f}{C_0} - \frac{C_f}{C} - (E/A) \cdot \ln \left[\frac{(E/A) - (C_f/C)}{(E/A) - (C_f/C_0)} \right]. \quad (5)$$

如图 1 所示, 若在 $C-t$ 瞬态曲线上取 $C_1 = 2C_0 - C_f$, $C_2 = 3C_0 - 2C_f$, 即 C_f, C_0 ,

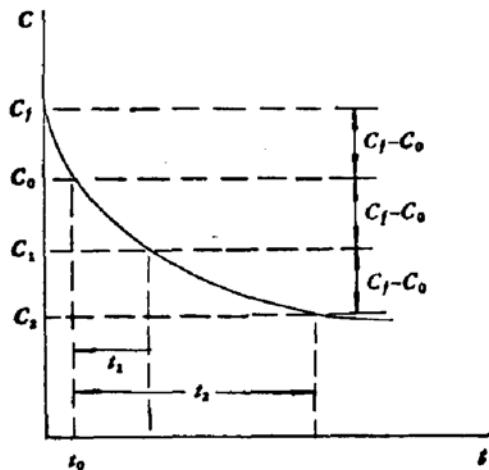


图 1 非饱和 $C-t$ 曲线

C_1, C_2 成一等差数列, 并记瞬态电容由 C_0 变到 C_1 的时间为 t_1 , 由 C_0 变到 C_2 的时间为 t_2 , 则由(5)式可得

$$AC_f t_1 = \frac{1}{(C_0/C_f)} - \frac{1}{2(C_0/C_f) - 1} - (E/A) \cdot \ln \left[\frac{(E/A) - \frac{1}{2(C_0/C_f) - 1}}{(E/A) - \frac{1}{(C_0/C_f)}} \right] \quad (6)$$

和

$$AC_f t_2 = \frac{1}{(C_0/C_f)} - \frac{1}{3(C_0/C_f) - 2} - (E/A) \cdot \ln \left[\frac{(E/A) - \frac{1}{3(C_0/C_f) - 2}}{(E/A) - \frac{1}{(C_0/C_f)}} \right]. \quad (7)$$

(6)、(7)两式相除得

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{\frac{1}{(C_0/C_f)} - \frac{1}{2(C_0/C_f) - 1} - (E/A) \cdot \ln \left[\frac{(E/A) - \frac{1}{2(C_0/C_f) - 1}}{(E/A) - \frac{1}{(C_0/C_f)}} \right]}{\frac{1}{(C_0/C_f)} - \frac{1}{3(C_0/C_f) - 2} - (E/A) \cdot \ln \left[\frac{(E/A) - \frac{1}{3(C_0/C_f) - 2}}{(E/A) - \frac{1}{(C_0/C_f)}} \right]}. \quad (8)$$

此外,若令

$$P = \frac{1}{2AC_f t_1}, \quad (9)$$

则有

$$P = \frac{1}{2 \left[\frac{1}{(C_0/C_f)} - \frac{1}{2(C_0/C_f) - 1} - (E/A) \cdot \ln \left(\frac{(E/A) - \frac{1}{2(C_0/C_f) - 1}}{(E/A) - \frac{1}{(C_0/C_f)}} \right) \right]} \quad (10)$$

从(8)和(10)两式可见,若把 (C_0/C_f) 作为参变量,则 P 与 (t_1/t_2) 及 (E/A) 与 (t_1/t_2) 的函数关系就可确定。

图 2 和图 3 分别为电子计算机算得的 P 与 (t_1/t_2) 和 (E/A) 与 (t_1/t_2) 的函数关系图,图中以 (C_0/C_f) 为参变量,三条曲线分别对应于 C_0 等于 $0.95C_f$, $0.90C_f$ 和 $0.85C_f$ 。

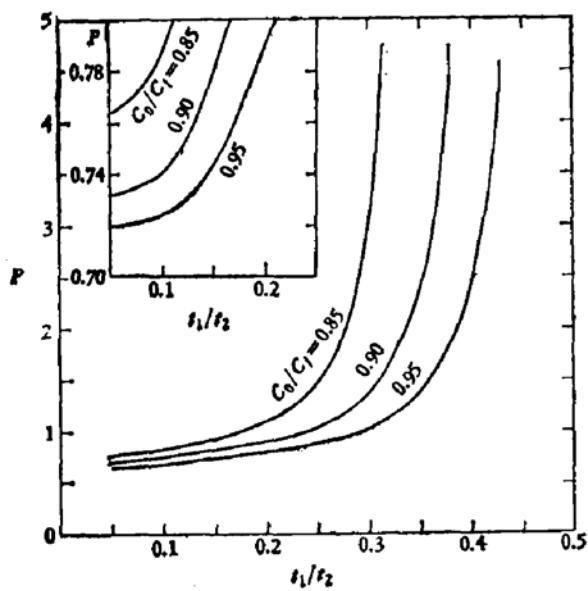


图 2 $P-t_1/t_2$ 函数关系图

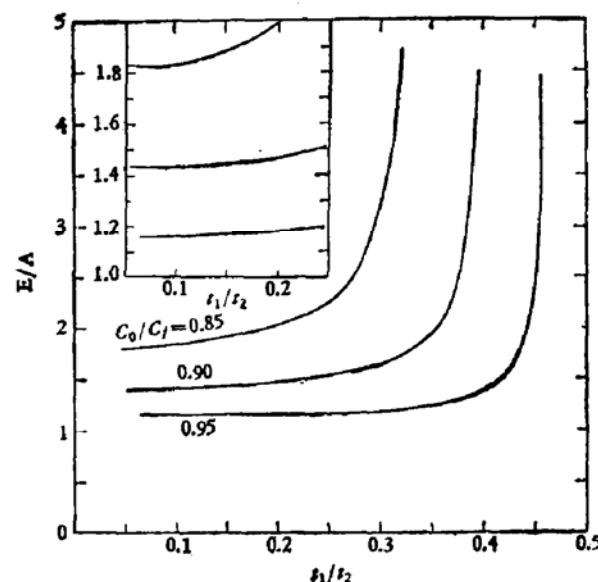


图 3 $E/A-t_1/t_2$ 函数关系图

由(2)、(3)和(9)式,体产生寿命 τ_s 及表面产生速度 S_s 分别为

$$\tau_s = P \frac{n_i C_f}{N_A C_{0x}} t_1, \quad (11)$$

$$S_s = \frac{\alpha C_{0x}}{q n_i} + \frac{\epsilon_0 \epsilon_{si}}{2 \tau_s C_f} [1 - (E/A)]. \quad (12)$$

这样，只要选定了 C_0 (C_1 和 C_2 也随之确定)，就可由实验 $C-t$ 曲线上求出 t_1 和 t_2 ，而从图 2 和图 3 可分别求出相应的 P 和 (E/A) 值。由(11)和(12)式体产生寿命和表面产生速度即可确定。

三、实验和结果

实验中线性扫描电压由 XFD-8A 超低频讯号发生器提供，MOS 电容由 CTG-1 高频 MOS 电容测试仪测量， $C-t$ 瞬态曲线由 X-Y 记录仪绘出。

MOS 样品是在 $\langle 100 \rangle$ 晶向的 n 型硅材料上制作，材料电阻率为 $8-12 \Omega \cdot \text{cm}$ ，二氧化硅厚度为 1200 \AA 左右，铝栅面积为 $2.0 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$ ，带有保护环。

用本文方法对一些样品进行了测量，并与阶跃电压法^[1]和饱和电容法^[3]的测量结果作了比较，典型结果列于表 1。由表可见，三种方法所得的结果基本一致。

表 1 三种不同方法比较

方法	样品 1		样品 2		样品 3	
	τ_s (μs)	S_s (cm/sec)	τ_s (μs)	S_s (cm/sec)	τ_s (μs)	S_s (cm/sec)
本文方法	22	0.63	2.3×10^2	5.0×10^{-2}	3.6×10^2	8.4×10^{-2}
阶跃电压法	23	0.60	2.6×10^2	5.5×10^{-2}	3.7×10^2	6.4×10^{-2}
饱和电容法	25	0.62	2.4×10^2	4.0×10^{-2}	3.6×10^2	9.0×10^{-2}

四、结论和讨论

本文方法在装置上虽比阶跃电压法略显复杂（需要提供线性扫描电压），但在测量长寿命样品时却有很大的优点。对于长寿命样品饱和电容法由于需要测量直到饱和为止的 $C-t$ 瞬态曲线^[3]，因而是不合适的，而阶跃电压法的 $C-t$ 瞬态也会持续很长时间。本文方法则可以通过适当加大电压扫描率使样品在较短时间内进入一定深度的深耗尽态，从而缩短了测量时间。例如对于样品 3，阶跃电压法的 $C-t$ 瞬态持续时间长达 500 秒以上，而用本文方法当电压扫描率 $\alpha=0.02 \text{ V/s}$ 时，可使 MOS 电容在 100 秒内即进入瞬态值/稳态值等于 0.7 的深耗尽态。

应该指出，本文方法与饱和电容法^[4,6]在测量装置和测量技术上是相同的，所不同的是本文方法不需要瞬态电容饱和，因而对长寿命样品也可选用较大的电压扫描率，缩短了测量时间。在实际应用中，两种方法可互相补充，这样，对各种不同样品都可很快确定其产生寿命和表面产生速度。

当然电压扫描率也不宜过大，否则由于界面附近强场区的带间碰撞产生等^[4]可使测量的寿命值偏小。

本文方法不需要作“Zerbst 图”，数据处理也较简单，可望在工艺监控和检测中应用。

复旦大学包宗明副教授审阅了本文并提出宝贵意见，上海元件五厂黄惠玲、许寿祥等

同志为本工作提供样品, 谨此致谢。

参 考 文 献

- [1] M. Zerbst, *Z. Agnew. Phys.*, **22**, 30(1966).
- [2] R. F. Pierret, *IEEE Trans. Electron Dev.*, ED-19, 869(1972).
- [3] 包宗明、苏九令, *物理学报*, **29**, 693(1980).
- [4] 张秀森、包宗明、苏九令, *半导体学报*, **3**, 192(1982).
- [5] C. T. Sah and H. S. Fu, *Phys. Stat. Sol. (a)* **11**, 297 (1972).
- [6] 张秀森, *半导体学报*, **3**, 102(1982).

Determination of the Bulk Generation Lifetime and Surface Generation Velocity by Non-Saturation C-t Method

Zhang Xiumiao and He Guogen

(Department of Physics, Hangzhou University)

Abstract

A new method for determining the bulk generation lifetime and surface generation velocity is presented on the basis of the analysis of a MOS capacitance $C-t$ transient response to a linear voltage sweep. The time required for measuring non-saturation $C-t$ curves can be relatively shortened through increasing the voltage sweep rate, therefore this method is more suitable to measure samples in which the lifetime of the minority carriers is long. The measurements have been made by applying this method on several samples, and a comparison has been done with those taken by voltage step method and by saturation capacitance method.