

# 用 CCWT 方法确定少子的体产生寿命及表面产生速度

谭长华 · 许铭真

(北京大学计算机科学技术系)

1984年6月12日收到

本文指出：在 MOS 由非平衡深耗尽态恢复到平衡反型态的过程中，如果 MOS 系统的总电荷是恒定的，则空间电荷区宽度的瞬态特性  $W(t)$  将提供少子的体产生寿命  $\tau$  及表面产生速度  $s$  的信息；用指数衰减函数比较法可以直接由  $W-t$  曲线确定  $\tau, s$ ，省去了 Zerbst 方法的繁琐作图程序。

## 一、前 言

自从 Zerbst<sup>[1]</sup> 和 Heiman<sup>[2]</sup> 提出“用 MOS 瞬态电容法测定少子的体产生寿命及表面产生速度”以来，已有大量的工作对此方法进行了广泛深入的研究<sup>[3~11]</sup>。然而，Zerbst 作图法对于批量样品的检验是不方便的。为此，国内外不少作者已进行了有意义的研究工作<sup>[12~16]</sup>。

本文利用 MOS 恒电荷条件下的空间电荷区宽度的瞬态（简称 CCWT）特性及指数衰减函数比较法直接测定少子的体产生寿命及表面产生速度。这是一种直接显示和计数的方法，省去了 Zerbst 作图法的繁琐程序。

## 二、理 论 分 析

### 1. 深耗尽状态下的半导体表面

当 MOS 突然加上阶跃脉冲电流时，由于 MOS 结构是两端元件，同阶跃脉冲电压施加于 MOS 电容器一样，半导体表面处于非平衡深耗尽态。复合中心产生的电子-空穴对，在电场的作用下，少子移动到表面，形成表面少子堆积；多子向体内移动，在空间电荷区边界处与电离杂质电荷中和，引起空间电荷区边界的移动。如果在深耗尽至平衡反型的弛豫过程中，MOS 系统的总电荷保持恒定，则半导体空间电荷区宽度的瞬态特性将提供  $\tau, s$  的信息。

### 2. 空间电荷区宽度的瞬态方程

MOS 电容器的各种电荷之间的关系为：

$$Q_s + Q_i + Q_d + Q_f = 0 \quad (1)$$

其中,  $Q_0$  是栅电荷, 它是恒定的;  $Q_I$  是氧化层中的各种固定电荷;  $Q_d$  是半导体耗尽空间电荷;  $Q_f$  是半导体表面态中及反型区中的电荷。

(1) 式对时间微分, 得到

$$\frac{dQ_d}{dt} + \frac{dQ_I}{dt} = 0, \quad (2)$$

并且有<sup>④</sup>

$$\frac{dQ_d}{dt} = q \cdot A \cdot N \frac{dW_D}{dt}, \quad (3)$$

$$\frac{dQ_I}{dt} = \frac{1}{2} q A n_i \left( S + \frac{W_D - W_f}{\tau} \right). \quad (4)$$

其中,  $A$  是 MOS 栅面积,  $N$  是半导体掺杂浓度,  $W_D$  是半导体空间电荷区宽度,  $W_f$  是平衡反型空间电荷区宽度,  $n_i$  是本征载流子浓度,  $\tau$ 、 $S$  分别为体产生寿命和表面产生速度。

由(2)–(4)式, 得到半导体空间电荷区宽度  $W_D$  的瞬态方程

$$W_D + T \frac{dW_D}{dt} = W_f^*, \quad (5)$$

$$W_f^* = W_f - \tau S, \quad (6)$$

$$T = 2N\tau/n_i, \quad (7)$$

$W_f^*$  为有效平衡反型空间电荷区宽度,  $T$  为热产生弛豫时间。

(5) 式的解为:

其中,

$$W_D(t) = W_f^* + (W_0 - W_f^*) e^{-t/T}, \quad (8)$$

$$W_f^* = W_D(\infty), \quad W_0 = W_D(0).$$

另外, 在高频小信号条件下, MOS 的空间电荷区宽度  $W$  与半导体空间电荷区宽度  $W_D$ , 氧化层厚度  $W_f$  之间的关系为

$$W = W_f + \frac{\epsilon_i}{\epsilon_s} W_D, \quad (9)$$

由(8)、(9)式得到

$$W(t) = \left( W_f + \frac{\epsilon_i}{\epsilon_s} W_f^* \right) + \frac{\epsilon_i}{\epsilon_s} (W_0 - W_f^*) e^{-t/T}. \quad (10)$$

### 3. 用指数衰减函数比较法确定 $\tau$ 、 $S$

若有一个与  $W(t)$  同步的指数衰减信号

$$x = x_0 e^{-t/RC}, \quad (11)$$

其中,  $RC$  是指数衰减信号的时间常数。

若  $RC = T$ , 由(10)、(11)式得到

$$W(t) = \left( W_f + \frac{\epsilon_i}{\epsilon_s} W_f^* \right) + \frac{\epsilon_i (W_0 - W_f^*)}{\epsilon_s x_0} x(t). \quad (12)$$

(12) 式表明, 当  $RC = T$  时,  $W - x$  是直线, 其纵轴截距为  $\left( W_f + \frac{\epsilon_i}{\epsilon_s} W_f^* \right)$ 。

### 三、 实验

#### 1. 样品

N型硅单晶片，电阻率为 $10 \Omega\text{cm}$ ； $\langle 100 \rangle$ 晶向； $\text{SiO}_2$ 抛光；在 $1100^\circ\text{C}$ 湿氧中生长二氧化硅，厚度约 $1000 \text{ \AA}$ ；蒸发铝点，直径为 $1\text{mm}$ 。在 $\text{N}_2\text{-H}_2$ 中退火： $380^\circ\text{C}$ , 30分钟。界面态密度为 $\sim 2 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ 。

#### 2. 测量装置

图1给出CCWT实验装置方框图。

G是组合信号源，I端给出的电压波形如图2(a)所示，其中， $T_0 \geq 5T$ 。 $t_1 < t < t_2$ 时，阶跃电压信号上迭加了恒定幅值的高频小信号电压。A是恒流源，它馈送信号电压：用阶跃脉冲电压建立MOS的深耗尽条件及深耗尽态至平衡反型态弛豫过程中的恒电荷条件；用高频小信号来检测MOS的高频电容（或空间电荷区宽度）。A输出栅电压，其波形如图2(b)所示。

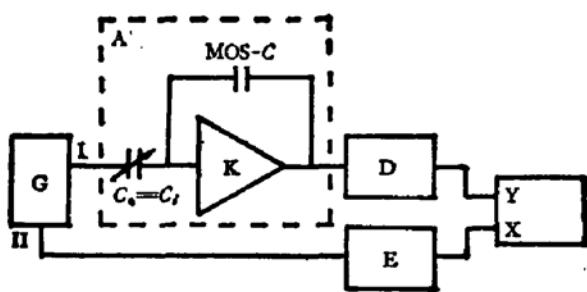


图1 CCWT 实验装置方框图

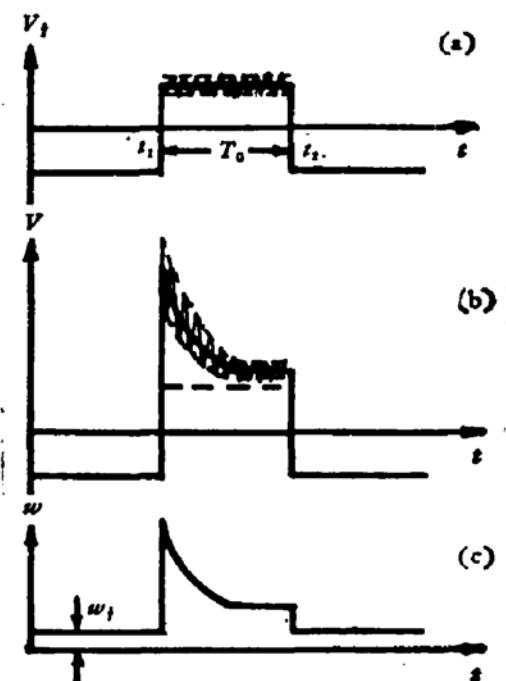


图2 CCWT 波形图

恒流源高频小信号分析得到：

$$\tilde{V}\omega C_h = \tilde{V}_i\omega C_i \\ \text{或 } \tilde{V}/\tilde{V}_i = C_i/C_h = w/w_i \quad (13)$$

其中， $\tilde{V}$ 是高频信号输出电压幅值； $\tilde{V}_i$ 是高频信号输入电压幅值， $\omega$ 是高频信号频率， $C_h$ 是MOS高频电容， $C_i$ 是氧化层电容。

(13)式表明，恒流源输出的高频小信号电压幅值与MOS高频电容的倒数（或MOS空间电荷区宽度）成正比。D是高通选频滤波-高频信号电压峰值检波器，输出波形如图2(c)所示。E是指数衰减函数发生器，其输入信号是信号源II端输出的同步阶跃电压信号，输出信号是 $X(t)$ 。将 $X(t)$ 、 $w(t)$ 输入记录仪X、Y轴，调节E的时间常数( $RC$ )及指数衰减函数的初值( $X_0$ )，使 $w-X$ 为斜率是1的直线，此时

$$RC = T$$

$$W(x=0) = W_i + \frac{\epsilon_i}{\epsilon_s} W_f^*$$

### 3. 实验结果

典型的实验曲线如图3所示。得到：

$$T = RC = 0.78 \text{ s}$$

$$\frac{W(x=0)}{W_i} = 4.3$$

CCVT<sup>[2]</sup> 测得

$$N = 4.5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$$

由(6)、(7)式计算得到

$$\tau = 13 \mu\text{s}$$

$$S = 1.8 \text{ cm/s.}$$

这一结果与 Zerbst 方法的测量结果是一致的。

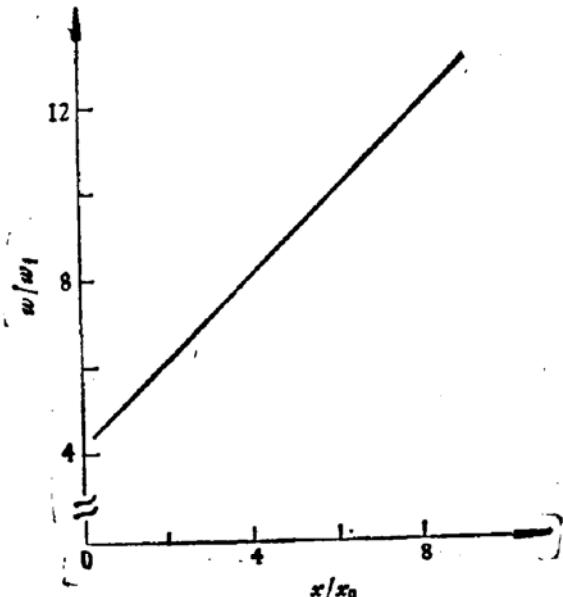


图3 典型的实验曲线。RC = 0.78s

### 四、结 论

本文提出的方法可以直接显示 MOS 由深耗尽态至平衡反型态弛豫过程中的 CCWT 特性曲线；采用指数衰减函数比较法可以直接测定  $\tau$ 、 $S$ ，省去了 Zerbst 方法的繁琐作图程序。

### 参 考 文 献

- [1] M. Zerbst, *Z. Angew. Phys.*, 22, 30 (1966).
- [2] F. P. Heiman, *IEEE Trans. Electron Devices*, ED-14, 781 (1967).
- [3] J. G. Simmons and L. S. Wei, *Solid-St. Electron.*, 19, 153 (1976).

- [4] K. S. Rabbani and D. R. Lamb, *Solid-St. Electron.*, **26**, 161 (1983).
- [5] R. F. Pierret, *IEEE Trans. Electron Devices*, ED-25, 1157 (1978).
- [6] K. S. Rabbani and D. R. Lamb, *Solid-St. Electron.*, **21**, 1171 (1978).
- [7] K. S. Rabbani and D. R. Lamb, *Solid-St. Electron.*, **24**, 661 (1981).
- [8] P. U. Calzolar, S. Graff and C. Morandi, *Solid-St. Electron.*, **17**, 1001 (1974).
- [9] C. Werner, A. Eder and H. Bernt, *Solid-St. Electron.*, **24**, 275 (1981).
- [10] K. H. Zaininger and F. P. Heiman, *Solid-St. Tech.*, **13**, 46 (1970).
- [11] 程文超, 黄振岗, 半导体学报, **1**, 228(1980).
- [12] 马鑫荣, 田立林, 李志坚, 半导体学报, **2**, 298(1981).
- [13] K. Board and J. G. Simmons, *Solid-St. Electron.*, **20**, 859 (1977).
- [14] P. Kuper and C. A. Grimbergen, *Solid-St. Electron.*, **21**, 549 (1978).
- [15] G. Kaplan, *Solid-St. Electron.*, **23**, 513 (1980).
- [16] 孙勤生, 半导体学报, **3**, 45(1982).
- [17] 张秀森, 半导体学报, **3**, 103(1982); **3**, 192(1982).
- [18] E. L. Heasell, *Solid-St. Electron.*, **26**, 199 (1983).
- [19] 谭长华, 许铭真, 北京大学学报(自然科学版), No. 1, 17(1980).

## Determination of Minority Carrier Bulk Generation Lifetime and Surface Generation Velocity by CCWT Method

Tan Changhua and Xu Mingzhen

(Department of Computer Science and Technology, Beijing University)

### Abstract

It has been shown that, if the total charge of an MOS structure is constant in the process of transforming from non-equilibrium deep depletion into equilibrium inversion state, the information of generation lifetime,  $\tau$ , and surface generation velocity,  $S$ , can be offered by space charge region width transient characteristic,  $W(t)$ , of an MOS capacitor. To compare  $W-t$  curve with a damped exponential signal, the  $\tau$  and  $S$  can be determined directly. The Zerbst's overelaborate graphical procedure is avoided.