

# 非均匀掺杂衬底 MOS 结构少子产生寿命的测量

黄庆安\* 史保华 顾英 张德胜

(西北电讯工程学院微电子研究所, 西安)

1988年3月19日收到

本文分析了非均匀掺杂衬底 MOS 电容对线性扫描电压的瞬态响应, 提出了三角波 C-V 技术测量非均匀掺杂 MOS 电容少子产生寿命的方法。该方法简单、且不需知道衬底的掺杂分布。

**主题词:** 非均匀掺杂 MOS 电容, 少子, 产生寿命

## 一、引言

随着 VLSI 的发展, 为控制 MOS 器件的阈值电压、沟道深度或穿通特性而广泛采用了离子注入技术。这种工艺会改变衬底的杂质分布, 使目前通用的 Zerbst<sup>[1]</sup> 及 Heiman<sup>[2]</sup> 的脉冲 MOS *c-t* 法不再适应。因此, 研究测量这类器件少子产生寿命的方法对科研和生产有着重要的实际意义。

Miyake 等人<sup>[3]</sup> 和 Lin<sup>[4]</sup> 提出的非均匀衬底 MOS 结构少子产生寿命的测量方法, 都要精确知道衬底的掺杂分布, 这样将使少子寿命的测量准确性与衬底的杂质分布的测准密切相关。本文详细分析了线性扫描电压作用下 MOS 电容的瞬变响应, 提出了三角波 C-V 技术测量少子产生寿命的方法。对低剂量注 B 的样品进行了测量。本文提出的方法具有在测量中不需知道衬底掺杂分布的特点, 可以在离子注入器件的检测中应用。

## 二、原 理

在 P 型衬底的 MOS 栅上加一线性扫描电压,

$$V_t = V_0 + \alpha t \quad (1)$$

式中  $\alpha$  是电压扫描率, 线性扫描电压从  $V_0$  开始(在栅压  $V_0$  下, 表面已处于反型)。如果电压上升率  $\alpha$  足够大, 则 MOS 系统将进入非平衡的深耗尽状态。由于产生-复合中心产生

\* 现为南京工学院微电子中心博士生。

电子-空穴对的作用,会引起空间电荷区边界的移动。

若将金属和半导体间的功函数差  $\varphi_{ms}$ , 二氧化硅中的各种电荷造成的电势差都归于平带电压  $V_{FB}$ , 则有

$$V_t = V_{ox} + V_{FB} + \psi_s \quad (2)$$

式中  $V_{ox}$  是在理想 MOS 结构氧化层上的压降,  $\psi_s$  是表面势。若忽略反型层上的压降, 利用突变空间电荷区边缘的耗尽近似, 知 P 型半导体的表面势<sup>[3]</sup>

$$\psi_s = \frac{q}{\epsilon_s} \int_0^w x N_A(x) dx + \frac{kT}{q} \left[ \frac{w}{P_0(x)} \cdot \frac{dP_0(x)}{dx} \right]_{x=w} + \frac{kT}{q} \ln \frac{N_B}{P_0(w)} \quad (3)$$

式中  $q$  是电子电荷的绝对值,  $k$  是玻耳兹曼常数,  $T$  是绝对温度,  $\epsilon_s$  是半导体介电常数,  $w$  是瞬时耗尽区宽度,  $N_B$  是衬底的原始掺杂浓度、为一常数,  $N_A(x)$  是衬底的杂质分布,  $P_0(x)$  是无外场时的多子浓度分布。单位面积空间电荷区的电离受主电荷密度为

$$Q_A = -q \int_0^w N_A(x) dx - \frac{kT\epsilon_s}{q} \left[ \frac{1}{P_0(x)} \frac{dP_0(x)}{dx} \right]_{x=w} \quad (4)$$

根据 Heiman<sup>[2]</sup>的产生区模型, 表面反型后, 由于反型层载流子的屏蔽作用, 表面产生可以忽略, 单位面积反型层电荷的变化率为

$$\frac{dQ_i}{dt} = -\frac{qn_i}{2\tau_s} (\omega - \omega_i) \quad (5)$$

式中  $\tau_s$  是体产生寿命,  $\omega_i$  是  $\omega$  的终值,  $n_i$  是本征载流子浓度。由(1)和(5)式知在栅压变化  $\Delta V$  时反型层电荷的变化量为 ( $\Delta V = V_t - V_i$ )

$$Q_i = -\frac{qn_i}{2\tau_s\alpha} \int_{V_i}^{V_t} (\omega - \omega_i) dV_i \quad (6)$$

单位面积的栅电荷为

$$Q_m = C_{ox}(V_t - \psi_s - V_{FB}) \quad (7)$$

式中  $C_{ox}$  是单位面积氧化层电容。

根据电中性条件有

$$Q_m + Q_A + Q_i = 0 \quad (8)$$

如果在栅上加三角波电压, 则会得到如图 1 所示的高频 C-V 曲线。

令图 1 的  $(V_0, C_f)$  点和  $(V_f, C_i)$  点对应的(8)式相减并考虑到这两点对应的  $Q_A$  近似于相等, 得到

$$C_{ox}\alpha(V_f - V_0) = \frac{qn_i}{2\tau_s} \left( \int_{V_0}^{V_f} (\omega - \omega_i) dV_i + \int_{V_f}^{V_p} (\omega - \omega_i) dV_i \right) \quad (9)$$

其中  $V_f$  是反向扫描到 MOS 电容为  $C_f$  时的栅压, 由

$$W = \epsilon_s \left( \frac{1}{C} - \frac{1}{C_{ox}} \right) \quad (10)$$

(9)式化为

$$\tau_s = \frac{qn_i\epsilon_s(1 + (V_f + V_0 - 2V_p)/C_f)}{2C_{ox}\alpha(V_f - V_0)} \quad (11)$$

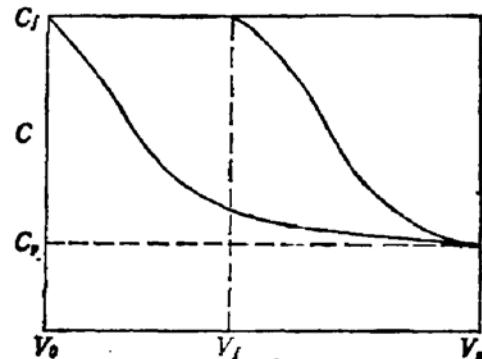


图 1 三角波电压扫描的深耗尽高频 C-V 曲线

其中

$$I = \int_{V_0}^{V_p} \frac{dV_s}{C} + \int_{V_f}^{V_p} \frac{dV_s}{C} \quad (12)$$

式中第一个和第二个积分分别是对正向扫描和反向扫描。可见，只要计算一个积分就可以在不知道衬底掺杂浓度分布的情况下确定出表面层的少子产生寿命。

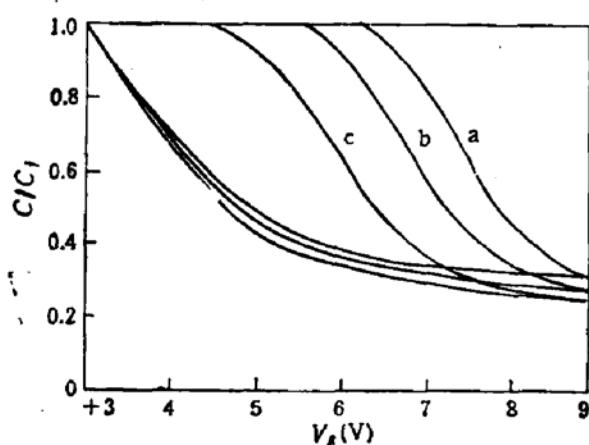
### 三、实验与结果

#### 1. 样品制备

P型单晶片，电阻率为  $8\Omega \cdot \text{cm}$ ， $\langle 100 \rangle$  晶向； $1100^\circ\text{C}$  湿氧中生长二氧化硅，厚度约  $800\text{\AA}$ ；注 B、剂量  $1 \times 10^{12}\text{cm}^{-2}$ ，能量  $100\text{keV}$ ；在  $\text{N}_2$  中退火， $900^\circ\text{C}$ ，30分钟，蒸钼并反刻。

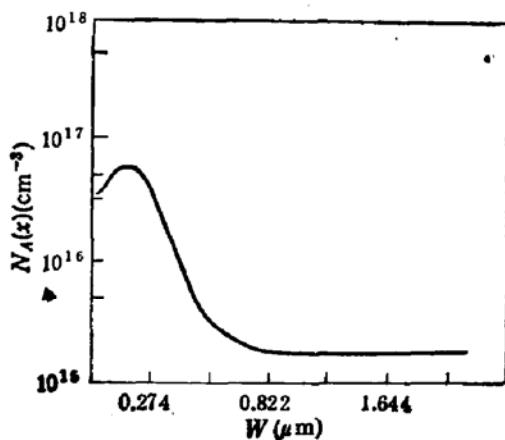
#### 2. 测量与结果

由 XFD-8A 型超低频信号发生器提供三角波电压，CTG-1 型高频 C-V 仪测量 MOS 电容，输出经 A/D 转换直接与微机相接。图 2 是我们在不同的扫描率下测出的三角波 C-V 曲线及算出的少子产生寿命值，可见有较好的重复性。图 3 是用 MDC CSM 65 C-V 仪测出的杂质分布曲线，非均匀的杂质是比较深的。



a:  $\alpha = 0.203\text{V/s}$   
b:  $\alpha = 0.3047\text{V/s}$   
c:  $\alpha = 0.606\text{V/s}$   $\tau_s = 100.4\mu\text{s}$   
 $\tau_s = 104.5\mu\text{s}$   $\tau_s = 99.7\mu\text{s}$

图 2 不同扫描速率的三角波 C-V 曲线



P<100>Si 100keV  
 $1 \times 10^{12}\text{cm}^{-2}$   $900^\circ\text{C}$ , 30'  
图 3 离子注入 MOS 的杂分布

### 四、讨论与结论

本文提出根据电荷的电中性条件，在 MOS 结构处于强反型时利用三角波 C-V 技术测量少子产生寿命的新方法。这一方法在实验中不需知道衬底的掺杂分布，又是以 C-V 技术为基础的，计算简单，很容易在目前的自动 C-V 测试仪中应用，适于离子注入器件的检测。

本工作在实验中曾得到西安交通大学陈光隧老师、无锡 24 所陈永珍老师及临潼 771 所高长明同志的热情帮助。在此表示感谢。

### 参 考 文 献

- [1] M. Zerbst, *Z. Angew. Physik.*, **22**, 30(1966).
- [2] F. P. Heiman, *IEEE Trans. Electron Dev.*, **ED-14**, 781(1967).
- [3] M. Miyake and H. Harada, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **20**, L797(1981).
- [4] S. T. Lin, *IEEE Trans. Electron Dev.*, **ED-30**, 60(1983).
- [5] G. Baccarani, M. Rudan, G. Spadini, H. Maes, W. Vander vost and R. Van Overstraeten, *Solid State Electron.*, **23**, 65(1980).

## Measurements of Minority Generation Lifetime of MOS Structures with Nonuniformly Doped Substrate

Huang Qingan, Shi Baohua, Gu Ying and Zhang Desheng

(Microelectronics Research Institute, Northwest Telecommunication Engineering Institute, Xi'an)

### Abstract

Transient response of non-uniformly doped MOS capacitors to a linear voltage ramp is analysed. A triangular voltage sweep  $C-V$  technique is presented thus obtaining a method to measure the minority generation lifetime for non-uniformly doped MOS capacitors. The technique is simple and can be used without knowing the doping profile of MOS substrate.

**KEY WORDS:** Nonuniformly doped MOS capacitors, Minority carriers, Generation lifetime