

MOS 电容法测硅的产生寿命和 表面产生速度*

包宗明 苏九令

提 要

本文指出在表面产生速度可以看作常数的情况下,用线性电压扫描 MOS 电容测硅的产生寿命和表面产生速度. 测线性扫描饱和电容随扫描速度的变化,可以较方便地求出产生寿命和表面产生速度. 对一些 MOS 电容样品进行了测试. 结果表明,测试方法在一定条件下是可行的.

引 言

近年来关于 MOS 电容法测产生寿命和表面产生速度的文章很多^[1-7]. Pierret^[5]发展的线性扫描法,忽略了表面产生速度,能较快地求出产生寿命. Taniguchi^[2]在认为表面产生速度是常数的情况下,分析了三角波扫描法测产生寿命和表面产生速度的方法,但计算比较复杂. 用 Zerbst 发展的阶跃波法同时求出产生寿命和表面产生速度,在测试和计算上也较复杂^[1,6,7].

本文指出用电压线性扫描的方法,测试饱和电容随扫描速度的变化,同时求出产生寿命和表面产生速度,测试和计算都较方便.

在以往所有的文章中,都认为界面态电荷的变化可以忽略. 实际的 MOS 电容随电压的变化规律往往是复杂的^[8]. 只有对制备得较好的样品,谨慎地掌握测试条件,其测试结果才可以作理论计算.

原 理

外加电压 V 在 MOS 结构上的降落分成三部分: 一是半导体表面电势 ϕ_s ; 一是半导体表面单位面积空间电荷 $N_A x_D$ 和自由电荷 n_s 在二氧化硅中的电场造成的电势差 V_{ox} 如图 1 所示; 还有金属和半导体间的功函数差、二氧化硅中的各种电荷及界面电荷等造成的电势差,在界面态电荷保持不变的情况下,这部分都归于平带电压 V_{FB} . 故有

$$V = V_{ox} + V_{FB} + \phi_s,$$

$$V_{ox} = \frac{q}{\epsilon_0 \epsilon_{ox}} x_{ox} (N_A x_D + n_s),$$

* 1979 年 7 月 2 日收到.

$$\phi_s = \frac{qN_A}{2\epsilon_0\epsilon_{Si}} x_D^2, \quad (1)$$

式中 ϵ_0 为真空电容率; ϵ_{0x} , ϵ_{Si} 分别为二氧化硅和硅的相对介电常数; q 为电子电荷.

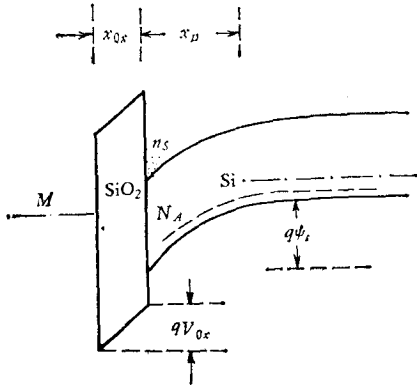


图1 MOS 电容加反向偏压能带图

外加电压以扫描率 α 作线性变化,即

$$V = V_0 + \alpha t = V_{0x} + V_{FB} + \phi_s. \quad (2)$$

上式对时间求导数,考虑到(1)式,得

$$\alpha = \frac{q}{\epsilon_0\epsilon_{0x}} x_{0x} (N_A \dot{x}_D + \dot{n}_s) + \frac{qN_A}{\epsilon_0\epsilon_{Si}} x_D \dot{x}_D. \quad (3)$$

通常认为单位面积势垒区中电子的来源有势垒区产生和表面产生两部分(在有横向电流时横向产生对 $\dot{n}_s$ 也有贡献),即

$$\dot{n}_s = n_i(x_D - x_{Df})/2\tau_g + n_i s_g, \quad (4)$$

式中 x_{Df} 为稳态时表面势垒的最大宽度, τ_g 和 s_g 分别为产生寿命和表面产生速度, n_i 为本征载流子浓度.

用(4)式代入(3)式,得

$$\alpha = \frac{qN_A}{2\epsilon_0\epsilon_{Si}} \left(\frac{C_D}{C_{0x}} + 1 \right) \frac{d}{dt} \frac{1}{C_D^2} + \frac{q\epsilon_0\epsilon_{Si}}{C_{0x}} \frac{n_i}{2\tau_g} \left(\frac{1}{C_D} - \frac{1}{C_{Df}} \right) + qn_i s_g / C_{0x}, \quad (5)$$

式中 $C_D = \epsilon_0\epsilon_{Si}/x_D$; $C_{0x} = \epsilon_0\epsilon_{0x}/x_{0x}$; $C_{Df} = \epsilon_0\epsilon_{Si}/x_{Df}$.

实际测得的单位面积电容值 C 是氧化层电容 C_{0x} 和势垒电容 C_D 的串联,即

$$C = C_{0x}C_D/(C_{0x} + C_D), \quad C_f = C_{0x}C_{Df}/(C_{0x} + C_{Df}). \quad (6)$$

(5) 式改写为

$$\alpha - qn_i s_g / C_{0x} = -\frac{qN_A\epsilon_0\epsilon_{Si}}{C^3} \frac{d}{dt} C + \frac{q}{2} \frac{\epsilon_0\epsilon_{Si}}{C_{0x}C_f\tau_g} \left(\frac{C_f}{C} - 1 \right). \quad (7)$$

上式的物理意义是: 只有在表面产生跟不上扫描速度时才可能出现深耗尽. 因为在反向偏压作线性扫描时, $\frac{d}{dt} C < 0$, 上式右边恒大于零, 故左边若小于零则(7)式不能成立, 这时不会出现 $C < C_f$ 的深耗尽情况.

若 s_g 是常数, 对一定的 α , 随着时间增加, 即反向电压增大, 势垒就会增宽, 势垒产生就会增多, 即右边第二项增大, 从而使右边第一项趋向于零, 即电容趋向饱和值 C_{st} . 此时有

$$\alpha - qn_i s_g / C_{0x} = \frac{q}{2} \frac{\epsilon_0\epsilon_{Si}}{C_{0x}C_f\tau_g} \left(\frac{C_f}{C_{st}} - 1 \right). \quad (8)$$

如果上式忽略 s_g , 就得到 Pierret 的结果.

令(8)式中

$$Y = [(C_f/C_{st}) - 1], \quad X = \alpha,$$

得

$$X = \frac{q}{2} \frac{\epsilon_0\epsilon_{Si}}{C_{0x}C_f\tau_g} Y + qn_i s_g / C_{0x}. \quad (9)$$

为一直线, 由斜率可以求出 τ_g , 由 X 轴上的截距可求得 s_g .

若寿命较长, 以致不易测得饱和电容, 即可按(7)式令

$$Y = [(C_f/C) - 1], \quad X = \alpha \left(1 + \frac{qN_A \epsilon_0 \epsilon_{Si}}{C^3} \frac{dC}{dV} \right), \quad (10)$$

得到与(9)式相同形式的线性方程

$$X = \frac{q\epsilon_0 \epsilon_{Si}}{2C_{0x} C_f} \frac{n_i}{\tau_g} Y + qn_i s_g / C_{0x}. \quad (11)$$

同样可由斜率、截距求出 τ_g 和 s_g .

实 验 结 果

本工作使用 XFD-8 超低频讯号发生器、CTG-1 高频 MOS 电容测试仪和 X-Y 函数记录仪, 测试原理见图 2.

在三角波扫描的情况下测 MOS $C-V$ 特性随扫描速度的变化, 典型结果如图 3 所示.

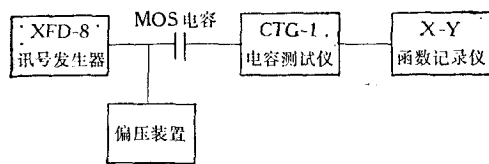


图 2 测试线路略图

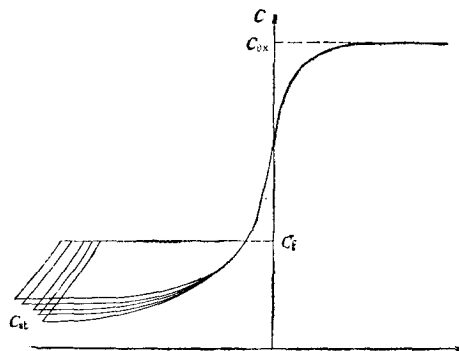


图 3 不同扫描速度的三角波扫描出的 $C-V$ 曲线

测出图 3 中 C_{0x} , C_i 及不同扫描速度时耗尽电容趋向平坦的值 C_{0t} , 就可以按(9)式

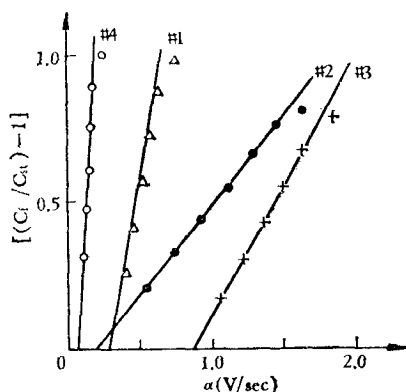


图 4 $[(C_f/C_{0t}) - 1] - \alpha$ 图

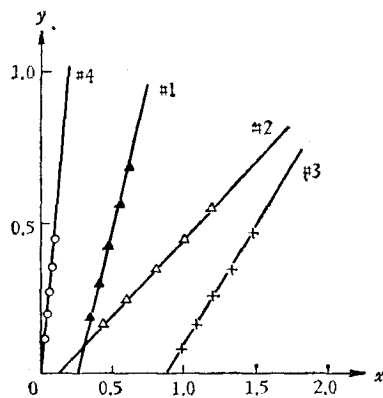


图 5 $[(C_f/C) - 1] - \alpha \left(1 + \frac{qN_A \epsilon_0 \epsilon_{Si}}{C^3} \frac{dC}{dV} \right)$ 图

作图. 从而可求出 τ_g 和 s_g . 其典型结果示于图 4.

对图 3 中某一条曲线求出耗尽区的某几点的 C 和 $\frac{dC}{dV}$ 的值, 按(10)式和(11)式计算作图, 同样可求出 τ_g 和 s_g . 其典型结果示于图 5.

对一些铝-二氧化硅-硅 MOS 电容测得的结果列于表 1 中.

表 1 一些样品用饱和电容法和 dC/dV 法测试的 τ_g 和 s_g 值

编 号	型 号	类 别	晶 向	饱 和 电 容 法		dC/dV 法		样品浓度 (cm^{-3})	dC/dV 法 计算用 α (V/sec)
				$\tau_g(\mu\text{s})$	$s_g(\text{cm}/\text{sec})$	$\tau_g(\mu\text{s})$	$s_g(\text{cm}/\text{sec})$		
# 1	n-Si	外延片	(111)	1.2×10^2	1.6	90	2.6	2.5×10^{13}	2
# 2	n-Si	单晶片	(100)	33	1.5	31	2.2	1×10^{14}	1
# 3	n-Si	外延片	(111)	33	6.2	33	6.4	1.5×10^{14}	1.5
# 4	p-Si	外延片	(111)	23	0.3	31	0.2	3.5×10^{15}	0.09
# 5	p-Si	外延片	(111)	15	0.1			2×10^{15}	
# 6	n-Si	外延片	(111)	7.6	3.3			2×10^{14}	
# 7	n-Si	外延片	(111)	1.3	0.1			2×10^{14}	
# 8	n-Si	单晶片	(100)	1.0	1.2			1×10^{15}	
# 9	n-Si	单晶片	(100)	0.8	11.0			1×10^{15}	
# 10	n-Si	单晶片	(100)	0.2	26.6			1×10^{15}	

表 1 中 # 4 样品测试结果按文献[2]的方法用 719 电子计算机计算, 算得 $\tau_g = 31 \mu\text{s}$; $s_g = 0.3 \text{cm}/\text{sec}$.

结 语

从本工作结果看, 饱和电容法、 dC/dV 法和文献[2]的方法所得结果符合尚佳. 用饱和电容随扫描速度变化的方法求 τ_g 和 s_g 较方便, 而且计算不需知道掺杂浓度. 当然计算与 n_i 有关, n_i 随温度变化很灵敏, 故必须按实际测试环境温度取 n_i 的值. dC/dV 法计算较饱和电容法复杂, 且需知道正确的掺杂浓度, 当扫描速度快时, X-Y 函数记录仪画下的曲线会失真. 文献[2]的方法测试精度要求较高, 且计算复杂.

不论饱和电容法, 还是 dC/dV 法都显示出在 $[(C_f/C) - 1]$ 较小时线性较好, 即此时 s_g 可看作常数, 由此可算出 τ_g 和 s_g 的值. 当 $[(C_f/C) - 1]$ 较大时实验点就偏离线性, 这意味着其它产生机构对 n_i 有明显贡献^[5,6]. 当然不同样品开始偏离线性的 $[(C_f/C) - 1]$ 值是不同的.

Pierret 的理论分析忽略了 s_g 的影响, 其实验结果的点子正好落在一直线上, 但截距不为零, 这正好说明 s_g 不为零, 且在一定范围内可看作常数. 他的实验结果在 $[(C_f/C) - 1]$ 大时也发生了偏离. 本工作所得结果与其相似.

研究 MOS 电容特性和原材料及工艺的关系, 对 MOS 器件, 特别是对 CCD 器件很有价值, 而对双极型器件也有意义. 它可用作器件工艺分析、寿命控制和工艺监视的手段.

本工作的样品制备得到复旦大学大规模集成电路研究室、上海元件五厂和上海无线电廿九厂等单位的支持,在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Chand R. Viswanathan and Takanori Takino, *IEEE Trans. Electron Dev.*, **ED-25**, (1978), 817.
- [2] K. Taniguchi, *Solid-St. Electron.*, **21**(1978), 1057.
- [3] C. Trullemans and F. Van De Wiele, *Solid-St. Electron.*, **21**(1978), 561.
- [4] P. Kuper and C. A. Grimbergen, *Solid-St. Electron.*, **21**(1978), 549.
- [5] R. F. Pierret, *IEEE Trans. Electron Dev.*, **ED-19**, (1972), 869.
- [6] D. K. Schroder and J. Guldberg, *Solid-St. Electron.*, **14**, (1971), 1285.
- [7] K. S. Rabbani, J. L. Pennock and D. R. Lamb, *Solid-St. Electron.*, **21**(1978), 1577.
- [8] Horst Preier, *IEEE Trans. Electron Dev.*, **ED-15**, (1968), 990.

THE DETERMINATION OF THE GENERATION LIFETIME AND SURFACE GENERATION VELOCITY BY THE LINEAR-SWEEP MOS-CV METHOD

BAO ZONG-MING SU JIU-LING

ABSTRACT

A simple method has been developed to determine the generation lifetime and surface generation velocity simultaneously. This method is based upon the high frequency $C-V$ characteristics derived in response to a linear voltage sweep. The experimental results are given for the cases in which the present method is applicable.