

MNOS 电容的辐照吸收特性*

刘毓耿 易清明 刘竞云

(暨南大学电子工程系 广州 510632)

摘要 本文报告 MNOS 存储电容的辐照吸收规律与电容对存储电荷的保留特性之间有一定的内在联系:在 SiO₂ 膜辐照响应的集总常数保持不变时,样品对存储电荷的保留能力越强,则辐照响应的敏感剂量越往小剂量方向移动.

PACC: 2970, 7340Q

1 引言

在 n-Si 衬底上覆盖约 2.5nm 的 SiO₂ 和 50nm 的 Si₃N₄ 双介质构成的 MNOS 电容,在写脉冲作用下将有电子存储在 SiO₂/Si₃N₄ 界面及 Si₃N₄ 体内的陷阱中^[1]. 它将使 MNOS 电容的平带电压比尚未有存储电荷时得到一个偏移值 V_F^[2]. 在写脉冲过后,由于存储电荷逐渐泄漏,平带电压偏移值将按如下规律衰减^[3]:

$$V_F(t) = V_F(0) \quad t < t_d \quad (1a)$$

$$V_F(t) = V_F(0) \left[1 - \frac{2.3}{\alpha_N \lambda} \log\left(\frac{t}{t_d}\right) \right] \quad t_d < t < \tau_2 \quad (1b)$$

式中 t_d、τ₂ 是由存储介质特性决定的时间常数;λ 是 Si₃N₄ 中电子的平均自由程;α_N 是由存储陷阱深度 φ_i 决定的常数.

若样品在放电时经受辐照,分析辐照对平带电压的影响可知,在辐照期间平带电压偏移值 V_F(t) 对辐照开始时平带电压偏移值 V_F(0) 的差值 ΔV_F 按如下规律变化^[4]:

$$\Delta V_F = \Delta V_{FM} [1 - \exp(-BR)] \quad (2)$$

式中 ΔV_{FM} = -V_F(0) 是辐照吸收剂量无限大时平带电压偏移值对辐照开始时偏移值的增量. R = Ḥt 为辐照时间 t 内样品吸收的辐照剂量,Ḥ 是剂量率. B 是辐照效应常数,它由介质厚度 W、介电常数 ε 和介质材料的集总常数 A 等决定:

$$B = \frac{A_N W_{ox} + A_{ox} W_N}{\epsilon_N W_{ox} + \epsilon_{ox} W_N} \quad (3)$$

* 国家自然科学基金资助项目,由广东省辐照中心协助辐照试验

刘毓耿 男,1937年生,副教授,当前从事半导体表面、界面器件的机理研究

易清明 女,1965年生,讲师,当前从事半导体表面、界面器件的机理研究

刘竞云 男,1943年生,高级工程师,当前从事半导体表面、界面器件的工艺研究

1993年9月21日收到初稿,1994年3月21日收到修改稿

A 由载流子寿命 τ 及迁移率 μ 等决定:

$$A_N = qK_N\tau_N\mu_N \quad (4a)$$

$$A_{ox} = qK_{ox}\tau_{ox}\mu_{ox} \quad (4b)$$

K_N 、 K_{ox} 是由介质特性决定的比例常数. q 是电子电量. (附标 N 表示 Si_3N_4 , 附标 ox 表示 SiO_2)

(2) 式是 MNOS 电容辐照吸收效应的理论规律. 据此, MNOS 电容可用作辐照探测元件. 通常, 要 MNOS 电容产生明显的辐照响应, 需很大的辐照剂量. 为了扩大它的辐照探测范围, 需要研究如何使它对辐照响应的敏感剂量下移. 本文分析了 MNOS 电容存储效应和辐照吸收效应的关系后, 对存储保留能力不同的样品进行了辐照试验. 结果表明: 敏感剂量的下移在一定工艺条件下与样品对存储电荷的保留能力有关.

2 MNOS 电容辐照吸收特性与存储特性的关系

MNOS 电容对存储电荷的保留能力取决于存储电荷的自然放电速率. 由 (1) 式可知, 在半对数坐标中, 放电曲线的斜率 (取绝对值) 为:

$$K = \frac{2 \cdot 3V_F(0)}{\alpha_N \lambda} \quad (5)$$

通过平均自由程与扩散系数的关系、爱因斯坦关系, 由上式可得:

$$\mu_N = \left[\frac{2 \cdot 3V_F(0)}{3\alpha_N} \frac{q\bar{v}}{kT} \right] \frac{1}{K} \quad (6)$$

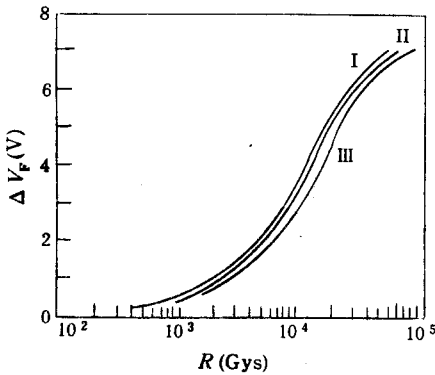


图 1 不同 B 值的理论响应曲线

I — $B = 7 \times 10^{-5} / \text{Gys}$

II — $B = 6 \times 10^{-5} / \text{Gys}$

III — $B = 5 \times 10^{-5} / \text{Gys}$

μ_N 较大的样品, Si_3N_4 介质的集总常数 A_N 也较大 (见 (4) 式), 所以, 若工艺制作上维持 SiO_2 膜的集总常数 A_{ox} 不变, 且使陷阱参数 Φ_t 从而 α_N 也基本不变时, 结合 (3)、(4)、(6) 式可将 B 表为:

$$B = C_1 \frac{1}{K} + C_2 \quad (7)$$

在满足上述工艺要求时, (7) 式的 C_1 、 C_2 都是常数. 由 (7) 式可看出, MNOS 电容的存储特性和辐照响应特性有一定的内在联系: 在一定的工艺条件下, MNOS 存储电容的放电速率越慢 (K 越小), 则样品的辐照效应常数 B 越大. 而从 (2) 式的函数结构可看出, 不同 B 值的样品, 其辐照响应的敏感剂量有所不同. 从图 1 的几条理论曲线可看到, B 值越大, 辐照响应的剂量越往下移. 综合 (2) 式和 (7) 式可

推知: 存储特性较好的样品 (K 较小), 因有较大的 B 值, 它辐照响应的最小剂量、敏感范围和饱和剂量都将往较小剂量方向移动.

3 不同放电速率的 MNOS 电容的辐照试验

试验样品用 $5-8\Omega \cdot \text{cm}$ 、 $\langle 100 \rangle$ 晶向、化学抛光的 n 型硅作为衬底. 在其上先制作超薄 SiO_2 膜: 由高纯氮气“掠过”液氮温度下的液氧表面, 携带其上方氧蒸气进入氧化炉作为氧源, 先在 850°C 的温区生长一层约 $2-2.5\text{nm}$ 的 SiO_2 膜, 接着将硅片移至 970°C 的温区保持 5 分钟. 经这两步氧化后得到厚度为 $2.5-2.8\text{nm}$ 的 SiO_2 膜(由 RUDOPH)公司生产的 AutoEL-III 型椭偏仪测量). 此后, 立即用 SiH_4-NH_3 体系的 LPCVD 工艺在不同条件下淀积两层 Si_3N_4 膜. 先在 $750-780^\circ\text{C}$ 、 NH_3/SiH_4 的比率为 $10/1-12/1$ 、压强为 86.7Pa 下淀积 15nm 的电荷存储膜. 接着在 $830-850^\circ\text{C}$ 、 NH_3/SiH_4 为 $18/1-20/1$ 的同上压强下, 再淀积一层约为 35nm 的电荷阻挡膜. 这样制作的样品在其双介质膜界面的陷阱密度约为 $6.90 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ [5]. 在其上制作铝栅后, 即得 MNOS 存储电容.

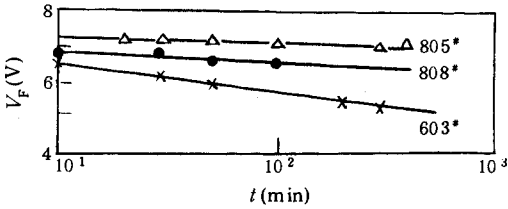


图 2 不同放电速率样品的放电曲线

辐照试验用 Co^{60} 为 γ 射线辐照源, 以上三组样品经多次写入-清除并用 $+25\text{V}$ 写饱和后立即送到辐照现场接受辐照. 辐照结束后立即测量平带电压衰减曲线, 并从而得到辐照刚结束时平带电压的偏移值. 从这一偏移值中扣除辐照期间自然放电引起的偏移值衰减后就得到了辐照引起的偏移值的净衰减值 ΔV_F .

使样品在同一剂量率下接受不同时间的辐照, 可得出每个样品对不同剂量辐照的响应结果. 图 3 是不同放电速率样品的辐照响应曲线对于放电速率 $K_1=0.793\text{V/decade}$ 的样品 $603^\#$, $K_2=0.333$ 的样品 $808^\#$, $K_3=0.195$ 的样品 $805^\#$, 辐照后拟合出的辐照应常数分别为 $B_1=5.40 \times 10^{-5}/\text{Gys}$, $B_2=5.90 \times 10^{-5}/\text{Gys}$, $B_3=6.20 \times 10^{-5}/\text{Gys}$.

4 实验结果分析与讨论

图 2 所得曲线是本文工艺制作的 MNOS 电容自然放电的规律. 从图中可看到, MNOS 电容在存储电荷自然泄漏时, 平带电压的偏移值随时间的对数值作线性衰减, 衰减系数随样品的不同稍有不同. 这一结果与(1)式所示规律相符. 图中三种样品对存储电荷有不同的保留能力. 样品 $603^\#$ 放电曲线斜率最大, 它对存储电荷的保留

将如上制作的电容, 经反复多次的写入-清除处理后, 用一定幅值的写脉冲把电荷存储进存储陷阱中, 使平带电压得到一个初始偏移值 $V_F(0)$. 然后在无外加电压及无辐照的情况下, 测试平带电压偏移值随时间减少的规律. 所得结果在半对数坐标中为一直线. 图 2 示出了三组不同放电速率样品的测试结果.

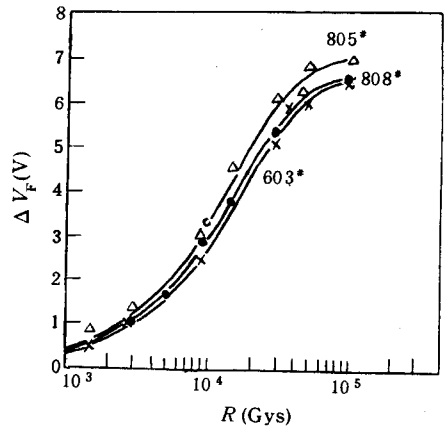


图 3 不同放电速率样品的辐照响应
 \triangle $805^\#$; \bullet $808^\#$; \times $603^\#$
 ——拟合曲线

能力最差,样品 808[#]次之.样品 805[#]放电斜率最小,保留能力最好.

图 3 是辐照响应结果.实验表明,用本文工艺制作的样品,在其辐照响应的敏感范围内,样品平带电压的偏移值随辐照剂量的增加呈指数衰减.与(2)式所示规律相符.但存储性能越好的样品,其辐照响应的最小剂量、敏感范围都越往小剂量方向移动,拟合出的 B 值也越大.这一结论同前面所作的理论分析基本吻合.

不过,把实验结果与理论分析进行比较也发现:实验所得的 B 值并不严格反比于 K 值.这显然是实际工艺参数的分散性引起的.

5 结论

本文工艺制作的 MNOS 存储电容具有明显的辐照吸收效应.在 10^3 — 10^5 Gys 剂量范围内,存储电荷引起的平带电压偏移值随辐照吸收剂量增加呈指数规律衰减.其辐照响应特性与 MNOS 电容对存储电荷的保留能力有一定的内在联系:在 SiO_2 膜辐照响应的集总常数保持不变时,样品对存储电荷的保留能力越强,则辐照响应的最小剂量、敏感范围都越往小剂量方向移动.

参 考 文 献

- [1] D. Frohman-Bentchkorsky and M. Lenziger, J. Appl. Phys., 1969, **40**(7): 3307—3319.
- [2] M. H. White and J. R. Cricchi, IEEE Trans. Electron Devices, 1972, **ED-19**(12): 1280—1288.
- [3] L. Lundkvist, I. Lundström and C. Svenssons, Solid-State Electronics, 1973, **16**(7): 811—823.
- [4] R. G. Frass, ADAD 65995 AFWL-TR-78-87.
- [5] 黄君凯, 半导体学报, 1991, **12**: 728.

Radiation Absorption Feature of MNOS Capacitor

Liu Yugen, Yi Qingming and Liu Jingyun

(Department of Electronics Engineering, Ji'nan University, Guangzhou 510632)

Received 21 September 1993, revised manuscript received 21 March 1994

Abstract There are certain internal relations between the characteristic of γ -radiation absorption of MNOS memory capacitor and the retention characteristic of capacitor for memory charge: If the complex radiation response coefficient of SiO_2 film keeps constant, the sensitive dose moves to the smaller dose area while the retention characteristic of the sample is stronger.

PACC: 2970, 7340Q