

含 N 薄栅介质的电离辐照及退火特性

张国强 陆 妩 余学锋 郭 旗 任迪远 严荣良

(中国科学院新疆物理研究所 乌鲁木齐 830011)

摘要 对含 N 薄栅 MOS 电容进行了⁶⁰Co γ 辐照和 100 °C 恒温退火行为的分析研究, 结果表明: 栅介质中 N 的引入, 能明显抑制辐射感生 Si/SiO₂ 界面态的产生, 减少初始固定正电荷和界面态, 减小辐照后界面陷阱的退火速率. 用一定模型解释了实验结果.

PACC: 7340Q; EEACC: 2550E, 2560R

1 引言

MOS 器件电路在电离辐射作用下, 由于在 SiO₂ 栅氧化层积累大量的氧化物正电荷, 在 Si/SiO₂ 界面感生界面态, 而影响器件电路的使用, 已成为当前微电路空间应用领域十分重要的课题之一. 随着器件电路向短沟薄栅方向发展, 栅介质的热载流子损伤和击穿也成为影响可靠性的主要因素. 由于热载流子损伤和电离辐射损伤具有等效性, 因此侧重研究抑制 MOS 栅介质电离辐射损伤的新方法, 对于保证微电路在空间和地面的可靠使用是非常重要的.

1980 年, Ito 等人首先报道了 SiO₂ 栅介质加入适量的氮可改善 MOS 结构的电学性质^[1], 其后关于氮化物的研究便迅速开展起来^[2, 3]. 但这些研究主要集中在 SiO₂ 栅介质中引入 N 可改善其电学、力学和化学性质上^[4-10], 而对氮化物特别是用 N₂O 制成的栅介质的抗电离辐射研究却很少见报道.

本文详细研究了含 N 薄栅 MOS 电容的⁶⁰Co γ 辐照及辐照后的高温退火行为, 发现栅介质中 N 的引入能明显抑制电离辐射对栅介质的损伤, 减小初始固定正电荷和 Si/SiO₂ 界面态, 抑制辐照陷阱的退火速度.

2 样品制备及实验

实验所用样品为 A1 栅 N 型 MOS 电容, 制作在 1.7~2.3 $\Omega \cdot \text{cm}$, n(100) 的 Si 衬底上经 900 °C 干氧栅氧化, 氧化后在 900 °C 的 N₂ 中进行退火, 电容面积 8.302 $\times 10^{-4} \text{cm}^2$. 含氮栅

张国强 男, 1963 年出生, 硕士, 副研究员, 目前感兴趣的是 MOS 新型栅场介质抗辐射和热载流子损伤效应、机理和加固应用研究

陆 妩 女, 1962 年出生, 高级工程师, 目前感兴趣的是线性电路的电离辐射效应、机理和加固应用研究
1997-10-18 收到, 1998-06-08 定稿

介质是通过先进行 900 °C 干氧化再把 SiO_2 栅介质放入 1000 °C 的 N_2O 中退火而获得的, 栅氧层厚度 10nm.

由 HP4140B、HP4280A 等仪器组成的测试系统自动完成高频和准静态 $C-V$ 测试, 高频 $C-V$ 测试频率 1MHz, 准静态 $C-V$ 电压扫描速率 0.02V/s, 从积累到反型方向扫描. 由高频和准静态 $C-V$ 联合方法, 计算了界面态密度 D_{it} 随表面势 V_s 的分布. 辐照在 ^{60}Co γ 源上进行, 辐照剂量率为 $6.4 \times 10^4 \text{ rad}(\text{Si})/\text{min}$, 辐照偏压为 $V_g = 1\text{V}$ 和栅极浮空两种状态. 退火在 100 °C 的恒温箱中进行, 退火期间栅极浮空, 退火总时间 14h.

3 结果与讨论

3.1 N 的纵向分布

用 SMS 法获得的 N 及 Si-N 的纵向分布如图 1 所示. 试验条件为: 一次离子: O^+ , 能量 15keV, 束流 92nA, 扫描面积 $250 \times 250 \mu\text{m}^2$. 二次离子: 负离子, 能量 4.5keV, 分析区直径 $60 \mu\text{m}$, 真空度小于 $1.3 \times 10^{-6} \text{ Pa}$.

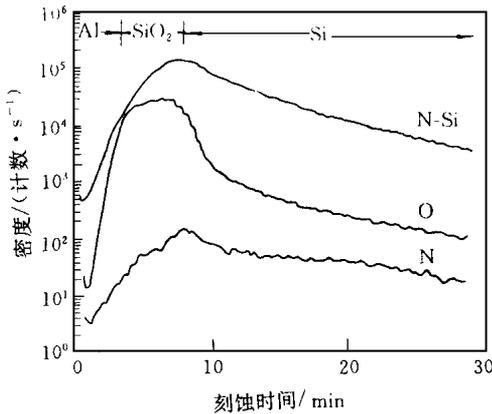


图 1 用 SMS 法获得的 N 的纵向分布

由图可见, N 大部分堆积在 SiO_2 栅介质内, 并在 Si/SiO_2 界面处形成峰值.

上述结果表明, 热氧 SiO_2 在 N_2O 气氛中退火方式能够将适量的 N 引入栅介质中, N 在栅介质中的存在主要是 Si-N 键形式.

3.2 初始 $C-V$ 特性

图 2 所示的是氮化物 (N_2O 退火) 与对比样品在两种辐照栅偏置状态下, 不同剂量辐照前后的 $C-V$ 曲线和界面态密度 D_{it} 分布的比较结果. 分析两种样品的初始 $C-V$ 特性可见: 栅介质中

N 的引入, 将使高频 $C-V$ 曲线发生明显的正向漂移. 表明 N 具有减少初始固定正电荷的能力. 这是由 N 的负电中心作用所致. 另外, 从准静态 $C-V$ 特性亦可以得到, 含 N 样品的初始 Si/SiO_2 界面态小于对比样品. 这是因为 N 键合了 Si/SiO_2 界面部分 Si 悬挂键的缘故.

3.3 电离辐射效应

由图 2 中两种样品辐照前后的数据还可得到:

(1) 无论是含氮样品还是对比样品, 高频 $C-V$ 曲线辐照后沿电压轴方向的变化很小, 即使是 $1 \times 10^7 \text{ rad}(\text{Si})$ 总剂量辐照也如此. 这表明, 薄栅样品电离辐照后的氧化物电荷变化很小. 这是因为辐射感生氧化物电荷的变化与栅氧层厚度一般呈平方指数的依赖关系, 当栅氧层很薄时, 这种变化就显得很微弱.

(2) 准静态 $C-V$ 曲线受辐照的影响很大, 表现为对比样品辐照后的畸变明显大于含氮样品, 这是由两者辐照感生界面态存在较大差异所造成的, 图 2(b) 中定量清楚地显示出, 无论是加偏置还是浮空辐照, 含氮样品都具有明显的抑制辐射感生界面态增加的特性. 这可归结为 Si-N 键部份替换了对辐射敏感的 Si-O 应力键, 从而导致 Si/SiO_2 界面应力释放, 以及 Si-N 键部份替换了对辐射敏感的 Si-H 弱键两种综合效应的结果^[11].

(3) 总剂量辐照后栅介质电容有所下降。栅介质电容下降的原因之一可能是, 在栅 SiO_2 内由辐照产生了大量的 $\text{Si}-\text{O}$ 断裂键, 从而出现许多微小裂缝并引起较大电流, 导致电容有效面积的减小而使栅介质电容下降; 另一个可能的原因是, 栅 SiO_2 内由工艺或辐照引起的缺陷较多时, 将在此区域发生局域击穿并产生瞬时大电流, 引起这一区域上面的铝栅熔化, 部分蒸发部分再结晶, 导致电容面积减小并引起电容下降^[12]。

3.4 辐照后退火

$1 \times 10^7 \text{ rad}$ (Si) 加偏总剂量辐照后, 把含氮样品和对比样品放置于 100°C 恒温箱中, 14 小时恒温退火前后的 D_{it} 随表面势 V_s 的分布结果示于图 3。

由图可见, 辐照后的恒温退火将使界面陷阱部分消失, 其中含氮样品界面态的退火速度小于对比样品, 表明栅介质中的 N 具有抑制界面陷阱退火的作用。可能的原因是, 100°C 的热作用可使部分因

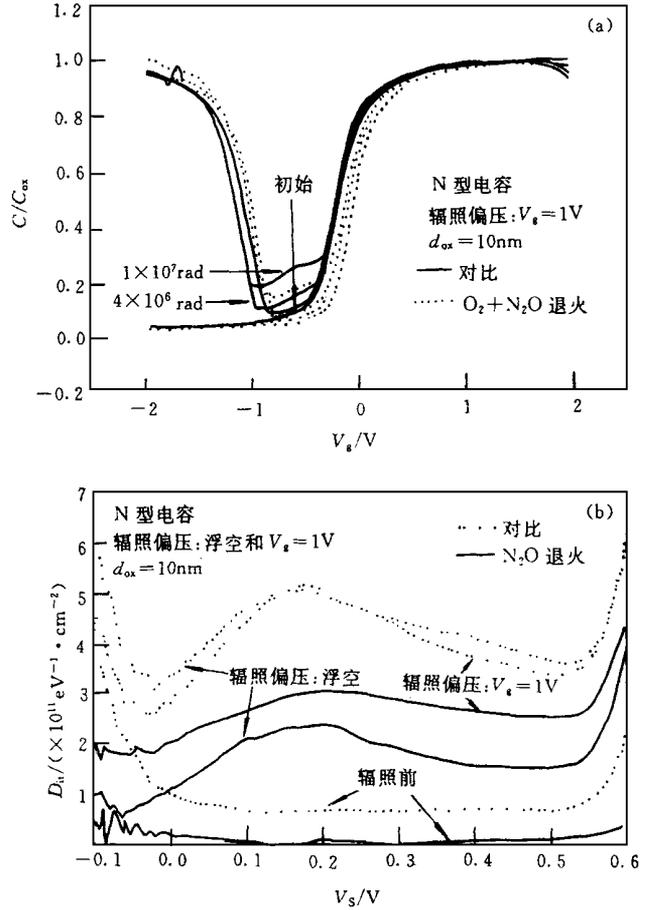


图 2 (a) 辐照前后对比样品与含 N 样品 $C-v$ 特性曲线的比较 (b) $1 \times 10^7 \text{ rad}$ (Si) 浮空和加偏置辐照前后的界面态分布

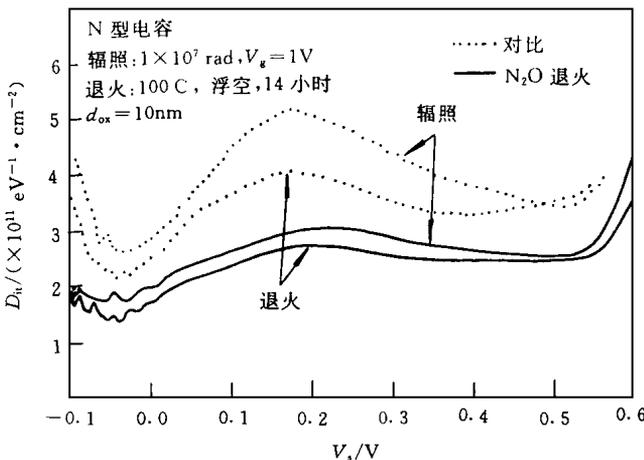


图 3 $1 \times 10^7 \text{ rad}$ (Si) 加偏置辐照和恒温退火后的界面态分布

辐射引起的断裂 $\text{Si}-\text{H}$ 、 $\text{Si}-\text{O}$ 键重新键合, 却不易使断裂的 $\text{Si}-\text{N}$ 键重新键合的缘故。这有待于实验的进一步证实。

4 结语

在薄栅 MOS 结构制备过程中, 通过 N_2O 退火方式向栅介质引入适量的 N 以后, N 主要堆积在 Si/SiO_2 界面附近, 并且具有减少初始固定正电荷和界面态、抑制辐射感生 Si/SiO_2 界面态、减小辐照后界面

陷阱的退火速率等特性 N 所具有的负电中心作用, 键合 Si/SiO₂ 界面部分 Si 悬挂键, 替换 Si-H 弱键, 释放 Si/SiO₂ 界面应力的综合作用, 是导致含 N 栅介质具有上述特性的主要原因

致谢 感谢美国 Yale 大学电子工程系 T. P. M a 教授所提供的实验样品

参 考 文 献

- [1] T. Ito, T. Nakamura and H. Ishikawa, J. Electrochem. Soc , 1980, **127**: 2053
- [2] M. Moslehi, K. C. Saraswat and S. C. Shatas, Appl Phys Lett , 1985, **47**: 1113
- [3] S. Haddad, IEEE Electron Device Lett , 1987, **8**(1): 58
- [4] H. Hwang, W. Ting, B. Maiti *et al* , Appl Phys Lett , 1990, **57**(10): 1010
- [5] M. Bhat, L. K. Han, D. Wristler *et al* , Appl Phys Lett , 1995, **66**(10): 1225
- [6] H. H. Tsai, IEEE Electron Device Lett , 1987, **8**: 143
- [7] T. Ito, H. Iwasaki , J. Electrochem. Soc , 1982, **129**: 184
- [8] J. Nulman, Appl Phys Lett , 1985, **47**: 148
- [9] 冯文修, 陈蒲生, 半导体学报, 1997, **18**(4): 269
- [10] R. I Hegde, P. J. Tobin, K. G. Reid *et al* , Appl Phys Lett , 1995, **66**(21): 2882
- [11] G. Q. Lo, J. Ahn and D. L. Kwang, IEEE Electron Device Lett , 1992, **13**(6): 341.
- [12] 高文钰, 严荣良, 大工一西, 半导体学报, 1996, **17**(2): 98

Characteristics of Ionizing Radiation and Annealing in Nitride Thin Oxide

Zhang Guoqiang, Lu Wu, Yu Xuefeng, Guo Qi, Ren Diyu, Yan Rongliang

(Xinjiang Institute of Physics, The Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011)

Received 18 October 1997, revised manuscript received 8 June 1998

Abstract The characteristics of ⁶⁰Co γ irradiation and post-irradiation annealing in N₂O nitride thin oxide have been investigated. The experimental data have shown that N introduced into thermal SiO₂ oxide results in the less generation of radiation-induced Si/SiO₂ interface states, the decrease of oxide charges and interface states induced by process, and the reducing post-irradiation annealing rate of interface traps. The experimental results of nitride oxides are attributed to the negative charge center of N, bonding silicon dangling bonds at Si/SiO₂ interface with N, the replacement of Si-H bonds by Si-N bonds and the relaxation of stress at Si/SiO₂ interface.

PACC: 7340Q; **EEACC:** 2550E, 2560R