

预先老化对注 F nMOS 器件辐射可靠性的影响

崔 帅 余学峰 任迪远 张华林 艾尔肯

(中国科学院新疆理化技术研究所, 乌鲁木齐 830011)

摘要: 对注 F 和未注 F CC4007 器件在 100 °C 高温老化后的 Co^{60} 辐照特性进行了研究. 研究发现辐照前的高温老化减少了注 F 器件在辐照中的界面态陷阱电荷的积累, 但是普通器件辐照前的高温老化在减少辐照中界面态积累的同时却增加了氧化物电荷的积累, 损害了器件的可靠性. 可见, 栅介质中 F 离子的引入可以明显提高器件的可靠性.

关键词: 预先老化; 辐照; 注 F; 可靠性

PACC: 7340Q **EEACC:** 0170N; 2570D

中图分类号: TN304 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-4177(2005)01-0111-04

1 引言

随着航空、航天技术和核技术的发展, 越来越多的电子元器件应用到航天和核武器系统中. 应用到空间环境中的器件不仅要求具有良好的抗辐射能力, 还要求有高稳定的可靠性.

上个世纪 90 年代, 国内外的研究发现向 Si/SiO₂ 栅介质中注入 F 可以抑制器件的辐射敏感性, 并在此基础上寻找出抑制电离辐射的最佳注 F 剂量以及注 F 对氧化物电荷、界面态的抑制模型^[1~3]. 但是注 F 器件还没有被应用到空间环境中, 主要原因是注 F 器件的可靠性没有保障, 有待进一步研究.

在常规可靠性的检测中, 高温老化经常被用来筛选器件的“初期失效”. 但在器件的抗辐射性能检测时常没有进行常规可靠性测试. 如果高温老化影响到辐照后的参数性能变化, 而在抗辐射测试中忽略其影响, 将无法得到准确的辐照加固数据. 研究预先老化在抗辐射加固中的作用, 对保证电子元器件的可靠性是很关键的.

以前关于高温对注 F 器件影响的研究多集中在高温环境中辐照和辐照后的高温退火方面. 在辐照前的预先高温老化对器件辐照特性的影响只有 Shaneyfelt 等人进行过研究^[4]. 国内在这方面尤其对

注 F 器件的研究还没有相关报道.

2 实验

实验采用国产 Si 栅注 F 和未注 F 的 CC4007 器件, 注 F 剂量为 $1 \times 10^{16} \text{F/cm}^2$. 辐照实验采用中国科学院新疆理化技术研究所的 Co^{60} 辐照源. 辐照前, 器件处于 100 °C 高温环境老化 10000min. 辐照剂量率为 190rad(Si)/s, 辐照累计剂量是 $1 \times 10^6 \text{rad(Si)/s}$. 在预先老化和辐照过程中, CC4007 器件中 nMOS 栅源之间加 +10V 偏压.

样品的 $I-V$ 亚阈特性测试采用 $V_{ds} = +0.1\text{V}$ 下测 $I_{ds}-V_{gs}$ 关系而得到. 阈电压采用恒流灌注法 (即灌注 $I_{ds} = 10\mu\text{A}$ 时所对应的 V_{gs} , 即为阈电压) 而得到. 然后采用亚阈分离技术^[4], 将阈值电压的变化 V_t 分离成由氧化物陷阱电荷引起的变化 V_{ot} 和由界面态陷阱引起的变化 V_{it} , 即

$$V_t = V_{ot} + V_{it}$$

按照美军标 MIL-M-38510 要求, 每次移位测量时间控制在 20min 之内.

3 预先老化的影响

表 1 为老化对注 F 和未注 F 器件引起的阈电压

崔 帅 男, 1978 年出生, 硕士研究生, 从事电子元器件可靠性研究. Email: cshuai1978@yahoo.com.cn

余学峰 男, 1964 年出生, 副研究员, 从事辐射电子学研究. Email: yuxf@ms.xjb.ac.cn

2003-11-23 收到, 2004-03-10 定稿

漂移 V_t , 以及由半带电压法分离得到的由氧化物电荷和界面态陷阱引起的阈值电压漂移 V_{ot} 和 V_{it} .

表 1 预先老化对注 F 器件和未注 F 器件的影响

Table 1 Influence of beforehand burr-in in fluorinated and no fluorinated

	V_t/V		V_{ot}/V		V_{it}/V	
	In F	No F	In F	No F	In F	No F
老化前	1.35	1.42	0.16	0.26	1.02	1.00
老化后	1.32	1.50	0.09	0.33	1.07	1.01

从表 1 可以看出, 老化对器件的影响很微弱, 在高温情况下注 F 阈值电压漂移为 $-0.03V$, 而未注 F 为 $0.08V$. 众所周知, 对于 n 沟道 MOS 器件来说, 氧化物电荷引起阈值电压负向漂移, 界面态引起阈值电压正向漂移. 观察由半带电压法分离出来的氧化物电荷和界面态陷阱对阈电压的贡献, 我们可以发现, 注 F 器件的漂移分别为 $-0.07V$ 和 $0.5V$, 而未注 F 器件的漂移为 $0.07V$ 和 $0.01V$, 这就是说普通器件的氧化物电荷在老化期间发生电荷数量的增减, 这有损器件的可靠性. 从中可以看出在老化期间, 与未注 F 器件相比注 F 器件具有很好的稳定性.

4 预先老化对辐射后性能变化的影响

图 1~3 为注 F 和未注 F 器件经过预先老化和没有经过预先老化在辐照中引起的阈值电压漂移.

分析图 1, 可以看出无论是否经过预先高温老化, 在同样辐照剂量的情况下, 注 F 器件比未注 F 器件阈值电压漂移的绝对值要小.

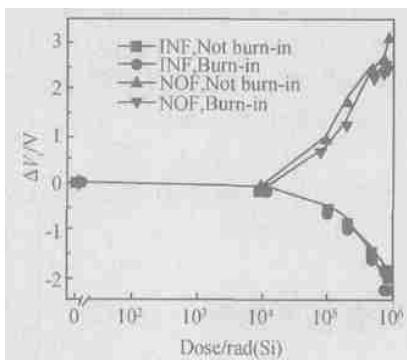


图 1 预先老化对注 F 器件和未注 F 器件辐照引起阈值电压漂移的影响

Fig. 1 Threshold-voltage shift versus total dose for fluorinated and no fluorinated with and without pre-irradiation at 100 , 10000min burr-in

我们可以看到预先老化对器件的辐射可靠性有一定影响. 在辐照累积剂量达到 10^4rad(Si) 之前, 器件之间的阈值电压漂移幅度没有差异. 在此之后随累积剂量的增长, 注 F 器件阈值电压负向漂移, 未注 F 器件正向漂移. 预先老化减小了未注 F 器件的阈值电压漂移, 对注 F 器件却是略微增大阈值电压漂移的幅度.

我们还看到预先老化对注 F 器件辐照特性的影响比未注 F 器件要小得多. 注 F 器件间最大差异出现在 $8 \times 10^5 \text{rad(Si)}$, 差异仅为 $0.2V$. 而对未注 F 器件, 辐照特性的最大差异则出现在累积剂量 $2 \times 10^5 \text{rad(Si)}$ 处, 为 $0.4V$ 左右. 这说明注 F 器件在实验模拟可靠性的测试中能获得比未注 F 器件更可靠的数据.

我们还注意到在总剂量达到 10^6rad(Si) 的时候, 注 F 器件出现反弹 (rebound) 现象.

图 2 为运用半带电压法分离而得的注 F 器件和未注 F 器件的氧化物电荷对阈值电压漂移的贡献. 分析图 2 可以看到在辐照累积剂量达到 10^5rad(Si) 时, 各器件的氧化物电荷积累几乎没有差异. 经过预先老化和未经预先老化的注 F 器件在整个辐照过程中氧化物电荷的增长近乎重合. 可以说预先老化对注 F 器件在辐照诱生氧化物电荷方面几乎没有影响; 但对于未注 F 器件, 经过预先高温老化的器件明显比没有遭受高温老化的器件辐照诱生的氧化物电荷要多.

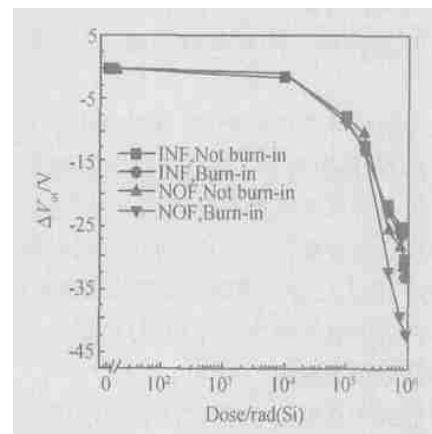


图 2 预先老化对注 F 器件和未注 F 器件的辐照诱生氧化物引起阈值电压漂移的影响

Fig. 2 Threshold-voltage shift due to oxide-trap for fluorinated and no fluorinated with and without pre-irradiation burr-in

图 3 为运用半带电压法分离得到的注 F 器件和未注 F 器件的界面态陷阱对阈值电压漂移的贡献. 分析图 3, 预先高温老化对器件在辐照中的界面态积累影响很大. 预先高温老化抑制了界面态的积累.

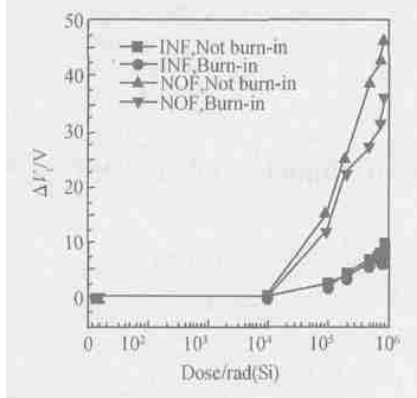


图 3 预先老化对注 F 器件和未注 F 器件的辐照诱导界面态引起阈值电压漂移的影响

Fig. 3 Threshold voltage shift due to interface trap for fluorinated and no fluorinated with and without pre-irradiation burn in

分析图 2, 3 可以看出辐照前的高温老化对未注 F 器件的可靠性造成很大影响; 但对注 F 器件, 预先高温老化与否对器件影响不大.

如果仅看图 1, 预先高温处理似乎对未注 F 器件的阈值电压漂移有抑制作用, 降低了器件的辐射敏感性. 实则不然, 预先高温老化虽然抑制了未注 F 器件的界面态积累, 但同时增加了氧化物电荷的积累, 没有从根本上解决器件的可靠性. 反之, 注 F 器件在辐照中预先老化不仅抑制界面态的积累, 而且氧化物电荷的积累也没有明显增多, 所以注 F 器件在可靠性方面更好一些.

5 分析

辐照在器件体内产生电子-空穴对, 在偏置电场的作用下, 电子以大于空穴几十倍的速度被扫出, 空穴则在电场的作用下向 Si/SiO₂ 界面移动, 在界面处被俘获, 形成氧化物电荷, 另外器件表面存在的杂质如 Na⁺, K⁺ 等离子也是影响阈值电压负向漂移的原因之一^[6,7]. 辐照前的高温老化将表面杂质激活, 使进入 Si/SiO₂ 界面的正离子增多, 所以在辐照中产生了比没有遭受高温的器件更多的氧化物电荷. F 离子作为负电中心, 可以中和表面杂质, 形成键能较

大、稳定的离子键^[8]. 辐照前的高温不足以产生断裂 Si-F 的能量, 所以辐照前是否遭受高温老化对注 F 器件影响不大.

另外从上述分析, 可以看出 F 离子的引入抑制了界面态增长. 界面态是指存在于 Si/SiO₂ 界面附近的电子能级, 是 Si/SiO₂ 界面应力区的 P_b 缺陷中心, 即为非饱和键合的硅悬挂键 SiO₂-Si 和 Si-Si^[8], 另外还包括 Si/SiO₂ 界面的 Si-O 应力键和 Si-OH, Si-H 弱键等. 在器件中注入 F 离子将对 Si/SiO₂ 界面和 SiO₂ 中的 E' 中心缺陷进行补偿, 另外 Si-F 键还可替换 Si-H 键和 Si-OH 键, 由于 Si-F 键比 Si-OH, Si-O 键的键能大得多, 在辐照时不容易断裂, 削弱了器件的辐照敏感性^[6]. 辐照前的高温老化可以促使 F 离子进一步结合和替换弱键, 所以减少了辐照中界面态陷阱的积累.

6 结论

通过以上分析, 我们可以得到: 在辐照中经过预先高温老化的普通器件与未预先高温老化的器件相比具有更多氧化物电荷积累和更少界面态电荷积累, 可见预先高温老化影响了非注 F 器件的可靠性. 对于注 F 器件, 预先高温老化对其可靠性没有什么影响, 和未注高温老化的器件相比, 只是辐照减少了界面态陷阱的积累. 可见 F 离子引入栅介质提高了器件的可靠性.

参考文献

- [1] Wang X W, Wang Y, Ma T P. Improvement of radiation hardness due to aging of fluorinated and chlorinated Si/SiO₂ MOS capacitors. IEEE Trans Nucl Sci, 1992; 39(6): 2252
- [2] Ma T P. Metal-oxide-semiconductor gate oxide reliability and the role of fluorine. J Vac Sci Technol, 1992, A10(4): 705
- [3] Ren Diyuan, Lu Wu, Yu Xuefeng, et al. Relativity of radiation damage in fluorinated CMOS operational amplifiers. Chinese Journal of Semiconductors, 2003, 24(7): 780 (in Chinese) [任迪远, 陆妩, 余雪峰, 等. 不同注 F 剂量与 CMOS 运放电路辐照损伤相关性. 半导体学报, 2003, 24(7): 780]
- [4] Shanefelt M R, Fleetwood D M, Schwank J R, et al. Effects of burn in on radiation hardness. IEEE Trans Nucl Sci, 1994, 41(6): 2550
- [5] McWhorter P J, Minokur P S. Simple technique for separating the effects of interface traps and trapped-oxide charge in metal-oxide-semiconductor transistor. Appl Phys Lett, 1986, 48(2): 133
- [6] Warren W L, Shanefelt M R, Fleetwood D M, et al. Electron and hole

- trapping in doped oxides. IEEE Trans Sci ,1995 ,42 (6) :1731
- [7] He Baoping , Yao Yujuan , Peng Honglun , et al. Influence of temperatures and radiation dose rate on NMOS device characteristic parameter. Chinese Journal of Semiconductors 2001 ,22 (6) :779 (in Chinese) [何宝平,姚育娟,彭宏论,等. 环境温度、电离辐射剂量率对 NMOSFET 器件特性参数的影响. 半导体学报, 2001, 22 (6) : 779]
- [8] Zhang Guoqiang. A study of effects, mechanism and hardness techniques of ionizing radiation/ hot carrier injection in MOS structures containing F or Cl or N. PhD Thesis, 1998 (in Chinese) [张国强. 含 F、Cl、N MOS 结构的电离辐射/ 热载子效应、机理及加固技术研究. 博士学位论文, 1998]

Effect of Burn-in on Irradiation Reliability of Fluorinated nMOSFET

Cui Shuai , Yu Xuefeng , Ren Diyuan , Zhang Hualin , and Arikun

(Xinjiang Institute of Physics and Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

Abstract : The influence of 100 h burn-in before radiation on fluorinated CC4007 nMOS and those no fluorinated is reported. It is found that the burn-in before radiation can reduce the interface-trap in irradiation ;but for no fluorinated in irradiation the interface-trap is reduced and oxide-trap is increased. The burn-in in 100 h before radiation can reduce the reliability for device no fluorinated. But introducing minute amounts of fluorinate ions can improve the reliability in irradiation.

Key words : radiation ; pre-irradiation ; burn-in ; fluorinated ; reliability

PACC : 7340Q **EEACC :** 0170N ; 2570D

Article ID : 0253-4177 (2005) 01-0111-04

Cui Shuai male, was born in 1978, graduate student. He is engaged in the research on micro-electronics reliability. Email : cshuai1978@yahoo.com.cn

Yu Xuefeng male, was born in 1964, associate researcher. He is engaged in the research on radiation electronics. Email : yuxf@ms.xjb.ac.cn

Received 23 November 2003, revised manuscript received 10 March 2004

©2005 Chinese Institute of Electronics