

一种抗辐照 SOI 反相器

赵洪辰¹ 海潮和¹ 韩郑生¹ 钱鹤¹ 司红²

(1 中国科学院微电子研究所, 北京 100029)

(2 钢铁研究总院, 北京 100081)

摘要: 制备了一种抗辐照 SOI 反相器, 增加了一个上拉 pMOS1 和一个额外的 nMOS1. 当受到辐照后, pMOS1 和 nMOS1 输出的高电平使下级输出管的源漏电压减小, 降低了漏电流, 有效地提高了输出端“高”电平. 实验证明, 该反相器在经受 $6 \times 10^5 \text{ rad}(\text{Si})$ 的辐照后, 输出“高”电平仍然未下降.

关键词: 辐照效应; 反相器; 输出高电平

EEACC: 2570D; 2570F

中图分类号: TN432

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2005)09-1829-04

1 引言

绝缘体上硅(SOI)技术实现了全介质隔离, 比体硅器件有更快的速度和更高的集成度^[1], 同时 SOI 中电荷收集体积很小, 具有天然的抗单粒子翻转和瞬时辐照能力^[2]. 但是由于埋氧化层(BOX)和 LOCOS 隔离的“鸟嘴”存在, 未经加固的 SOI 器件的抗总剂量辐照能力较弱, 甚至不及体硅. 目前已出现了多种抗辐照加固工艺, 如低温工艺^[3]、氮氧化硅栅介质^[4]、降低 BOX 氧注入剂量并同时进行氮注入^[5]、采用环形栅结构^[6]等. 而采用适当的电路设计, 同样能够在常规工艺和器件结构下, 有效地提高电路整体的抗辐照能力. 例如, 在 SRAM 存储单元中两个相反的反相器的栅和漏之间加上反馈电阻, 能够提高 SRAM 的抗单粒子事件和剂量率辐照能力. 电路设计同样能够应用于电路的抗总剂量辐照. 如图 1 所示的电路^[7], 放射量测定器测量器件阈值电压漂移量与总剂量之间的关系, 并产生一个反馈电压. 通过比较器将这个反馈电压与参考电压进行比较, 随后输出一个数字信号. 输出信号控制环振驱动电荷泵, 产生一个低于电路低电平的衬底参考电压, 从而使 nMOSFET 的阈值电压升高, 与辐照引起的阈值电压漂移相互抵消, 保持器件阈值电压的恒定.

本研究在 SIMOX 衬底上制备了一种抗辐照的反相器, 能够有效减小总剂量辐照对电路工作状态

的影响, 为 SOI 电路的进一步的抗辐照加固提供了一种选择.

2 器件制备

本研究应用部分耗尽工艺路线, 采用 LOCOS 隔离, 双多晶硅栅, 即 pMOS 采用 p^+ 多晶硅栅, nMOS 采用 n^+ 多晶硅栅. 选用 SIMOX 衬底, 硅膜厚度和埋氧层厚度分别为 197nm 和 370nm. SOI CMOS 工艺过程主要为: 光刻、刻蚀确定有源区; 场区充分氧化至埋氧层; 沟道注入调整阈值电压; 20nm 氮氧化硅合成栅介质; 形成 350nm 多晶硅栅; LDD/LDS 注入; 形成氧化物侧墙; 源漏注入; RTA; 淀积 Ti 形成自对准硅化物; 最后淀积 BPSG、刻蚀接触孔、淀积和刻蚀 Al 合金等.

图 1 和图 2 分别给出了 $20\mu\text{m}/1.2\mu\text{m}$ 的条形栅和 H 型栅 SOI nMOSFET 在经过辐照后的正栅和背栅亚阈值特性, 它们的工艺完全相同, 结构上唯一不同的是: H 型栅器件是无边缘器件. 在经受 $3 \times 10^5 \text{ rad}(\text{Si})$ 的辐照后, 条形栅器件的阈值电压变化不大, 但出现了约 1nA 的漏电流; 而 H 型栅器件在 $1 \times 10^6 \text{ rad}(\text{Si})$ 的辐照后仍然保持较好的性能. 与条形栅器件相比, H 型栅器件唯一的不同之处在于消除了边缘寄生通道. 可见, 制备器件所采用的氮氧化硅合成栅技术的抗辐照性能在 $1 \times 10^6 \text{ rad}(\text{Si})$ 以上, 边缘漏电成为限制器件抗辐照性能的主要因素.

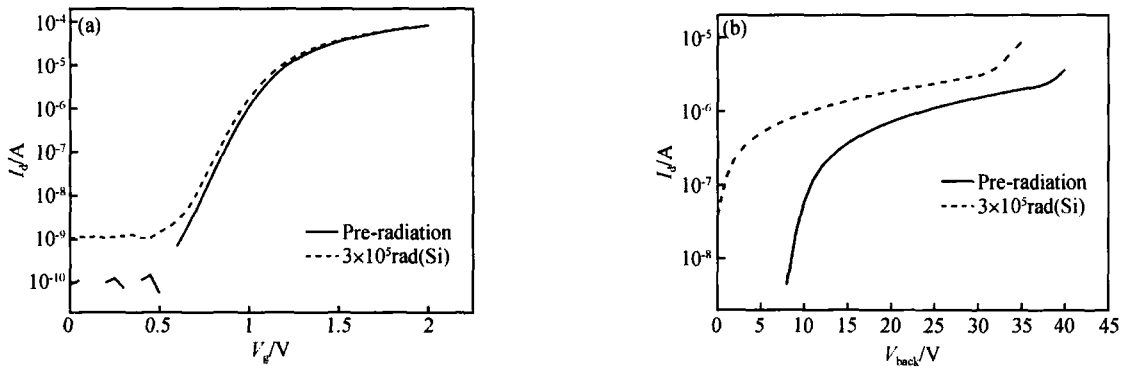


图 1 条形栅器件正栅(a)和背栅(b)辐照后的亚阈值特性

Fig. 1 Front (a) and back (b) gate subthreshold characteristics of traditional devices

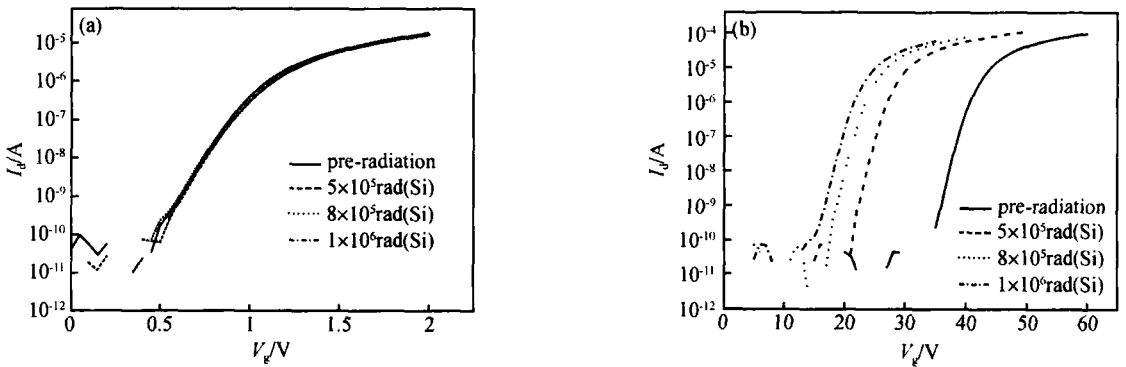


图 2 H型栅器件正栅(a)和背栅(b)辐照后的亚阈值特性

Fig. 2 Front (a) and back (b) gate subthreshold characteristics of H-type devices

3 电路分析

在传统的 CMOS 反相器中,辐照将使 MOS-FET 的阈值电压向负方向漂移,并使 nMOSFET 漏电,这会导致两种结果:(1)由于阈值电压的变化,导致转变特性向负方向漂移;(2) nMOS 漏电过大会导致输出端“高”电平下降.对于阈值电压的变化,能够利用氮化氧化合成栅技术加以解决,本论文重点解决的是高电平下降的问题.

减小 nMOS 器件漏电流的一个方法就是提高其源极电压,使源漏电压下降.在图 3(b)所示的反相器电路中,增加了一个上拉 pMOS(pMOS1),并在 nMOS2 下面引入一个额外的 nMOS(nMOS1).当输入电平为“高”时,pMOS1 将关闭,nMOS1 开启,则原始的反相器工作不受影响.nMOS1 和 nMOS2 处于串连状态.新的反相器电路比传统电路要慢一些,但可以通过增大 nMOS 的尺寸解决速度

问题.当输入电平为“低”时,pMOS1 起到上拉作用,使 pMOS1 和 nMOS1 的漏端连接点处于“高”电平.因此,nMOS2 能够更有效地关闭,其源漏电压很小,降低了漏电流,从而有效地提高输出端“高”电平,使其在 nMOS 经辐照漏电后,仍能保持在 V_{dd} 附近.

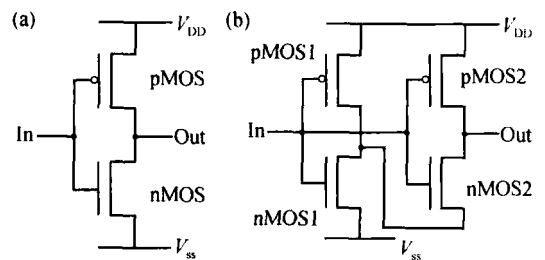


图 3 传统反相器(a)和抗辐照反相器(b)电路图

Fig. 3 Traditional (a) and radiation hardened (b) inverters

4 结果与讨论

为了验证这种设计的有效性,制备了传统的反相器和图 3(b)所示的反相器。pMOS 和 nMOS 采用条形栅器件, pMOS 的宽长比为 $40\mu\text{m}/1.2\mu\text{m}$, nMOS 的宽长比为 $20\mu\text{m}/1.2\mu\text{m}$,版图如图 4 所示。辐照过程中,样品的背栅和 V_{SS} 端接地, V_{DD} 端接 3V 电压,输入端接 3V 或 0V,输出端浮空。样品的全部测试在停止辐照后 1h 内完成。

在辐照过程中输入端加 0V 电压时,不同剂量辐照后的转变特性曲线如图 5 所示。传统反相器和新的反相器的输出“高”电平并未下降,只是整个曲线向左漂移,转变电压分别下降了 0.07V 和 0.06V,如图 7 所示。在辐照过程中输入端加 3V 电压时,转变特性曲线如图 6 所示。经过剂量为 $3 \times 10^5 \text{rad}(\text{Si})$ 的辐照后,传统反相器的输出“高”电平已经开始下降,当剂量增大到 $6 \times 10^5 \text{rad}(\text{Si})$ 时,降

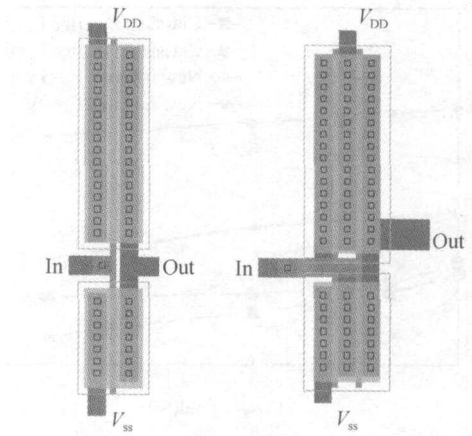


图 4 反相器版图 (a)常规反相器;(b)抗辐照反相器
Fig. 4 Layouts of traditional (a) and radiation hardened (b) inverters

幅达到 0.063V,转变电压下降 0.13V;而新的反相器在 $6 \times 10^5 \text{rad}(\text{Si})$ 的辐照后,输出“高”电平未发生任何下降,转变电压下降 0.1V。

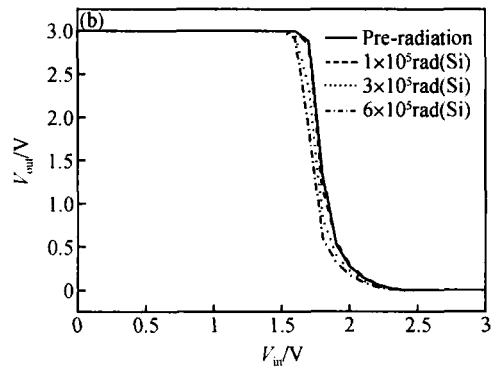
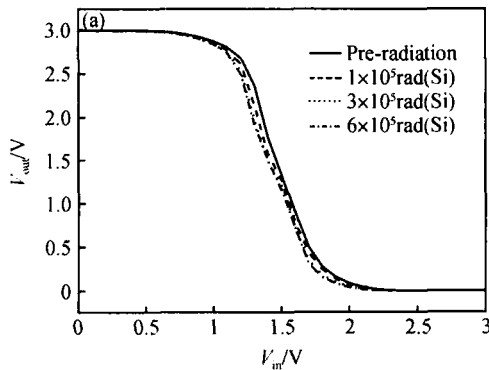


图 5 转变特性曲线 ($V_{in} = 0V$) (a)常规反相器;(b)抗辐照反相器

Fig. 5 Transfer characteristics of traditional (a) and radiation hardened (b) inverters ($V_{in} = 0V$)

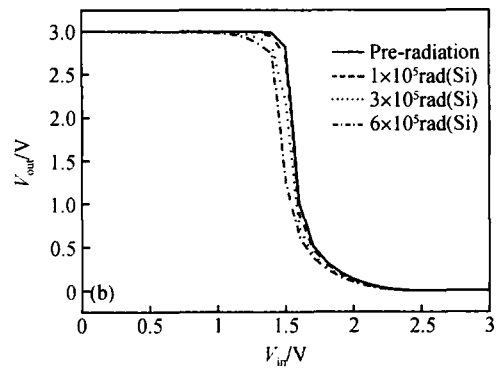
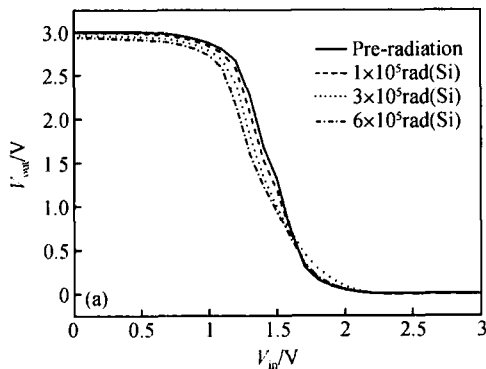


图 6 转变特性曲线 ($V_{in} = 3V$) (a)常规反相器;(b)抗辐照反相器

Fig. 6 Transfer characteristics of traditional (a) and radiation hardened (b) inverters ($V_{in} = 3V$)

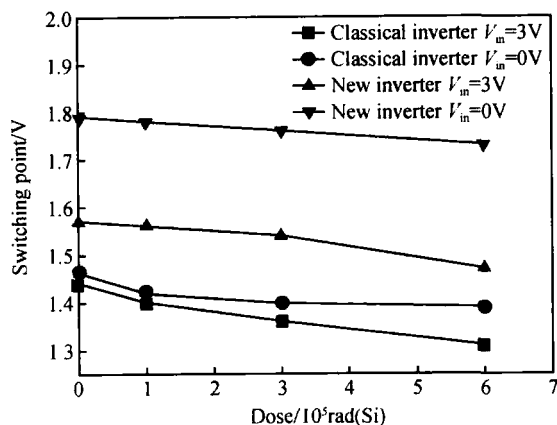


图 7 反相器的转变电压与总剂量的关系

Fig. 7 Transfer voltage as a function of dose

由以上结果可见,新的反相器电路在“高”电平的保持方面比传统反相器更加优秀,有更好的抗辐照性能.辐照过程中输入端加 3V 电压,对反相器的损伤明显更大.这主要是因为栅极加高电压时,nMOS 开启,pMOS 关闭,都处于最劣辐照条件;而栅极加 0V 时,nMOS 关闭,pMOS 开启,辐照对晶体管的影响较小.两种结构反相器的转变电压的变化基本一致,如图 7 所示,这主要是因为反相器的转变电压是与 nMOS 和 pMOS 的阈值电压相关的.而本研究中晶体管使用的是氮氧化合成栅介质,能够承受较高的辐照剂量,因此晶体管的阈值电压变化不大并保持一致.

5 结论

制备了一种新型的抗辐照反相器.与常规反相

器相比,增加了一个上拉 pMOS,并引入了一个额外的 nMOS.该反相器电路在输出“高”电平的保持方面比传统反相器更加优秀,在 6×10^5 rad(Si) 的辐照后输出“高”电平未发生任何下降.

参考文献

- [1] Liu Xinyu, Liu Yunlong, Sun Haifeng, et al. Characteristics on total-dose radiation hardness for CMOS/ SOI 4Kb SRAM. Chinese Journal of Semiconductors, 2002, 23(2): 213 (in Chinese) [刘新宇,刘运龙,孙海峰,等. CMOS/ SOI 4Kb SRAM 总剂量辐照实验. 半导体学报, 2002, 23(2): 213]
- [2] Zhao Hongchen, Hai Chaohe, Han Zhengsheng, et al. Radiation of SOI MOSFET with shallow source. Chinese Journal of Semiconductors, 2004, 25(6): 735 (in Chinese) [赵洪辰,海潮和,韩郑生,等. 源区浅结 SOI MOSFET 的辐照效应模拟. 半导体学报, 2004, 25(6): 735]
- [3] Leray J L, Dupont-Nivet E, Pere J L. CMOS/ SOI hardening at 100 Mrad(SiO₂). IEEE Trans Nucl Sci, 1990, 37: 2013
- [4] Lo G Q, Joshi A B, Kwong D L. Radiation hardness of MOSFET's with N₂O-nitrided gate oxides. IEEE Trans Electron Devices, 1993, 40: 1565
- [5] Ohno T, Takahashi M, Ohtaka A. Suppression of the parasitic bipolar effect in ultra-thin-film nMOSFET's/ SIMOX by Ar implantation into source/drain regions. IEDM Tech Dig, 1995: 627
- [6] Yoshimi M, Terauchi M, Murakoshi A. Technology trends of silicon-on-insulator—its advantages and problems to be solved. IEDM Tech Dig, 1994: 429
- [7] Shreedhara J K, Barnaby H L, Bhuvu B L. Circuit technique for threshold voltage stabilization using substrate bias in total dose environments. IEEE Trans Nucl Sci, 2000, 47: 2557

A Radiation Hardened SOI Inverter

Zhao Hongchen¹, Hai Chaohe¹, Han Zhengsheng¹, Qian He¹, and Si Hong²

(1 Institute of Microelectronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

(2 Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081, China)

Abstract: A radiation hardened SOI inverter with an additional pMOS1 and a nMOS1 is fabricated. When the inverter is irradiated, the source-drain voltage of nMOS in the inverter will be reduced by the high output voltage of pMOS1 and nMOS1. As a result, the leakage current decreases and the “high” output voltage will be maintained. After a radiation of 6×10^5 rad(Si), the output voltage does not decrease.

Key words: radiation; inverter; output voltage

EEACC: 2570D; 2570F

Article ID: 0253-4177(2005)09-1829-04