

多晶硅栅光刻前后注 F 对 MOS 器件辐照特性的影响

张国强 严荣良 余学锋 罗来会 任迪远

(中国科学院新疆物理研究所 乌鲁木齐 830011)

赵元富 胡浴红

(西安微电子技术研究所 临潼 710600)

摘要 分析研究了 H_2+O_2 合成栅氧化、多晶硅栅光刻前后注 F 和 P 的沟和 N 沟 NOSFET, 在最劣 γ 辐照偏置下的阈值电压和 $I_{ds}-V_{gs}$ 亚阈特性的辐射影响, 结果表明, 多晶硅栅光刻前注 F 比光刻后注 F 和未注 F, 具有更强的抑制辐射感生氧化物电荷积累和界面态生长的能力. 其辐射敏感性的降低可能归结为 SiO_2 栅介质和 Si/ SiO_2 界面附近 F 的浓度相对较大以及栅场介质中 F 注入缺陷相对较少所致.

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

1 引言

MOS 结构栅介质的抗辐射损伤研究日益受到人们的重视, 尤其是通过引入适量的 F 离子到 SiO_2 栅介质可以提高其抗辐射水平的研究^[1-7], 是当前抗辐射微电子领域的前沿课题. 大量研究表明, 电离辐射引起的 MOS 器件最主要的性能退化是阈值电压漂移和 $I_{ds}-V_{gs}$ 特性变化等, 并认为是由电离辐射感生的 Si/ SiO_2 界面态和 SiO_2 栅氧化层中氧化物电荷的增长积累引起. 为了克服电离辐射响应的研究^[8-14], 发现注 F 工艺强烈影响 MOS 栅介质的辐射响应. 本文报道了多晶硅栅光刻前后, 对氢氧合成栅氧化注 F 的 P 沟和 N 沟 MOSFET, 在不同偏置条件下辐照行为规律, 发现硅栅光刻前后注 F 对 MOSFET 的辐射响应有不同的影响. 这对于认识 F 的加固作用和机理都是非常重要的.

2 样品制备及测试

实验所用样品是 CC4007 双互补对加反相器的 Si 栅 P 沟和 N 沟 MOSFET, 制作在

张国强 男, 1962 年生, 副研究员, 从事 MOS 新栅场介质的辐射效应和机理的研究

严荣良 男, 1935 年生, 研究员, 从事抗辐射 LSI 机理和加固的研究

赵元富 男, 1962 年生, 高工, 从事抗辐射 LSI 工艺制备研究

1994 年 3 月 3 日收到初稿, 1994 年 8 月 2 日收到修改稿

3.5—4 $\Omega \cdot \text{cm}$ 、N(100)的硅衬底上,采用 $\text{H}_2 + \text{O}_2$ 栅氧化,栅氧化层厚度达 50nm,芯片封装在 14 脚双列直插式的管壳内.

注 F 工艺是栅氧化接着淀积 500nm 多晶硅后,分别于多晶硅栅光刻前后的表面上注入能量为 30keV 的 F 离子,然后于 N_2 中退火 30 分钟.

MOSSFET 的 $I_{\text{ds}}-V_{\text{gs}}$ 亚阈特性测试由 HP4140、HP3488 和 IBM—PC/XT 等组成的测试系统完成. 阈电压采用恒流注入法(即灌注 $I_{\text{as}}=10\mu\text{A}$ 时所对应的 V_{gs} 即为阈电压)而得到. 辐照在新疆物理所 Co-60 γ 源上进行,辐照剂量率为 $1 \times 10^2 \text{Gy}(\text{Si})/\text{min}$. 辐照期间所加栅偏压,PMOSFET 为 $V_{\text{gs}}=0\text{V}$,NMOSFET 为 $V_{\text{gs}}=10\text{V}$,从而构成 P(OFF)和 N(ON)两种辐照偏置状态.

3 实验结果

图 1 所示的是多晶硅栅光刻前后注 F 所制作的 PMOSFET 和 NMOSFET,在 P(OFF)和 N(ON)两种辐照偏置状态下的阈电压漂移与辐照累积剂量的依赖关系.

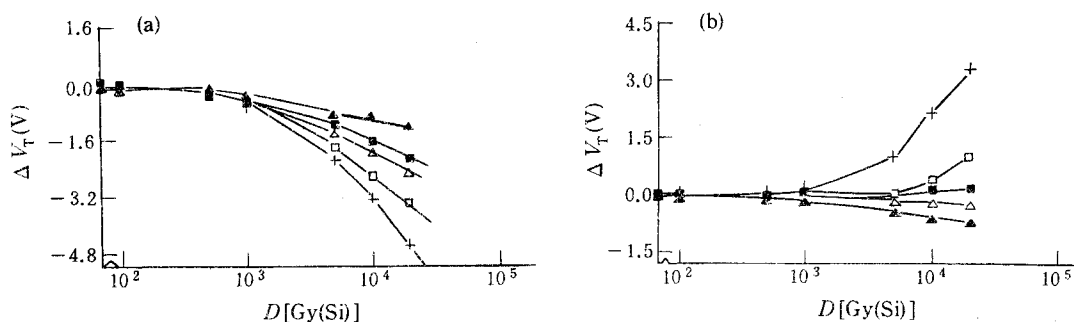


图 1 多晶硅栅光刻前后注 F 的 PMOSFET(a)和 NMOSFET(b),阈电压漂移与辐照累积剂量的关系

注 F 剂量 $2 \times 10^{15} \text{F}/\text{cm}^2$ 和 $1 \times 10^{16} \text{F}/\text{cm}^2$. 辐照偏压: (a) $V_{\text{gs}}=0\text{V}$, (b) $V_{\text{gs}}=10\text{V}$.

+ 未注 F; $\blacksquare$ $2 \times 10^{15} \text{F}/\text{cm}^2$, 光刻前; $\square$ $2 \times 10^{15} \text{F}/\text{cm}^2$, 光刻后;

$\blacktriangle$ $1 \times 10^{16} \text{F}/\text{cm}^2$, 光刻前; $\triangle$ $1 \times 10^{16} \text{F}/\text{cm}^2$, 光刻后

分析图 1(a)中数据可以得到,两种注 F 剂量下,多晶硅栅光刻前注 F 样品的阈电压漂移都小于多晶硅栅光刻后注 F 和未注 F 样品.

图 1(b)中的数据表明,在低辐照剂量下,阈电压负向漂移,而随辐照剂量的增加,阈电压开始正向回漂,但不同工艺条件的样品回漂速率有所区别,表现为:两种注 F 剂量下、多晶硅栅光刻前注 F 样品的阈电压正向回漂速率都明显小于多晶硅栅光刻后注 F 和未注 F 样品.

由此可见,多晶硅栅光刻前后注 F 的 MOSFET,具有不同的辐照响应结果. 多晶硅栅光刻前比光刻后注 F 和未注 F 具有更强的抑制辐射感生 PMOSFET 阈电压负向漂移和 NMOSFET 阈电压正向回漂的能力.

为了寻求引起阈电压呈上述变化的原因,给出多晶硅栅光刻前后注入 $2 \times 10^{15} \text{F}/\text{cm}^2$ 和 $1 \times 10^{16} \text{F}/\text{cm}^2$ F 离子所制作的 PMOSFET 和 NMOSFET 总剂量辐照前后的 $I_{\text{ds}}-V_{\text{gs}}$ 亚阈特

性曲线如图 2 所示。

由图 2(a) PMOSFET 的 $I_{ds}-V_{gs}$ 曲线辐射响应得到, 辐照前, 所有样品的初始 $I_{ds}-V_{gs}$ 曲线相差很小, 表明各种工艺对初始 $I_{ds}-V_{gs}$ 曲线影响微弱。 $2 \times 10^2 \text{ Gy}(\text{Si})$ 总剂量辐照后, 所有样品 $I_{ds}-V_{gs}$ 曲线发生负向漂移并伴随着畸变, 但不同注 F 条件的曲线差异明显, 主要表现为: 所有光刻前注 F 样品的 $I_{ds}-V_{gs}$ 曲线负向漂移和畸变都明显小于光刻后注 F 和未注 F 样品。

图 2(b) 关于 NMOSFET $I_{ds}-V_{gs}$ 曲线的辐射响应类似于图 2(a), 表现为光刻前注 F 对辐射感生 $I_{ds}-V_{gs}$ 曲线漂移(或正向或负向)和畸变的影响, 比光刻后注 F 和未注 F 小得多。

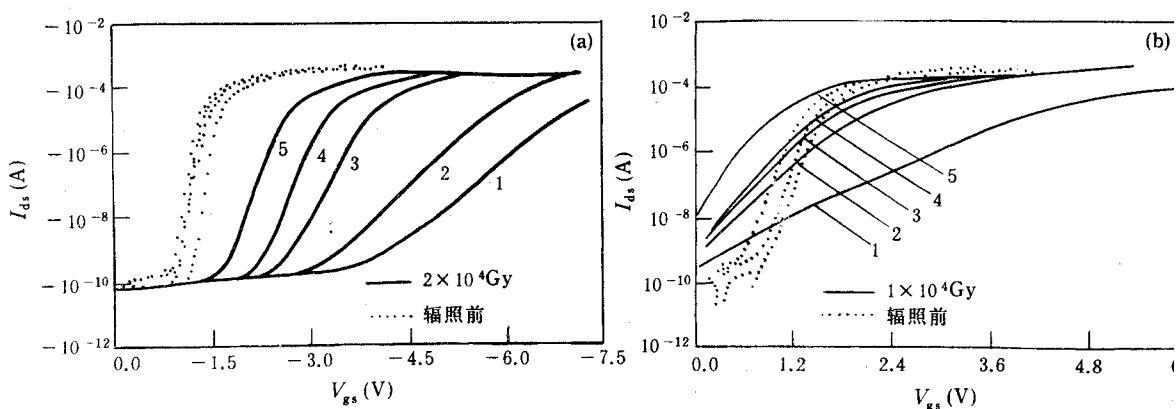


图 2 多晶硅栅光刻前后注 F 的 PMOSFET (a) 和 NMOSFET

(b) $I_{ds}-V_{gs}$ 亚阈特性曲线辐照前后比较

辐照偏压: (a) $V_{gs} = 0 \text{ V}$, (b) $V_{gs} = 10 \text{ V}$.

1: 未注 F; 2: $2 \times 10^{15} \text{ F/cm}^2$, 光刻后; 3: $1 \times 10^{16} \text{ F/cm}^2$, 光刻后;

4: $2 \times 10^{15} \text{ F/cm}^2$, 光刻前; 5: $1 \times 10^{16} \text{ F/cm}^2$, 光刻前

由此可见, 多晶硅栅光刻前注 F 比光刻后注 F 和未注 F, 具有更强的抑制辐射感生 $I_{ds}-V_{gs}$ 曲线漂移(正向或负向)和畸变的能力。

4 分析讨论

辐射感生 $I_{ds}-V_{gs}$ 亚阈特性曲线负向漂移和畸变是氧化物电荷和界面态生长积累的结果。辐射感生氧化物电荷越多, 负向漂移越大, 而畸变的大小与辐射感生 Si/SiO₂ 界面态的多少相对应^[8-10]。

图 2 的结果正好表明了, 无论是 NMOSFET 还是 PMOSFET, 多晶硅光刻前注 F 比多晶硅光刻后注 F 和未注 F, 具有更明显的抑制辐射感生氧化物电荷积累和界面态增长的特性。

对 PMOSFET 而言, 阈电压的负向漂移是辐射感生氧化物电荷和施主型界面态所引起的负向漂移二者之和构成, 随辐照剂量的增加, 阈电压呈负向漂移。对 NMOSFET, 阈电压漂移归结为辐射感生氧化物电荷所引起的负向漂移和受主型界面态所引的正向漂移二者的贡献, 在低辐照剂量下, 氧化物电荷积累占主导地位, 阈电压呈负向漂移, 而高辐照剂量后, 界面态增长速率大于氧化物电荷的积累, 从而使阈电压呈现正向回漂, 甚至超过初始阈电压

值,这称为“Rebound”现象^[15-16].

由于多晶硅栅光刻前比光刻后注 F 和未注 F,具有更强的抑制辐射感生氧化物电荷和界面态生长的能力,从而导致图 1 所示的阈值电压漂移特性.

适量的 F 离子引入 MOSFET 栅氧化物中,由于 F 对 Si/SiO₂ 界面应力具有释放作用,并且 F 能部分替换在辐照场中易成为电荷陷阱的 Si-H、Si-OH 弱键和 Si-O 应力键等^[8-14],所以栅介质中适量 F 的引入能减少辐射感生氧化物电荷和界面态的增长.

多晶硅栅光刻前后注 F 的剖面示意图如图 3 所示.分析两种注 F 方式可以推测,多晶硅栅光刻前注入 keV 的 F 离子,F 大部分堆积在离多晶硅表面几十纳米的多晶硅层中,而进入到 SiO₂ 栅介质中的 F 很少.这时 F 的注入损伤缺陷主要集中在多晶硅层中,对 SiO₂ 栅介质的损伤可忽略.而多晶硅栅光刻后注 F,由于边缘散射等作用,SiO₂ 栅介质的注入缺陷相对较多,并且场介质亦受到注入损伤.F 注入后于 900℃ 的 N₂ 中进行热退火,其作用主要是消除注入损伤、把 F 离子扩散进 SiO₂ 栅介质直至 Si/SiO₂ 界面、促使 F 替换 Si-H、Si-OH 等弱键和 Si-O 应力键成为 Si-F 键等.尽管对多晶硅光刻前和多晶硅光刻后注 F 样品进行了相同条件的退火,但后者 SiO₂ 栅介质的场介质的注入损伤缺陷在退火作用后仍多于前者,这是因为退火作用不可能完全消除注入损伤缺陷(特别是象 Si-H、Si-OH、Si-O 等中性缺陷).更为重要的是后者 SiO₂ 栅介质中以及 Si/SiO₂ 界面附近 F 离子浓度小于前者,这是因为多晶硅光刻后注 F 和 F 离子存在边缘散射的缘故.由于辐射感生电荷强烈地依赖于栅场介质中的缺陷以及 SiO₂ 栅介质和 Si/SiO₂ 界面 F 离子的浓度^[8-14],故多晶硅栅光刻前注 F 的样品,其辐射感生氧化物电荷和界面态的增长少于多晶硅栅光刻后注 F 和未注 F 样品.

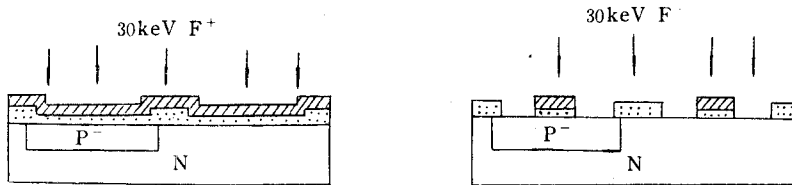


图 3 多晶硅栅光刻前(a)后(b)注 F 的剖面示意图

5 结束语

对 H₂+O₂ 合成栅氧化、多晶硅栅光刻前后注 F 的 NMOSFET 和 PMOSFET,进行了 Co-60 γ 辐照试验,分析辐射感生阈值电压漂移和 I_{ds} - V_{gs} 亚阈特性退化发现,多晶硅栅光刻前注 F 比多晶硅栅光刻后注 F 和未注 F,具有更明显的抑制辐射感生氧化物电荷积累和界面态增长的特性,从而导致前者具有较小的阈值电压漂移和 I_{ds} - V_{gs} 特性退化.其辐射敏感性的降低,可能是 SiO₂ 栅介质和 Si/SiO₂ 界面附近 F 的浓度相对较大以及注 F 引入栅场介质的缺陷相对较少造成的.

参 考 文 献

- [1] Y. Nishika, T. Itoga, K. Ohyu, *et al.*, IEEE Trans. Nucl. Sci., 1990, **37**(6):2026.
- [2] G. Q. Lo, W. Ting, D. L. Kwong, *et al.*, IEEE Electron Device Lett., 1990, **11**(11):511.
- [3] J. Ahn, G. Q. Lo and W. Ting, Appl. Phys. Lett., 1991, **58**(4):425.
- [4] W. X. Wen, W. Yu and W. Decheng, IEEE Trans. Nucl. Sci., 1992, **39**(6):2252.
- [5] G. Q. Lo, W. Ting and J. Ahn, IEEE Electron Device, 1992, **39**(1):148.
- [6] Y. Ono, M. Tabe and Y. Sakakibara, Appl. Phys. Lett., 1993, **62**(4):375.
- [7] L. Vishnubhotla, T. P. Ma and H. H. Tseng, IEEE Electron Device, 1993, **14**(4):196.
- [8] 严荣良, 张国强, 余学锋等, 固体电子学研究进展, 1992, **12**(4):348.
- [9] 张国强, 余学锋, 高文钰等, 固体电子学研究进展, 1993, **13**(1):45.
- [10] 张国强, 余学锋, 高剑侠等, 固体电子学研究进展, 1993, **13**(2):165.
- [11] 张国强, 余学锋, 高文钰等, 核技术, 1993, **16**(6):365.
- [12] 张国强, 严荣良, 余学锋等, 半导体学报, 1994, **15**(1):64.
- [13] 张国强, 严荣良, 余学锋等, 任迪远, 赵元富, 胡浴红, 王英明等, 核技术, 1994, **17**(4):348.
- [14] Zhang Guoqiang, Yan Rongliang, Yu Xuefen *et al.*, Nucl. Sci. and Tech., 1994, **5**(2):124.
- [15] J. R. Schrank, P. S. Winokur and P. J. Mcwhorter, IEEE Trans. Nucl. Sci., 1984, **31**(6):1434.
- [16] A. H. Johnston, IEEE Trans. Nucl. Sci., 1984, **31**(6):1427.

Effects of Fluorine Implantation before and after Polysilicon Gate Lithograph on Radiation Characteristics of MOS Devices

Zhang Guoqiang, Yan Rongliang, Yu Xuefeng, Lo Laihui, Ren Diyuan

(Xinjing Institute of Physics, the Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011)

Zhao Yuanfu and Hu Yuhong

(Xi'an Microelectronics Techniques Institute, Linton 710600)

Received 3 March 1994, revised manuscript received 20 August 1994

Abstract The γ -ray irradiation responses of Si gate P and N channel MONFETs for 30keV fluorine implantation before and after polysilicon gate lithograph with H_2+O_2 gate oxidation under worst irradiation bias have been investigated. For suppressing the radiation-induced threshold voltage shifts, controlling oxide charge and interface state generation, fluorine introduction before polysilicon lithograph is a better implantation technology than that after polysilicon lithograph or no fluorine introduction. The less radiation sensitivity should be attributed to the higher fluorine concentration in SiO_2 gate oxide and on Si/ SiO_2 interface as well as the less implantation defects in gate and field dielectrics.

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