

氮化 H_2-O_2 合成薄栅氧抗辐照特性

刘新宇¹ 刘运龙¹ 孙海锋¹ 海潮和¹ 吴德馨¹ 和致经² 刘忠立²

(1 中国科学院微电子中心, 北京 100029)

(2 中国科学院半导体研究所, 北京 100083)

摘要: 对氮化 H_2-O_2 合成薄栅氧抗辐照性能进行了研究, 将 H_2-O_2 合成和氮氧化栅两种技术结合起来, 充分利用两者的优点制成三层结构的 Sandwich 栅, 对比常规氧化、 H_2-O_2 合成氧化和氮化 H_2-O_2 合成氧化三种方式及不同退火条件, 得出氮化 H_2-O_2 合成氧化方法抗辐照性能最佳, 采用硅化物工艺加快速热退火是未来抗辐照工艺发展的趋势; 并对氮化 H_2-O_2 合成栅的抗辐照机理进行了研究.

关键词: 氮化 H_2-O_2 合成; 抗辐照; 快速热退火

EEACC: 2550E; 2560R; 2570D

中图分类号: TN406

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2001)12-1596-04

1 引言

众所周知, 电离辐照损伤主要是在 MOSFET 的 SiO_2 层中产生大量陷阱电荷和在 Si/ SiO_2 界面产生大量界面态, 因而对器件辐照性能影响最大的是栅氧化层的辐照能力. 1974 年, Anbucbon 首次提出 SiO_2 的抗辐照能力与氧化条件有关. 通过近几十年对栅氧化工艺的大量研究, 得到了适用于加固工艺的氧化条件: 低温 H_2-O_2 合成氧化, 严格控制栅氧前硅片的清洗处理和炉管清洗, 选择适当的退火条件, 并尽量减薄氧化层厚度. 与干氧氧化相比, 低温 H_2-O_2 合成氧化有如下一些优点: (1) 干氧制备的 SiO_2 层中空穴迁移率比湿氧 SiO_2 中的高, 因此, 用 H_2-O_2 合成氧化法制备的 SiO_2 层中, 在空穴运动到界面附近被空穴陷阱俘获之前, 被电子复合的几率较大; (2) H_2-O_2 合成氧化的温度仅 $850^\circ C$, 比干氧氧化的温度低得多, 因此, 产生的缺陷少, 相应地由于辐射产生的陷阱电荷也少; (3) 采用 H_2-O_2 合成氧化法制备的氧化层抗辐射能力明显增强, 这是因为辐射电荷的产生与 SiO_2 层中的电子、空穴陷阱都有关系, H_2-O_2 合成氧化法制备的 SiO_2 层中含有较多的 OH^- 基, OH^- 基是电子陷阱, 它产生的负电荷积累

补偿了一部分正电荷的作用. 但 H_2-O_2 合成氧化法本质上就是水汽氧化, SiO_2 的生长速率很快, 且生成的 SiO_2 层较疏松, 针孔多, 击穿电压低, 氧化层界面电荷密度较大. 制备栅氧存在介质击穿场强低、抗热电子效应差的缺点, 随着器件尺寸的缩小, 上述问题将严重制约 H_2-O_2 合成氧化法在工艺中的应用.

2 氮化 H_2-O_2 合成薄栅氧工艺

目前, 国内外有关氮氧化栅的报道很多^[1,2], N_2O 退火氮化氧化的栅介质同常规的氧化栅介质相比, 能有效地提高击穿特性、抑制热载流子效应和提高抗 FN 应力损伤. 同时由于氮化促使 Si—N 键代替 Si—O 键, 抑制界面态产生, 可能提高抗辐射能力. 但直接生长的氮化氧化栅存在自限制生长特性, 难以满足工艺的要求. 为此, 我们将 H_2-O_2 合成和氮氧化栅两种技术结合起来, 充分利用两者的优点制成三层结构的 Sandwich 栅^[3] (见图 1), 可改善击穿特性和抗辐射能力, 其中氮氧化栅采用两步氮氧化法. 其工艺流程如下:

HF/IPA 清洗—— N_2O 氮氧化栅 3nm, $850^\circ C$ —— H_2-O_2 合成栅 8nm, $850^\circ C$ —— N_2O 氮氧化栅 3nm, $850^\circ C$ ——退火 N_2 30min, $850^\circ C$.

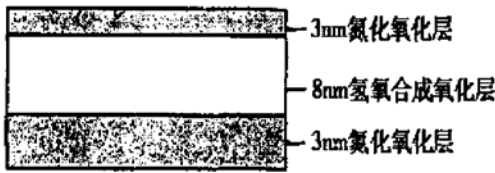


图 1 三层结构的 Sandwich 栅

FIG. 1 Three-Layer of "Sandwich" Gate Oxide

3 SOI MOSFET 电容抗辐照实验

我们采用常规氧化、H₂-O₂ 合成氧化和氮化 H₂-O₂ 合成氧化三种方式进行 18nm 栅介质的生长, 并进行了 RTA 退火和硅化物技术的处理. 在此工艺的基础上制作 P 型 (100) 200μm × 200μm 的 MOS 电容进行辐照实验和研究, 样品编号及 MOS 电容形成条件见表 1.

表 1 MOS 电容形成条件

Table 1 MOS Capacitor in Different Conditions		
样品号	氧化方式	退火条件
1 [#]	常规氧化	热退火 900℃ 30min
2 [#]	常规氧化	RTA 975℃ 5s
3 [#]	H ₂ -O ₂ 合成氧化	热退火 900℃ 30min
4 [#]	H ₂ -O ₂ 合成氧化	RTA 975℃ 5s
5 [#]	H ₂ -O ₂ 合成氧化	硅化物, RTA 975℃ 5s
6 [#]	氮化 H ₂ -O ₂ 合成	热退火 900℃ 30min
7 [#]	氮化 H ₂ -O ₂ 合成	RTA 975℃ 5s
8 [#]	氮化 H ₂ -O ₂ 合成	硅化物, RTA 975℃ 5s

对上述样品进行辐照实验, 并在辐照前和辐照后测量其 C-V 特性, 从而得到不同氧化条件和退火条件制备的栅氧化层的质量和抗辐照性能. γ 射线辐照实验在中国科学院生物物理所的 Co 源上进行, 辐射的剂量率为 280rad(Si)/s, 总剂量为 3 × 10⁵rad(Si), 辐照时电容加偏压 1MV/cm. 图 2 给出样品辐照前后 C-V 特性比较. 从图中可见, 样品辐照前后均发生了 C-V 特性变化, 下面我们对其详细评估.

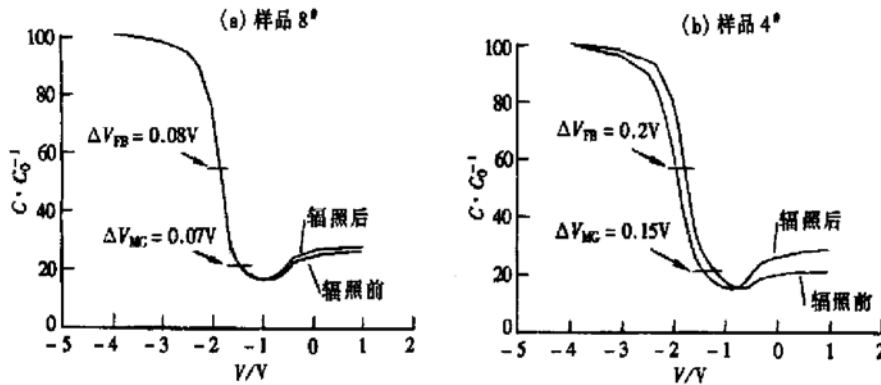


图 2 样品辐照前后 C-V 特性比较 (a) 样品 8[#]; (b) 样品 4[#]

FIG. 2 C-V Characteristics of Sample Before/After Radiation (a) Sample 8[#]; (b) Sample 4[#]

我们采用辐照前后的 C-V 曲线界面态之变化量 ΔD_{it}、强反型开始的电压差 ΔV_T、中带电压差 ΔV_{MG} 来表征栅氧的抗辐照特性. 从辐照前后 C-V 特性比较中, 可以获得 ΔV_T、ΔV_{MG} 和平带电压差 ΔV_{FB} 等数据. 根据文献[4, 5], ΔD_{it} 可由 ΔV_{FB} 和 ΔV_{MG} 计算得到:

$$\Delta D_{it} = \frac{\epsilon_{SiO_2} \epsilon_0 |\Delta V_{MG} - \Delta V_{FB}|}{t_{SiO_2} k T \ln \left(\frac{N_{ch}}{N_i} \right)}$$

式中 ε_{SiO₂} 为 SiO₂ 相对介电常数; ε₀ 为真空介电常数; t_{SiO₂} 为厚度; N_{ch} 为 Si 衬底掺杂浓度; N_i 为硅的本征载流子浓度.

表 2 给出样品辐照前后的测量结果和抗辐照评价, 从表中的结果可以得到以下结论:

- (1) 在三种氧化方式中, 优选的条件是氮化 H₂-O₂ 合成氧化方法, H₂-O₂ 合成氧化方法次之, 而常规氧化方法在辐照前后的阈值和界面态的变化量过大, 无法满足应用要求;
- (2) 快速热退火 (RTA 975℃ 5s) 效果一般稍逊于 900℃ 30min 热退火, 但可以满足抗辐照的需求;
- (3) 采用硅化物工艺加快速热退火 (RTA 975℃ 5s), 其抗辐照性能达到 900℃ 30min 热退火, 它是未来抗辐照工艺发展的趋势.

表 2 样品辐照前后的测量结果和抗辐照评价

Table 2 Results of Samples Before/After Radiation

样品	$\Delta V_T/V$	$\Delta V_{FB}/V$	$\Delta V_{MG}/V$	$\Delta D_{it}/\text{cm}^{-2}$	评价
1 [#]	-0.2	-0.2	-0.3	2.5×10^{11}	次
2 [#]	-0.5	-0.4	-0.5	2.5×10^{11}	劣
3 [#]	-0.14	-0.2	-0.15	1.25×10^{11}	良
4 [#]	-0.17	-0.2	-0.15	1.25×10^{11}	良
5 [#]	-0.15	-0.2	-0.23	9.8×10^{10}	良
6 [#]	-0.08	-0.07	-0.05	3.3×10^{10}	优
7 [#]	-0.1	-0.10	-0.085	4.9×10^{10}	良
8 [#]	-0.09	-0.08	-0.07	3.3×10^{10}	优

4 氮化 H₂-O₂ 合成栅抗辐照机理

根据上述的抗辐照结果可以得出,氮化具有改善栅介质可靠性和抗辐照能力的作用.下面我们从微观的角度探讨氮化提高栅介质可靠性和抗辐照能力的机理^[5-7]:

(1) N₂O 氮化引入的 N 同栅介质内的 Si—Si 键和硅悬挂键结合,可降低空穴俘获陷阱密度;

(2) N₂O 氮化在 Si/SiO₂ 界面引入 Si—N 键代替界面 Si—O 应力键,抑制了 FN 应力和辐照下界面态的产生;

(3) Si—N 键替换了体内 Si—O 应力键和弱键抑制了 FN 应力和辐照下 Si—O 键的断裂,降低了 FN 应力和辐照下电子俘获产生速率;

(4) N₂O 氮化减少了栅介质体内的硅悬挂键,即减少了多晶硅工艺过程中 H 引入栅介质形成 Si—H、Si—OH 弱键,减低了电子俘获陷阱密度;

(5) 氮化引入的 N 可以起“补网”和“缝合”的作用,把缺陷即不完整的键有机地结合为较牢固的结构,降低缺陷密度,提高栅介质的完整性和抗辐照能力;多晶硅掺杂后的激活退火会进一步促进 N “缝合”缺陷和缺陷团,降低缺陷密度,提高栅介质的完整性和抗辐照能力;

(6) 采用快速退火技术会对界面应力稍有增加,导致栅介质的完整性和抗辐照能力稍有下降,但从激活杂质退火角度,快速退火技术优于常规退火,因而需要对其进行折衷考虑;

(7) 采用硅化物技术可适当地降低快速退火技术导致的界面应力,有利于栅介质的完整性和抗辐照能力的提高,这是未来抗辐照工艺发展的趋势.

5 结束语

本文对栅介质的氧化方式、退火方式对器件 γ 射线辐照实验和抗辐照微观机理进行研究,获得如下结果:

(1) 在三种氧化方式中,优选的条件是氮化 H₂-O₂ 合成氧化方法, H₂-O₂ 合成氧化方法次之,而常规氧化方法在辐照前后阈值和界面态的变化量过大,无法满足应用要求;

(2) 快速热退火(RTA 975°C 5s)效果一般稍逊于 900°C 30min 热退火,但可以满足抗辐照的需求;采用硅化物工艺加快速热退火(RTA 975°C 5s),其抗辐照性能达到并超过 900°C 30min 热退火,它是未来抗辐照工艺发展的趋势.

(3) N₂O 氮化引入的 N 同栅介质内的 Si—Si 键、Si—O 应力键和硅悬挂键结合, Si—N 键代替界面 Si—O 应力键,可降低空穴俘获陷阱密度和电子俘获陷阱密度;氮化引入的 N 可以起“补网”和“缝合”的作用,把缺陷即不完整的键有机地结合为较牢固的结构,降低缺陷密度,提高栅介质的完整性和抗辐照能力.

参考文献

- [1] P. T. Lai *et al.*, IEEE Trans. Electron Devices, 1999, **46**(12): 2311—2314.
- [2] Gao Wenyu, Formation Techniques and Characteristics of Thin Gate Dielectric, PhD Dissertation of Institute of Semiconductors, The Chinese Academy of Sciences, 2000[高文钰,薄栅介质的制备与特性研究,中国科学院半导体研究所博士学位论文,2000].
- [3] Liu Xinyu, Investigation of CMOS/SOI 64Kb SRAM, PhD Dissertation of Microelectronic R & D Center, The Chinese Academy of Sciences, 2001[刘新宇, CMOS/SOI 64Kb 静态随机存储器研究,中国科学院微电子中心博士学位论文,2001].
- [4] Liu Zhongli, Chinese Journal of Semiconductors, 2001, **22**(7): 904[刘忠立,半导体学报,2001, **22**(7): 904].
- [5] Sigurd Wagner *et al.*, RCA Scientific Instrument, 1992, **43**(12): 1775—1779.
- [6] T. P. Ma and D. V. Dressendorfer, Ionizing Radiation Effects in MOS Devices and Circuits, New York, 1989.
- [7] Y. Okada and P. J. Tobin, Appl. Phys. Lett., 1993, **63**(2): 194.

Radiation Characteristics of N₂O-Annealed H₂-O₂ Grown Oxide

LIU Xin-yu¹, LIU Yun-long¹, SUN Hai-feng¹, HAI Chao-he¹, WU De-xin¹,
HE Zhi-jing² and LIU Zhong-li²

(1 *Microelectronics R&D Center, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China*)

(2 *Institute of Semiconductors, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China*)

Abstract: The ionizing-radiation characteristics of the nitrated thin gate oxide grown in H₂-O₂ ambient are presented. Considering the advantages of both H₂-O₂ oxidation and nitridation, a three-layer-structure "Sandwich" gate oxide is fabricated. Compared with other methods, such as normal dry O₂ oxidation, H₂-O₂ oxidation and different annealing processing, the nitrated H₂-O₂ grown oxide, combined with silicide and RTA process, is considered to be the optimum process for radiation hard technology. Its radiation hardness mechanism is also discussed.

Key words: nitridation and H₂-O₂ oxidation; radiation-hard; RTA

EEACC: 2550E; 2560R; 2570D

Article ID: 0253-4177(2001)12-0000-04