

注 F 短沟 MOSFET 的沟道热载流子效应

韩德栋 张国强 余学峰 任迪远

(中国科学院新疆物理研究所, 乌鲁木齐 830011)

摘要: 通过对短沟 NMOSFET 的沟道热载流子效应研究, 发现在短沟 NMOSFET 栅介质中引入 F 离子能明显抑制因沟道热载流子注入引起的阈电压正向漂移和跨导下降以及输出特性曲线的下移。分析讨论了 F 抑制沟道热载流子损伤的机理。Si—F 键释放了 Si/SiO₂ 界面应力, 并部分替换了 Si—H 弱键是抑制热载流子损伤的主要原因。

关键词: 注 F; MOSFET; 热载流子

PACC: 7340Q EEACC: 2550E; 2560R

中图分类号: TN 386. 1 文献标识码: A 文章编号: 0253-4177(2001)05-0618-04

1 引言

随着微电子技术的迅速发展, MOS 器件尺寸已经发展到了亚微米区域。器件尺寸不断减小的同时器件的工作电压却没有等比减小, 这就在器件沟道区产生很高的电场。载流子在高电场的作用下获得足够的能量, 形成大量的热载流子。这些热载流子能够越过 Si/SiO₂ 界面势垒, 注入到栅氧化层中, 在 Si/SiO₂ 界面产生界面态, 或被栅氧化层中的陷阱俘获产生氧化物正电荷的积累, 从而导致器件特性的退化。因此, 热载流子的大量产生成为限制大规模集成电路进一步发展的主要因素之一。所以, 需要进一步深入研究热载流子效应的机理和寻求抑制热载流子效应的方法途径。

最近几年, 国内外报道了很多有关热载流子研究成果^[1-4], 短沟道 MOSFET 的热载流子损伤特性研究也取得了很大进展。但关于注 F MOSFET 的热载流子效应研究在国内却未见报道。本文采用注 F 工艺制作 NMOSFET, 并进行了沟道热载流子损伤特性研究, 获得了注 F 栅介质具有明显抗热载流子损伤的重要结果, 这对寻求抑制短沟薄栅 MOS 结构的热载流子效应的方法途径是非常有意义的。

2 实验样品和实验方法

实验所用样品为 Si 栅 N 沟 MOSFET, 制作在 $10\Omega \cdot \text{cm}$, P(100) 的硅衬底上, 850°C 湿氧栅氧化, 栅氧化层厚度 18nm, 多晶硅厚度 350nm, 沟道长度 0.8μm, 宽度 0.8μm。芯片封装在 28 脚双列直插式的管壳内。

注 F 条件为: 湿氧栅氧化并淀积多晶硅后注 F, 注 F 能量为 25keV, 剂量 $3 \times 10^{15} \text{F/cm}^2$, F 注入到多晶硅栅和漏源区后紧接着在 950°C 的 N₂ 中退火 10min。F 注入深度大约为 25nm, 小于多晶硅厚度的 1/10, 浅注入的目的是为了减小对栅氧化层的损伤。

沟道热载流子注入条件是: 衬底 $V_{\text{sub}} = 0\text{V}$, 源极 $V_s = 0\text{V}$, 栅极 $V_g = 5\text{V}$, 漏极 $V_d = 10\text{V}$ 。NMOSFET 的亚阈特性 $I_{ds}-V_{gs}$ (测试时 $V_{ds} = +0.1\text{V}$) 和输出特性 $I_{ds}-V_{ds}$ 测试由 HP4140、HP3488、IBM-PC/XT 等组成的测试系统完成。阈电压采用恒流定义法(即定义 $I_{ds} = 10^{-7}\text{A}$ 时所对应的 V_{gs} 值即为阈电压)而获得。NMOSFET 的线性区跨导根据 $g_m = (\Delta I_{ds}/\Delta V_{gs})|_{V_{ds}=\text{const}}$ 在亚阈 $I_{ds}-V_{gs}$ 曲线上计算得到。

韩德栋 男, 1970 年出生, 研究生, 从事 MOS 结构的热载流子效应的研究。

张国强 男, 1962 年出生, 研究员, 从事 MOS 新介质、辐射效应和机理的研究。

2000-04-12 收到, 2000-07-14 定稿

©2001 中国电子学会

3 实验结果

对未注 F 和注 F 剂量为 $3 \times 10^{15} \text{ F/cm}^2$ 的 NMOSFET 样品分别进行了沟道热载流子注入损伤特性的研究, 其结果如图 1—4 所示。图 1 表示的是两种样品的 I_{ds} - V_{gs} 亚阈特性曲线在 3000s 沟道热载流子注入前后的变化关系。由图可见, 注 F 与未注 F 样品的亚阈特性曲线都随沟道热载流子注入时间增加而正向漂移, 但注 F 样品的漂移比未注 F 样品小。

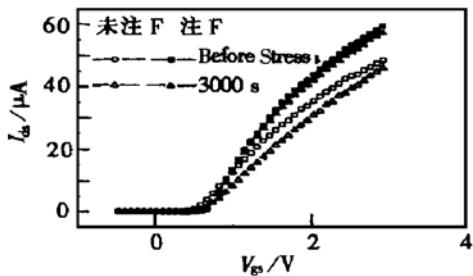
图 1 I_{ds} - V_{gs} 关系曲线FIG. 1 Curves of I_{ds} - V_{gs}

图 2 表示的是未注 F 与注 F NMOSFET 的阈电压随沟道热载流子注入时间的变化关系。从图中可以看出: NMOSFET 的阈电压随着沟道热载流子注入时间的增加而增大。未注 F 样品的阈电压增加速度很快, 而注 F 样品的阈电压随沟道热载流子注入时间的变化却很小。由此可见, F 能够起到抑制阈电压漂移的作用。

图 3 表示了归一化的最大线性区跨导 g_{max}/g_{max0} 随沟道热载流子注入时间的变化关系。由图可见, 未注 F 与注 F 样品的最大跨导都随着注入时间

的增加而下降, 但注 F 样品最大跨导的下降比未注 F 的样品慢。因此, 注 F 对跨导的下降也能起到很好的抑制作用。

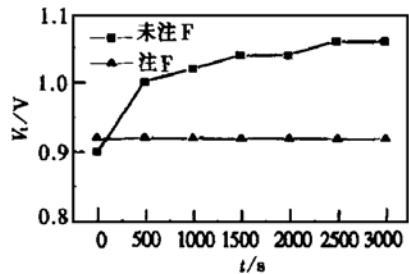
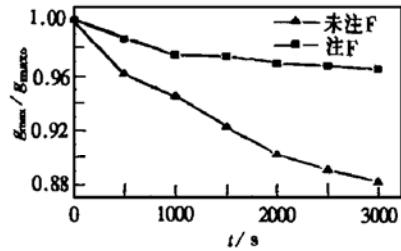
图 2 阈电压 V_t 随时间的变化关系FIG. 2 Curves of V_t - t 

图 3 归一化的线性跨导随时间的变化

FIG. 3 Curves of (g_{max}/g_{max0}) - t

图 4(a) 和 4(b) 分别为未注 F 与注 F 样品在 1500s 沟道热载流子注入前后, 样品输出特性曲线 I_{ds} - V_{ds} 的变化。分析图中数据可以看出, 沟道热载流子注入后样品的饱和区输出特性曲线发生下移, 其中, 未注 F 样品特性曲线下移很多, 注 F 的样品特性曲线下移很少。由此可见, 注 F 样品明显地抑制了输出特性曲线的下移。

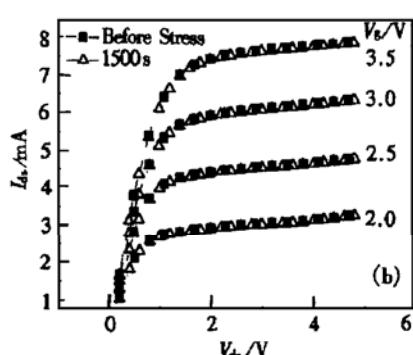
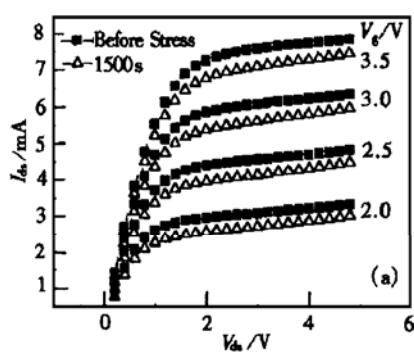


图 4 输出特性曲线在热载流子注入前后的变化 (a) 未注 F 样品; (b) 注 F 样品

FIG. 4 Curves of I_{ds} - V_{ds} Before and After Hot-Carrier Injection (a) Control; (b) Fluorinated

4 讨论

短沟道 MOSFET 的沟道热载流子注入损伤的主要原因是栅氧化物正电荷的积累和 Si/SiO₂ 界面态的增加^[5,6]. 沟道热载流子损伤的机理可以解释为: 由于 MOSFET 的沟道很短, 当漏源电压较高时, 在漏结附近形成水平方向上的高电场. 在高场作用下载流子获得足够的能量, 形成大量的热载流子. 这些热载流子能够越过 Si/SiO₂ 界面势垒, 注入到栅氧化层中, 被栅氧化层中的陷阱俘获形成氧化物正电荷, 它们随着热载流子注入时间的增加而增加. 注入的热载流子打断界面 Si—H 等弱键, 产生三价 Si 悬挂键和间隙 H 原子即: $\equiv\text{Si}-\text{H} \rightarrow \equiv\text{Si}\cdot + \text{H}_i$, 其中 H_i 为产生的间隙 H 原子, 部分 H 原子向栅极扩散, 使剩下的三价 Si 悬挂键形成界面态. 界面态随热载流子注入时间的增加而增加.

NMOSFET 的阈电压随着界面态的增加而增加, 随着氧化物正电荷的增加而减小. 由此可见, 阈电压的正向漂移主要是由于界面态的增加而引起的.

根据跨导随界面态和氧化物正电荷变化的退化模型^[7], 可知关系式:

$$g_m = g_{mo}/(1 + \alpha_{it}\Delta N_{it} + \alpha_{ot}\Delta N_{ot}) \quad (1)$$

其中 α_{it} 和 α_{ot} 是常数; g_{mo} 是热载流子注入前器件线性区跨导. 由此可见, 跨导 g_m 随界面态和氧化物正电荷的增加而减小, 即随热载流子注入时间的增加而减小. 实验研究表明, NMOSFET 跨导的下降主要是界面态的增加引起的.

根据饱和区 MOSFET 的漏电流公式:

$$I_{ds} = (\mu\epsilon\epsilon_0/2d)(W/L)(V_{gs} - V_t)^2 \quad (2)$$

其中 μ 为沟道载流子迁移率; ϵ_0 是真空的介电常数; ϵ 是二氧化硅的相对介电常数; d 为栅氧化层厚度; W/L 为沟道宽长比. 由于 NMOSFET 阈电压 V_t 随热载流子注入时间的增加而增加, 根据(2)式, 漏电流随阈电压的增加而减小. 因此, 相对于同一 V_{gs} 值下的输出特性曲线在热载流子注入后将发生下移.

栅介质中引入 F 离子, 能够使键能较高的 Si—F 键替换键能较低的 Si—H、Si—OH 等弱键和 Si—O 应力键, 抑制了界面态和氧化物正电荷的增长^[8,9]. 因此, 注 F NMOSFET 在同样的沟道热载流子注入条件下, 比未注 F 的 NMOSFET 的阈电压、跨导、输出特性等器件性能退化得慢.

5 结束语

本文通过注 F 短沟 NMOSFET 的沟道热载流子注入损伤实验研究, 发现沟道热载流子所引起的阈电压正向漂移、跨导下降和输出特性曲线的下移等损伤行为, 将因为栅介质中引入适量 F 离子而得到一定程度的控制. 这进一步提高了 VLSI 器件的可靠性, 使抑制热载流子损伤的方法途径具有实际的应用价值.

参考文献

- [1] D. J. DiMaria, D. Arnold and E. Cartier, *J. Appl. Phys.*, 1992, **60**(17): 2118.
- [2] A. El Hdiy, G. Salace *et al.*, *J. Appl. Phys.*, 1993, **73**(7): 3569.
- [3] G. Pananakakis, G. Ghibaudo and R. Kies, *J. Appl. Phys.*, 1995, **78**(4): 2635.
- [4] YANG Mo-hua, YU Qi, WANG Xiang-zhan *et al.*, *Chinese Journal of Semiconductors*, 2000, **21**(3): 268—273 (in Chinese) [杨谟华, 于奇, 王向展, 等, 半导体学报, 2000, **21**(3): 268—273].
- [5] B. S. Boyle *et al.*, *IEEE Trans. Electron Devices*, 1995, **42**: 116.
- [6] C. Hu, *Semicod. Sci. Technol.*, 1992, **7**: 555.
- [7] S. Tam, P. K. Ko and C. Hu, *IEEE Trans. Electron Devices*, 1995, **42**: 1321.
- [8] ZHANG Guo-qiang, YAN Rong-liang, YU Xue-feng *et al.*, *Chinese Journal of Semiconductors*, 1998, **19**(8): 615—619 (in Chinese) [张国强, 严荣良, 余学锋, 等, 半导体学报, 1998, **19**(8): 615—619].
- [9] ZHANG Guo-qiang, GUO Qi, YU Xue-feng *et al.*, *Research & Progress of Solid State Electronics*, 1999, **19**(4): 453—457 (in Chinese) [张国强, 郭旗, 余学锋, 等, 固体电子学研究与进展, 1999; **19**(4): 453—457].

Channel Hot-Carrier Effects in Fluorinated Short-Channel MOSFET

HAN De-dong, ZHANG Guo-qiang, YU Xue-feng and REN Di-yuan

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

Abstract: Channel hot-carrier effects of fluorinated short-channel MOSFET have been investigated. The experimental results show that by incorporating the fluorine into internal SiO₂ for a minute, the generation of interface states and oxide trapped charges can be suppressed so as to improve the shift of threshold voltage and degradation of transconductance. The mechanism of hot-carrier damage has been analyzed. The decreasing hot-carrier damage is attributed to the replacement of Si—H weak bonds by Si—F bonds and the relaxation of Si/SiO₂ interface stress.

Key words: incorporating F; MOSFET; hot carrier

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

Article ID: 0253-4177(2001)05-0618-04

HAN De-dong male, was born in 1970, graduate student. He is studing the hot carrier effects in MOS structures.

ZHANG Guo-qiang male, was born in 1962, researcher. He is studing the radiation effects in MOS structures.

Received 12 April 2000, revised manuscript received 14 July 2000

© 2001 The Chinese Institute of Electronics