

研究简报**提高 MOSFET 沟道载流子迁移率的新方法**

龙伟 徐元森

(中国科学院上海冶金研究所, 上海)

1989年6月26日收到

用 HF 掺杂薄氧化物层的 MOSFET 和 MOS 电容具有优良的电学特性。在本文所研究的有效场范围内, 这种器件的有效表面迁移率为一般器件的 1.7—2.4 倍, 这表明用 HF 增强氧化能得到速度更快的 MOS 器件。

主题词 MOSFET, 氧、迁移率、二氧化硅层、硅氧化

一、引言

众所周知, MOSFET 的表面迁移率与 SiO_2/Si 界面及其附近的带电中心、缺陷以及平整程度有着十分密切的关系, 这使载流子表面迁移率较体内下降许多, 仅为体内迁移率的 $1/2 \sim 1/3$ 甚至更低。这种低迁移率的表面特性严重地限制了 MOS 器件及电路性能的进一步改善, 成为人们普遍关注和研究的课题。本文作者在此提出了一种新的方法, 可以使表面迁移率大幅度提高。

这一新方法是: 在 MOSFET 的栅氧化时, 掺入微量 HF 气体, 利用 HF 气体在改善 SiO_2 界面特性, 提高氧化速率方面的特殊功能, 进行低温(800°C)快速 SiO_2 生长, 获得低界面电荷、高度平整的优质栅氧化层, 使器件表面迁移率显著提高。本文在此扼要地报道应用这一方法提高 MOSFET 迁移率的研究结果。

二、实验

氧化气氛中掺入氟化氢蒸汽, 可使氧化生长速率成倍提高, 并获得优质 SiO_2 绝缘层^[1]。这不但能使通常的氧化温度(1000°C)降低到 800°C 甚至更低, 而且能应用于 MOSFET 关键的栅氧化层。在本研究中, 进行了各种掺氟浓度的栅氧化(800°C), 无氟栅氧化(950°C), 氧化后即沉积多晶硅并制成 MOSFET; MOS 电容。整个工艺采用典型的 MOS 制造技术。

器件的衬底材料是(100)晶向的 P 型或 N 型硅单晶片, 其电阻率分别为 $8\text{--}10\Omega\cdot\text{cm}$ (N 型)和 $15\text{--}25\Omega\cdot\text{cm}$ (P 型)。为获得适当开启电压的增强型器件, N 沟样品进行了 B^+ 调整注入。 800°C 的掺 HF 氧化在常规热氧化炉中进行, HF 气体由氧气流过恒温的 HF 溶

液表面获得^[1]。栅氧化层厚度在 $220 \pm 40 \text{ \AA}$ 范围内, 这些厚度值不会引起迁移率的变化^[2]。氧化后用 LPCVD 沉积 $0.4 \mu\text{m}$ 多晶硅, 随后进行 950°C 的掺 P 源漏注入条件是: As, $120 \text{ keV}, 5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ (N 沟); B F₂, $60 \text{ keV}, 5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ (P 沟)。注入后 950°C 热退火 30 分钟, 最后蒸 $1 \mu\text{m}$ 纯铝, 反刻后再在 N_2/H_2 气氛中合金化 20 分钟, 制作的 MOS 电容, MOSFET, 用超声压焊并封装。

MOSFET 的沟道长度(L)和宽度(W)均为 $100 \mu\text{m}$, 对于这种大面积器件, 其输出电导与表面有效迁移率 μ_{eff} 的关系如下^[3]:

$$\mu_{\text{eff}} = (\partial I_{DS}/\partial V_{DS}) \cdot (L/W)/C_{ox}(V_{gs} - V_{th})$$

其中 C_{ox} 为单位面积氧化层电容, V_{gs} 为栅压, V_{th} 为开启电压, 其数值由 I_{DS} 与 V_{gs} 特性的线性外推在 $I_{DS} = 0$ 时的值确定。本文应用上式并取 $V_{DS} = 100 \text{ mV}$ 来确定表面有效迁移率。

三、结果与讨论

对实验所制成的各种条件下的样品进行了高频 $C-V$ 测试, 由测试结果计算得到了各样品栅下界面上的固定电荷、可动电荷和沟道掺杂浓度, 这些结果汇总于表 1 中, 其中氟含量为 0 ppm 的样品是在 950°C 下热氧化的结果, 而其它样品则在 800°C 下掺氟氧化。从表中的结果不难看出, 不论的界面固定电荷或是界面可动电荷, 掺氟氧化样品均有显著改善, 尤其是界面可动电荷, 掺氟样品较一般热氧化有大幅度减少。这些使得掺氟氧化层的界面总电荷较热氧化减小 2—3 倍或者更多。应该指出的是, 表中未列出界面态密度, 这是因为我们的样品均经过 H_2 处理, 根据 Deal 等研究结论^[4], 可认为这些样品的界面态电荷比固定电荷少一个数量级。

表 1 各种栅氧化层界面特性的 $C-V$ 测试结果

器件类型	NMOS					PMOS				
	0	230	360	570	730	0	230	360	570	730
氧中氟含量 (ppm)	0	230	360	570	730	0	230	360	570	730
沟道掺杂浓度 ($10^{17}/\text{cm}^2$)	5.0	3.5	5.0	5.0	4.5	0.08	0.1	0.1	0.1	0.13
固定电荷 ($10^{10}/\text{cm}^2$)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	10	5.0	5.0	5.0	5.0
可动电荷 ($10^{10}/\text{cm}^2$)	8.5	1.0	1.0	1.0	1.0	8.0	1.0	1.0	1.0	1.0
总电荷密度 ($10^{10}/\text{cm}^2$)	13	6.0	6.0	6.0	6.0	18	6.0	6.0	6.0	6.0

表面最大有效迁移率与掺氟浓度的关系如图 1 所示, 作为比较, 图中既列出了本研究得到的无氟热氧化(950°C)对应的表面迁移率, 同时也画出了 Sun^[5] 和 Liang^[6] 等新近得到的热氧化迁移率结果。从图中可见, 氧化时掺入 HF 对迁移率提高到 70% (N 沟) 或 100% (P 沟)。即在同一衬底杂质浓度下, 大致地, 使 N 沟迁移率从 $430 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 增加到 $730 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$; 使 P 沟 μ_{eff} 从 $110 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 提高到 $230 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 。应该指出的是, 出于

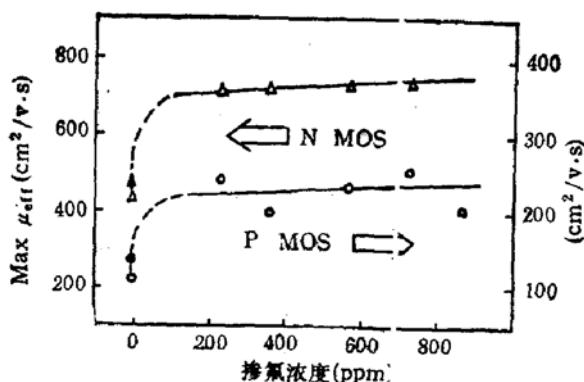


图1 表面最大有效迁移率与掺氟气氛的关系，其中掺氟浓度为0 ppm是950℃热氧化结果，“▲”和“●”分别是Sun^[1]和Liang^[6]在相同沟道掺杂下的结果

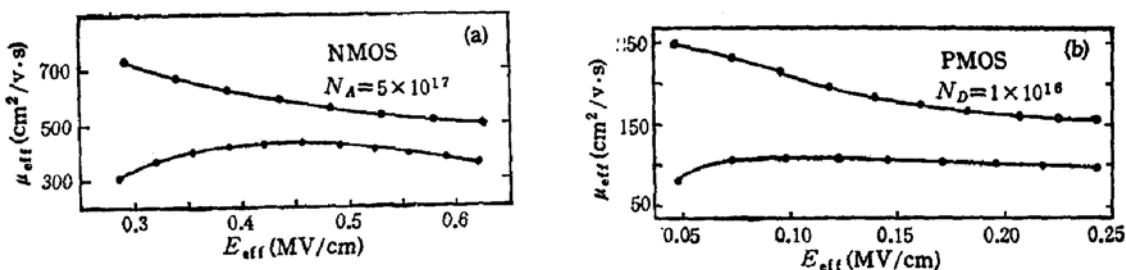


图2 室温下测得的表面有效迁移率，及其与沟道有效电场强度的关系
(a) 是 NMOS 的结果 (b) 是 PMOS 的结果 其中“○”代表掺氟氧化，“●”代表常规热氧化

对器件开启电压的调节，沟道掺杂较高，故这里得到的表面迁移率数值比发表的资料要低些。显然，这些结果说明迁移率提高程度是相当可观的。图中最低的HF浓度为230ppm，随着氟浓度的成倍增加，迁移率变化缓慢。

由实验结果计算得到的表面有效迁移率和与之对应的沟道内有效电场强度的关系列于图2中。图中的结果表明，在所有的有效电场下，掺氟氧化所得到的有效迁移率，均较热氧化普遍提高。迁移率的提高可能是两个因素共同作用的结果，即界面电荷的减少和界面平整化。

四、结 论

使用HF氧化制作MOSFET的栅介质，可使器件沟道载流子迁移率显著提高，引起迁移率提高的主要原因极可能是界面电荷的减少和界面平整度的提高，而达到上述增加效果只需极微量的HF气氛。

参 考 文 献

- [1] W. Long, Y-S Xu and Y-S Zheng, Symposium of 173rd Meeting of the Electrochemical Soc., May 1988.
- [2] H. A. Su, IEEE Trans. Electron Devices, ED-32, 560(1985).
- [3] A. D. Narain and G. S. Gennady, IEEE Trans. Electron Devices, ED-34, 89(1987).
- [4] R. R. Razouk and B. E. Deal, J. Electrochem. Soc., 126, 1573(1979).
- [5] S. C. Sun and J. D. Plummer, IEEE Trans. Electron Devices, ED-27, 1500(1980).
- [6] M-S Liang, IEEE Trans. Electron Devices, ED-33, 10(1986).

A Novel Method for Fabricating Higher Mobility MOSFET's

Long Wei and Xu Yuansen

(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica)

Abstract

The MOSFET's and MOS capacitors with HF-doped thin oxides have been shown to have excellent electrical characteristics. The effective surface mobilities of such HF-devices are 1.7—2.4 times higher than those of conventional devices over the channel effective field range studied. It indicates that MOS device with higher speeds could be achieved by HF-enhanced oxidation.

Key words MOSFET, Mobility, Silicon oxidation, Fluorine, SiO_2 film