

# 注 F 场氧介质总剂量辐照的研究

张国强 余学锋 郭旗 任迪远 严荣良

(中国科学院新疆物理所 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** 分析研究了注 F 场氧 MOSFET 的辐射响应特性。结果表明,由于 F 离子具有负电中心、替换部分弱键和应力键等的作用,导致含 F 场氧介质具有很强的抑制电离辐射损伤的特性。场氧厚度与辐射损伤直接相关连,而沟道宽度对辐射损伤的影响不大。

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

## 1 引言

大量研究表明,电离辐射引起 MOS 器件最主要的性能退化是阈电压漂移和漏电流的增长,并认为是由 MOS 结构栅场介质受辐射损伤共同作用的结果。在栅介质体内和 Si/SiO<sub>2</sub> 界面,氧化物电荷和界面态的增长积累是电离辐射损伤的主要模式。而 MOS 结构场氧介质中辐射感生氧化物电荷的积累则是导致漏电流增长的根本原因。

关于 MOS 结构栅介质中引入 F、Cl、N 等杂质元素,以提高栅介质抗电离辐射损伤的研究<sup>[1~3]</sup>,一直是最近几年国际国内抗辐射微电子学领域最受重视的课题之一。但关于注 F 场氧介质的电离辐射效应和机理,却很少报道。本文在以往注 F 栅介质抗电离辐射研究基础上<sup>[4~7]</sup>,进行了注 F 场介质的抗 Co-60  $\gamma$  总剂量辐照效应的研究,发现含 F 场氧化物具有很好的抑制辐射损伤的特性。

## 2 样品制备及测试

为了研究注 F 对场氧介质电离辐射损伤的影响,特制备 N 沟和 P 沟场氧 MOSFET。P 沟场氧 MOSFET 样品制作在 17~27( $\Omega \cdot \text{cm}$ )、N(100) 的 Si 衬底上,而 N 沟场氧 MOSFET 则制作在相同衬底的 P 阵中,采用 850°C H<sub>2</sub>+O<sub>2</sub> 氧化形成不同厚度的场氧层,沟道长 6  $\mu\text{m}$ ,宽 90  $\mu\text{m}$  和 900  $\mu\text{m}$ ,芯片封装在双列直插式的管壳内。

张国强 男,1962 年生,副研究员,从事 MOS 新栅介质和辐射效应和机理的研究

余学锋 男,1964 年生,助理研究员,从事 LSI 辐射效应和应用研究

郭旗 男,1964 年生,助理研究员,从事线性电路、A/D 转换器的辐射效应研究

1996 年 3 月 23 日收到初稿,1996 年 8 月 12 日收到修改稿

注F是在500nm多晶硅上注入 $30\text{keV}, 5 \times 10^{15}\text{cm}^{-2}$ 的F离子，注入后于 $900^\circ\text{C N}_2$ 中进行热退火30 min，以便通过热扩散把F引入场氧介质中，并消除F注入对多晶硅的损伤。

由HP4140、HP3488、IBM-PC/XT等仪器组成的测试系统完成 $I_{ds}-V_{gs}$ 亚阈特性的测试，辐照在Co-60 $\gamma$ 源上进行，辐照剂量率为 $50.1 \sim 118.1\text{Gy(Si)/min}$ ，辐照偏压：P沟MOSFET为 $V_g=V_s=5\text{V}$ ,  $V_d=0\text{V}$ ；N沟MOSFET为 $V_g=5\text{V}$ ,  $V_d=V_s=0\text{V}$ ，以及 $V_g=0\text{V}$ ,  $V_d=V_s=5\text{V}$ 两种。辐照后于20分钟内测完全部数据。

### 3 实验结果及讨论

#### 3.1 N沟和P沟场氧MOSFET

图1所示的是N沟场氧MOSFET，在 $V_g=0\text{V}$ ,  $V_d=V_s=5\text{V}$ 辐照偏压下， $I_{ds}-V_{gs}$ 亚阈特性随辐照总剂量的变化关系。由图可见，辐照后，注F样品的 $I_{ds}-V_{gs}$ 曲线的负向漂移和畸变都小于未注F样品。

注F与未注F的P沟场氧MOSFET的辐射响应关系示于图2。由图可知，场氧介质中F的引入，将大大减小辐射感生 $I_{ds}-V_{gs}$ 曲线的负向漂移。

对小剂量的辐照而言，N沟和P沟MOSFET $I_{ds}-V_{gs}$ 亚阈曲线主要表现为负向漂移，这主要归结为氧化物电荷的积累。随着辐照剂量的增加[一般大于 $5 \times 10^3\text{Gy(Si)}$ ]，氧化物电荷的增加速度慢于界面态的增长积累， $I_{ds}-V_{gs}$ 曲线主要表现为以畸变为主的辐射响应，畸变的大小与辐射感生界面态的多少相

对应<sup>[5]</sup>。P沟阈漂是氧化物电荷和施主型界面态所引起的负向漂移二者之和的贡献，所以随辐照剂量的增加， $I_{ds}-V_{gs}$ 曲线负向漂移越来越大；而N沟漂是氧化物电荷所引起的负向漂移和受主型界面态所引起的正向漂移二者互相补偿的结果，所以随辐照剂量的增加， $I_{ds}-V_{gs}$ 曲线负向漂移不明显而主要表现为畸变。

综上分析可见，无论是N沟还是P沟MOSFET，注F场氧介质其辐射感生氧化物电荷和界面态明显小于未注F样品。尤其是场氧介质中注F对辐射感生氧化物电荷的抑制作用更为明显。

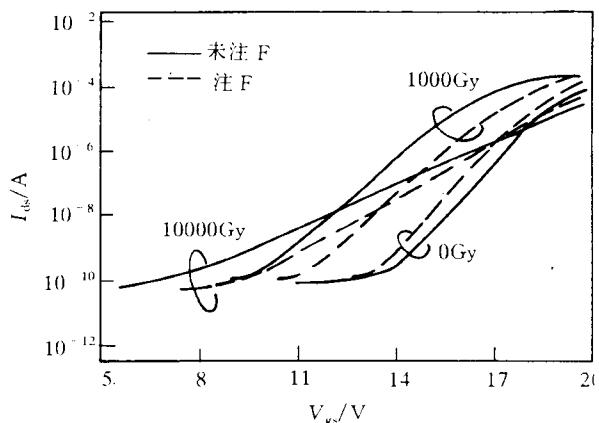


图1 注F与未注F的N沟场氧MOSFET,  
 $I_{ds}-V_{gs}$ 亚阈特性的辐射响应关系  
辐照偏压： $V_g=0\text{V}$ ,  $V_d=V_s=5\text{V}$ .

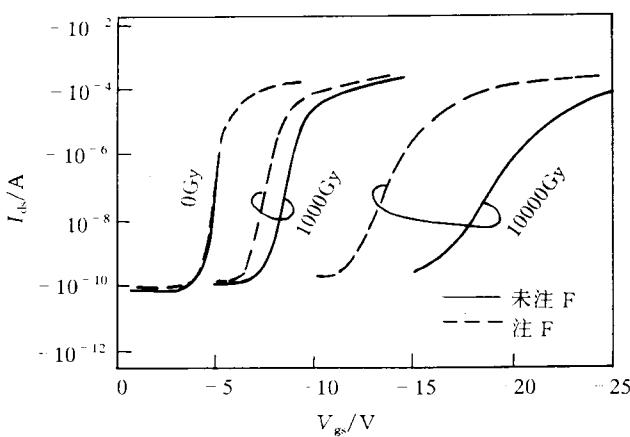


图2 注F与未注F的P沟场氧MOSFET,  
 $I_{ds}-V_{gs}$ 亚阈特性的辐射响应关系  
辐照偏压： $V_g=V_s=5\text{V}$ ,  $V_d=0\text{V}$ .

### 3.2 辐射损伤与场氧介质厚度和沟道宽度的关系

不同场氧厚度的注 F N 沟和 P 沟场氧 MOSFET,  $I_{ds}$ - $V_{gs}$  亚阈特性的辐射响应如图 3 所示。由图可见,无论是 N 沟还是 P 沟 MOSFET,场氧介质越厚,由辐照所引起的  $I_{ds}$ - $V_{gs}$  曲线漂移和畸变越严重,表明场氧介质的厚度与辐照缺陷的多少有直接的依赖关系,这与栅介质中辐射感生电荷与厚度的平方成正比是相类似的<sup>[8]</sup>。

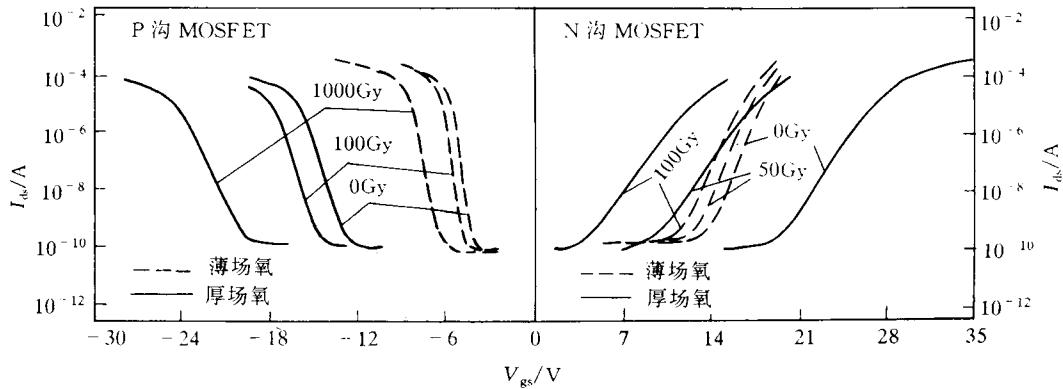


图 3 注 F N 沟和 P 沟场氧 MOSFET 辐射响应与场氧厚度的依赖关系

辐照偏压:P 沟 MOSFET 为  $V_g = V_s = 5V, V_d = 0V$ ;N 沟 MOSFET 为  $V_g = 5V, V_d = V_s = 0V$ 。

图 4 示出了注 F P 沟场氧 MOSFET,  $I_{ds}$ - $V_{gs}$  曲线辐射响应与沟道宽度之间的依赖关系。由图可见,辐射感生  $I_{ds}$ - $V_{gs}$  曲线负向漂移与沟道宽度的依赖关系相对较弱(宽度相差 10 倍,而负向漂移相差很小)。同时也注意到,沟道较窄其饱和漏源电流较小,这可由 MOSFET 的萨氏方程中饱和漏源电流与沟道宽度成正比得到解释。

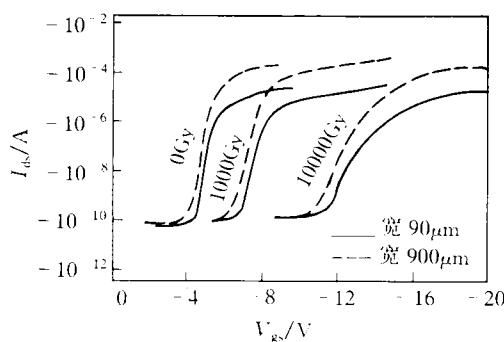


图 4 注 F P 沟场氧 MOSFET, 辐射响应与沟道宽度的依赖关系

沟道长 6 μm, 宽 90 μm 和 900 μm;

辐照偏压:P 沟 MOSFET 为  $V_g = V_s = 5V, V_d = 0V$ 。

场氧介质中因存在很多由工艺引起的空穴陷阱、不稳定的弱键(如 Si-H 键)和应力键(如 Si-O 应力键),在电离辐射作用下,空穴陷阱俘获空穴以及不稳定弱键和应力键的断裂,将导致大量氧化物正电荷的积累和界面态的产生。由于 F 离子具有负电中心(电子陷阱)的作用<sup>[9]</sup>,并能替换部分不稳定弱键和应力键,形成较高键能的 Si-F 键<sup>[10]</sup>,从而使含 F 场氧介质具有较强的抑制辐射感生氧化物正电荷和界面态增长积累的能力,尤其是对氧化物正电荷积累的抑制作用更为突出。场氧介质越厚,空穴陷阱俘获空穴的几率越大,同时空穴陷阱、不稳定弱键和应力键的数目越多,因此由辐射所引起的陷阱电荷越多。

## 4 结语

本文研究了N沟和P沟注F场氧MOSFET的Co-60 $\gamma$ 辐射响应,通过分析 $I_{ds}$ - $V_g$ 亚阈特性表明,MOS结构场氧介质中引入一定量的F离子,能明显减少辐射感生氧化物正电荷和界面态的增长积累。场氧层越厚其辐射感生电荷越多,沟道宽度对辐射损伤影响不大。F离子的负电中心、替换部分弱键和应力键等的作用,是含F场氧介质具有较强抗电离辐射损伤能力的主要原因。

## 参 考 文 献

- [1] G. Q. Lo, W. Ting, J. H. Ahn *et al.*, IEEE Trans. Electron Device, 1992, **39**(1): 148.
- [2] Y. L. Wu and J. G. Hwu, Appl. Phys. Lett., 1994, **64**(23): 3136.
- [3] 张国强,严荣良,余学锋,等,核技术,1995, **18**(2): 117.
- [4] 张国强,严荣良,余学锋,等,半导体学报,1994, **15**(1): 64.
- [5] 张国强,严荣良,余学锋,等,半导体学报,1995, **16**(9): 695.
- [6] 张国强,严荣良,罗来会,等,半导体学报,1996, **17**(1): 35.
- [7] 严荣良,张国强,余学锋,核技术,1995, **18**(10): 610.
- [8] C. R. Viswenthian and J. Maserjian, IEEE Trans. Nucl. Sci., 1976, **23**(6): 1540.
- [9] 严荣良,张国强,余学锋,等,固体电子学研究与进展,1992, **12**(4): 348.
- [10] 张国强,余学锋,高文钰,等,核技术,1993, **16**(6): 365.

## Ionizing Radiation Effects in Fluorinated MOS Field Oxides

Zhang Guoqiang, Yu Xuefeng, Guo Qi, Ren Diyuan and Yan Rongliang

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

Zhao Yuanfu and Hu Yuhong

(Xi'an Microelectronics Technology Institute, Linton 710600)

Received 23 March 1996, revised manuscript received 12 August 1996

**Abstract**  $\gamma$  irradiation responses of fluorinated N channel and P channel field oxide MOS-FETs have been investigated. The formation of radiation-induced oxide trapped charges and interface traps in field oxide has been restrained because of F similar to the electron traps, the replacement of some weak and strain bonds by Si—F bonds. The field oxide depth is related to the radiation damage.

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