

## BF<sub>2</sub><sup>+</sup>注入多晶硅栅的 SIMS 分析\*

刘家璐 张廷庆 张正选

(西安电子科技大学微电子所 西安 710071)

赵元富

(骊山微电子公司 西安 710600)

**摘要** 文本采用 SIMS 技术,分析了 BF<sub>2</sub><sup>+</sup>注入多晶硅栅退火前后 F 原子在多晶硅和 SiO<sub>2</sub> 中的迁移特性。结果表明,80keV, 2 × 10<sup>15</sup> 和 5 × 10<sup>15</sup>cm<sup>-2</sup> BF<sub>2</sub><sup>+</sup>注入多晶硅栅经过 900℃, 30min 退火后,部分 F 原子已扩散到 SiO<sub>2</sub> 中。F 在多晶硅和 SiO<sub>2</sub> 中的迁移行为呈现不规则的特性,这归因于损伤缺陷和键缺陷对 F 原子的富集作用。

**关键词** 二氟化硼,硅栅,离子注入,二次离子质谱仪

### 1 引言

近几年,有关文章报道在栅介质中掺入一定量的 F 可以提高 MOS 器件的抗电离辐射能力<sup>[1-3]</sup>。我们在研究中发现,在栅介质中注入 BF<sub>2</sub><sup>+</sup>也具有同样的效果并有其独特的优点<sup>[4]</sup>。为了探讨 BF<sub>2</sub><sup>+</sup>注入栅介质抗电离辐射的机理,深入研究 F 在栅介质中的迁移特性就显得特别重要。本文采用 SIMS 技术,分析 BF<sub>2</sub><sup>+</sup>注入多晶硅栅介质退火前后 F 原子在多晶硅和 SiO<sub>2</sub> 中的迁移特性,并对实验结果进行了深入地讨论。

### 2 实验

实验样品采用 P 阱硅栅 CMOS 工艺制作,衬底是电阻率为 4~6Ω·cm 的 N 型(100)硅单晶片。首先生长 40nm 厚的栅氧化层,然后在 900℃ 氮气中退火 30min,接着在栅氧化层上淀积 500nm 多晶硅层,最后向多晶硅中注入 BF<sub>2</sub><sup>+</sup>。BF<sub>2</sub><sup>+</sup>的注入能量和剂量分别为 80keV 和 2 × 10<sup>15</sup>cm<sup>-2</sup>, 5 × 10<sup>15</sup>cm<sup>-2</sup>。注入完成后再将样品放在 900℃ 氮气中退火 30min。

采用 CAMECA IMS 3F 和 CAMECA IMS 4F 二次离子质谱仪(SIMS)测量 B, F 在多晶硅和 SiO<sub>2</sub> 中退火前后的分布。

图 1 示出了 BF<sub>2</sub><sup>+</sup>注入剂量  $N_D = 2 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$  样品退火前的 SIMS (CAMECA

1993-06-07 收到,1993-12-30 定稿

\* 国家自然科学基金资助课题

刘家璐 女,1941年生,副教授,从事半导体器件新工艺,离子注入物理、半导体器件抗辐射加固的教学和研究。

张廷庆 男,1939年生,教授,从事半导体集成电路、半导体器件物理、半导体器件抗辐射加固的教学和研究。

赵元富 男,1962年生,副研究员,从事集成电路抗辐射加固的研究。

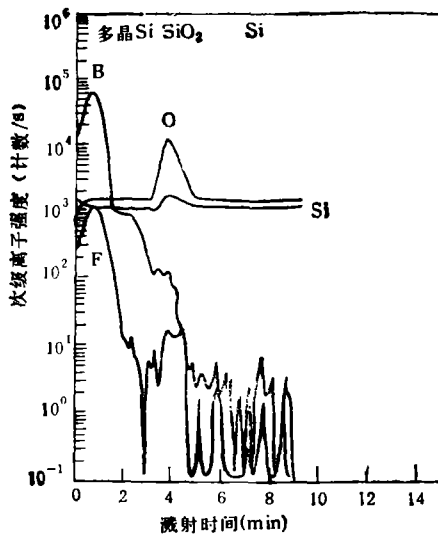


图1  $BF_2^+(N_D = 2 \times 10^{15} \text{cm}^{-2})$  注入多晶-Si/SiO<sub>2</sub>/Si 退火前的 SIMS 分布剖面

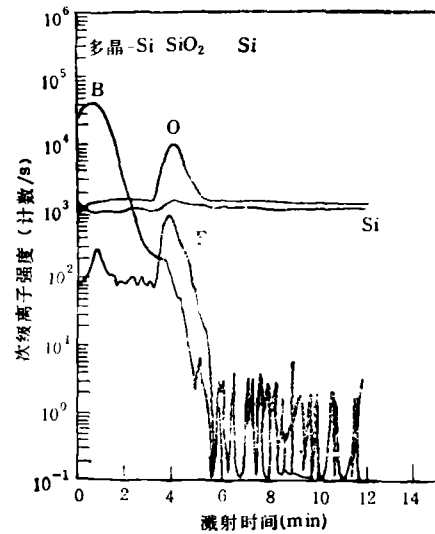


图2  $BF_2^+(N_D = 2 \times 10^{15} \text{cm}^{-2})$  注入多晶-Si/SiO<sub>2</sub>/Si 退火后的 SIMS 分布剖面

IMS 3F 分析)分布剖面。可以看到,退火前仅在多晶硅中检测出B, F 两种元素,其分布呈高斯分布。 $BF_2^+$  是一种分子离子,入射到样品表面经初级碰撞就离解出低能的B原子和F原子。根据能量按质量比分配原则<sup>[5]</sup>, B原子和F原子的能量分别由下式计算:

$$E_B = (M_B / M_{BF_2}) E_0 = (11/49) E_0,$$

和

$$E_F = (M_F / M_{BF_2}) E_0 = (19/49) E_0,$$

式中  $M_B, M_F$  和  $M_{BF_2}$  分别为B原子、F原子和  $BF_2$  分子的质量,  $E_0$  为  $BF_2^+$  分子离子的注入能量。由  $E_0 = 80 \text{keV}$  计算得到B和F的注入能量分别为18keV和31keV。再利用 TRIM (Transport of Ions Matter) 程序进行模拟计算,得到B和F在多晶硅中的平均投影射程分别为762Å和638Å,其入射深度约占多晶硅厚度的30%左右。因此,退火前B, F仅存在于多晶硅栅的表面区域内,不会到达SiO<sub>2</sub>中。

图2示出了  $BF_2^+$  注入剂量  $N_D = 2 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$  样品退火后的 SIMS (CAMECA IMS 3F 分析)分布剖面。可以看到,经900°C, 30min退火,B, F两种元素在多晶硅中注入峰的高度降低了,分布展宽了。这与一般注入杂质的退火行为相类似。还可以看到,部分F已从多晶硅迁移到SiO<sub>2</sub>中。这说明在高温下,F以极快的迁移速率从多晶硅扩散到SiO<sub>2</sub>中。

图1和图2是采用CAMECA IMS 3F二次离子质谱仪的分析结果。溅射时,  $O_2^+$  束流为1μA。为了观察在多晶硅和SiO<sub>2</sub>中的细微分布,采用了分辨率更高的CAMECA IMS 4F二次离子质谱仪,溅射时,  $O_2^+$  束流减为100nA。图3示出了  $BF_2^+$  注入剂量  $N_D = 5 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$  样品900°C, 30min退火后的 SIMS (CAMECA IMS 4F 分析)分布剖面。从图3中可以清楚地看到,F在多晶硅中呈现双峰分布,在SiO<sub>2</sub>中呈现“U”形

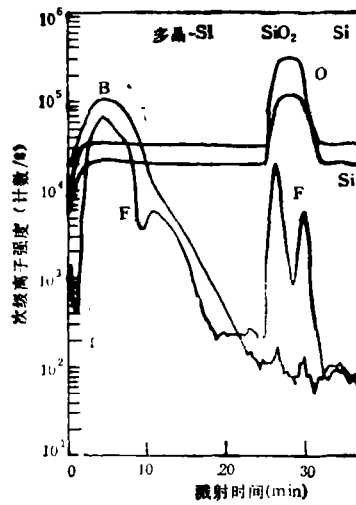


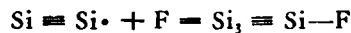
图3  $\text{BF}_2^+$  ( $N_D = 5 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ ) 注入多晶  $\text{Si}/\text{SiO}_2/\text{Si}$  退火后的 SIMS 分布剖面

分布。这就表明,在高温下, F 在多晶硅和  $\text{SiO}_2$  中的迁移行为呈现不规则的特性。

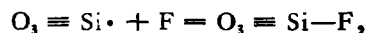
F 在多晶硅和  $\text{SiO}_2$  中迁移所呈现出的这种不规则特性与它在单晶硅中所呈现的不规则迁移行为极为相似。M.Y. Tsai<sup>[6]</sup> 在研究  $\text{BF}_2^+$  注入硅的退火行为时已证实, 当  $\text{BF}_2^+$  注入剂量达到  $2 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$  以上, F 在硅中呈现的不规则迁移行为是再结晶过程重新分布、损伤缺陷俘获等因素造成的。那么对 F 在多晶硅和  $\text{SiO}_2$  中迁移所呈现的不规则特性, 我们认为也是这些因素造成的。

F 在多晶硅中呈现双峰分布, 外侧是较高的注入峰, 位于平均投影射程附近; 内侧的小峰位于  $\text{BF}_2^+$  注入层与多晶硅的交界面处。由于  $\text{BF}_2^+$  注入剂量  $5 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$  较高, 足以使多晶硅层转变为非晶层<sup>[7]</sup>。因此, 退火后, 非晶层经再结晶转变为多晶硅, 并在  $\text{BF}_2^+$  注入层与多晶硅的交界面处残留较多的注入损伤缺陷。这些残留的注入损伤缺陷起到了俘获和富集 F 原子的作用, 因而形成了这个小的 F 峰。

F 在  $\text{SiO}_2$  中呈“U”形分布, 在多晶  $\text{Si}/\text{SiO}_2$  界面的 F 峰比  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  界面的 F 峰略高。在多晶  $\text{Si}/\text{SiO}_2$  界面, 由于多晶硅和  $\text{SiO}_2$  的晶格结构不匹配, 在界面处存在大量缺陷, 扩散到这里的 F 向缺陷区聚集, 形成了一个 F 峰。在  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  界面有一个过渡层, 由于在过渡层中存在着大量的结构缺陷和键缺陷。例如硅悬挂键和非桥键氧, 扩散到这里的 F 一方面向缺陷区富集, 另一方面 F 是一种负电性很强的元素, 它补偿了硅悬挂键并且与非桥键氧发生作用, 形成  $\text{Si}-\text{F}$  键。这分别可用下式表示:



和



因此在  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  界面形成了另外一个 F 峰。在多晶  $\text{Si}/\text{SiO}_2$  界面的 F 峰比  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  界面 F 峰更高, 这可能是由于多晶硅由许多小晶粒组成, 在多晶  $\text{Si}/\text{SiO}_2$  界面处存在若干晶粒间界, 而晶粒间界结构复杂, 有比  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  界面更多的缺陷。

### 3 结论

(1) 80keV,  $2 \times 10^{15}$  和  $5 \times 10^{15} \text{cm}^{-2} \text{BF}_2^+$  注入硅栅经 900°C, 30min 退火后, F 已扩散到  $\text{SiO}_2$  中.

(2) F 在多晶硅中呈现双峰分布, 在  $\text{SiO}_2$  中呈现“U”形分布.

(3) F 在多晶硅和  $\text{SiO}_2$  中迁移所呈现的不规则行为与多晶硅中、多晶 Si/ $\text{SiO}_2$  和  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  界面存在的损伤缺陷和键缺陷密切相关.

(4) F 具有向损伤缺陷区域和键缺陷区域迁移和富集的特性.

### 参 考 文 献

- [1] Nishioka Y, Ohyu K, Ohji Y, Natsuaki N, Mukai K, Ma T P. IEEE Trans. on EDL, 1989, EDL-10(4): 141—143.
- [2] Nishioka Y, Ohyu K, Ohji Y, Natsuaki N, Mukai K, Ma T P. J. Appl. Phys., 1989, 66(8): 3909—3912.
- [3] Wright P J, Saraswat K C. IEEE Trans. on ED, 1989, ED-36(5):879—889.
- [4] 张廷庆, 刘家璐, 杨晓跃.  $\text{BF}_2^+$  分子离子制作浅结技术的研究. 西安: 西安电子科技大学鉴定资料, 1988.
- [5] Fuse G, Hirao T, Inoue K, Takayanagi S, Yaegashi Y. J. Appl. Phys., 1982, 53(5):3650—3655.
- [6] Tsai M Y, Day D S, Streetman B G. J. Appl. Phys., 1979, 50(1): 188—192.
- [7] Tsai M Y, Streetman B G. J. Appl. Phys., 1979, 50(1):183—187.

## SIMS ANALYSIS OF $\text{BF}_2^+$ IMPLANTED Si-GATE

Liu Jialu    Zhang Tingqing    Zhang Zhengxuan

(Microelectronics Research Institute, Xidian University, Xi'an 710071)

Zhao Yuanfu

(Lishan Microelectronics Institute, Xi'an 710600)

**Abstract** The migration of fluorine atoms in poly-silicon and  $\text{SiO}_2$  of  $\text{BF}_2^+$  implanted Si-gate before and after annealing has been analyzed using SIMS. The results show that a part of fluorine atoms of  $\text{BF}_2^+$  implanted Si-gate with an energy of 80keV and doses of  $2 \times 10^{15}$  and  $5 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$  after annealing diffuse into  $\text{SiO}_2$  region of this gate. Anomalous migration of fluorine atoms is observed in both poly-silicon and  $\text{SiO}_2$ . This is due to the collection of fluorine atoms in the regions of residual damage and bond defects.

**Key words**  $\text{BF}_2^+$ , Si-gate, Ion implantation, SIMS