

# BF<sub>2</sub><sup>+</sup>注入的多晶硅薄膜快速热退火 后氟行为的研究\*

林成鲁 倪如山 邹世昌

(中国科学院上海冶金所离子束开放研究实验室, 上海)

**摘要** 本文报道 BF<sub>2</sub><sup>+</sup>注入的多晶硅薄膜经快速热退火后的物理和电学性质。发现造成氟异常分布的原因是由于快速热退火过程中氟的外扩散以及在多晶硅/二氧化硅界面处的聚集。在注入剂量为  $1 \times 10^{13}$  和  $5 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$  的样品中, 经快速热退火后可以观察到氟泡。

**关键词** 离子注入; 快速热退火, 氟泡

## 1. 引言

为了获得大规模和超大规模集成电路工艺所需要的  $p^+-n$  浅结, 利用分子离子 BF<sub>2</sub><sup>+</sup>注入结合快速热退火 (Rapid Thermal Annealing, RTA) 是一种有效的途径, 因而引起了各国学者的重视<sup>[1,2]</sup>。然而, BF<sub>2</sub><sup>+</sup>注入多晶硅薄膜及其退火行为研究得较少<sup>[3]</sup>。在 MOS 器件的自对准工艺中, 掺杂的多晶硅栅往往是与源、漏在一个工序中同时注入, 并在下一工序中同时退火。因此, 如果在 MOS 集成电路工艺中使用 BF<sub>2</sub><sup>+</sup>注入与 RTA, 则必然同时作用于单晶硅和多晶硅。所以, 研究 BF<sub>2</sub><sup>+</sup>注入多晶硅薄膜的热退火行为对集成电路的制造是有实际意义的。M. Y. Tsai 等<sup>[4]</sup>曾对 BF<sub>2</sub><sup>+</sup>注入单晶硅经常规热退火后氟的分布出现多峰作过研究, C. W. Nieh 等<sup>[2]</sup>研究了 BF<sub>2</sub><sup>+</sup>注入单晶硅热退火后氟泡的形成, 然而, 还没有人对 BF<sub>2</sub><sup>+</sup>注入多晶硅薄膜热退火后氟的行为进行过研究。

本文对 BF<sub>2</sub><sup>+</sup>注入的多晶硅薄膜经热退火后的电学性质和晶体结构进行了测试分析。着重研究了氟的行为, 发现不同条件 RTA 后, 引起氟在多晶硅/二氧化硅界面不同程度的聚集和向表面外扩散。在高剂量注入的情况下, RTA 后的多晶硅薄膜中用透射电镜 (TEM) 可以观察到氟泡的形成。

## 2. 实验方法

电阻率为  $1-3 \Omega \cdot \text{cm}$  的  $n$  型  $\langle 100 \rangle$  Si 抛光片上, 经常规的集成电路工艺清洗后, 先高温水汽热氧化约  $0.7 \mu\text{m}$  的 SiO<sub>2</sub>, 用低压化学汽相淀积法 (LPCVD) 在 SiO<sub>2</sub> 上形成  $0.5 \mu\text{m}$  或  $0.2 \mu\text{m}$  的不掺杂多晶硅层, 淀积温度为  $610-650^\circ\text{C}$ , 淀积速率约为  $100 \text{ \AA}/\text{min}$ 。在多晶硅层中注入能量为  $180 \text{keV}$ 、剂量为  $1 \times 10^{14}-5 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$  的 BF<sub>2</sub><sup>+</sup>。为防止离子注入时的退火效应, 利用氟里昂致冷的冷靶注入。

利用高频感应的高温石墨作辐射源的快速热退火设备, 在 N<sub>2</sub> 气保护下, 对 BF<sub>2</sub><sup>+</sup>注

\* 1987年5月18日收到, 1987年8月31日修改定稿。

入样品进行退火试验,部分样品作  $900^\circ\text{C}$ , 30min 和  $1100^\circ\text{C}$ , 30min 的热退火以作比较。

用 ASR-100C/2 扩展电阻测试仪和四探针测试仪分析样品的电学性质,用 CAMECA IMS3F 对退火前后氟的分布作 SIMS 分析,用 JEM-4000EX 电子显微镜分析多晶硅薄膜的结构。

### 3. 结果和讨论

#### (1) 薄层电阻和电阻率的测试

对  $180\text{keV}$ ,  $1 \times 10^{15}\text{cm}^{-2}$   $\text{BF}_3^+$  注入的多晶硅薄膜进行不同温度和时间的 RTA 后,用四探针测得的薄层电阻与退火条件的关系见图 1。图中同时标出了  $900^\circ\text{C}$ , 30min 和  $1100^\circ\text{C}$ , 30min 常规热退火后的薄层电阻值。图 2 为上述注入样品用扩展电阻测试仪测得的载流子浓度的深度分布与 RTA 退火时间的关系。由图 1 和图 2 可见,选择适当的 RTA 条件,所得的多晶硅的薄层电阻值要低于  $900^\circ\text{C}$ , 30min 热退火的值;经过  $1200^\circ\text{C}$ , 20s 以上的 RTA 后,载流子浓度在多晶硅薄层中趋于均匀分布。我们在  $\text{BF}_3^+$  注入单晶硅的研究中已发现,RTA 后杂质在单晶硅中扩散很少,可以得到比常规热退火更浅的结,而多晶硅的情况则不同,因为杂质沿晶界的扩散要比在单晶硅中扩散快得多<sup>[4]</sup>。实验证明,可以选择适当的 RTA 条件(如  $1200^\circ\text{C}$ , 20s),既可以在单晶硅中得到浅结,又可以同时得到均匀掺杂的多晶硅栅电极,满足 MOS 器件工艺的需要。

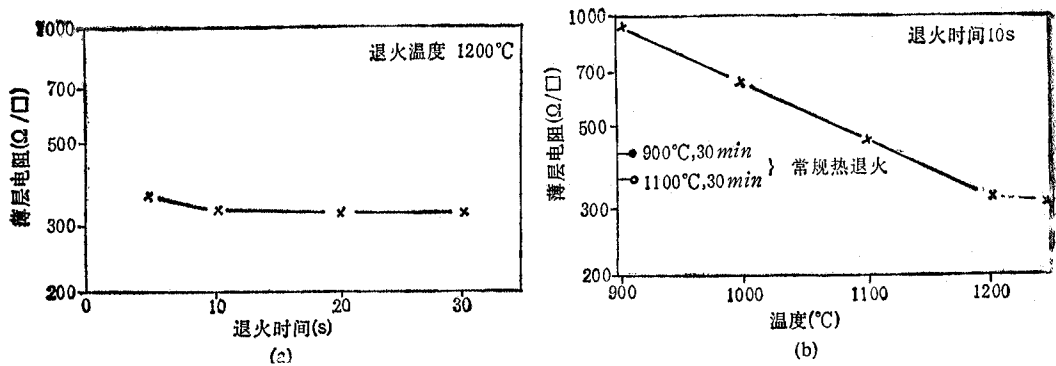


图 1  $180\text{keV}$ ,  $1 \times 10^{15}\text{cm}^{-2}$  的  $\text{BF}_3^+$  注入多晶硅薄膜经 RTA 后,薄层电阻与退火条件的关系

#### (2) 氟分布的 SIMS 分析

$\text{BF}_3^+$  注入多晶硅薄膜经 RTA 后,硼原子激活后提供了载流子,结果如上面所述,而氟的行为仍是个待搞清楚的问题。我们用 SIMS 分析了  $180\text{keV}$ ,  $1 \times 10^{15}\text{cm}^{-2}$   $\text{BF}_3^+$  注入多晶硅薄膜退火前后氟分布的变化(见图 3)。图中同时标出了硅的信号作为参考。可以看到,随 RTA 退火时间的增加,注入的氟峰高度下降,而多晶硅/二氧化硅界面处的氟峰上升;在  $1100^\circ\text{C}$ , 30min 热退火后,多晶硅内氟剩下很少,多晶硅/二氧化硅界面处的氟峰则很明显,另外,可以发现,退火后样品中氟的总量减少了。就是说,在退火的过程中,多晶硅中的氟除了一部分停留在晶粒内与晶界上外,在不同的退火条件下,氟会快速沿晶界向样品表面以及多晶硅/二氧化硅界面扩散。向样品表面扩散的氟会耗散在退火环境

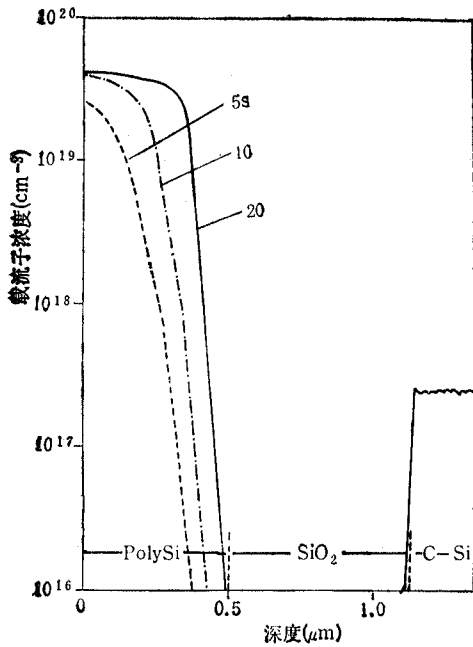


图2 180keV,  $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$  的  $\text{BF}_3^+$  注入多晶硅薄膜经 1200°C RTA 后,载流子浓度与退火时间的关系

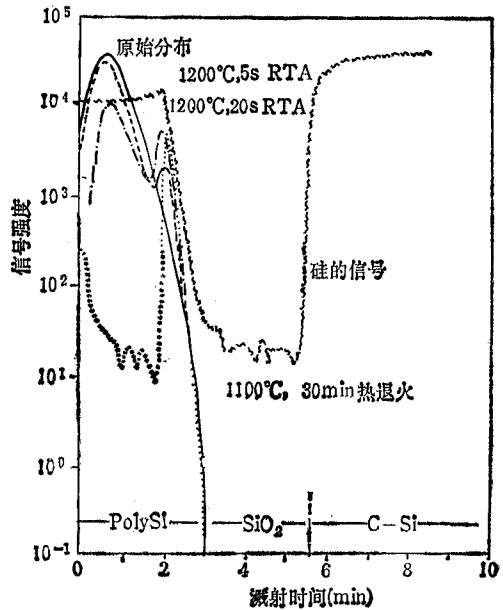


图3 180keV,  $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$  的  $\text{BF}_3^+$  注入多晶硅薄膜, SIMS 分析得到的退火前后氟的分布

中,向多晶硅/二氧化硅界面扩散的氟,因为界面处有大量未饱和的硅悬挂键,从而形成 Si-F 键。当注入剂量比较大时,过多的氟会聚集而形成氟泡。

(3) TEM 的观察分析

首先,我们对厚度约为  $0.5 \mu\text{m}$  的多晶硅,用 180keV,  $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$   $\text{BF}_3^+$  注入的样品进行了 TEM 观察。退火前、900°C, 30min 退火以及 1200°C, 10s RTA 后的样品 TEM 照片如图 4 所示。比较照片可得出,RTA 的多晶硅的晶粒度明显大于 900°C, 30min 常规热退火的,这与 Hitoshi Arai 等<sup>[6]</sup>的研究结果是一致的。RTA 后多晶硅的晶粒度大于常规热退火的多晶硅,这就是 RTA 后多晶硅电学性能优于常规热退火的原因。

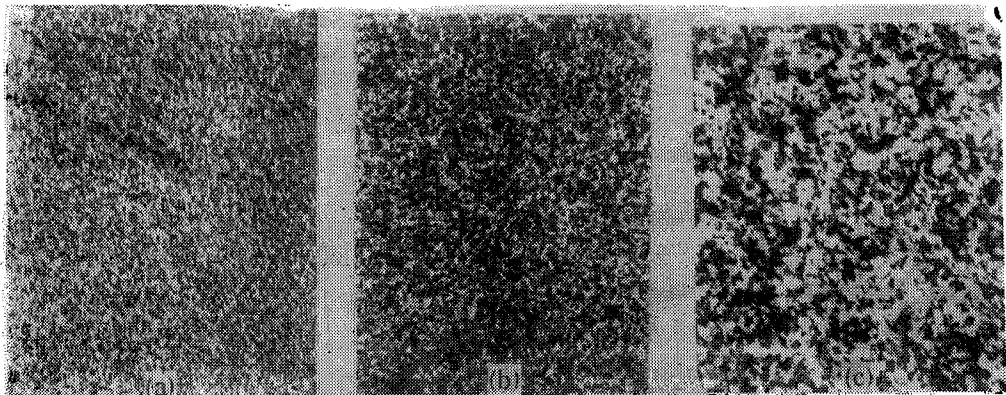


图4 180keV,  $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$  的  $\text{BF}_3^+$  注入的多晶硅薄膜 ( $0.5 \mu\text{m}$ ) 退火前后的 TEM 照片 ( $\times 5500$ )  
(a) 退火前, (b) 900°C 30min 热退火后, (c) 1200°C, 10s RTA 后

关于晶粒度对多晶硅导电性能的影响,将另文发表。

为了观察氟在多晶硅/二氧化硅界面的聚集,我们选用了厚度为  $0.2\mu\text{m}$  多晶硅薄膜的  $\text{BF}_3^+$  注入样品,经  $1200^\circ\text{C}$ , 30sec RTA 后进一步作 TEM 观察。在注入剂量小于  $5 \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$  时,没有发现异常现象,而当注入剂量为  $1 \times 10^{15}\text{cm}^{-2}$  时,TEM 照片中发现了气泡,注入剂量为  $5 \times 10^{15}\text{cm}^{-2}$  时,观察到比较多的气泡,气泡的大小一般为  $0.1\mu\text{m}$ ,见图 5。与 SIMS 分析结果和电学性能的测试结果相比较,可以得出,这种气泡是氟在退火过程中的聚集形成的,而多数的氟泡在多晶硅/二氧化硅界面处形成。这种氟泡,在多晶硅薄膜较厚的样品的 TEM 照片中看不清楚,而当多晶硅足够薄时就显示出来了。由此可见,与  $\text{BF}_3^+$  注入单晶硅的退火行为<sup>[2]</sup>类似,在一定的退火条件下,退火后的多晶硅样品中也会出现氟泡。

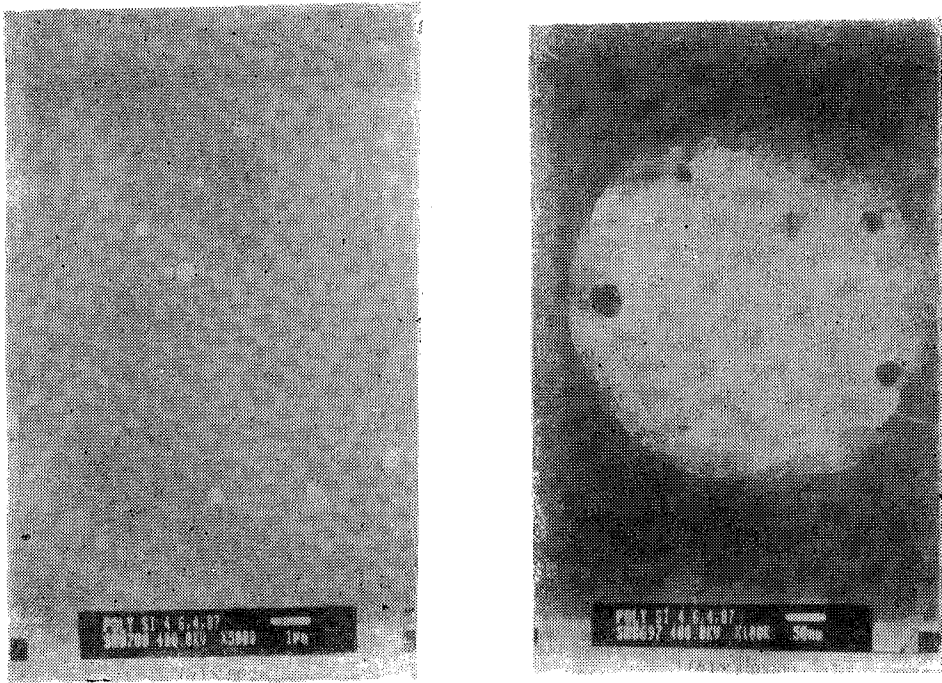


图 5  $180\text{keV}$ ,  $5 \times 10^{15}\text{cm}^{-2}$  的  $\text{BF}_3^+$  注入多晶硅薄膜 ( $0.2\mu\text{m}$ ) RTA 后, TEM 照片

### 参 考 文 献

- [1] I. W. Wu, R. T. Fulks, J. C. Mikkelsen, Jr., *J. Appl. Phys.*, **60**(1986), 2422.
- [2] C. W. Nieh, L. J. Chen, *Appl. Phys. Lett.*, **48**(1986), 1528.
- [3] S. R. Wilson, R. B. Gregory, et al., *J. Electrochem. Soc.*, **132**(1985), 922.
- [4] M. Y. Tsai, D. S. Day, et al., *J. Appl. Phys.*, **50**(1979), 188.
- [5] Lin Chenglu, Tsou Shihchang, *Nucl. Instru. Meth. in Phys. Res.*, **B21**(1987), 627.
- [6] 方芳,林成鲁,沈宗雍,邹世昌,电子科学学刊,**8**(1986),45.

## FLUORINE BEHAVIOUR IN $\text{BF}_2^+$ IMPLANTED POLYSILICON FILMS SUBJECTED TO RAPID THERMAL ANNEALING

Lin Chenglu Ni Rushan Zou Shichang

*(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica, Shanghai)*

**Abstract** The physical and electrical properties of  $\text{BF}_2^+$  implanted polysilicon film subjected to rapid thermal annealing (RTA) are presented. It is found that the out diffusion of F and its segregation at polysilicon/silicon oxide interface during RTA are the major causes of F anomalous migration. Fluorine bubbles were observed in  $\text{BF}_2^+$  implanted samples at doses of  $1 \times 10^{15}$  and  $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  after RTA.

**Key words** Ion implantation; Rapid thermal annealing; Fluorine bubble