

研究简报

# 实现 SOI 结构的 ELO 方法中 $\text{SiO}_2$ 上 Si 多晶核的形成与抑制

阎春辉 刘明登 全宝富 朱袁正

(吉林大学电子科学系,长春, 130023)

张旭光 王阳元

(北京大学微电子所,北京, 100871)

1990年6月2日收到 1991年4月5日修改定稿

本文从分析 Si 在  $\text{SiO}_2$  上成核的一般过程出发, 利用新的成核理论, 分析出影响成核的重要因素是氢吸附; 并着重针对 ELO 过程的特点, 通过大量实验研究了各种条件对成核的影响, 找到了既能完全抑制多晶成核又能实现侧向生长的最佳工艺条件。根据实验中测得的临界成核时间及沉积自由区宽度, 采用间歇生长技术在  $20\mu\text{m}$  宽的  $\text{SiO}_2$  条上完全抑制了多晶成核, 而加入  $\text{Br}_2$  的生长/腐蚀循环工艺则在  $30\mu\text{m}$  宽的  $\text{SiO}_2$  上完全抑制了多晶成核, 为获得高质量的 SOI 材料打下了良好的基础。

## 引 言

SOI(Silicon on Insulator) 作为实现高压集成电路和三维集成电路的重要技术, 现已得到了深入研究和广泛应用, 并形成了一系列各具特色的 SOI 技术<sup>[1]</sup>, ELO (Epitaxial lateral Overgrowth) 就是其中较为成功的方法之一。

ELO 的工艺过程如图 1 所示, 在氧化后的硅衬底上光刻出具有一定形状和尺寸的窗口, 以窗口处裸露的硅单晶衬底为籽晶进行气相外延生长, 同时防止硅在  $\text{SiO}_2$  表面成核, 待籽晶的选择生长填平窗口后, 向两侧的  $\text{SiO}_2$  上扩展, 即开始侧向外延过生长 (ELO), 最后形成平整、连续的单晶层。

ELO 方法首先要解决的问题就是要抑制 Si 在  $\text{SiO}_2$  上的多晶成核。如果多晶成核得不到很好的抑制, 不仅将在外延层中引入大量缺陷, 严重时还会形成多晶。

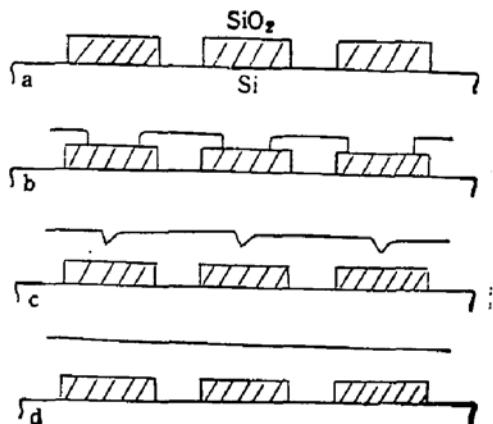


图 1 ELO 过程示意图

## 工艺实验与结果讨论

选取合适的绝缘层做掩膜,会使 ELO 过程较容易得以实现,对于  $\text{SiO}_2$  和  $\text{Si}_3\text{N}_4$  两种绝缘层,在  $\text{H}_2$  气氛下,由于 O-H 键强于 N-H 键,故  $\text{H}_2$  在  $\text{SiO}_2$  上的吸附比  $\text{Si}_3\text{N}_4$  强得多,氢吸附一方面占据自由位置,妨碍了  $\text{SiCl}_4$  和  $\text{SiCl}_2$  在衬底表面上的吸附和获得能量;另一方面氢吸附直接妨碍了 Si 原子在表面的扩散与成核。此外,在  $\text{SiO}_2$  表面有反应  $\text{Si}^* + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{SiO} \uparrow$  存在 (\* 表示吸附态), 这两方面因素使得 Si 在  $\text{SiO}_2$  上比在  $\text{Si}_3\text{N}_4$  上的成核困难得多<sup>[2]</sup>, 因此选取  $\text{SiO}_2$  为绝缘层更有利于 ELO 过程。

含有不同卤原子的硅源,在相同生长条件下,成核密度有很大差异,随卤原子数的增加,成核密度下降,这是因为中间产物  $\text{SiCl}_2$  的浓度随卤原子增加而下降<sup>[2]</sup>。因此也表明了  $\text{SiCl}_4$  应用于 ELO 过程的优越性。实验中,我们选用  $\text{SiO}_2$  掩膜,利用可进行常、低压转换的四氯化硅氢还原系统进行外延生长,衬底为 n 型 (100) 或 (111) 单晶 Si 片。

### 1. Si 在大面积 $\text{SiO}_2$ 的成核与抑制

实验中用氧化层厚 5500 Å 的 (100) Si 片做了以下几个试验, 生长准备均是 1200°C 通  $\text{Br}_2$  预处理 3 分钟。

a.  $\text{SiCl}_4$  的流量对成核密度影响如图 2, 金相显微镜在  $10 \times 100$  倍下观测其中视场面积  $S = 2.7 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$   $\text{SiCl}_4$  流量是指携带  $\text{SiCl}_4$  的  $\text{H}_2$  量在流量为 1.01/min 时有一最大值,之后随反应物  $\text{SiCl}_4$  量的增加,成核密度反而下降且当它足够大时,成核密度基本不因  $\text{SiCl}_4$  流量而改变,其原因可以从



中找到,因  $\text{H}_2$  量一定,当  $\text{SiCl}_4$  量超过 1l/min 后,过剩的  $\text{SiCl}_4$  会开始对  $\text{Si}^*$  (吸附态

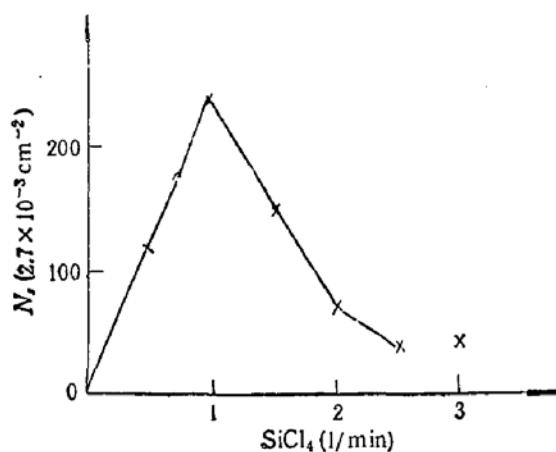


图 2  $\text{SiCl}_4$  流量与成核密度的关系

生长条件:  $T 1200^\circ\text{C}$ ,  $P 1.0 \times 10^6 \text{ Pa}$ ,  $\text{H}_2$  10l/min, ( $\text{Br}_2$  0.5l/min 预处理 3 分), 生长时间 3 分

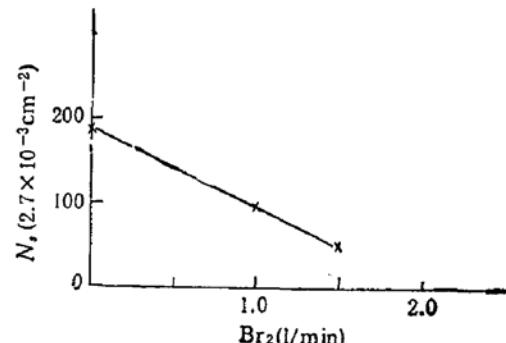


图 3  $\text{Br}_2$  流量与成核密度的关系

Si 原子)产生腐蚀作用,且随  $\text{SiCl}_4$  的增加,腐蚀作用进一步加强因而  $N$  会下降,而  $\text{SiCl}_4$  进一步增多时,因  $\text{Si}^*$  量不变,  $\text{H}_2$  量恒定,故剩余的  $\text{SiCl}_4$  不参加反应而跑掉。导

致,  $N_s$  最后趋于恒定而不随 SiCl<sub>4</sub> 流量而改变。

b. Br<sub>2</sub> 对多晶成核的腐蚀作用如图 3,  $N_s$  随 Br<sub>2</sub> 量增加而下降且随流量的进一步增加而趋恒定, 原因与 SiCl<sub>4</sub> 对 Si\* 的腐蚀类似, 主要反应为:



结果表明 Br<sub>2</sub> 对成核有明显的抑制作用。

c. 生长温度对  $N_s$  的影响如图 4, 结果表明, 适当降低衬底温度会降低  $N_s$ , 且较低的

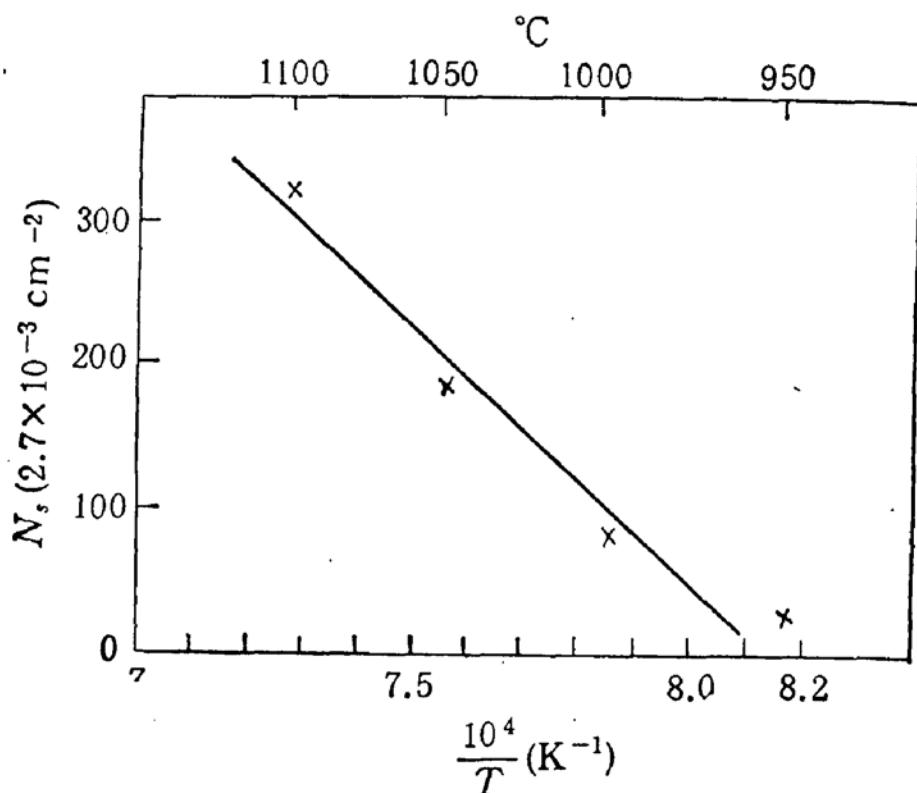


图 4 温度与成核密度的关系

$H_2$  10l/min,  $1.0 \times 10^5$  Pa,  $SiCl_4$  1.0l/min 生长时间 3 分钟

衬底温度也可保护 SiO<sub>2</sub> 表面免受破坏<sup>[3]</sup>。温度变低, 氢吸附增强, 使表面自由位减少, 从而  $N_s$  下降。

d. 反应室的压力是影响  $N_s$  的另一重要因素, 实验结果如图 5。减压情况下, 表面原子的吸附更难, 因而成核中心随压力降低而减少; 由于感应加热, 当气流速率因压力降低而增加时, 会在衬底上方形成很大的温度梯度, 它一方面阻碍了反应物分子向衬底表面的扩散, 另一方面也加强了吸附原子的脱附; 综上所述, 低压生长对抑制成核有明显作用。

## 2. ELO 过程中的多晶成核与抑制

在 ELO 过程中, 由于 SiO<sub>2</sub> 面积很小, 且受

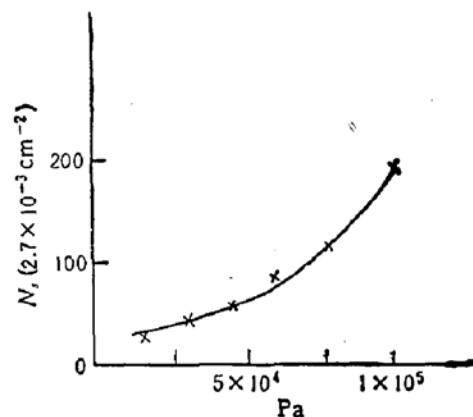


图 5 压力与成核密度关系

温度 1100°C,  $H_2$  10l/min,  $SiCl_4$  1.0l/min  
分流 4.8l/min, 生长时间 3 分

两侧籽晶的影响,  $N_s$  与在大面积  $\text{SiO}_2$  上的要小得多, 不同宽度  $\text{SiO}_2$  条上的实验结果如下:

$\text{SiO}_2$ 宽度 ( $\mu\text{m}$ )	20	40	45	50	55
成核密度 $N_s(\text{cm}^{-2})$	0	$3.7 \times 10^3$	$5.6 \times 10^3$	$6.7 \times 10^3$	$8.7 \times 10^3$

放大倍数  $10 \times 100$ , 条件:  $T = 1050^\circ\text{C}$ ,  $P = 1.0 \times 10^5\text{Pa}$ ,  $\text{SiCl}_4$  1.01/min 生长 10 分钟,  $H_2$ , 151/min.

结果表明,  $\text{SiO}_2$  条宽越窄,  $N_s$  越小, 这是两侧 Si 区的边缘效应的影响, 这一原因导致了无核区<sup>[4]</sup>的出现, 如图 6 所示。在靠近 Si 区的  $\text{SiO}_2$  上, 在一个较窄的范围内不出现晶核, 一般一侧的无核区在  $10 \mu\text{m}$  左右。这主要是由于 Si 籽晶区的存在, 在生长中产生了较大的侧向 Si 原子浓度梯度, 相当于侧向生长前沿的吸附效应, 使得在靠近 Si 区附近无法成核, 产生了无核区。

由于边缘效应的影响是有限的, 且无核区也仅是在一定时间内存在, 对于较宽的  $\text{SiO}_2$ , 要实现 ELO 过程, 还应引入辅助的抑制方法。

由于临界成核时间的存在(一般在几分钟左右), 我们选择间歇生长方法抑制成核。即生长一分钟, 停止生长一分钟交替进行。其主要机理是: (i) 停止生长阶段无  $\text{Si}^*$  原子产生, 只有  $\text{Si}^*$  的解吸,  $\text{Si}^* \rightarrow \text{Si}(g) + *$ ; (ii) 系统中副产物 HCl 有助于减少吸附原子:  $\text{Si}^* + 2\text{HCl}(g) \rightarrow \text{SiCl}_2(g) + \text{H}_2$  (iii)  $\text{SiO}_2$  本身在此阶段也有消除  $\text{Si}^*$  原子的作用:  $\text{Si}^* + \text{SiO}_2 \rightarrow 2\text{SiO}(g)$ , 只是这一反应在  $1200^\circ\text{C}$  以下进行较慢, 高于  $1200^\circ\text{C}$ ,  $\text{SiO}_2$  层将有严重损坏, 从而在经历了停止生长阶段后, 吸附态  $\text{Si}^*$  原子大大减少, 又为下一循环的生长提供了较清洁的表面。而外延层在此阶段几乎不受影响。

应当注意到, 停止生长阶段的抑制成核作用是有限的, 实验中利用间歇生长在  $20 \mu\text{m}$  宽的  $\text{SiO}_2$  条上实现 ELO 过程。

如果要更有效地抑制多晶成核, 则需要在停止生长阶段引入  $\text{Br}_2$ , 利用  $\text{Br}_2$  来进一步清除  $\text{SiO}_2$  表面已存在的吸附态 Si 原子及原子团。为下一步生长提供清洁表面。但  $\text{Br}_2$  量要合适, 太多则腐蚀掉了外延层。利用生长/腐蚀循环工艺, 已在  $30 \mu\text{m}$  宽的  $\text{SiO}_2$  条上完全抑制了多晶成核, 为获得高质量的 ELO 膜打下了良好基础。

## 结 论

1. Si 在  $\text{SiO}_2$  表面的成核与表面反应, 吸附和扩散有关, 在过饱和度足够大的条件下, 氢吸附对成核有很大影响。

2. 临界成核时间的存在使间歇生长技术得以实现, 边缘效应加间歇生长实现了  $20 \mu\text{m}$  宽  $\text{SiO}_2$  上的成核抑制。

3.  $\text{Br}_2$  腐蚀剂有明显的抑制成核作用, 有  $\text{Br}_2$  的生长/腐蚀循环工艺使  $30 \mu\text{m}$  宽的  $\text{SiO}_2$  条上的多晶成核得到完全抑制。

十分感谢吉林大学电子科学系周桂兰、张玉贤及王宗昌等老师的帮助, 并对长春半导体厂柳永勋工程师的大力支持与帮助表示衷心感谢。

## 参 考 文 献

- [1] L. Jastrzebski, *RCA Review*, 44(6), 250(1983).
- [2] W. A. P. Classem and J. Bloem, *J. Electrochem. Soc.*, 127, 1836(1980).
- [3] L. Jastrzebski, *J. Crystal Growth* 63, 493(1983).
- [4] W. G. Oldham and R. Holmstrom, *J. Electrochem. Soc.*, 114, 381(1967).

## Formation and Inhibition of Polysilicon Nucleation on SiO<sub>2</sub> for SOI by ELO

Yan Chunhui, Liu Mingdeng, Quan Baofu, Zhu Yuanzheng

(Electronic Science Dep. of Jilin University, Changchun, 130023)

Zhang Xuguang, Wang Yangyuan

(Microelectron Institute of Beijing University, Beijing, 100871)

### Abstract

According to the new nucleation theory, the important factor for polysilicon nucleation on SiO<sub>2</sub> surface is the adsorption of various substances on SiO<sub>2</sub> surface, especially the hydrogen adsorption. We have also studied the impacts of various experimental conditions for polysilicon nucleation in ELO processes, and found out the optimum growth condition for inhibition polysilicon and realization lateral overgrowth simultaneously. According to critical nucleation time and width of free deposition area obtained in experiments, the polysilicon nucleation on 20μm wide SiO<sub>2</sub> strip has been suppressed by using intermittent growth technique; furthermore, the growth/Br<sub>2</sub> etching method make the surface of 30μm SiO<sub>2</sub> strip clean. All of these form a good foundation for getting high quality SOI structure material.