

高温氢气氛对 SIMOX/SOI 结构的损伤

李金华^a, 林成鲁^b, 林梓鑫^b, 薛才广^a, 邹世昌^b

^a 常州半导体厂, 江苏, 213001

^b 中国科学院上海冶金研究所离子束开放实验室, 上海 200050

(1991年7月2日收到, 1991年9月19日收到修改稿)

SIMOX/SOI 样品在 1000~1200℃ 的高温 H_2 气氛中作不同时间(5—30 分)的烘烤。结果, SOI 结构受到了不同程度的损伤。测试结果表明, 这种损伤包括: 高温 H_2 使 SOI 结构顶层 Si 中缺陷的扩展, 高温 H_2 使埋层 SiO_2 分解和分解后的 O_2 (或 H_2O) 在外释过程中造成表层单晶 Si 的损伤。高温 H_2 对 SIMOX 结构的这种损伤对 SIMOX/SOI 的外延是不利的。

EEACC: 0914, 0810, 0340

1. 引言

在目前众多的 SOI (Silicon On Insulator) 制备技术中, 注氧 SOI 结构即 SIMOX (Separation by IMplantation of Oxygen), 被认为是一种很有前途的技术。国内外已对 SIMOX 结构的形成和它的各种性质作过许多研究^[1-4], 并且用 SIMOX/SOI 结构制备了不少器件^[5-7]。但是, 对该结构的稳定性研究却报道不多。最近, 我们对 SIMOX 结构外延时, 发现了高温 H_2 对该结构强烈的损伤作用。进一步的研究证明, 这种损伤既包括 H_2 对表层单晶的损伤, 也包括使埋层 SiO_2 的分解。本文将报道这些实验的结果, 并对损伤机理作初步讨论。

2. 实验

电阻率为 $6-8\Omega \cdot cm$ 的 N(100) 单晶 Si, 经 170keV, $1.4 \times 10^{18}/cm^2$ 的 O^+ 注入。注入束流密度约 $25\mu A/cm^2$ 。注入时衬底不加热。注入后的样品用常压 CVD 在表面沉积 3500 Å SiO_2 , 然后在 1200℃ 的 N_2 气氛中退火 2 小时。漂去保护氧化层后作外延和 H_2 气氛烘烤试验。外延和烘烤都在卧式高频感应外延炉中进行。

实验样品用 Rutherford 背散射 (RBS) 技术测结构的变化; 用自动扩展电阻仪 (ASR) 测 SIMOX 的电学性质; 用光学显微镜观察样品表面的形貌。

为了比较分析高温 H_2 对热生长 SiO_2 和 SIMOX 埋层 SiO_2 的作用, 还在单晶 Si 上生长一层约 3000 Å 的热氧化 SiO_2 。这种 SiO_2/Si 结构样品, 与 SIMOX/SOI 样品一起作适当的对比试验。

各样品的实验条件和实验后的形貌观察结果列于表 1。

3. 结果

图 1 是 1# 样品外延前后和 4# 样品烘烤后的 ASR 结果。由图可见, 样品经外延后不但表层单晶 Si 的厚度增加了, 而且表层单晶下的高阻区厚度从 3200 Å 增加到 4600 Å。

表 1 SIMOX/SOI 和 SiO_2/Si 样品的实验条件和表面形貌

样品	制备条件	编号	外延或烘烤	时间(分)	温度($^{\circ}\text{C}$)	表面形貌
SIMOX /SOI 结构	注入: 170keV $1.4 \times 10^{18} \text{cm}^{-2}$ $25 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 退火: 1200°C N_2 , 2 小时	1	外延	1	1200	表面好, 高阻层变厚
		2	烘烤	20	1000	严重损伤
		3	烘烤	5	1200	轻度损伤
		4	烘烤	10	1200	严重损伤
		5	烘烤	30	1200	严重损伤
SiO_2/Si 结构	1000°C , $\text{O}^+ + (\text{O}/\text{H}) + \text{O}_2$, $3000 \text{ \AA}$, SiO_2	6	烘烤	20	1000	SiO_2 被分解, 留下灰色 非晶 Si
		7	烘烤	10	1200	

说明: 表中的外延或烘烤时间, 指的是在选定温度下的维持时间, 不包括 3—5 分钟的升温时间和 5—8 分钟的降温时间。每个样品都需要在 H_2 中升温 and 降温。

经 1200°C , 10 分钟的 H_2 烘烤后, 全部单晶表面层都已变成高阻损伤层。用扩展电阻测量时, 高阻损伤层与高阻绝缘埋层无法区别。

图 2 是经 1200°C , 30' 和 1000°C , 20 分 H_2 烘烤后 SIMOX/SOI 样品的表面光学照片见图版 1。从照片可见整个表面都已布满损伤, 而且还看到 $\langle 100 \rangle \text{Si}$ 特有的正方形位错。从表面看, 1200°C 30 分烘烤样品比 1000°C , 20 分样品的损伤更为密集。

图 3 是 SIMOX/SOI 样品在 H_2 烘烤前和经 1200°C , 5 分和 30 分钟烘烤后的 RBS 测试结果。从图可见, 埋层 SiO_2 在烘烤时被逐步分解。表层 Si 中的含 O 量在逐步增加。

最后, 从表 1 中样品 6* 和 7* 的观察表明, 高温 H_2 对硅上裸露的热生长无定型 SiO_2 也有很快的分解作用。3000 $\text{\AA}$ 的 SiO_2 层经 1200°C , 10 分或 1000°C , 20 分的烘烤后, 已基本分解完毕。

4. 讨论

对上述实验结果, 我们的初步解释是:

1. 为了降低 SIMOX/SOI 结构上层单晶硅中的缺陷密度, 除了控制注入剂量和注入时的衬底温度外, 还要求有高于 1300°C 的退火温度。在各种条件控制恰当后, 上层 Si 中的缺陷密度可降到 $10^4/\text{cm}^2$ 以下^[4]。否则可高达 $10^9/\text{cm}^2$ 。我们样品的退火温度是 1200°C , 样品上层 Si 中会有较高密度的氧沉淀和各种缺陷。当样品在高温 H_2 中烘烤时, 活泼的 H 原子很快进入顶层 Si 中, 并使氧沉淀和位错移动并扩展。若烘烤时间足够长, 则整个表面单晶 Si 会完全变成损伤层, $\langle 100 \rangle \text{Si}$ 所特有的正方形位错就可在样品表面

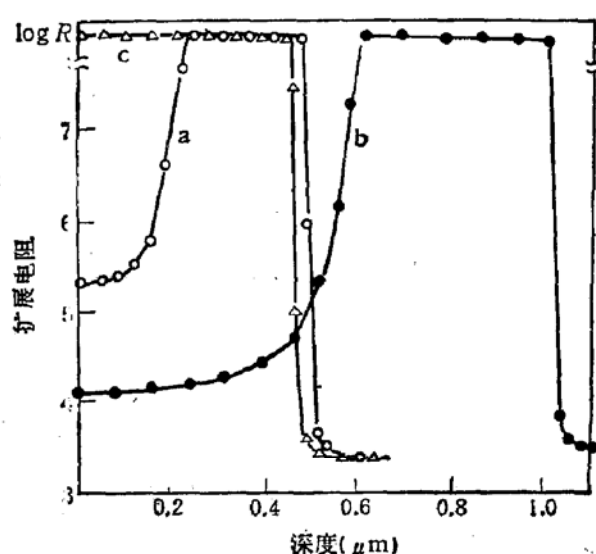


图 1 表 1 中 1 样品外延前(a)后(b)和 4 样品烘烤后(c)的 ASR 测试结果

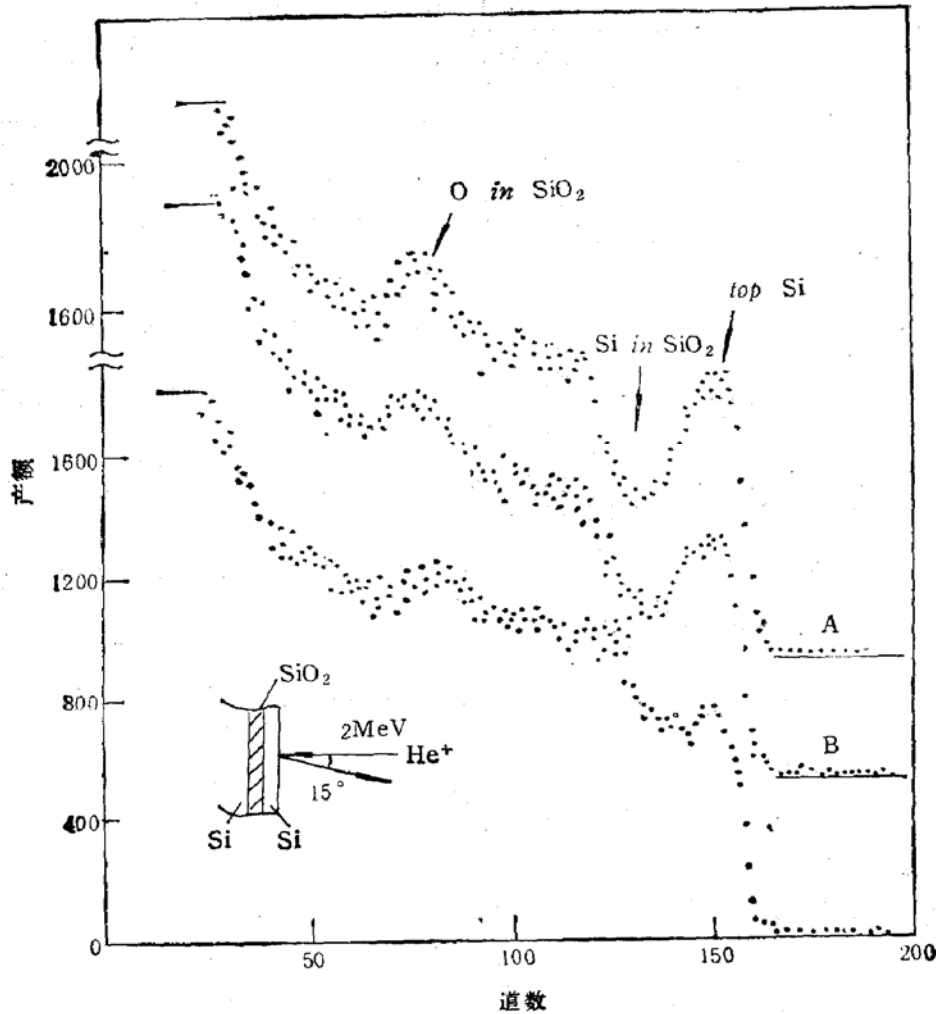


图3 SIMOX/SOI 样品的 RBS 产额谱

A, 烘烤前, B, 表1中3样品, C, 表1中5样品.

被观察到。当烘烤时间较短时,则缺陷和位错的扩展就达不到表面,这也许是图1(b)中高阻层变厚的原因。在这种情况下,ASR测出的高阻区并不与 SiO_2 埋层的厚度相同,它是由 SiO_2 埋层(绝缘层)与硅的损伤层(缺少自由载流子)组成的。这也清楚地说明,顶层单晶的损伤转变是从SIMOX结构的前界面开始的。

2. 由于表层Si的阻挡,使高温 H_2 对SIMOX结构埋层 SiO_2 的分解比对Si上裸露的 SiO_2 的分解要困难。SIMOX/SOI样品的埋层被分解时,释放出的 O_2 或 H_2O 分子会通过表层Si外释,结果在表层单晶中形成大量的氧(SiO_2 , SiO)沉淀,使表层Si迅速高阻化,成为损伤层。这种现象从图3的RBS产额谱中可清楚地看出。随着在高温中烘烤时间的加长,表层单晶中Si的产额大大减少,氧的含量(产额)增加;原来埋层中Si的产额基本不变,但氧的产额却在逐步降低。这正说明了埋层 SiO_2 的分解和表层单晶硅的损伤。

3. 由于 1000°C 的 H_2 烘烤也能使SIMOX/SOI结构比较快地受到损伤,而且目前无论用 SiH_4 分解外延还是用 SiCl_4 与 H_2 反应外延,都离不开高温 H_2 气氛。样品升温也在 H_2 气氛下进行,因此在对SIMOX/SOI结构外延时,需要特别注意对时间和温度的控制,

以免 SIMOX 结构受到不必要的损伤。或许尽量在高真空下升温 and 降温, 而不是在 H_2 气氛下升降温, 对 SIMOX/SOI 结构的薄层外延会有利的。

5. 结论

高温($1000\sim1200^\circ\text{C}$) H_2 气氛能使 SIMOX/SOI 结构受到严重损伤。这种损伤包括高温 H_2 使 SOI 结构上层 Si 中的缺陷扩展, 使埋层 SiO_2 分解和埋层分解后的 O_2 (或 H_2O) 分子或分子团在外释过程中使表层单晶 Si 的进一步损伤。为了减少 SIMOX/SOI 结构在外延时受到损伤, 应当尽量降低反应温度和缩短烘烤时间。在较高真空下升降温或许对 SIMOX/SOI 的薄层外延是有利的。

参 考 文 献

- [1] K. Izumi, Y. Omura and T. Sakai, *J. Electron Mater.*, **12**, 845 (1983).
- [2] D. J. Foster, *et al.*, *IEEE Transactions On Electron Devices*, **ED-33** (3), 354 (1986).
- [3] K. J. Reeson, *Nucl. Inst and Meth. in Phys. Res.* **B19/20** 269 (1987).
- [4] P. L. F. Hemment, *et al.*, *Nucl. Inst and Meth. in Phys. Res.* **B39**, 210 (1989).
- [5] G. K. Celler and J. C. Lee, *IEEE SOS/SOI Tech. Conf.* paper L₂ (1989).
- [6] 陈南翔, 石涌泉, 王忠烈, 黄敏, 半导体学报, **11**, (4)305 (1990).
- [7] A. B. Wittkower *et al.*, *Nucl. Inst and Meth. in Phys. Res.*, **B37/38** 512 (1989).
- [8] S. Nakashima and K. Izumi, *Nucl. Inst and Meth. in Phys. Res.*, **B55** 847 (1991).

SIMOX/SOI Structure Damaged by Hydrogen at High Temperature

Li Jinhua^a, Lin Chenglu^b, Lin Zixin^b, Xue Caiguang^a and Zou Shichang^a

^aChangzhou Semiconductor Factory, Jiangsu 213001

^bIon Beam Laboratory, Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica, Shanghai 200050

(Received 2 July 1991, revised manuscript received 19 September 1991)

Abstract

SIMOX/SOI samples were heated with different time in hydrogen ambient at temperatures ranging from 1000°C to 1200°C . All of samples were damaged. There are three types of damage: The dislocations and defects in the superficial silicon layer were spreaded; The buried SiO_2 of SIMOX was decomposed; The released O_2 or H_2O made the superficial layer to damage further due to diffusion out through the surface layer. So, it is important to select shorter time and lower temperature in H_2 ambient for epitaxy of SIMOX/SOI structure.

EEACC: 0914, 0810, 0340