

多晶硅膜的高压氧化

张爱珍

(北京半导体器件研究所)

王阳元

(北京大学微电子研究室)

1985年5月25日收到

对未掺杂的、重磷掺杂的和重硼掺杂的多晶硅膜在 812°C, 7.5 atm 的高压水汽中的氧化特性进行了研究。为了比较, 同时给出了 (111)-Si 和 (100)-Si 的氧化结果。对未掺杂多晶硅, 氧化特性和常压湿氧情况下类似, 但标志初始迅速氧化阶段的时间 t_1 变短。对重磷掺杂多晶硅膜, 加速氧化是很明显的。它能得到一个较大的 x_{pol}/x_{sol} 厚度比率。对重硼掺杂多晶硅, 在高压和常压下氧化速率都比 (111)-Si 快, 但加速氧化的现象小得多。

一、引言

高压氧化能够加速硅的氧化, 降低氧化温度, 缩短氧化时间, 减少氧化引入的堆垛层错的密度和长度, 减小前部扩散结的推移。因此这个新的技术已成功地用于 VLSI 的芯片制作中^[1-2]。特别是最近已有报告指出^[3]: 在 750°C 时, 在掺杂多晶硅膜上生长的氧化层厚度可以是同时生长在硅衬底上的 5 倍。非常有必要详细了解多晶硅膜在高压氧化系统中的氧化特性, 以将这个新的工艺用于双多晶硅层结构的电路制作中。

本文的目的是报道未掺杂多晶硅, 重磷掺杂多晶硅和重硼掺杂多晶硅在 812°C, 7.5 atm 的高压水汽中的氧化特性。为了比较, 还给出了 (111)-Si 和 (100)-Si 同时氧化的结果以及 812°C, 1 atm 下同样样品的氧化结果。

二、实验方法

原始硅片是 P 型, 7—15Ωcm 的(111)单晶硅和 6—8Ωcm 的(100)单晶硅, 有或没有 1000 Å 的热二氧化硅。多晶硅膜是在 625°C, LPCVD 系统中, 硅烷热分解的方法淀积的。多晶硅膜的厚度有 1.5 μm 和 0.6 μm 两种。较薄的用于扩硼。

磷掺杂是用平面磷源, 在 1140°C, 8 分钟扩散完成。用四探针测得多晶硅膜的平均薄层电阻是 7Ω/□, 同一炉中扩散的 (111)-Si 的薄层电阻是 4Ω/□。硼掺杂是用微晶玻璃平面硼源, 在 1040°C, 15 分钟扩散完成。多晶硅膜的薄层电阻是 46Ω/□, 而 0.5 Ωcm, 8 μm 厚的 n 型外延层上(在 (111)Si 上淀积)的薄层电阻为 42Ω/□。扩散后在硅表面上形成的 PSG 和 BSG 层都用缓冲 HF 除去。

高压氧化是在 812°C, 7.5 atm 的高压水汽的氧化系统中完成的。在这个系统中, 常压氧化炉置于一个不锈钢高压室中。压力用微处理机自动控制。为了避免高压室中的沾

污穿入石英管中，在升压、恒压和降压过程中，始终保持石英管内的水汽压强比不锈钢高压室内高 1 atm。常压湿氧氧化是在 812°C，氧气通过 95°C 的水鼓泡，流速率为 200 毫升/分。

多晶硅氧化层的厚度是用 Taylor Hobson 台阶高度剖面仪和 TP-77 偏光显微镜测量的。

三、结果和讨论

(1) 未掺杂多晶硅膜、(111)-Si 和 (100)-Si 的氧化层厚度对氧化时间的关系表示在图 1 中。氧化是在 812°C, 7.5 atm 和 1 atm 下完成的。和常压氧化一样^[4,5]，未掺杂多晶硅膜有一个迅速初始的氧化阶段，在这个阶段内，氧化速率不仅比(100)硅快，也比(111)硅快。随着氧化时间的增加，未掺杂多晶硅膜的氧化速率降在单晶的(100)硅和(111)硅之间。

多晶硅膜中加速氧化的现象是由于晶粒间界的存在所引起的，这已由氧化后高压电镜的形貌照片所证明^[6]。但是，未掺杂多晶硅膜加速氧化的程度在高压水汽中是比在常压湿氧中不明显的。至于多晶硅膜加速氧化的特征阶段(t_1)和氧化温度以及氧化压力的关系已由另一篇文章给出^[7]。

(2) 重磷掺杂多晶硅膜和(111)单晶硅膜的氧化层厚度对氧化时间的关系表示在图 2 中。和图 1 中的未掺杂多晶硅膜的氧化相比，很明显，重磷掺杂增强了氧化速率。和常压氧化一样，在高压水汽中重磷掺杂多晶硅膜的氧化速率总是比重磷掺杂单晶硅膜的慢。这可能是由于在氧化热处理过程中，杂质在晶粒间界中的分凝和迅速扩散而降低了表面

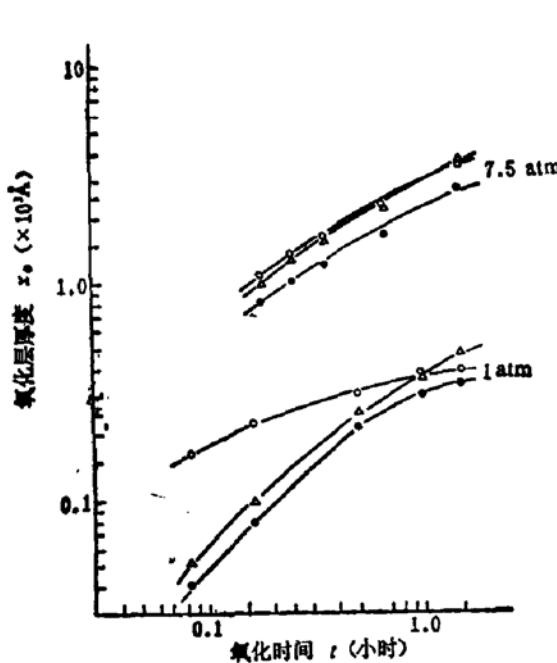


图 1 未掺杂多晶硅膜(○)，(111)单晶硅(△)，(100)单晶硅(●)在 812°C, 7.5 atm 和 1 atm 下的氧化层厚度与氧化时间的关系

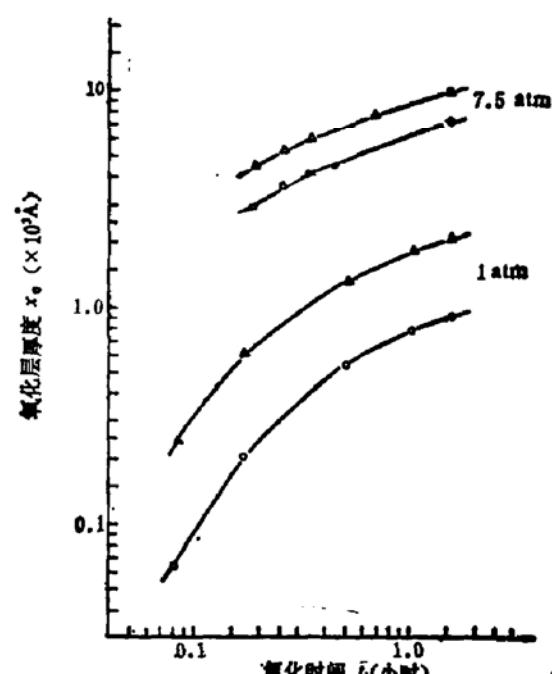


图 2 重磷掺杂多晶硅膜(○)，重磷掺杂(111)硅(△)在 812°C, 7.5 atm 和 1 atm 下的氧化层厚度与氧化时间的关系

杂质浓度,使多晶硅膜中的有效掺杂浓度比单晶硅中低。

(3) 重磷掺杂的多晶硅膜的氧化层厚度 (x_{pol}) 对轻掺杂单晶硅衬底上的氧化层厚度 (x_{son}) 的比率 x_{pol}/x_{son} 作为 x_{pol} 的函数表示在图 3 中。同时也给出了常压湿氧氧化下的比率 x_{pol}/x_{son} 。图中表明,高压氧化使这一比率增加,从常压湿氧中的 1.7 增加到 2.7。这正是高压氧化的一个优点,和适于双多晶硅层结构制作的关键。

(4) 重硼掺杂多晶硅膜和(111)单晶硅膜的氧化层厚度对氧化时间的关系表示在图 4 中。在高压水汽中和在常压湿氧中一样,多晶硅膜的氧化速率比单晶硅稍快一些。和重磷掺杂相比较,重硼掺杂无论对多晶硅还是单晶硅氧化速率的增强影响都是很不明显的。这是和磷有很强的分凝到晶粒间界中的倾向而硼则没有的结论相一致的^[1]。

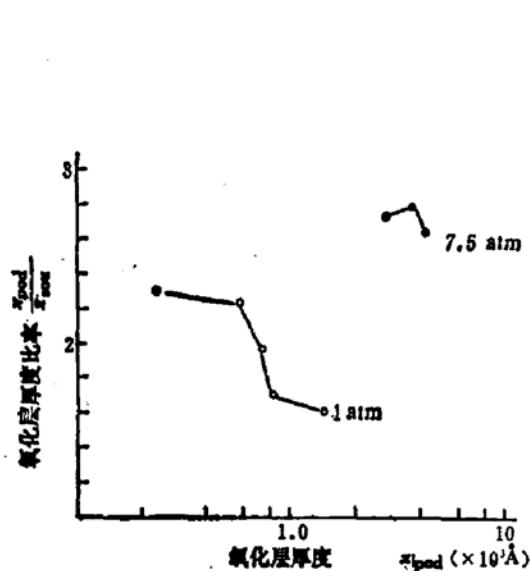


图 3 生长在重磷掺杂多晶硅上的氧化层和生长在轻掺杂硅衬底上的氧化层厚度的比率 x_{pol}/x_{son} 与 x_{pol} 的关系 (●) 7.5 atm 时, (○) 1 atm 时

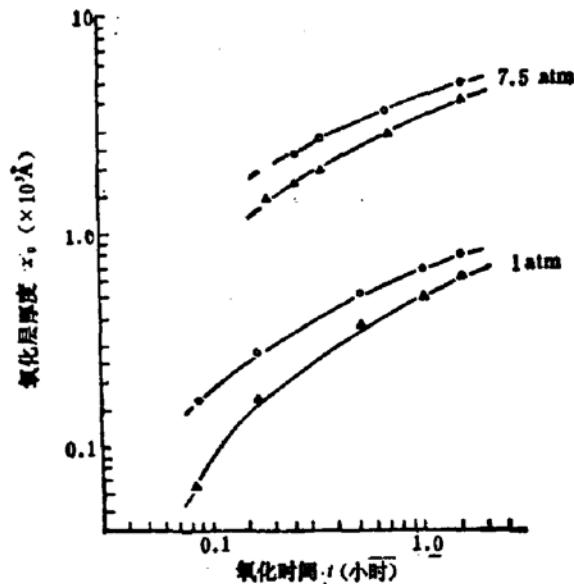


图 4 重硼掺杂多晶硅膜(○), 重硼掺杂(111)硅(△)在 812°C, 7.5 atm 和 1 atm 下的氧化层厚度与氧化时间的关系

四、结 论

(1) 未掺杂多晶硅膜的高压水汽氧化特性和常压湿氧中很类似。但是相应于初始迅速氧化阶段的时间 (t_1), 在高压水汽中比常压湿氧中是变短了。

(2) 在高压水汽氧化中,重磷掺杂多晶硅膜的加速氧化现象是比较明显的,它还能得到较大的比率 x_{pol}/x_{son} 。但是和常压氧化一样,重磷掺杂多晶硅膜的氧化速率都比重磷掺杂单晶硅的低。

(3) 和重磷掺杂多晶硅膜的氧化不同,重硼掺杂多晶硅膜的氧化速率比重硼掺杂的单晶硅膜的稍快。但多晶硅和单晶硅氧化速率的差别是不大的。

参 考 文 献

- [1] 张爱珍，“国外电子技术”，1980年，12期。
- [2] 张爱珍，“集成电路研究”，1984年，2期。
- [3] Makoto Hirayama, Hirokazu Miyoshi, Natsuro Tsubouchi and Haruhiko Abe, *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, SC-17, 133(1982).
- [4] Wang Yang-Yuan and Zhang Ai-Zhen, presented at SPIE'S 84 conference at Los Angeles and published in Proceedings Advanced Semiconduclor Processing and Charaoterization of Electronic and Optical Materials, 139—145, (1984).
- [5] 张爱珍、王阳元，半导体学报，6，150(1985)。
- [6] Wang Yang-Yuan and Zhang Ai-Zhen, Presented at the Third Internatioal Symposium on VLSI Science and Technology, Toronto, Ontario, Canada, May 12—17, (1985).
- [7] Zhang Ai-Zhen and Wang Yang-Yuan, ibid.
- [8] M. M. Mandurah, K. C. Saraswat, C. R. Helm and T. I. Kamins, *J. Appl. Phys.*, 51, 5755(1980).

Characteristics of Polysilicon Films Oxidized in High Pressure Oxidation System

Zhang Aizhen

(Institute of Peking Semiconductor Devices)

Wang Yangyuan

(Microelectronics Research Center, Peking University)

Abstract

The characteristics of undoped, heavily phosphorus-doped and heavily boron-doped polysilicon films oxidized in high pressure (7.5 atm) steam at temperature of 812°C have been studied and compared with those of (111)-Si and (100)-Si. For undoped polysilicon, the oxidation characteristics are similar to those in normal wet oxidation, but the initial fast oxidation time (t_f) is shorter than that in normal wet oxidation. For heavily phosphorus-doped polysilicon, accelerated oxidation is stronger and it is possible to obtain a large thickness ratio of oxide film grown on the polysilicon layer to the thin oxide film grown on the substrate. For heavily boron-doped polysilicon the oxidation rate is faster than that of (111)-Si in contrast with the results found in heavily phosphorus-doped polysilicon, but the differences are much less pronounced.