

# 非晶化注入技术在 NiSi SALICIDE 工艺中的应用\*

蒋玉龙<sup>†</sup> 茹国平 屈新萍 李炳宗

(复旦大学微电子学系, 上海 200433)

**摘要:** 在 pn 结形成之后借助非晶化 Si 离子注入技术可以将结表面 Si 单晶层非晶化. 作者研究了这种非晶化处理对 Ni 硅化反应的影响. 实验发现, 非晶化处理可以促进 Ni 在低温下与衬底 Si 的反应, 而且在低温下 Ni/Si 可以直接反应形成 NiSi. 实验结果表明这种非晶化未对硅化反应过程中杂质的再分布产生影响, 但是剖面透射电镜分析表明, 这种非晶化所需能量需要合理优化.

**关键词:** 硅化物; NiSi; 非晶化注入; 固相反应

**PACC:** 7360D; 8115N; 8140E

**中图分类号:** TN4      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0253-4177(2006)S0-0385-04

## 1 引言

自对准硅化物(SALICIDE)技术既可以降低源漏栅区导通电阻, 又可以降低这些区域的接触电阻, 因而被广泛应用于 CMOS 集成电路生产中<sup>[1]</sup>. TiSi<sub>2</sub> 和 CoSi<sub>2</sub> 一直被广泛使用在 SALICIDE 技术中. 但随着器件特征尺寸的减小, 常规 TiSi<sub>2</sub> 工艺受到“窄线条效应”限制; 而 CoSi<sub>2</sub> 的耗硅量太大难以适应先进浅结工艺<sup>[2,3]</sup>. NiSi 薄膜具有和 C54-TiSi<sub>2</sub> 及 CoSi<sub>2</sub> 相近的电阻率; 且反应温度低、耗硅量少、在亚 40nm 多晶硅线条上仍未呈现窄线条效应<sup>[4,5]</sup>.

因此 NiSi 被认为是继 TiSi<sub>2</sub>, CoSi<sub>2</sub> 之后制备高性能 CMOS 器件的新一代优选硅化物. Ni/Si 反应往往先在低温下形成 Ni<sub>2</sub>Si, 随着温度的升高再形成 NiSi, 当温度高于 750°C 时最终形成稳定的化合物——NiSi<sub>2</sub>. 由于 NiSi<sub>2</sub> 单晶的原胞与 Si 相似(都属于立方晶胞), 而且室温下 NiSi<sub>2</sub> 的晶格常数仅比 Si 小 0.442%, 因此在适当条件下 NiSi<sub>2</sub> 可以实现在 Si 衬底上的外延生长. 当前先进 CMOS 工艺中已普遍使用 STI 隔离和氮氧化物边墙结构, 而生长这些结构都不可避免地要在源漏栅区以及沟道区引入应力, 在器件的特征尺寸变得越来越小时, 这种影响越发显著. 尽管常规 Ni/Si 固相反应生成 NiSi<sub>2</sub> 所需的温度一般较高(>750°C), 但当应力对 Si 晶格的影响使得 Si 的晶格常数与 NiSi<sub>2</sub> 接近或相同时, 即使在低温下 NiSi<sub>2</sub> 也可能直接在 Si 衬底上实现外延生长<sup>[6]</sup>. 实际制造 CMOS 器件通常采用 Si(001) 衬

底, 而在 Si(001) 衬底上外延生长 NiSi<sub>2</sub> 时, 往往会形成如图 1 所示的“倒金字塔”刺状结构<sup>[7]</sup>. 当这种“刺状”结构出现在源漏区时, 将会影响结的特性, 增加漏电流, 因此在 NiSi 生长工艺中, 应当避免产生这种情况. 本文在 Ni 淀积之前, 引入了离子注入技术对 Si 衬底进行非晶化处理, 从而人为破坏 NiSi<sub>2</sub> 和衬底 Si 之间的外延关系并释放衬底中可能存在的各种应力, 进而研究了这种非晶化处理对 Ni 硅化反应的影响.

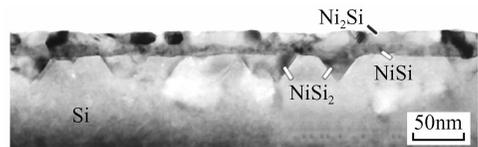


图 1 “倒金字塔”状外延 NiSi<sub>2</sub> 生成示意图

Fig. 1 Epitaxial growth of NiSi<sub>2</sub> with like inverse pyramids

## 2 实验

全部实验都在 200mm Si(001) 衬底上进行. 借助 Axcelis GSD 200mm 离子注入机向 n 型 Si 衬底注入 B(能量 4keV, 剂量  $2 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ ) 或者 BF<sub>2</sub>(能量 18keV, 剂量  $2 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ ) 形成 p<sup>+</sup>/n 结; 向 p 型 Si 衬底注入 As(能量 30keV, 剂量  $2 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ ) 形成 n<sup>+</sup>/p 结. 然后样品在 Axcelis Summit 300mm 退火炉中进行 1050°C/0s 的杂质激活退火. 借助 Axcelis GSD 200mm 离子注入机注入 Si(能量 5keV,

\* 国家自然科学基金(批准号: 60576029, 90607018), 上海应用材料研究与发展基金(批准号: 0514), 上海市自然科学基金(批准号: 05ZR14017)和中国-比利时 Flanders 大区科技合作计划(批准号: B/06086/01)资助项目

<sup>†</sup> 通信作者. Email: yljia@fudan.edu.cn

2005-10-11 收到, 2005-12-30 定稿

剂量  $7 \times 10^{14} / \text{cm}^2$  或 Si(能量 15keV, 剂量  $7 \times 10^{14} / \text{cm}^2$ ) 对部分样品进行表面非晶化处理. 因为这种非晶化处理是在 pn 结形成之后进行的, 因此也称为结后非晶化 (post-junction amorphization, PJA). 非晶化处理后的样品经过标准化学清洗后装入 AM Endura PVD 系统, 顺次淀积 8nm Ni 和 20nm TiN. 接着样品在 Axcelis Summit 300mm 退火炉中进行  $250 \sim 550^\circ\text{C}$  各 30s 的快速热退火 (RTP). 最后以  $\text{NH}_4\text{OH} : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} = 1 : 1 : 5 @ 50^\circ\text{C} / 5\text{min}$  去除 TiN; 以  $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 = 4 : 1 @ 90^\circ\text{C} / 1\text{min}$  作为选择腐蚀 (SE) 剂去除 Ni. 用四探针法 (FPP) 测量样品的薄层电阻 ( $R_s$ ), 用 X 射线衍射法 (XRD) 分析样品中的物相, 用二次离子质谱 (SIMS) 法分析样品中的杂质分布, 用剖面透射电镜 (XTEM) 分析样品的界面信息.

### 3 结果与讨论

图 2 给出了经过  $280^\circ\text{C} / 30\text{s}$  RTP + SE 处理后, 样品有无 PJA1 处理 (注入 Si, 能量 5keV, 剂量  $7 \times 10^{14} / \text{cm}^2$ ) 的  $R_s$  结果. 由图可见, 各样品经过  $280^\circ\text{C} / 30\text{s}$  第一步 RTP (RTP1) + SE +  $450^\circ\text{C} / 30\text{s}$  和第二步 RTP (RTP2) 处理后, 所有 PJA1 处理的样品, 其  $R_s$  值都比未经 PJA1 处理样品的  $R_s$  值低. 由于  $450^\circ\text{C} / 30\text{s}$  的 RTP 处理可以使 Ni/Si 完全反应形成 NiSi, 因此  $R_s$  值低实际上就意味着生成的 Ni-Si 膜厚. 图 3 给出了经过 PJA, RTP1, RTP2 和 SE 处理的各种样品的  $R_s$  数据. 数据对比表明, 在没有 PJA1 处理的衬底上,  $280^\circ\text{C} / 30\text{s}$  RTP 处理不能完全消耗 8nm Ni 膜, 相反 PJA1 处理的样品经过第二步  $450^\circ\text{C} / 30\text{s}$  RTP 处理后  $R_s$  值已经接近 8nm Ni 膜完全硅化反应生成 NiSi 对应的  $R_s$ . 图 3 显示, 对于未经 PJA1 处理的样品, 若在 RTP1 后完全消耗掉 8nm Ni 膜, RTP1 的温度就应提高到  $300^\circ\text{C}$ . 因此,

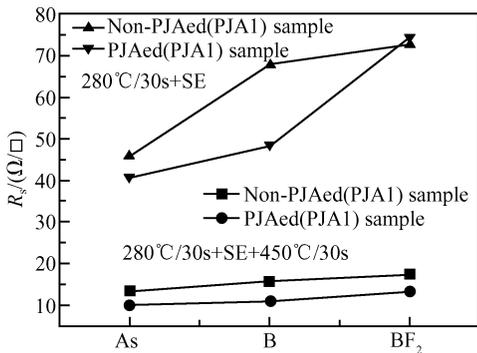


图 2 PJA1 处理对样品经过  $280^\circ\text{C} / 30\text{s}$  RTP 处理后  $R_s$  的影响  
Fig.2 Influence of PJA1 treatment on  $R_s$  of the samples after  $280^\circ\text{C} / 30\text{s}$  RTP

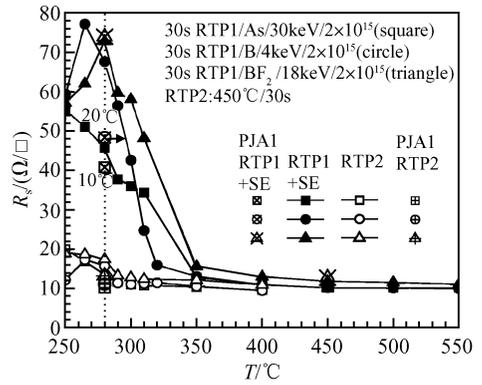


图 3 RTP1 和 RTP2 后经 PJA1 处理与没有经 PJA1 处理样品的  $R_s$  变化对比  
Fig.3 Comparison of  $R_s$  variations between samples with and without PJA1 treatment after RTP1 and RTP2

为使相同厚度 Ni 膜完全反应, PJA1 处理可以降低 RTP1 温度.

图 4 分别给出了在 As 掺杂、B 掺杂衬底上有无 PJA 处理的样品在不同 RTP1 条件下硅化反应后对

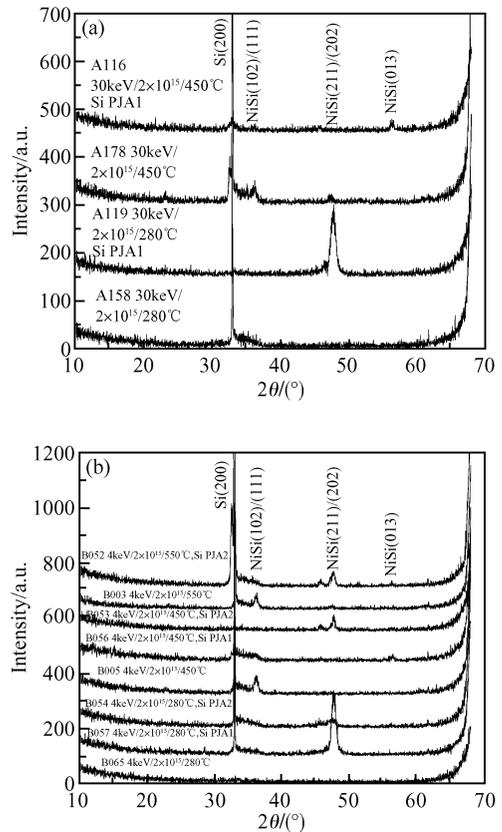


图 4 不同 RTP 处理条件下有无 PJA 处理样品的 XRD 谱 (a) 掺 As 衬底; (b) 掺 B 衬底  
Fig.4 XRD patterns for samples with and without PJA treatments after various RTP (a) As-doped substrate; (b) B-doped substrate

应的 XRD 谱.由图可知,无论衬底掺杂哪种杂质,没有 PJA 处理的样品经过 280°C/30s 退火之后,各样品对应的 XRD 谱都没有明显的 Ni 硅化物产物峰.但表面 XPS 谱(本文未示该结果)分析表明薄膜包含 Ni<sub>2</sub>Si,因此说明形成的硅化物多晶颗粒尺寸已经小到了 XRD 探测极限以下.值得注意的是,在同样 280°C/30s RTP 条件下,经过 PJA 处理的样品对应的 XRD 谱却出现了 NiSi(211)/(202)峰,而且信号很强,特别是经过 PJA1 处理过的样品.图 2,4 的结果说明 PJA 处理不仅可以在同样低温退火下(280°C/30s)有效促进 Ni/Si 反应,而且还可以在较低温度下直接生成 NiSi,这降低了 NiSi 形成激活能.

由于硅化反应是在重掺杂的衬底上进行的,因此硅化反应本身不可避免地要对衬底杂质的再分布产生影响.图 5 给出了有无 PJA 处理样品经过 450°C/30s 退火后对应的 SIMS 谱.SIMS 分析证明硅化反应后衬底中的 As,B 杂质都发生了再分布,而且杂质峰值出现在 NiSi/Si 界面处.由图可见,与无 PJA 处理的样品相比,PJA 处理对杂质再分布没有明显影响.

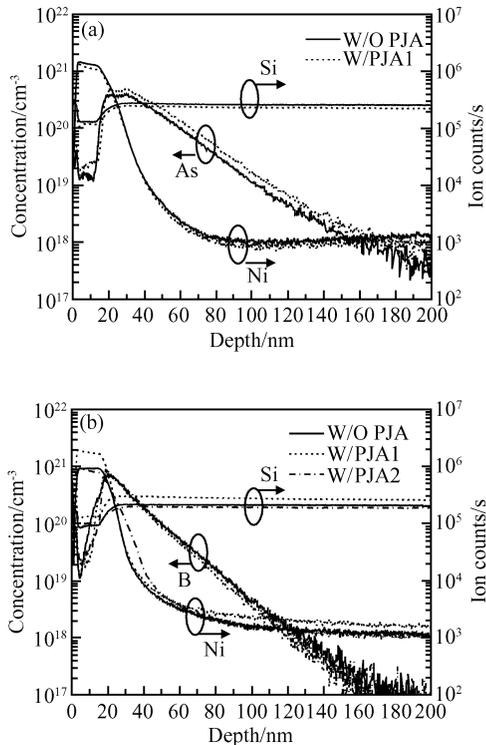


图 5 各样品经过 450°C/30s 退火后的 SIMS 谱 (a) As 掺杂衬底;(b) B 掺杂衬底

Fig.5 SIMS depth profiles for samples after 450°C/30s annealing (a) As-doped substrate;(b) B-doped substrate

PJA 处理可以破坏 NiSi<sub>2</sub> 与衬底 Si 之间的外延

关系,所以 PJA 处理的能量必须适中.当 PJA 对应的损伤能量很大时,例如 PJA2(注入 Si: 能量 15keV,剂量  $7 \times 10^{14}/\text{cm}^2$ )对应的能量为 15keV,8nm Ni 将无法完全消耗掉 PJA 处理带来的非晶硅层,这样经过 450°C/30s 退火,生成的 NiSi 将直接与非晶硅层接触.图 6 给出了经过 PJA2 处理的 B 掺杂衬底上 8nm Ni 膜经 450°C/30s 退火后对应的 XTEM 照片.由照片可见,较高的非晶化能量确实使生成的 NiSi 直接与剩余非晶硅层接触.XTEM 照片还表明 NiSi/Si 界面非常粗糙,而这可能与称之为 Ni 诱导非晶硅结晶的现象有关<sup>[8]</sup>.

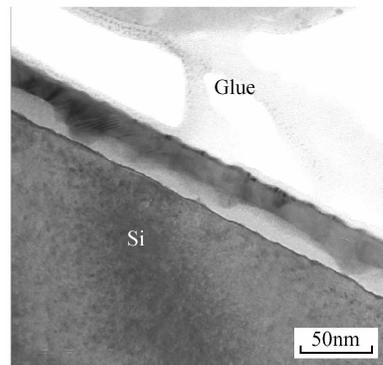


图 6 PJA2 处理后 B 掺杂衬底上 450°C/30s 退火对应的 XTEM 照片

Fig.6 XTEM photograph for sample after 450°C/30s annealing on B-doped substrate with PJA2 treatment

## 4 结论

本文研究了非晶化处理对 Ni 硅化反应的影响.研究表明:PJA 处理可以在低温下促进 Ni 硅化反应,使得消耗相同厚度 Ni 膜所需要的温度或时间进一步降低或减少,从而为 RTP1 提供更大工艺窗口;PJA 处理可以使 Ni 硅化反应在低温下直接形成 NiSi;SIMS 分析表明,PJA 处理未对样品杂质再分布行为产生明显影响;XTEM 分析表明,PJA 处理对应的损伤能量不能过大,需要合理优化.

致谢 感谢 Fudan-Axcelis 合作研究计划对该项目的资助;感谢 SMIC 公司的技术帮助.

## 参考文献

- [1] Gambino J P, Colgan E G. Silicides and ohmic contacts. Mater Chem Phys, 1998, 52:99
- [2] Lasky J B, Nakos J S, Cain O J, et al. Comparison of transformation to low-resistivity phase and agglomeration of TiSi<sub>2</sub> and CoSi<sub>2</sub>. IEEE Trans Electron Devices, 1991, 38:262
- [3] Kittl J A, Prinslow D A, Apte P P, et al. Kinetics and nucleation model of the C49 to C54 phase-transformation in TiSi<sub>2</sub>

- thin-films on deep-sub-micron  $n^+$  type polycrystalline lines. Appl Phys Lett, 1995, 67: 2308
- [ 4 ] Iwai H, Ohguro T, Ohmi S. NiSi silicide technology for scaled CMOS. Microelectron Eng, 2002, 60: 157
- [ 5 ] Lu J P, Miles D, Zhao J, et al. A novel nickel SALICIDE process technology for CMOS devices with sub-40nm physical gate length. IEDM Tech Dig, 2002: 371
- [ 6 ] Yew J Y, Chen L J, Nakamura K. Epitaxial growth of NiSi<sub>2</sub> on (111)Si inside 0.1~0.6 $\mu$ m oxide openings prepared by electron beam lithography. Appl Phys Lett, 1996, 69: 999
- [ 7 ] Lauwers A, Besser P, Gutt T, et al. Comparative study of Ni-silicide and Co-silicide for sub 0.25- $\mu$ m technologies. Microelectron Eng, 2000, 50: 103
- [ 8 ] Hayzelden C, Batstone J L. Silicide formation and silicide-mediated crystallization of nickel-implanted amorphous silicon thin films. J Appl Phys, 1993, 73: 8279

## Amorphization Implant Technology in NiSi SALICIDE Process\*

Jiang Yulong<sup>†</sup>, Ru Guoping, Qu Xinping, and Li Bingzong

(Department of Microelectronics, Fudan University, Shanghai 200433, China)

**Abstract:** After the formation of pn junction, the surface layer of crystalline Si substrate can be amorphized by Si ion implant. The influence of the amorphization implant on nickel silicidation is studied in this paper. The experimental results show that the amorphization implant can enhance the Ni/Si reaction at low temperatures and NiSi can even directly form after low temperature annealing. It is also revealed that the amorphization implant will not induce extra dopant redistribution. However, the transmission electron microscopy demonstrates that the amorphization implant energy should be optimized.

**Key words:** silicide; NiSi; amorphization implant; solid-state reaction

**PACC:** 7360D; 8115N; 8140E

**Article ID:** 0253-4177(2006)S0-0385-04

\* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Nos. 60576029, 90607018), the Shanghai Applied Materials R&D Foundation (No. 0514), the Natural Science Foundation of Shanghai Municipality (No. 05ZR14017), and the Bilateral Program Between Flanders and China (No. B/06086/01)

<sup>†</sup> Corresponding author. Email: yljjiang@fudan.edu.cn

Received 11 October 2005, revised manuscript received 30 December 2005

©2006 Chinese Institute of Electronics