

研究简报

退火对 Ar^+ 激光再结晶多晶硅/二氧化硅界面性质的影响

陈 坚 黄信凡 鲍希茂

(南京大学物理系)

1987年10月4日收到

本文对 CW Ar^+ 激光再结晶 SOI 结构材料进行了氢等离子体退火和 CW CO_2 激光退火。结果表明，两种退火方法都可以明显地降低背界面的界面态陷阱密度。氢等离子体处理对晶粒间界引入的界面态退火效果更显著，而 CO_2 激光辐照对应力引入的界面态退火作用更明显。

主题词： 薄膜，激光加工，半导体-绝缘体界面，界面态，晶粒间界，再结晶，氢钝化

一、引言

在 SOI 结构中，再结晶薄膜与绝缘衬底之间存在一个界面（简称背界面），在电学上主要用界面态陷阱密度 N_{it} 和固定电荷密度 N_f 表征^[1]。它直接影响 SOI 器件的性能^[2]。因此对 SOI 材料界面性质的研究有着深刻的物理含义和实用价值。

二、实验方法

SOI 结构制备： 用电阻率为 $10^{-3}\Omega \cdot \text{cm}$ 的 P 型〈100〉硅单晶抛光片做基底。采用二氯乙烯氧化法热生长一层二氧化硅作为绝缘衬底，厚度为 1600 \AA 。再用低压化学汽相淀积法淀积一层约 3000 \AA 的多晶硅薄膜，接着用能量为 60keV ，剂量为 $1 \times 10^{12}\text{cm}^{-2}$ 的硼离子注入多晶硅层，最后在多晶硅层上采用干氧氧化法热生长一层约 850 \AA 的二氧化硅层。

激光再结晶： 上述样品用连续氩离子激光扫描，使多晶硅膜再结晶，扫描速度选为 4.5cm/s ，束斑直径为 $70\mu\text{m}$ ，步进 $20\mu\text{m}$ ，衬底温度为 $300-400^\circ\text{C}$ ，激光辐照功率选择在功率窗口范围内^[3]。

将 Ar^+ 激光辐照过的样品制成三种类型的倒 MOS 电容^[4]：(a) 未加任何退火处理；(b) 经过氢等离子体退火处理；(c) 经过连续二氧化碳激光退火处理。采用高频和准静态 C-V 特性^[4]测量 SOI 结构的背界面陷阱态密度 N_{it} 和固定电荷密度 N_f 。

三、结果和讨论

1. Ar⁺ 激光再结晶 SOI 结构界面性质

图 1 给出 CWAr⁺再结晶多晶硅平均晶粒尺寸和 SOI 结构背界面的界面态陷阱密度 N_{it} 随激光功率的变化曲线。当激光功率从 5.4W 增至 6.0W 时，结晶过程由固相结晶转变为液相结晶，液相结晶又从纵向生长转为横向生长。随着生长机制的变化，再结晶多晶硅平均晶粒尺寸也迅速变化，从数千埃增至 11.2μm，相应地界面态密度 N_{it} 从 $1.8 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ 降低到 $8.0 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ 。显然随着激光功率增加，晶粒增大，单位面积的晶粒间界减少，从而晶粒间界对界面态密度 N_{it} 的贡献被削弱， N_{it} 值不断下降。在

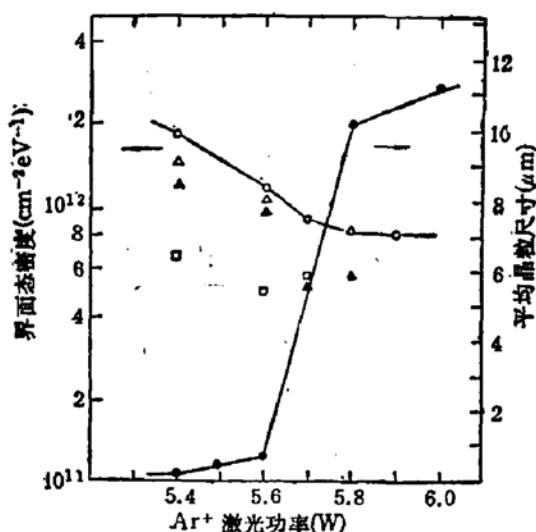


图 1 再结晶 SOI 结构背界面的陷阱态密度和多晶硅平均晶粒尺寸随 Ar⁺ 激光功率的变化

○ 未退火样品，□ 氢退火样品 △,▲ $350\text{W}/\text{cm}^2$ 和 $500\text{W}/\text{cm}^2$ CW CO₂ 激光退火样品

激光功率大于 5.7W 时， N_{it} 值的变化趋于平缓。一方面晶粒间界的影响继续减小，另一方面这时激光功率接近功率窗口上限，辐照时熔区穿透整个多晶硅层达到绝缘衬底，由于 SiO₂ 的热导率小于 Si，在界面处造成大的温度梯度，另外晶化时硅的体积膨胀，因此再结晶后在 Poly-Si/SiO₂ 界面处甚至晶粒内部引进晶格长程范围热应力。这种热应力导致四面体键畸变从而使背界面陷阱态密度增加。两者的综合作用使 N_{it} 变化平缓。

综上所述，在 SOI 结构中背界面的陷阱态密度主要由三部分组成：一是类似于常规 Si/SiO₂ 界面，多晶硅膜和二氧化硅界面处由于硅的周期晶格中止，在界面处存在非饱和悬挂键；二是晶粒间界提供的缺陷态，与多晶硅膜再结晶后的晶粒尺寸密切相关；三是由于 Ar⁺ 激光辐照后，热应力所引起的。

2. 氢等离子体退火对 SOI 结构界面性质的影响

对已经过不同 Ar⁺ 激光功率辐照的 SOI 结构样品进行氢等离子体退火。样品室气压 15—20 托，射频功率约 150W，衬底温度 300℃，退火时间 7—9 小时。

从图 1 可以看出，对不同的 Ar⁺ 激光功率结晶区，氢等离子体退火使 N_{it} 值较退火前都有不同程度的下降。表 1 列出了退火前后 N_{it} 的变化值 ΔN_{it} 。低 Ar⁺ 激光功率结

晶区,再结晶后的晶粒较小,晶粒间界多, ΔN_{it} 最大。如 5.4W 低功率结晶区,退火使界面态下降了近 3 倍。在高功率结晶区,晶界减少,退火作用也减弱。这表明,氢等离子体对晶粒间界引起的界面态的退火作用是显著的。

表 1 氢等离子体退火前后 SOI 结构 N_{it} 值随 Ar^+ 激光功率变化

Ar^+ 激光辐照功率 (W)	5.4	5.6	5.7
退火前 $N_{it} (\times 10^{11} \text{cm}^{-2} \text{eV}^{-1})$	18.3	11.7	8.9
退火后 $N_{it} (\times 10^{11} \text{cm}^{-2} \text{eV}^{-1})$	6.6	4.9	5.5
$\Delta N_{it} (\times 10^{11} \text{cm}^{-2} \text{eV}^{-1})$	11.7	6.8	3.4

以上结果正是所预期的。氢等离子体退火时,具有一定能量的氢原子进入多晶硅中迅速沿晶粒间界扩散^[5]。当扩散到多晶硅和绝缘衬底界面处,将饱和晶粒间界悬挂键,形成硅氢键,在电学上是不激活的,即这一部分界面态被钝化了。因此氢等离子体退火使界面态密度下降,特别是在小晶粒区,效果更明显,从界面态对器件的影响这一角度来看,氢等离子体退火增加了激光功率控制的灵活性,提高了 SOI 结构的质量。应当说明,氢等离子体对其他原因引入的界面态也有一定的退火作用,因此即使在 Ar^+ 激光功率较大结晶区 N_{it} 也有所下降。

3. CWCO₂ 激光退火对 SOI 结构界面性质的影响

CW CO₂ 激光对硅有较好的退火作用,在一定的功率范围内能较好地消除离子注入引起的深能级缺陷而不引入新的损伤和缺陷^[6]。本实验对 Ar^+ 激光再结晶的 SOI 结构样品进行 CW CO₂ 激光退火,退火条件选用 350W/cm² 和 500W/cm² 两种固定的 CO₂ 激光功率密度,扫描速度 1mm/s、交叠大于 50%。样品置于一大圆硅片上以获得较好的热场分布,防止辐照时硅片碎裂。CO₂ 激光从样品背面辐照。从图 1 看出在 350W/cm² 功率密度退火条件下,三种 Ar^+ 激光功率下界面态陷阱密度 N_{it} 较未退火样品没有明显变

表 2 CW CO₂ 激光 (500W/cm²) 退火前后 SOI 结构 N_{it} 随 Ar^+ 激光功率变化

Ar^+ 激光辐照功率 (W)	5.4	5.6	5.7	5.8
退火前 $N_{it} (\times 10^{11} \text{cm}^{-2} \text{eV}^{-1})$	18.3	11.7	8.9	8.1
退火后 $N_{it} (\times 10^{11} \text{cm}^{-2} \text{eV}^{-1})$	11.8	10.1	5.2	5.5
$\Delta N_{it} (\times 10^{11} \text{cm}^{-2} \text{eV}^{-1})$	6.5	1.6	3.7	2.6

化,说明使用的 CO₂ 激光功率密度偏低。在 500W/cm² 功率密度退火条件下 N_{it} 值都有不同程度下降,对较低 Ar^+ 激光功率(5.4W 和 5.6W) 结晶的样品,退火后 N_{it} 仍维持在 $10^{11} \text{cm}^{-2} \text{eV}^{-1}$ 以上,但对较高 Ar^+ 激光功率 (5.7W 和 5.8W) 辐照样品 N_{it} 值降到 $5 \times$

$10^{11} \text{cm}^{-2}\text{eV}^{-1}$, 参见表 2。

前面已经提到, 在 Ar^+ 激光功率大于 5.7W 辐照时, 在背界面处的晶粒间界和晶粒内部引进了晶格长程范围的热应力。而 CO_2 激光波长 $10.6\mu\text{m}$, 辐照硅片时可穿透整个样品, 能量吸收是属自由载流子吸收。辐照时样品达到稳定的退火温度需要的时间为秒数数量级。因此在慢速扫描辐照时, 在 CO_2 激光光斑下的样品纵向温度分布是均匀的, 辐照时弛豫了界面处的热应力, 从而使界面态陷阱密度 N_{it} 有显著下降。而对于低功率 Ar^+ 激光辐照样品, 虽然在一定程度上也弛豫了 Ar^+ 激光辐照时引进的热应力, 但那里的 N_{it} 值主要取决于晶粒间界的贡献, 故 CW CO_2 激光退火后的 N_{it} 值仍维持在 $10^{11} \text{cm}^{-2}\text{eV}^{-1}$ 数量级。

四、结 论

本文采用 CW Ar^+ 激光对绝缘衬底上多晶硅膜扫描辐照, 使其再结晶。在激光功率窗口内多晶硅晶粒尺寸随激光功率增加而明显长大, 晶粒间界相应减少。多晶硅膜和绝缘衬底间界面的陷阱态密度 N_{it} 随激光功率增加而显著下降。高功率结晶区热应力在界面处引进晶格缺陷阻止了 N_{it} 值的进一步下降。采用氢等离子体退火, 氢原子饱和了晶粒间界悬挂键及界面处的缺陷, 使 N_{it} 值明显下降。在低 Ar^+ 激光功率结晶区 N_{it} 值可降低到 $6 \times 10^{11} \text{cm}^{-2}\text{eV}^{-1}$ 。采用 CW CO_2 激光退火, 选择合适的功率密度辐照, 可弛豫热应力, 使在高的 Ar^+ 激光功率下辐照的样品 N_{it} 值下降到 $5 \times 10^{11} \text{cm}^{-2}\text{eV}^{-1}$ 。

实验工作中得到潘一鸣、尹金妹、高维忠和李联珠等同志的大力协助, 在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] J. C. Sturm, J. D. Plummer and J. F. Gibbons, *Appl. Phys. Lett.*, **46**, 1171 (1985).
- [2] T. I. Kamins, Mat. Res. Soc. Symp. Proc., eds., H. W. Lam, M. J. Thompson, **33**, 109, North-Holland, (1984).
- [3] 黄信凡、鲍希茂、陈坚, 应用科学学报, 待发表。
- [4] 黄信凡、鲍希茂、沈富德、陶芳、陈坚, 南京大学学报, **26**, 313(1987).
- [5] C. H. Seager and D. S. Ginley, *Appl. Phys. Lett.*, **34**, 337 (1979).
- [6] 鲍希茂、张新宇、柳承恩, 半导体学报, **6**, 11(1985)

Influence of Annealing on Ar^+ Laser Recrystallized Poly-Si/SiO₂ Interface Characteristics

Chen Jian, Huang Xinfan and Bao Ximao

(Departments of Physics, Nanjing University)

Abstract

The hydrogen plasma annealing and CW CO₂ laser annealing on the CW Ar⁺ laser recrystallized SOI structure have been reported. The results show that two annealing methods are effective for reducing the density of interface traps N it at the back interface. The hydrogen plasma treatment is more effective for the annealing of the interface state caused by grain boundaries, while CW CO₂ laser irradiation is much more favorable for the annealing of the interface state related to the stress.

KEY WORDS: Films, Laser Processing, Semiconductor-Insulator Interface, Interface States, Grain Boundary, Recrystallization, Hydrogen, Passivation