

连续波 CO₂ 激光退火消除硅中 氧化层错的研究

傅汝廉 开桂云 杨梦燕 耿锡琨

(南开大学)

提要: 用 150 瓦连续波 CO₂ 激光束照射硅片, 观察到了其氧化层错的消除现象, 并对消除机理进行了探讨。

Investigation on elimination of oxidation stacking faults in silicon by CW CO₂ laser annealing

Fu Rulian, Kai Guiyun, Yang Mengyan, Geng Xikun

(Nankai University)

Abstract: By 150 W CW CO₂ laser beam irradiation, the elimination of the oxidation stacking faults in silicon has been observed and its mechanism is discussed.

一、引言

在硅器件的热氧化工艺过程中, 极易产生二次缺陷——热氧化层错。它既是一种结构缺陷, 又是一种具有电学活性较深的能级中心。因此对器件的性能产生很坏的影响。许多工作者曾对抑制和消除这种氧化层错作了许多研究工作, 并提出了不少有效的措施。

本工作考虑到激光与物质的特殊的相互作用, 试图从离子注入半导体激光退火的固相外延生长理论模型出发, 探索连续波 CO₂ 激光退火对消除硅中热氧化层错这类面缺陷的作用。并研究消除前后对 P-N 结反向特性的影响, 以及消除机制。

二、实验及结果

实验装置如图 1 所示。处理系统处于大气环境中。实验选用的样品为反向击穿电压低、击穿特性软的硅三极管 c-b 单结管芯片, 经过 Sirtl 腐蚀剂腐蚀后, 显示出大量层错, 如照片 1 所示。

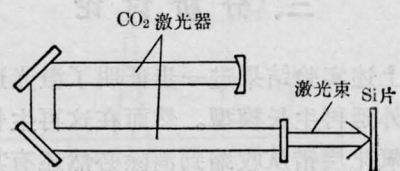
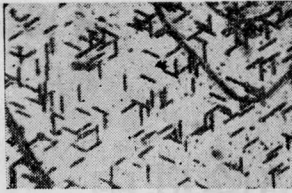


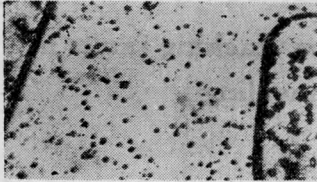
图 1 实验装置示意图

收稿日期: 1983 年 8 月 12 日。



照片1 硅中的大量氧化层错

实验选用的条件为： CO_2 激光输出功率 150 瓦，光斑直径 14 毫米（相当于平均功率密度为 97 瓦/厘米²），照射时间为 20~30 秒。退火后的样片经显示，看到了管芯片上的层错全部消除并留下大量位错区域，如照片 2 所示。有些样片还显示出余留下的层错也已收缩为亚铃状的表面层错（OSFs）如照片 3 所示。



照片2 层错消失, 显示出位错



照片3 层错部分消除区域

对退火前后样片的 (c-b) 结反向击穿特性进行比较测量，结果是退火后的击穿电压提高 5~10 伏，但原来的软击穿特性无显著变化。

三、分析讨论

上述实验结果进一步证明了激光退火的固相外延再生长模型。然而在这再生长过程中，氧化层错从收缩到消除必然还有其特殊规律和机制。

影响氧化层错生长与收缩的动力学因素很多，S. M. Hu^[1] 曾详细地研究了其与温度

的关系，发现存在一个临界温度 T_c 。当 $T > T_c$ 时，层错即由生长过程转为收缩过程，对于 (111) 在干氧化下的 $T_c = 1220^\circ\text{C}$ 。H. Hashimoto^[2] 研究了在氮气中不同温度热退火情况下层错的收缩过程，结果是在氮气中比在干氧气氛下具有较低的临界温度，且层错收缩速度随温度升高很快增长，见图 2。

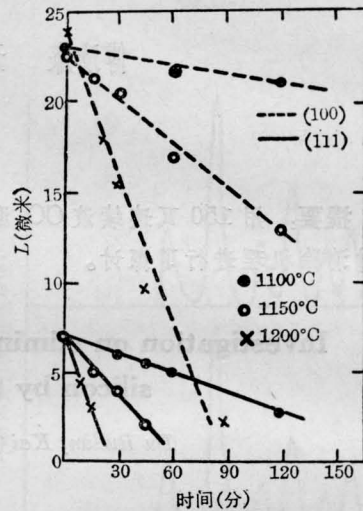


图2 氮气下热退火时层错的收缩速度

从以上两者的实验结果可以推断，即使仅从连续 CO_2 激光退火的热效应来看，可消除层错也是必然的。因为只要用足够高的激光功率将样品加热至高于临界温度低于 Si 的熔点，且加热时间足够长时，则根据动力学规律层错必然能从收缩到最后消除。但根据图 2 的 (111) 层错收缩速度随温度升高的增长率计算，若在氮气中，温度升高到接近 Si 的熔点 1400°C 时，层错从收缩到消除也得数分钟。而在我们的实验中却只用 30 秒左右的时间就能看到层错全部消除和大部消除的区域，个别样品甚至只照射 5 秒钟也能看到层错部分消除的区域。消除区域的大小与彻底程度随层错的长度及其被杂质缀饰的程度不同而有所不同。所以层错收缩速度比热退火要快，这使我们考虑到连续波 CO_2 激光退火除了主要的热效应之外，还存在着某种特殊作用，加速层错的收缩速度。

由于热氧化层错为非本征层错，其边界是 $\frac{1}{3}$ (111) Frank 不全位错。因此要使层错收缩，必须通过自间隙 Si 原子不断向外扩散使 Frank 不全位错攀移来实现。故自间隙 Si 原子向外扩散速度的快慢决定了 Frank 不全位错攀移运动的速度，也即决定了层错收缩过程的速度。

在高功率激光作用下，虽然温度很高，接近 Si 熔点，但在这样的高温下，自间隙 Si 原子的扩散速度也难以在几十秒钟的时间内由层错处扩散至表面；另外离子注入硅片的非熔化激光退火可以抑制杂质再分布效应这一实验事实，也说明杂质与硅原子的扩散速度都不能如此之快。

因此我们初步设想，在大功率密度连续

波 CO₂ 激光器辐射时也存在激光冲击波的作用，使 Si 片中产生比热作用更多的空位，起着加速层错收缩过程的作用。根据层错生长的“空位发射”模型^[3]，层错的生长或收缩与空位的流向有关，空位流离层错(即发射空位)，层错生长；空位流向层错，层错收缩。若由于大功率密度激光作用，在 Si 的体内及层错周围产生大量空位流向层错，使 Frank 不全位错迅速攀移，则层错的收缩速度即可加快。激光功率密度较大，产生的额外空位较多，层错收缩也应较迅速。

参 考 文 献

- [1] S. M. Hu; *Appl. Phys. Lett.*, 1975, **27**, 165.
- [2] H. Hashimoto *et al.*; *J. Electrochem. Soc.*, 1976, **123**, 1899.
- [3] I. R. Sander *et al.*; *Phil. Mag.*, 1969, **20**, 881.

(上接 364 第页)

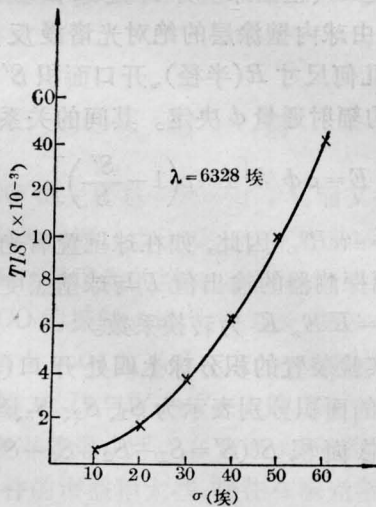


图5 总积分散射与表面粗糙度的关系

量级以上。但因所用光电倍增管(GDB-423)本身具有热噪声，弱信号测量时还有起伏现象，为此应仔细选择并严格挑选光电倍增管，并尽可能地采取减小暗电流的措施。当然联试时要注意屏蔽，使用尽可能短的同轴电缆，以保证连接可靠，接地良好，防止来自各种可能的干扰影响。

参 考 文 献

- [1] H. E. Bennett *et al.*; *J. Opt. Soc. Am.*, 1961, **51**, No. 2, 123.
- [2] J. Eastman, P. Baumeiter; *Opt. Commun.*, 1974, **12**, No. 4, 418.
- [3] F. Varnier; *Appl. Opt.*, 1982, **21**, No. 20, 3681.