

硅中注砷的连续 CO₂ 激光退火的研究

林成鲁 林梓鑫 邹世昌

(中国科学院上海冶金所)

范宝华

(上海第一医学院附属眼耳鼻喉科医院)

吴恒显

(中国科学院上海光机所)

提要: 利用高功率连续 CO₂ 激光定点辐照,对砷离子注入的硅片进行退火。实验结果表明晶格损伤得到了完全恢复,注入砷原子的替位率与电激活率高,还克服了激光聚焦扫描退火时引起硅片表面变形的问题。

CW CO₂ laser annealing of arsenic implanted silicon

Lin Chenglu, Lin Zixin, Zou Shichang

(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica)

Fan Baohua

(Eye Ear Nose Throat Hospital Affiliated to Shanghai First Medical College)

Wu Hengxian

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract: Stationary irradiation of high power CW CO₂ laser is used for annealing of arsenic ion implanted silicon. The experimental results indicate complete recovery of crystal damage, high substitution and electrical activation of implanted arsenic atoms. The surface deformation of silicon wafer during scanning by focused laser beam has been eliminated.

实验方法

n 型 Si<111>或 *p* 型 Si<100>,注入能量为 40 千电子伏,剂量为 1×10^{16} /厘米² 的砷

离子。以功率密度为 500 瓦/厘米² 的连续 CO₂ 激光进行退火试验,退火时样品预热至 350~450°C。作为比较,部分样品在氮气气氛下经 900°C、30 分钟时间热退火。不同退火条

收稿日期: 1982年3月20日。

件的样品以 170 千电子伏 He⁺ 进行离子背散射和沟道分析, 以四探针法测试其薄层电阻, 以电子衍射检查激光退火前后晶体结构的变化, 以 Normasky 干涉显微镜观察表面形貌。

实验结果及分析

1. 连续 CO₂ 激光定点辐照的退火效果
 p 型 Si<100> 中注入 40 千电子伏, 1 × 10¹⁶ As⁺/厘米², 利用功率密度为 500 瓦/厘米² 的连续 CO₂ 激光以不同辐照时间退火, 部分样品以 900°C, 30 分钟热退火后, 用 170 千电子伏 He⁺ 作离子背散射与沟道分析所得到的能谱图示于图 1。从离子背散射与沟道分析结果计算得到的定向谱最小产额 x_{min} 与退火条件的关系示于图 2。由图 1、2 可见, 连续 CO₂ 激光从样品背面辐照 2 秒钟以后, 样品退火区的定向谱就很接近于原始单晶的定向谱, 其效果优于 900°C、30 分钟的常规热退火。另外, 激光从样品正面辐照和背面辐照各 1 秒钟比较, 背面辐照的效果显然要优于正面辐照。

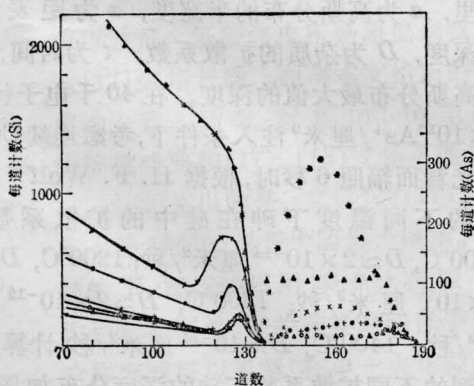


图 1

- 、○、▲—分别为连续 CO₂ 激光背面辐照退火 1 秒、2 秒、6 秒的定向谱;
- ×—连续 CO₂ 激光正面辐照退火 1 秒的定向谱;
- +—900°C, 30 分钟热退火的定向谱;
- *、△—分别为连续 CO₂ 激光背面辐照退火 2 秒、6 秒的随机谱
- 为原始单晶定向谱

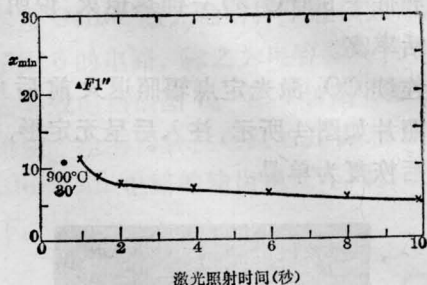


图 2

×、▲—分别为连续 CO₂ 激光背面与正面辐照退火; ●—900°C、30 分钟热退火

对于 p 型 Si<100> 的注入样品, 从背散射与沟道分析的能谱计算得到杂质砷在硅中的替位率

$$f = \frac{1 - x_{min}(As)}{1 - x_{min}(Si)}$$

与退火条件的关系如表 1 所示。

表 1 p 型 Si<100> 注入 40 千电子伏, 1 × 10¹⁶ As⁺/厘米² 在不同条件退火后的杂质替位率

退火条件	900°C, 30 分钟热退火	连续 CO ₂ 激光背面辐照退火			
		2 秒	4 秒	6 秒	10 秒
替位率 f	87%	90%	92%	96%	100%

注砷硅样品在不同条件退火后用四探针法测得的薄层电阻的变化示于图 3。由图可见, 连续 CO₂ 激光背面辐照 2 秒以后, 薄层

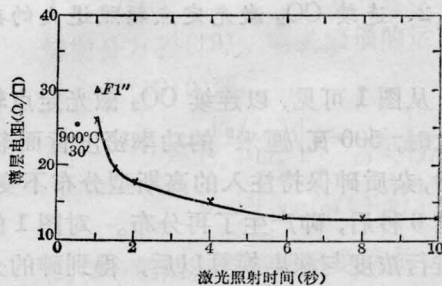


图 3

×、▲—分别为连续 CO₂ 激光背面与正面辐照退火; ●—900°C、30 分钟热退火

电阻要低于 900°C、30 分钟热退火,说明前者电激活率高。

连续 CO₂ 激光定点辐照退火前后电子衍射照片如图 4 所示,注入后呈无定形,激光退火后恢复为单晶。



(a)



(b)

图 4 p 型 Si(100) 的注入样品,在退火前(a)以及连续 CO₂ 激光退火后(b)的电子衍射照片

上述离子背散射与沟道分析、电学性能测试以及电子衍射分析三方面结果表明:连续 CO₂ 激光定点辐照退火要优于常规热退火,同时进一步证明文献[1]所指出的,背面退火的效果要优于正面退火。

2. 连续 CO₂ 激光定点辐照退火的杂质分布

从图 1 可见,以连续 CO₂ 激光定点辐照退火时,500 瓦/厘米² 的功率密度背面辐照 2 秒,杂质砷保持注入的高斯型分布不变,而辐照 6 秒后,砷产生了再分布。对图 1 的能谱进行浓度与深度换算以后,得到砷的分布如图 5 所示。

为了分析连续 CO₂ 激光定点辐照退火时杂质的分布,我们对此进行了理论估算^[2]。

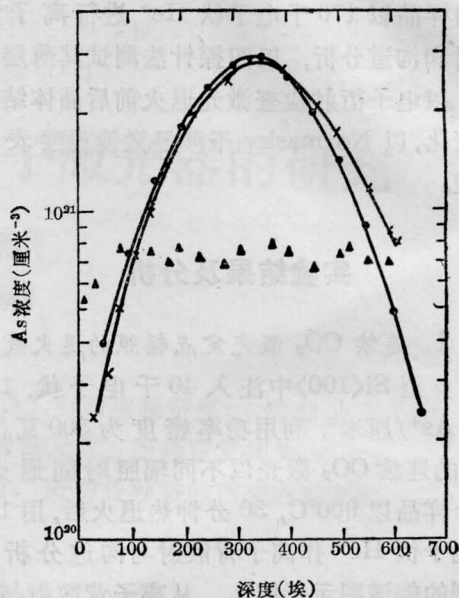


图 5

●—注入分布; ×、▲—分别为连续 CO₂ 激光背面辐照退火 2 秒、6 秒的分布

注入原始分布为高斯分布的杂质,在发生扩散的情况下,如表面无损失,则有如下解:

$$C(x, t) = \frac{C_0}{2(\pi)^{1/2}(a^2 + Dt)^{1/2}} \times \exp\left[-\frac{(x-x')^2}{4(a^2 + Dt)}\right]$$

这里, a 为高斯分布的半宽度, x 为距表面的深度, D 为杂质的扩散系数, t 为时间, x' 为高斯分布最大值的深度。在 40 千电子伏, 1×10^{16} As⁺/厘米² 注入条件下,考虑连续 CO₂ 激光背面辐照 6 秒时,根据 H. F. Wolf^[3] 提供的不同温度下砷在硅中的扩散系数: 1100°C, $D \approx 2 \times 10^{-14}$ 厘米²/秒; 1200°C, $D \approx 2 \times 10^{-13}$ 厘米²/秒; 1300°C, $D \approx 2 \times 10^{-12}$ 厘米²/秒; 1400°C, $D \approx 10^{-11}$ 厘米²/秒 计算所得到的不同扩散系数下砷的深度分布如图 6 所示。与实验测得的连续 CO₂ 激光背面辐照 6 秒后砷的分布比较,实际分布相当于 $D \approx 2 \times 10^{-12}$ 厘米²/秒时的理论分布,可以估计退火时的温升约为 1300°C。

上述实验结果与理论分析证明,在 500 瓦/厘米² 功率密度下,连续 CO₂ 激光定点辐照

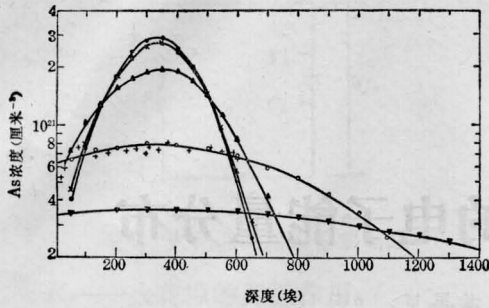


图 6

●—注入分布; ×— $D \approx 2 \times 10^{-14}$ 厘米²/秒; ▲— $D \approx 2 \times 10^{-13}$ 厘米²/秒;
○— $D \approx 2 \times 10^{-12}$ 厘米²/秒; ▼— $D \approx 10^{-11}$ 厘米²/秒; +—实验测得的分布

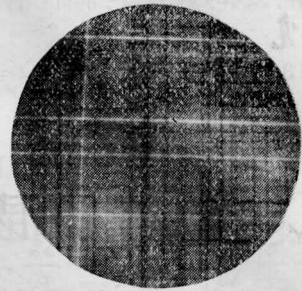
退火的杂质分布与退火时间有关,时间短时,可保持原来的分布不变;退火时间长,就产生再分布。因而可以根据对杂质分布的要求,控制激光辐照的时间。

3. 连续 CO₂ 激光定点辐照退火后样品的表面形貌

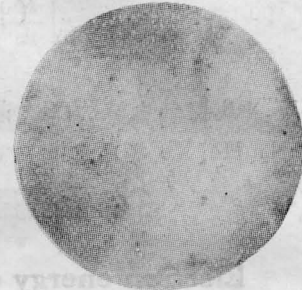
以 Normasky 干涉显微镜观察连续 CO₂ 激光聚焦扫描退火与定点辐照退火后硅片的表面形貌,照片如图 7 所示。结果说明,聚焦扫描退火后的硅片表面有滑移线,这是因为扫描退火时经聚焦的小束斑激光局部加热引起的热应力所致;用大的激光束斑定点辐照退火时,退火区域大,加热均匀,所以表面平整。

结 论

1. 足够功率密度的连续 CO₂ 激光大束斑定点辐照,可以有效地消除离子注入引起的辐照损伤并达到很高的电激活率,克服了



(a)



(b)

图 7 连续 CO₂ 激光聚焦扫描退火(a)与大束斑定点辐照退火(b)的 Normasky 干涉显微镜照片(×150)

聚焦扫描退火时由于温度梯度很大表面变形所引起的滑移线。

2. 连续 CO₂ 激光退火是固相外延再生长的过程,激光辐照后的杂质分布取决于激光辐照时间与功率密度,可以根据要求人为地控制杂质分布。

参 考 文 献

- [1] S. C. Tsou *et al.*; *Appl. Phys.*, 1980, **23**, 163.
- [2] C. W. White *et al.*; *J. Appl. Phys.*, 1979, **50**, 3261.
- [3] H. F. Wolf; *Silicon Semiconductor Data*, 1969, Pergamon Press, New York, p. 136.