

在N型硅中激光掺金

傅春寅 鲁永令

(北京大学物理系)

1983年7月6日收到

用 CWCO₂ 激光器已把淀积到硅片上的金引入到了硅中. 硅中金的面浓度达到 4×10^{21} cm⁻³. 用 SIMS 和 DLTS 技术研究了掺杂行为.

一、引言

近年来人们对利用激光器向半导体内引入杂质有很大兴趣^[1-3]. 采用Q开关脉冲激光器已将 Al、Ga、P、As、Sb 以及 Pt、Pd、Fe、Sn、Mo、Ni 等成功地引入硅中. 氩离子连续激光器的掺杂工作亦有报道^[2]. 但迄今尚未见到用 CW CO₂ 激光器向硅中引入深能级杂质的工作. 本文首次报道了用 CW CO₂ 激光器向N型硅中引入重要的深能级杂质金, 并用二次离子质谱 (SIMS)^[6] 技术和深能级瞬态谱 (DLTS)^[7] 技术研究了掺杂行为.

二、实验与结果

1. 样品制备

20-cm 直拉N型硅单晶片经过常规清洗, 在正面真空淀积 2000 Å 厚的金膜 (真空度为 5×10^{-3} 托). 划下一部分留做对比片, 另一部分用 CWCO₂ 激光器从背面辐照掺金. 激光器功率密度为 400 W/cm², 扫描速度为 0.01 cm/s, 束斑为 $\phi 0.3$ cm, 扫描重叠区为 1/3. 辐照中硅片发红.

2. SIMS 分析

激光辐照过的硅片, 用王水去掉正面残存的金后做 SIMS 分析. 首先做了样片的二次负离子全谱(金的二次负离子比其二次正离子的灵敏度高). 谱图上出现金峰 (质荷比为 197), 这表明金已被引入到硅中. 如图 1 所示. 其次对样片做纵向剥离同时收金的二次负离子谱(剥离微区 $\phi \approx 50 \mu\text{m}$), 一次入射离子为 O⁺, 束流为 1×10^{-6} A、能量为 16 keV, 真空度为 10^{-6} 托. 每隔 2 分钟收谱一次. 于是得到金的随纵向深度(谱图上则表现为剥离时间)变化谱, 如图 2 所示. 用干涉显微镜测量了总的剥离深度.

利用图 1 中金的谱高与 ²⁸Si 的谱高比, 以及金硅各自二次负离子相对产额比^[6], 求得样片中金的面浓度为 4×10^{21} cm⁻³. 利用图 2 和总的剥离深度求得金的浓度分布(剥离

速度基本不变)如图 2 中插图所示. 这表明金在硅片表面附近至少 $3 \mu\text{m}$ 范围内的浓度远远超过它在硅中的最大固溶度 1300°C 金的固溶度最大, 可达 10^{17}cm^{-3} [8].

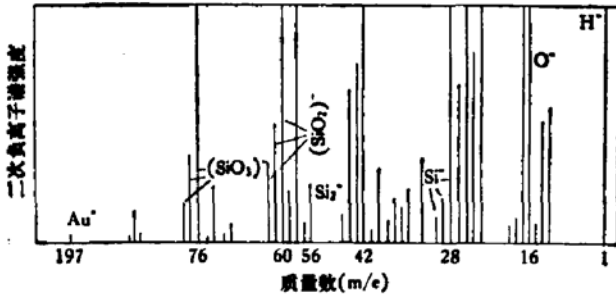


图 1 辐照的硅-金样片二次负离子全谱

存在. 辐照过的样片出现两个峰 A 和 B. 在不同速率窗下做 DLTS 测试, 并用传统方法处理数据 [9], 得到 A、B 两个峰对应的能级位置和俘获截面 σ_n , 如表 1 所示. 其中与 B 峰对应的深能级同硅中金受主能级 ($E_c - 0.53\text{eV}$) 一致 [10], 俘获截面也同文献 [9] 中的结果 $9 \times 10^{-17}\text{cm}^2$ 相近. 结合 SIMS 分析结果可以断定 B 峰相对应的深能级就是硅中金受主能级, 这清楚的表明金已深入到硅体内 $40 \mu\text{m}$ 处了.

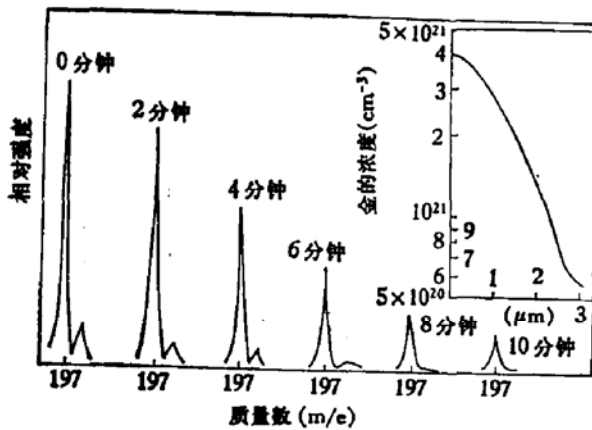


图 2 辐照的硅-金样片二次负离子纵向分布谱, 插图为浓度分布

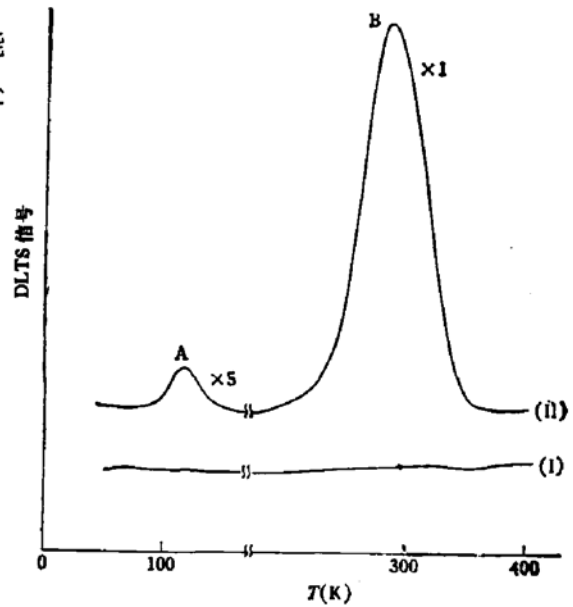


图 3 DLTS 测试图, B 峰对应着硅中金受主能级. (I) 对比片 (II) 被激光辐照片

表 1 A、B 峰对应的能级与 σ_n

	$E_c - E_T$ (eV)	σ_n (cm^2)
A 峰	0.26	9×10^{-17}
B 峰	0.53	7×10^{-17}

由公式

$$N_T = 2 \frac{\Delta C}{C_\infty} N_D \quad (1)$$

可估计金在 p^+n 结 n 区一侧的浓度 N_T . 其中 C_∞ 为静态结电容, ΔC 为 $t = 0$ 时瞬态电

容值与 C_{∞} 之差, N_D 为 n 型硅浅施主浓度. $N_D = 2.8 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$, 得到 $N_T = 4 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$. 这表明辐照过的硅片离表面 $40 \mu\text{m}$ 处金的浓度为 $4 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$.

三、分析与结论

辐照过程中硅片发红, 这表明硅片在激光束斑所及范围内温度至少在 700°C 以上. 用固态扩散模型对实验进行分析, 估计了金进入硅体内 $40 \mu\text{m}$ 深处, 浓度为 $4 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ 所需要的扩散时间 t . 用余误差函数分布估计则有

$$t = \frac{x^2}{4D} \left\{ \frac{1}{\text{erfc}^{-1} \left[\frac{N(x)}{N_0} \right]} \right\}^2 \quad (2)$$

用高斯分布估计则有

$$t \approx \frac{x^2}{4D} \left\{ \frac{1}{\ln \left[\frac{N_0}{N(x)} \right]} \right\}^2 \quad (3)$$

其中 N_0 为表面浓度, D 为扩散系数, $N(x)$ 为距表面 x 处金的浓度. 令 $N_0 = 4 \times 10^{21} \text{cm}^{-3}$, $N(x) = 4 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$, $x = 40 \mu\text{m}$. 则当扩散温度为 700°C 至 1000°C 相应的扩散时间由表 2 给出.

表 2 金扩散所需要的时间

$T(^{\circ}\text{C})$		700	800	900	1000
$D(\text{cm}^2/\text{s})$		2×10^{-8}	4×10^{-8}	1.5×10^{-7}	4×10^{-7}
$t(\text{秒})$	余误差	14.0	7.0	1.9	0.7
	高 斯	12.5	6.2	1.6	0.6

(扩散系数 D 由文献 [8] 给出)

按本文激光器辐照条件, 硅片每点被辐照时间最长可达 30 秒. 故有充分时间升温 and 扩散, 因此 CW CO_2 激光器辐照掺金很可能是通过金在硅中的固态扩散来实现的.

关于 DLTS 测试中出现的 A 峰, 其浓度为 10^{13}cm^{-3} , 估计是真空淀积或激光辐照过程中引入的污染所致.

结论: 本工作条件下的 CW CO_2 激光器背面辐照有金膜的 n 型硅片, 可把金引入硅中. 正面金的表面浓度可达 $4 \times 10^{21} \text{cm}^{-3}$, 在距表面至少 $3 \mu\text{m}$ 范围内有超固溶度的金的浓度分布, 在距表面 $40 \mu\text{m}$ 处金的浓度仍然为 $4 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$.

本工作是在中国科学院科学基金资助下进行的. 承蒙秦国刚同志关心和指导. 科仪厂王理同志、力学所李元恒同志为辐照与测试提供了方便. 本室邢妙香、常锦莲、程秋立、武兰青、金泗轩等同志协助制备样品与测试. 作者在此表示感谢.

参 考 文 献

- [1] S. Damgaard et al., *J. Appl. Phys.*, 52, 6907 (1981).
 [2] E. S. Yang, et al., *Appl. Phys. Lett.*, 37, 462 (1980).

- [3] J. Narayan, *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **33**, 338 (1978).
[4] J. M. Fairfield, *et al.*, *Solid-state electronics*, **11**, 1173 (1968).
[5] Animesh K. Jain, *et al.*, *Nuclear Instruments and method*, **168**, 473 (1980).
[6] 尾形仁士, 质量分析, (28)9(1980).
[7] D. V. Lang, *J. Appl. Phys.*, **45**, 3023 (1974).
[8] R. M. Burger, *et al.*, "Fundamentals of Silicon Integrated Device Technology", p. 254, (1967).
[9] S. D. Brotherton, *et al.*, *J. Appl. Phys.*, **49**, 667 (1978).
[10] 秦国刚等, 半导体学报, **2**, 169(1981).

Doping Gold into N-Type Silicon by Laser

Fu Chunyin and Lu Yongling

(Department of Physics, Peking University)

Abstract

Gold evaporated onto the silicon surface has been introduced into silicon by CW CO₂ laser. The surface concentration of the gold in the silicon is measured to be $4 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$. DLTS and SIMS techniques are used to study the doping behaviour.