

Si/Pd/GaAs 欧姆接触的激光退火

方芳

S. S. Lau

(中国科学院上海冶金所离子束开放实验室, 200050)

(美国加州大学圣地亚哥分校)

提要: 利用连续 Ar^+ 激光对淀积在砷化镓上的 Si/Pd 进行退火, 形成 $\text{Si/Pd}_2\text{Si/GaAs}$ ($6.9 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$) 接触, 得到了比接触电阻率为 $2.75 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 的非合金欧姆接触。经 410°C , 8 小时, 形成气中退火后表明: 激光退火形成的欧姆接触具有良好的热稳定性。

关键词: 欧姆接触, 比接触电阻率, 激光退火

Si/Pd/GaAs Ohmic contacts formed by laser annealing

Fang Fang

(Ion Beam Laboratory, Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica, Shanghai)

S. S. Lau

(University of California, San Diego, USA)

Abstract: A non-alloying, stable Ohmic contacts on Si/Pd/GaAs were obtained. A specific contact resistivity of $2.75 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$ on $6.7 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ substrates can be achieved after Ar^+ laser annealing. The thermal stability is satisfactory for those annealed at 410°C for about 8 hours in flowing forming gas.

Key words: Ohmic contact, specific contact resistivity, laser annealing

由于砷化镓半导体材料的高电子迁移率, 被广泛用于高速高频器件。接触电阻是器件的重要参数之一, AuGeNi 系统在制备 n 型砷化镓欧姆接触时可以得到较低的接触电阻, 但是 AuGeNi 与砷化镓接触是一个合金化过程, 会引起界面的不平整、不均匀、不耐高温, 对制作浅结器件带来一定困难。近年来, 利用异质结或分子束外延生长表面高掺杂层^[1~3], 研究、制作低阻、非合金欧姆接触引起了人们的关注。

本文利用连续 Ar^+ 激光对淀积在砷化镓上的 Si/Pd 进行退火, 形成 $\text{Si/Pd}_2\text{Si/GaAs}$ 接触, 得到了比接触电阻率为 $2.75 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 的非合金化欧姆接触, 并具有良好的热稳定性。

一、实验方法

在 $\langle 100 \rangle$ 半绝缘 GaAs 上以金属有机化学气相淀积 (MOCVD) 生长 180 nm Si 掺杂浓度为 $6.7 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 的 n 型外延 GaAs 层。样品依次在三氯己烯、丙酮、酒精中超声清洗。用 $\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}=1:1$ 溶液腐蚀及去离子水冲洗后, 放入高真空电子束蒸发装置中蒸发上 72.5 nm

的 Pd 和 137.5 nm 的 Si, 使 [Pd]/[Si] 的原子比为 0.7。为了了解样品的比接触电阻率, 样品制成传输线模型 (Transmission Line Model) 测试图形^[4]。

样品采用连续 Ar⁺ 激光进行退火, 激光功率为 3.5 W, 聚焦后束斑直径为 20 μm, *x* 方向扫描速度为 2 cm/s, *y* 方向每次步进 10 μm。

样品制备完成后用 Rutherford 背散射 (RBS) 分析激光退火后的金属化反应, 用掠角 X-射线进行相分析, 用 Normarsky 光学显微镜观察表面形貌的变化, 以及进行电学性质的测量, 以了解比接触电阻率及热稳定性。

二、实验结果和讨论

2.1 表面形貌变化

通过光学显微镜观察激光退火前后样品表面颜色的变化, 可以了解 Pd 和 Si 的硅化物形成反应。对本实验的样品而言, 未反应的样品呈浅绿色, 当激光功率为 3.3 W 时, 样品开始发生反应, 颜色变为黄色; 当激光功率增加到 3.5 W 时, 样品表面颜色转为绿色; 当激光功率达 3.7 W 时, 样品表面开始熔化, 颜色又变为黄色, 这时, 可以观察到样品表面不平整, 出现明显的激光扫过的条纹 (图 1)。

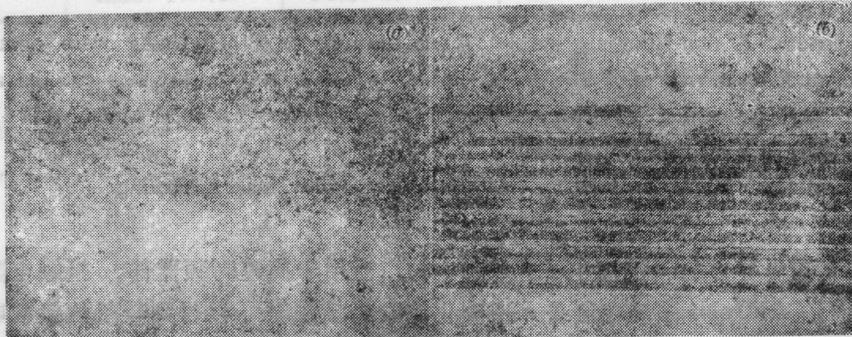


图 1 不同激光功率退火后, Si/Pd/GaAs 样品的表面形貌

(a) 激光功率 3.5 W; (b) 激光功率 3.7 W

2.2 硅化物形成反应

图 2 为样品在激光退火前后的背散射谱。从图上可知, 经功率为 3.5 W 的连续 Ar⁺ 激光扫描后, 整个 Pd 金属层与 Si 反应形成了约 115 nm 的硅化物层, 但在表面依然有多余的约 95 nm Si 存在。实验表明, 这层多余的 Si 在形成良好的欧姆接触时是完全必要的, 可以使硅化物和 GaAs 界面保持稳定, 从而使欧姆接触具有较好的热稳定性^[5]。

掠角 X 射线衍射分析表明: 在激光功率为 3.5 W 时, 形成的硅化物为 Pd₂Si, 而当激光功率上升到 3.7 W, 样品表面熔化时, 形成物为 PdSi。在常规的热退火条件下, PdSi 要在温度高达 850°C 时才能形成, 而 Pd₂Si 在 100°C 以上, 很广的温度范围内都可以形成^[6]。

在一定的激光退火条件下, Pd₂Si 的形成厚度 *Z* 与样品表面有效温升 *T_{eff}* 的关系如下式表示^[7]:

$$Z^2 = R_0 t_{eff} \exp(-E_a/kT_{eff})$$

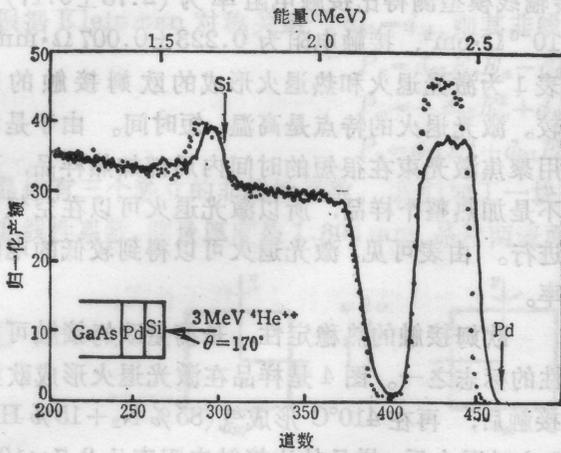


图2 Si/Pd/GaAs 样品转角 60° 时,在激光退火前(虚线)后(实线)的背散射谱

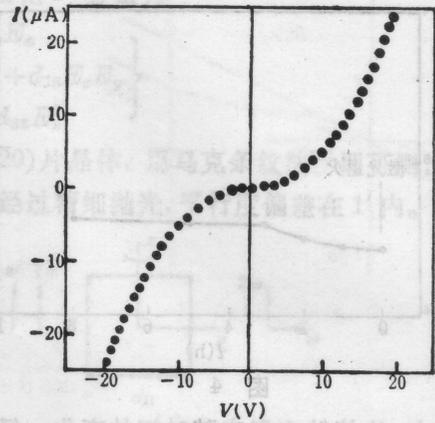


图3 Si/Pd/GaAs 样品在激光退火前(虚线)后(实线)的 $I-V$ 曲线变化

其中 t_{eff} 为有效扫描时间 (1×10^{-3} s), R_0 为速度常数 ($3 \times 10^{17} \text{ \AA}^2/\text{s}$), E_a 为激活能 (1.5eV), k 为玻尔兹曼常数。计算表明,当形成的 Pd_2Si 为 115nm 时,样品表面的有效温升约为 900K。由此可见,激光退火比通常的热退火温度要高得多,因此可期望得到较好的热稳定性。

2.3 欧姆接触的形式

图3为激光退火前后的 $I-V$ 曲线变化。激光退火前, $I-V$ 曲线是非线性的,激光退火后,

表1 激光退火和热退火形成的欧姆接触的比较

	激光退火	热退火
接触系统	Si/Pd/GaAs(n)	
厚度(nm)	137.5/72.5	
原子比[Pd]/[Si]	0.7	
衬底浓度(cm^{-3})	6.7×10^{17}	
退火温度($^{\circ}\text{C}$)	~600	375
退火时间(s)	~ 10^{-3}	1800
退火气氛	空气	形成气
比接触电阻率($\Omega \cdot \text{cm}^{-2}$)	$(2.75 \pm 0.17) \times 10^{-6}$	$(5.13 \pm 0.52) \times 10^{-6}$
接触电阻($\Omega \cdot \text{mm}$)	0.223 ± 0.007	0.299 ± 0.028
形成物	Pd_2Si	Pd_2Si

形成了欧姆接触, $I-V$ 曲线成为线性。用传输线模型测得比接触电阻率为 $(2.75 \pm 0.17) \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$, 接触电阻为 $0.223 \pm 0.007 \Omega \cdot \text{mm}$ 。

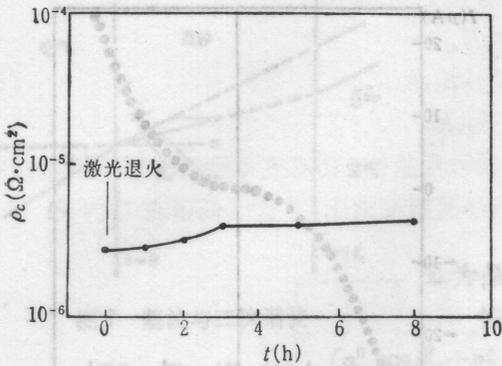


图 4

表 1 为激光退火和热退火形成的欧姆接触的比较。激光退火的特点是高温、短时间。由于是利用聚焦激光束在很短的时间内局部加热样品, 而不是加热整个样品, 所以激光退火可以在空气中进行。由表可见, 激光退火可以得到较低的电阻率。

欧姆接触的热稳定性, 是衡量欧姆接触可靠性的标志之一。图 4 是样品在激光退火形成欧姆接触后, 再在 410°C 形成气 ($85\% \text{N}_2 + 15\% \text{H}_2$)

中退火, 比接触电阻率随时间的变化。经过 8 小时退火后, 样品的比接触电阻率从 $2.7 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 变为 $4.2 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$, 仍然要比热退火形成的欧姆接触要好。

参 考 文 献

- 1 J. M. Wodall *et al.*, *J. Vac. Sci. Technol.*, **19**, 626(1981)
- 2 R. Stall *et al.*, *J. Appl. Phys.*, **52**, 4062(1981)
- 3 P. D. Kirchner *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **47**, 26(1985)
- 4 H. H. Berger, *Solid-State Electr.*, **15**, 145(1972)
- 5 L. C. Wang *et al.*, *Diffusion Processes in High Technology Materials*, Editors: D. Gupta *et al.*, 1988, p. 111
- 6 Marc-A. Nicolet, S. S. Lau, *VLSI Electronics Microstructure Science*, Vol. 6, Editors: N. G. Einspruch and G. B. Larrabee, p. 346
- 7 J. F. Gibbons, T. W. Sigmon, *Laser Annealing of Semiconductors*, Editors: J. M. Peate, J. W. Mayer, p. 354

激光退火	热退火	退火温度	退火时间	比接触电阻率	接触电阻
激光退火	热退火	410°C	8h	$4.2 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$	$0.223 \pm 0.007 \Omega \cdot \text{mm}$
热退火	热退火	410°C	8h	$10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}^2$	$0.223 \pm 0.007 \Omega \cdot \text{mm}$