

Si⁺ 注入 InP 材料的欧姆接触特性研究*

沈鸿烈 徐宏来 周祖尧** 林梓鑫** 邹世昌

(中国科学院上海冶金研究所信息功能材料国家重点实验室 上海 200050)

摘要 本文报道 Si⁺ 注入 InP 材料与 AuGeNi 合金和 W 金属膜的欧姆接触特性。发现 Si⁺ 单注入样品与二者均形成较好的欧姆接触, 共 P⁺ 注入的样品中比接触电阻则大大下降(约小一个数量级)。卢瑟福背散射分析表明, 600°C 热处理后 W 金属膜与 InP 界面作用很小, 而 800°C 热处理后界面有一定的互扩散。

PACC: 7340N, 7280E, 6170T

1 引言

半导体器件制作中金属与半导体材料的电接触特性直接影响到器件的性能。为了减小金属与半导体材料之间的接触电阻, 改善器件性能, 最常用的方法是设法提高金属接触区半导体材料中的载流子浓度, 可采用的工艺有扩散、外延和离子注入等, 其中以离子注入方法最简单, 应用最广。

本研究中采用 Si⁺ 离子注入 InP 材料进行 n 型掺杂, 选择目前 InP 器件制作中最常用的 AuGeNi 合金和热稳定性好的金属 W 与其接触。由于 InP 材料中化学配比平衡的影响, Si⁺ 注入 InP 中的电子浓度饱和在 10^{19} cm^{-3} 左右^[1], 采用共 P⁺ 注入则能大大提高 Si⁺ 注入 InP 中的电子浓度^[2,3]。实验中用 Si⁺ + P⁺ 双注入方法, 获得 AuGeNi/InP 接触的最低比接触电阻为 $1.2 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}^2$, W/InP 接触的最低比接触电阻为 $2.1 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$ 。同时我们还发现, W 金属膜与 InP 接触时, 600°C 热处理后界面作用很小, 而 800°C 热处理后界面有一定的互扩散。

2 实验方法

实验采用 LEC 生长的掺 Fe 半绝缘 InP 单晶片, 晶向<100>, 电阻率大于 $10^6 \Omega \text{cm}$, 抛光晶片经超声清洗后, 用化学腐蚀去除抛光损伤层。为了得到均匀的电子浓度分布, 采用多重注入, Si⁺ 注入条件为: 150keV, $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$; 58keV, $1.97 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$; 25keV, $7.85 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 。部分样品采用共 P⁺ 注入, P⁺ 注入条件为: 160keV, $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$; 64keV, $1.95 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$; 30keV, $8.37 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 。注入时衬底加热到 200°C, 束流偏<100>晶向

* 本研究工作得到中国科学院上海冶金研究所离子束开放实验室和上海启明星计划基金资助

** 中国科学院上海冶金研究所离子束开放实验室

1992 年 9 月 11 日收到初稿, 1993 年 8 月 16 日收到修改稿

7°。注入后样品用 Si_3N_4 包封后在 875°C 下快速热退火 5s 以激活杂质。激活后 Si^+ 单注入样品中电子浓度约 $1 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$, $\text{Si}^+ + \text{P}^+$ 双注入样品中电子浓度约 $5 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 。注入层大于 1500 Å。

AuGeNi 合金在 $5 \times 10^{-4}\text{Pa}$ 真空下蒸发，合金组分为 88wt% Au , 12wt% $\text{Ge} + 6\text{wt\% Ni}$, 蒸发时衬底加热到 100°C, 合金厚度约 1000 Å, 并在其上蒸上一层 3000 Å 厚的 Au 层。 W 金属膜是在 Analva 公司生产的 SPF-210B 型 RF 溅射仪上溅射的，溅射功率为 300W, 工作压强为 5Pa, W 膜厚约 1000 Å。用白光快速热退火炉进行热处理，温度范围 350—850°C, 时间 5s 至 15s。比接触电阻用改进的传输线法进行测量，接触电极面积为 $150\mu\text{m} \times 150\mu\text{m}$, 接触电极间距分别为 2, 5, 10, 15, 20 和 25μm, 用等离子刻蚀法刻蚀出台阶从而将测量电流限制在一组条形的接触电极区^[4]。用 2MeV He^+ 离子进行金属/ InP 界面卢瑟福背散射分析。

3 结果与讨论

图 1 是 AuGeNi 合金与 Si^+ 和 $\text{Si}^+ + \text{P}^+$ 注入 InP 样品的比接触电阻与合金化温度的关系。在未进行合金化之前, AuGeNi 合金与 InP 样品就已经形成了很好的欧姆接触特性, Si^+ 单注入样品的比接触电阻为 $1.5 \times 10^{-3}\Omega\text{cm}^2$, $\text{Si}^+ + \text{P}^+$ 双注入样品的比接触电阻则低达 $1.75 \times 10^{-4}\Omega\text{cm}^2$, 这表明材料中电子浓度提高以后, 电流中隧道输运占主导地位, 形成了所谓非合金化欧姆接触。这种几乎无界面互扩散的欧姆接触对浅结器件是非常重要的, 因为它可避免结穿通等问题的出现, 同时保持较好的表面形貌。由图 1 可见,

随着合金化温度的上升, 比接触电阻逐渐减小, 在 450°C 达最小值, Si^+ 单注入样品为 $1.3 \times 10^{-5}\Omega\text{cm}^2$, $\text{Si}^+ + \text{P}^+$ 双注入样品为 $1.2 \times 10^{-6}\Omega\text{cm}^2$, 这是因为热合金化

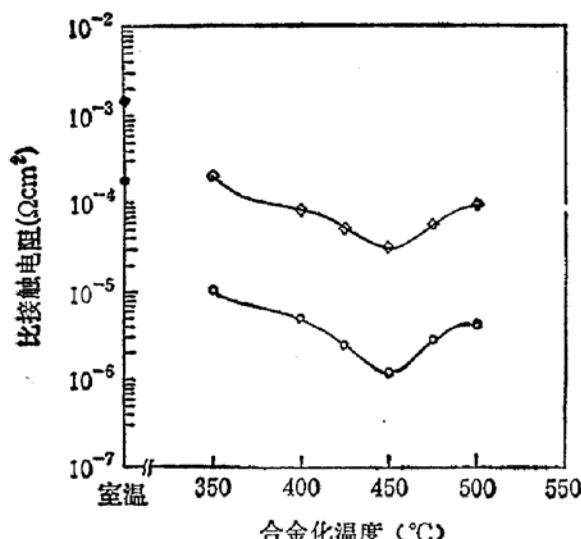


图 1 AuGeNi 合金与 Si^+ 和 $\text{Si}^+ + \text{P}^+$ 注入 InP 样品的比接触电阻与合金化温度的关系合金化时间为 15s, 注入条件:

Si^+ : 150keV, $1 \times 10^{15}\text{cm}^{-2}$; 58keV, $1.97 \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$; 25keV, $7.85 \times 10^{13}\text{cm}^{-2}$;

P^+ : 160keV, $1 \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$; 64keV, $1.95 \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$; 30keV, $8.37 \times 10^{13}\text{cm}^{-2}$;

注入样品经 875°C, 5s 激活
◆、◇为 Si^+ 单注入的样品 ●、○为 $\text{Si}^+ + \text{P}^+$ 双注入的样品

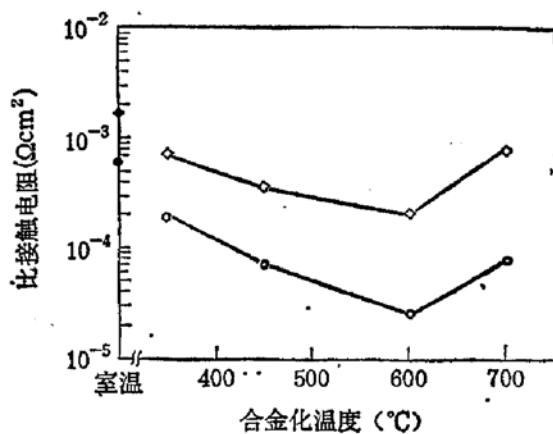


图 2 W 金属膜与 Si^+ 和 $\text{Si}^+ + \text{P}^+$ 注入 InP 样品的比接触电阻与合金化温度的关系合金化时间为 15s, 注入条件与退火激活条件同图 1
◆、◇为 Si^+ 单注入的样品 ●、○为 $\text{Si}^+ + \text{P}^+$ 双注入的样品

时, AuGeNi 中的掺杂组份 Ge 向界面处 InP 中扩散, 形成高浓度的混晶区, 进一步改善了欧姆接触特性。同时我们观察到, 经过 $450^\circ\text{C}, 5\text{s}$ 热合金化后, AuGeNi 表面已呈粥状, 卢瑟福背散射分析则表明 AuGeNi 与 InP 界面的互作用区大于 600\AA , 互扩散较为严重。合金化温度高于 450°C 后, 合金表面进一步退化, 引起比接触电阻上升。

图 2 为 W 金属膜与 Si^+ 和 $\text{Si}^+ + \text{P}^+$ 注入 InP 样品的比接触电阻与合金化温度的关系。与 AuGeNi 合金类似, 未合金化样品与 W 金属膜已经形成了较好的欧姆接触, Si^+ 单注入样品的比接触电阻为 $1.7 \times 10^{-3}\Omega\text{cm}^2$, $\text{Si}^+ + \text{P}^+$ 双注入样品为 $6.1 \times 10^{-4}\Omega\text{cm}^2$ 。但对于较低浓度的 n 型 InP (如 $1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 样品), W 膜与其形成的是整流接触。这再一次说明提高载流子浓度以增加隧道电流输运部分在欧姆接触中的重要作用。经过 $600^\circ\text{C}, 15\text{s}$ 合金化后, Si^+ 单注入样品中比接触电阻减小到 $2 \times 10^{-4}\Omega\text{cm}^2$, 而 $\text{Si}^+ + \text{P}^+$ 双注入样品的比接触电阻则低达 $2.5 \times 10^{-5}\Omega\text{cm}^2$ 。与 AuGeNi 合金不同的是, W/InP 接触样品即使是经过 $850^\circ\text{C}, 5\text{s}$ 硅贴面热处理, 表面形貌仍基本完好, 没有出现龟裂, 脱落等

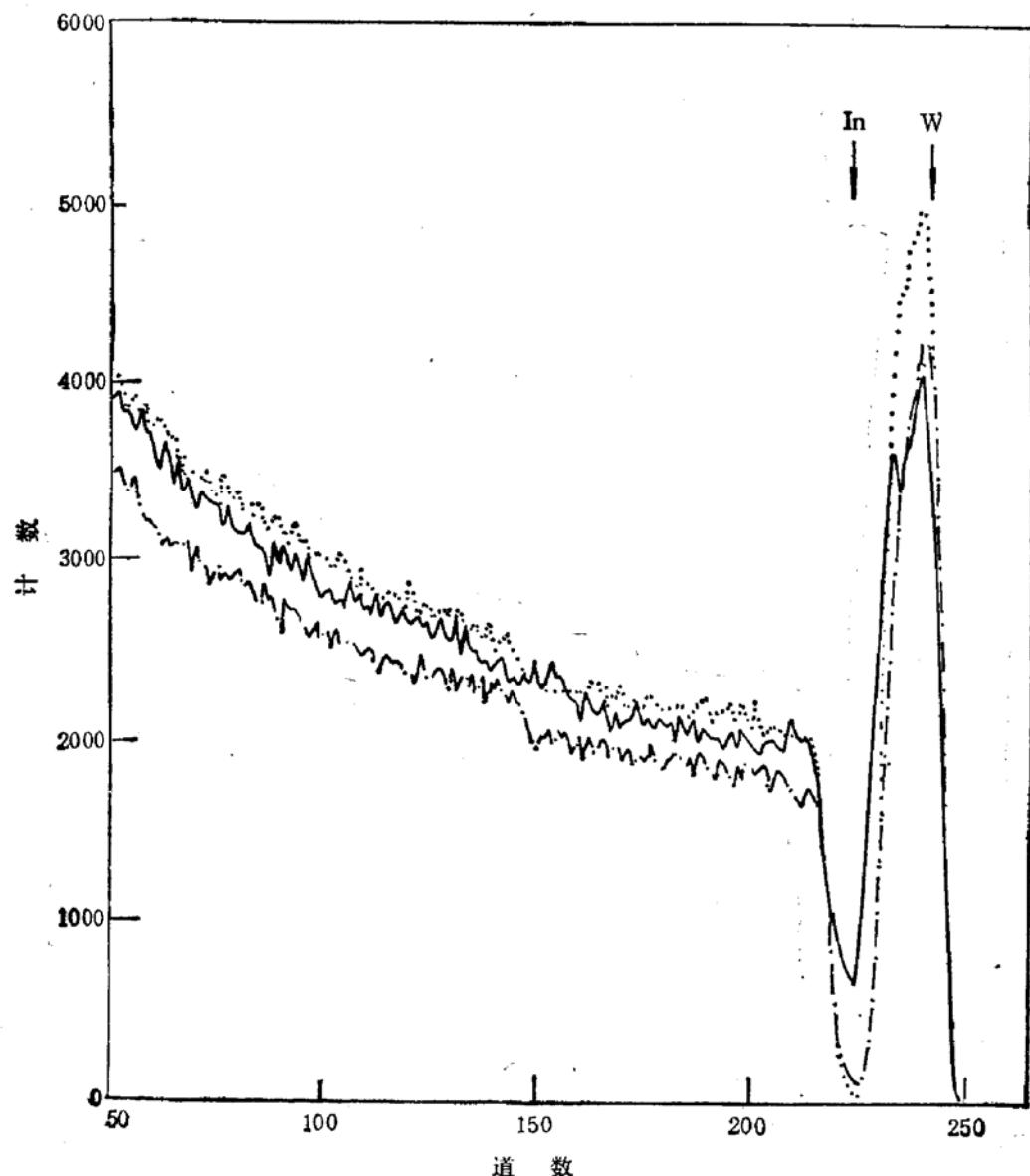


图 3 W 金属膜与 InP 接触热处理前后的卢瑟福背散射谱
…热处理前; —· $600^\circ\text{C}, 15\text{s}; -850^\circ\text{C}, 5\text{s}$

现象。图3所示的2MeV He⁺背散射谱表明经过600℃, 15s 硅贴面热处理后, W与InP互作用很小; 而850℃, 5s热处理后金属W有轻微的内扩散, 深度约200Å, 在界面处In有少量堆积。

4 结语

大剂量Si⁺离子注入InP材料经快速热退火激活后, 与AuGeNi合金和W金属膜均能形成非合金型欧姆接触, 前者的比接触电阻为 $1.5 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}^2$, 后者为 $1.7 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}^2$ 。共P⁺注入后, 欧姆接触特性进一步改善, 未合金化前比接触电阻分别减小到 $1.75 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}^2$ 和 $6.1 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}^2$; 450℃, 5s合金化后, AuGeNi/InP的最低比接触电阻为 $1.2 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}^2$, W/InP接触在600℃, 15s合金化后达最小值 $2.5 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$ 。W与InP接触的热稳定性较好, 在600℃下热处理15s后, 界面互作用很小, 850℃, 5s热处理后有一定的互扩散。

致谢 杜根娣, 夏世伟协助进行了工艺制作, 杨根庆提出了有益的建议, 上海交通大学应再生溅射生长了W金属膜, 作者一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] C. W. Farley and B. G. Streetman, J. Electrochemical Soc., 1987, **134**(2): 498
- [2] 沈鸿烈等, 半导体学报, 1990, **11**(8): 623.
- [3] Honglie Shen, et al., Appl. Phys. Lett., 1990, **56**(5): 463.
- [4] G. K. Reeves and H. B. Harrison, IEEE Electron Device letters, 1982, **EDL-3**(5): 111.

Investigation of Ohmic Contact Property of Si⁺ Implanted InP

Shen Honglie, Xu Honglai, Zhou Zuyao, Lin Zixin and Zou Shichang
(State Key Laboratory of Functional Materials for Informatics, Shanghai Institute of Metallurgy, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050)

Abstract This paper reports the ohmic contact properties of AuGeNi Alloy and W thin film with Si⁺ implanted InP. It was found that for the ohmic contact with Si⁺ singly implanted InP and with the help of P⁺ coimplantation, the specific contact resistance reduced dramatically. Rutherford Backscattering Spectroscopy measurements suggest that there is less interaction at the interface of W and InP after annealed at 600℃ for 15 sec and a little interaction after annealed at 800℃ for 5s.

PACC: 7340N, 7280E, 6170T