

利用快速热退火在 n-GaAs 上形成 Ge/PdGe 欧姆接触*

陈维德 谢小龙 崔玉德 段俐宏 许振嘉

(中国科学院半导体研究所和表面物理国家重点实验室 北京 100083)

摘要 利用 Ge/Pd/GaAs 结构和快速热退火工艺在 n-GaAs 上形成低阻的欧姆接触。研究了比接触电阻率与退火的温度和时间关系, 400~500℃之间退火的欧姆接触的比接触电阻率为 $\sim 10^{-6}\Omega \cdot \text{cm}^2$ 。接触层的表面光滑、界面平整。利用俄歇电子谱(AES)和二次离子质谱(SIMS)揭示和讨论了比接触电阻率的欧姆接触形成的机理。

PACC: 7340N, 6855

1 引言

AuGeNi 是目前 III-V 族化合物半导体器件中应用最广泛的一种金属化系统。它有许多优点, 例如: 可以形成低的接触电阻、粘附性好、工艺成熟等。但是它的缺点也是很明显的, 主要是 AuGeNi 接触包含 β -AuGa 相, 它的共晶温度只有 375℃, 不能承受高温工艺, 此外表面粗糙, 界面不平整, 甚至有尖峰等^[1]。这些缺点的存在, 使它在未来亚微米器件的应用中受到很大限制。因此, 寻求一种电阻率低、热稳定性好、界面平整、能满足亚微米器件需要的新型欧姆接触材料, 受到了人们的极大重视。

Ge 在 n-GaAs 欧姆接触中可以起 n^+ 的掺杂作用, Pd 对 GaAs 可以起分解作用, 利用这些特点, 对于 n-GaAs, 最近发展了一种 Ge/Pd(Pd/Ge) 欧姆接触, 可以获得与 AuGeNi 同样低的比接触电阻^[2,3]。他们是采用常规炉子退火来形成 Pd/Ge 欧姆接触, 一般退火温度为几十分钟。本文采用快速热退火工艺, 利用固相反应形成欧姆接触, 以便克服由于退火时间过长而带来的一些问题; 详细研究了比接触电阻率与快速热退火温度间的关系, 接触表面和界面的形貌, 并讨论了欧姆接触的有关机理。

* 国家自然科学基金资助项目

陈维德 男, 1941 年生, 研究员, 从事表面分析, 金属半导体接触、表面钝化研究

谢小龙 男, 1970 年生, 研究实习员, 从事金属半导体接触、表面钝化研究

崔玉德 男, 1936 年生, 高级工程师, 从事俄歇分析

1995 年 6 月 30 日收到

2 实验

比接触电阻采用传输线模型(TLM)分析进行测量，具有传输线模型结构的实验样品按如下方法制备。在<100>晶面的半绝缘砷化镓(SI-GaAs)衬底上，液相外延生长厚度为 $2\mu\text{m}$ ，掺 Si 的 n^+ -GaAs 层，外延层的杂质浓度为 $3 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 。在外延层上用低温氧化法生长厚度为 $0.2\mu\text{m}$ 的 SiO_2 层，光刻传输线模型所需的图形窗口，经清洁处理后送入超高真空系统(本底真空为 $\sim 10^{-7}\text{Pa}$)，用电子束蒸发淀积 Pd(50nm)和 Ge(125nm)，形成 Ge/Pd/GaAs 的结构。在 N_2 气氛中分别对有图形的和没有图形的 Ge/Pd/GaAs 样品进行快速热退火(RTA)处理，快速热退火是在 KST-2 快速热处理设备中进行，其光源为 $1.25\text{kW} \times 13$ 卤钨灯，退火温度范围为 $400\sim 650^\circ\text{C}$ ，(多数样品为 $400\sim 500^\circ\text{C}$)，退火时间分别为 30 秒和 60 秒。用传输线模型测量经不同温度退火后样品的方块电阻和比接触电阻率 ρ_c 。用 $\Phi 610$ 扫描俄歇微探针、MIQ-156 二次离子质谱(SIMS)和 X 射线衍射(XRD) 分别测量样品经不同温度处理后的化学组分随深度的分布。用 JSM-630IF 扫描电镜观察金属化后样品的表面和界面形貌。

3 结果和讨论

3.1 比接触电阻率与快速热退火温度间的关系

图 1 为样品经不同温度 30 秒退火后的比接触电阻率(ρ_c)，每条垂直线的顶部和底部都对应于四个数据点的最大值和最小值，实曲线为平均值。 400°C 30s 退火表现为非欧姆接触行为， $425\sim 500^\circ\text{C}$ 均表现欧姆接触的特性。 425°C 具有最低的比接触电阻率 $4.7 \times 10^{-6}\Omega \cdot \text{cm}^2$ 。在 $450\sim 500^\circ\text{C}$ 之间； ρ_c 随温度增加而下降，而且 ρ_c 数据分散变小。

图 2 为样品经不同温度 60 秒退火后的比接触电阻率(ρ_c)。不同于 30 秒退火后， ρ_c 从

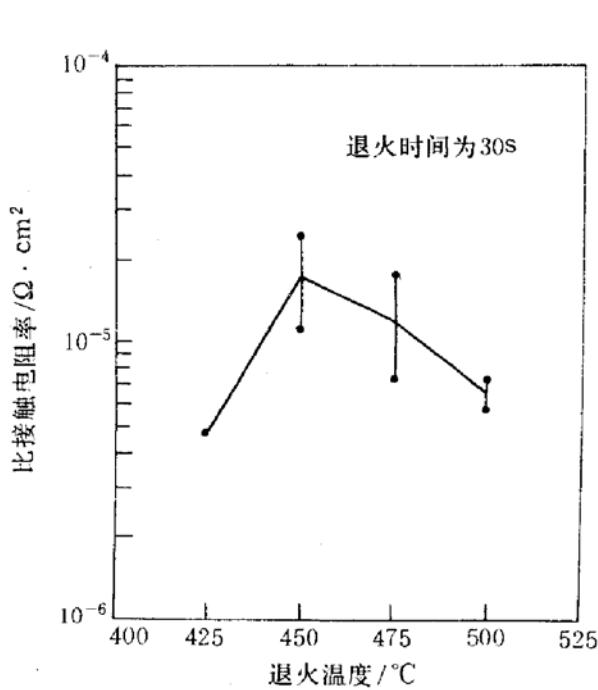


图 1 比接触电阻率与快速热退火温度的关系
退火时间为 30 秒。

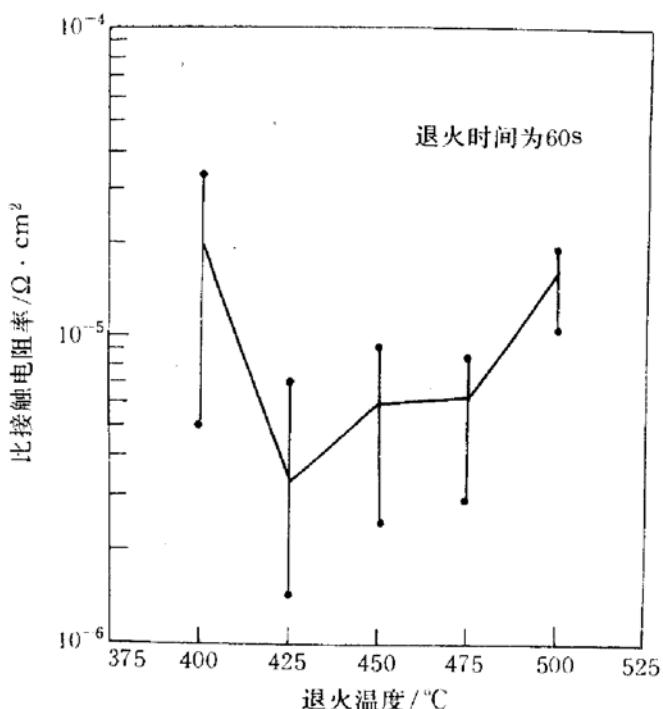


图 2 比接触电阻率与快速热退火温度的关系
退火时间为 60 秒。

400~500℃均表现欧姆接触的特性, ρ_c 与 T 之间存在典型的 U 型依赖关系。在 425~475℃的温度范围内, ρ_c 的全部测量值都在 $\sim 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 数量级, 最低的比接触电阻率为 $1.4 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$, 具有非常好的欧姆特性。以上结果表明, 对 Ge/Pd/GaAs 结构, 在 400~500℃温度范围内, 60 秒快速热退火工艺可获得良好的欧姆接触电学特性。

3.2 接触层组分的深度分布

利用俄歇电子能谱结合 Ar^+ 溅射技术可以获得欧姆接触组分的深度分布, 以便揭示良好的欧姆特性与接触层化合物的形成间的关系。样品快速热退火前和经 400℃、30s, 425℃、60s 快速热退火处理后的俄歇溅射深度分布如图 3 中(a), (b) 和(c) 所示。

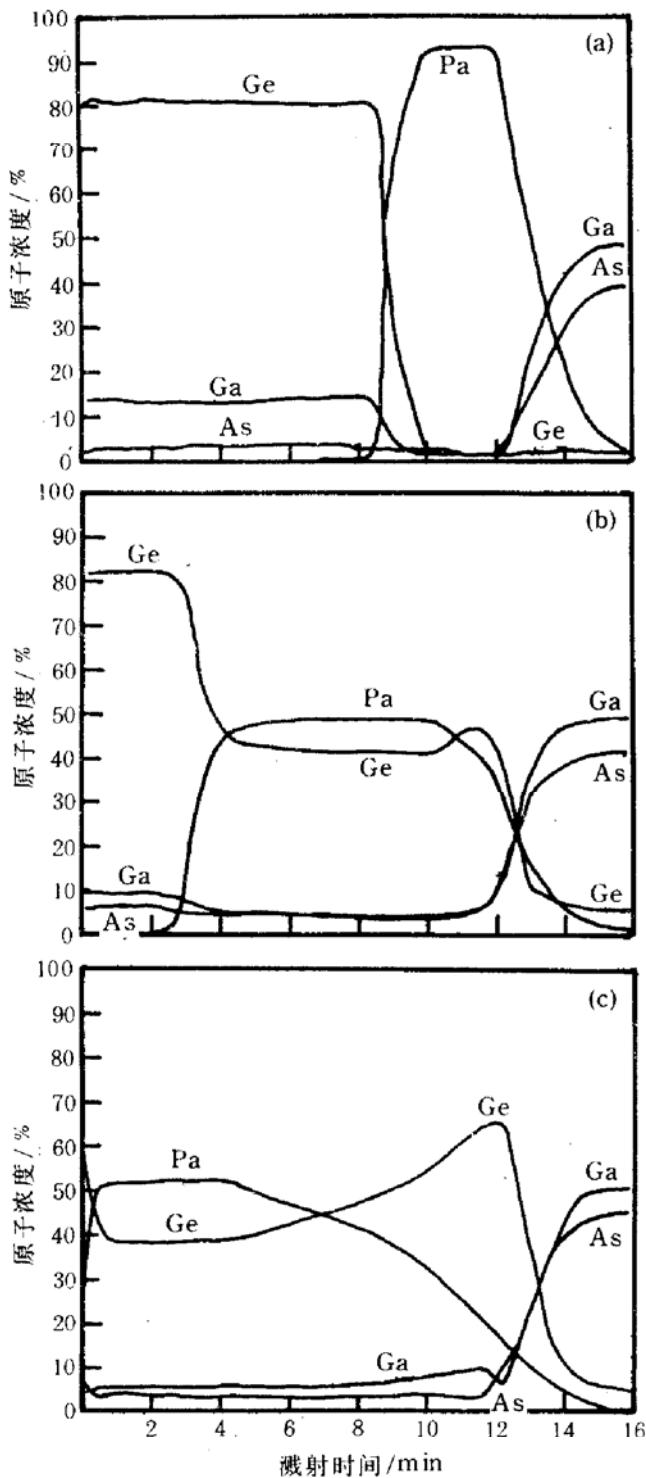


图 3 Ge/Pd/GaAs 快速热退火前(a)和
400℃, 30s(b)、425℃, 60s(c)
快速热退火后组分的俄歇深度分布

图 3(a) 是刚淀积的 Ge/Pd 接触的俄歇深度分布, 可以清楚地看到 Ge/Pd/GaAs 三层结构, 但 Pd/GaAs 界面比 Ge/Pd 界面要宽的多。这表明在淀积期间 Pd/GaAs 已发生相互扩散或反应, 这与 Marshall 等人^[3]的炉子退火样品用透射电镜观察到 Pd/GaAs 界面处存在一个中间相 $\text{Pd}_x\text{Ga}_y\text{As}$ 的结果是一致的。图 3(b) 是样品经 400℃、30s 热处理后的俄歇组分深度分布, 它指出 Pd 已全部与 Ge 发生反应形成 PdGe 化合物, 多余的 Ge 仍留在表层。X 射线衍射分析也给出存在非晶 Ge 和多晶 PdGe 的结果。电学测量表明, Ge/PdGe/GaAs 的结构未能形成欧姆特性的接触。425~500℃、30 秒退火和 400~500℃、60 秒退火的俄歇组分深度分布基本相同, 典型的结果如图 3(c) 所示。与 400℃、30 秒的俄歇深度分布相比较, 原先存在表层的剩余 Ge 已通过 PdGe 输运到 PdGe 和 GaAs 界面, 卢瑟福背散射的结果也支持了这一分析。X 射线衍射分析指出 Ge 具有单晶的特性。这表明 Ge 是外延生长在 GaAs 衬底上。这一分析与 Marshall 等人^[3]的炉子退火得到的结果相同。电学测量的结果也指出 $\text{PdGe}/\text{Ge}/\text{GaAs}$ 的结构能形成良好的欧姆接触。比较图 3(a) 和图 3(c), 我们注意到 Pd/Ge 接触深度几乎没有变化, 这表明快速热退火工艺所形成的欧姆接触很浅, 这对亚微米器件十分有利。当退火温度升到 650℃时, 个别传输线图形上仍可观察到欧姆特

性,这时对应的俄歇组分深度分布也具备上述结构.但当温度升到 700℃时,原先存在的 PdGe/Ge/GaAs 结构已不复存在,GaAs 已扩散到表面,而 Ge,Pd 已扩散到 GaAs 内部,形成 Ga,As,Ge,Pd 混合层.

3.3 接触的表面和界面形貌

图 4(见图版 I)为用扫描电镜观察 Pd/Ge(a)和 AuGe/Ni 接触(b)的表面形貌相.可以看到采用快速热处理形成 Pd/Ge 接触的表面形貌很光滑,而炉子退火 AuGe/Ni 接触的表面形貌很粗糙,组分分布很不均匀.

图 5(见图版 I)为用扫描电镜观察的 Pd/Ge(a)和用炉子退火 AuGe/Ni 接触(b)的横断面像.可以看到,采用快速热处理形成 Pd/Ge 接触的界面形貌较平整,而炉子退火 AuGe/Ni 接触的界面很不平整,甚至出现尖峰,这对亚微米器件是很不利的.

3.4 欧姆接触形成的机理

俄歇深度分布分析和电学测量表明,经热退火处理后,若出现 Ge/PdGe/GaAs 结构,则未能形成具有欧姆特性的接触.当温度进一步升高或延长退火时间后,形成的 PdGe/Ge/GaAs 结构可获得具有欧姆特性的接触.这表明良好的欧姆接触与 PdGe/GaAs 之间 Ge 的存在着密切的关系.但是如果在 GaAs 衬底上首先淀积 Ge,然后再淀积 Pd,即使退火时间再长,也未能获得欧姆特性的接触.可见在 GaAs 上首先淀积 Pd,然后再淀积 Ge 的工艺是很关键的.实际上 GaAs 淀积 Pd 后,Pd 与 GaAs 之间的俄歇深度界面较宽,这意味着界面已存在某种程度的扩散或反应现象.透射电镜观察表明,在界面处形成 Pd 富的 Pd_xGa_yAs 化合物,在 GaAs 表面留下 Ga 空位.当 Ge/Pd/GaAs 经 400~500℃、60 秒退火后利用二次离子质谱分析,在接触层中可检测到 Ga 信号,说明表层部分 GaAs 已分解,Ga 扩散到接触层,并在 GaAs 中留下 Ga 空位.与此同时,在 GaAs 表面淀积的 Ge 向 GaAs 扩散,占据 Ga 空位,因而 GaAs 表面被掺杂.接触层中 Ga 的堆积意味着在 GaAs 中产生大量 Ga 空位,使 GaAs 表面可以形成重掺杂的 n^+ -GaAs 层,从而获得好的欧姆接触特性.

4 结论

采用 Ge/Pd/GaAs 结构,经 400~500℃、60 秒快速退火处后,可获得 $\sim 10^{-6}\Omega \cdot cm^2$ 的低比接触电阻率.这种结构具有浅的欧姆接触,而且表面形貌好,界面比较平整,可作为亚微米半导体器件的欧姆接触.所观察到的实验证据与欧姆接触形成的替位机理相一致,即 Ge 占据 GaAs 表层的 Ga 空位形成 n^+ -GaAs 层.

参 考 文 献

- [1] M. Murekami, K. D. Childs, J. M. Baker et al., J. Vac. Technol., 1986, B4: 903.
- [2] E. D. Marshall, W. X. Chen, C. S. Wu et al., Appl. Phys. Lett., 1985, 47: 298.
- [3] E. D. Marshall, B. Zhang, L. C. Wang et al., J. Appl. Phys., 1987, 62: 942.

Ge/PdGe Ohmic Contacts to n-GaAs formed by Rapid Thermal Annealing

Chen Weide, Xie Xiaolong, Cui Yude, Duan Lihong and Xu Zhenjia

(Institute of Semiconductors and State Key Laboratory for Surface Physics,
The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083)

Received 30 June 1995

Abstract A low resistance ohmic contact to n-GaAs is formed by using Ge/Pd/GaAs structure and the Rapid Thermal Annealing method. The dependence of specific contact resistivity on rapid thermal annealing temperature is investigated. The specific contact resistivity of ohmic contacts annealed at 400~500 °C is on the order of $10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$. The Surface and interface morphologies of the contact are excellent. Finally, the ohmic contact formation mechanism is discussed.

PACC: 7340N, 6855