

Pt-Ni/p-InP 低阻欧姆接触的机理研究

李秉臣 王玉田 庄岩

(中国科学院半导体研究所 国家光电子工艺中心 北京 100083)

摘要 本文利用 X 射线衍射和 AES (俄歇) 方法, 深入地研究了 RF 磁控溅射淀积的 Pt-Ni/p-InP (100) 非合金膜系在热退火过程中 Pt 和 Ni 与衬底 InP 中的 In 和 P 形成稳定化合物的行为, 揭示了比接触电阻降低到 $3 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 的根本原因

PACC: 6110, 6850

1 引言

众所周知, 在半导体器件制备中, 欧姆接触是很重要的器件加工工艺之一, 对器件的性能以及可靠性和稳定性都是至关重要的。近年来, 随着新型光电子器件的出现和发展, 以 III-V 族化合物半导体为衬底的器件得到了广泛的应用。同时对欧姆接触电极提出了更高的要求, 不但要求保持低接触电阻, 而且要具有更高的可靠性和稳定性, 还必须防止合金“尖峰”出现, 以适用于薄层、浅结的要求^[1]。

对于 InP 族化合物半导体, P 型欧姆接触一般要比 N 型难做得多, 其原因首先在于空穴的有效质量比电子大, 其势垒高度也比 N 型材料高。其次是由器件加工工艺决定的, 在常用的 Au-Zn 系列中^[2] Au 为快扩散杂质, 在退火过程中很容易扩散到 P-N 结内部, 使结特性变坏。

一般来说, 淀积在半导体表面的金属薄膜在退火前常以多晶或非晶状态存在。在退火过程中, 由于互扩散作用, 它会和衬底材料中的元素形成合金化合物。但是一定要保持良好的欧姆接触, 同时又必须防止有害金属元素向深层扩散^[3]。

在 Au-Pt-Ti/p-InP (掺 Zn, 掺杂浓度为 $1 \times 10^{18} \sim 2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$) 非合金膜系中, 一般比接触电阻只有 $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 数量级^[2]。为改善欧姆接触, 本研究所采用的 Au-Pt-Ni/p-InP 非合金膜系, 在最佳的退火条件下, 我们获得了比接触电阻 $3 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 的低阻欧姆接触, 并在相关的激光器器件研究中获得了良好的结果。为了揭示欧姆接触改善的机理, 我们利用 X 射线薄膜物相分析和 AES 分析方法, 对最佳退火温度前后的样品进行了深入研究。由于 Au 对 X 射线的强吸收作用, 很难观察到界面附近的 X 射线衍射信息, 因此在实际测量中, 去掉了表面的 Au 膜。这对于实际观察影响不大, 因为 Pt 对 Au 扩散有阻挡作用。在 Au-Pt-Ni/

李秉臣 男, 1941 年出生, 高级工程师, 从事半导体光电子器件工艺及其薄膜技术研究
王玉田 男, 1940 年出生, 研究员, 从事半导体材料的 X 射线衍射研究
庄岩 男, 1967 年出生, 助理研究员, 从事半导体材料的 X 射线衍射研究
1997-10-16 收到, 1997-12-15 定稿

p-InP 非合金膜系中,对降低比接触电阻起决定作用的是 Pt 和 Ni

2 实验条件

本研究工作应用美国 NNOTECH 公司的 VS-24C 型多靶磁控溅射系统在 p-InP 衬底上淀积金属薄膜 Ni 的纯度为 99.999%, Pt 的纯度为 99.99%. 在清洗干净的 p-InP (掺 Zn, 掺杂浓度为 $1 \times 10^{18} \sim 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) 衬底上,先溅射 Ni(50nm),后溅射 Pt(10nm),然后进行 400 温度下,快速退火 30 秒.比接触电阻的测量是用中科院半导体所研制的 TLM-型全自动电阻测量仪.测量方法为三探针传输线法

在最佳温度退火前后进行 AES 和 X 射线薄膜物相分析.所用 X 射线分析仪器为日本 Rigaku Dmax-rc 薄膜衍射仪. X 射线发生器的功率为 12kW,取 CuK α 辐射,其波长为 0.154nm.在测量中,固定入射角 $\omega=5^\circ$;进行 2θ 扫描,步进为 0.01° .

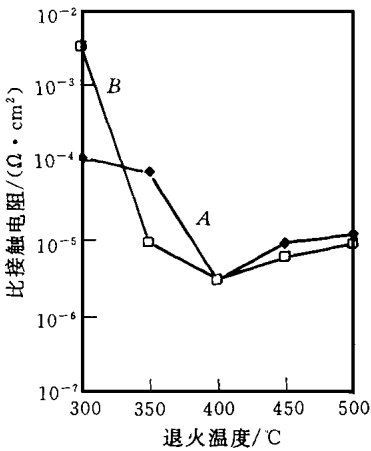


图 1 Au-Pt-Ni/p-InP 比接触电阻与退火温度的关系

A: 用 Ar⁺ 轰击清洗(100W, 30 秒),
B: 用 CH₄+ H₂ 干法清洗(100W, 30 秒).

3 实验结果和讨论

Au-Pt-Ni/p-InP 的比接触电阻与退火温度关系如图 1 所示^[1].从图 1 我们可以看到,在退火温度为 400 ,时间为 30 秒时,比接触电阻降低到 $3 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$.因此,我们同样也选择 400 为 Pt-Ni/p-InP 的最佳退火温度,时间仍为 30 秒.

图 2 所示为样品退火前的 Pt-Ni/p-InP (100)的 X 射线衍射图.在图中,除观察到衬底 InP (422) 衍射峰外,还观察到 Ni 和 Pt 的单质衍射峰,它们分别属于 Ni 的 (111)、(200)、(220)、(311)和(222),以及 Pt 的(111)、(200)、(220)、(311)和(400).表明溅射后的 Pt 和 Ni 处于多晶状态.根据 Pt (111)和 Ni (111) 衍射峰的宽度,按 Scherrer 关系^[5]可估算出 Pt 和 Ni 的晶粒尺寸分别为 12nm 和 19nm.

在退火以后, X 射线衍射图如图 3 所示,经检测分析,样品中存在着 Ni₂P 和 In₂Pt 化合物,没有观察到 Pt 和 Ni 的单质衍射峰.表明原先处于单质状态的 Pt 和 Ni 已经与衬底中的 In 和 P 形成稳定的化合物.在图 3 中我们还观察到一些其他未标明的衍射峰.它们可能是在退火过程中形成的较为复杂的过渡相,或者是快速退火中形成的某些氧化物.

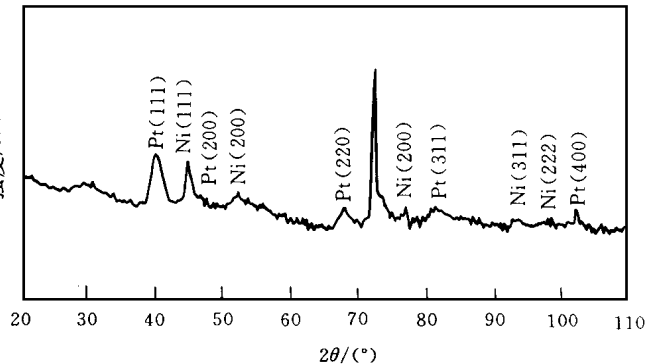


图 2 Pt-Ni/p-InP (100)退火前的 X 射线衍射图

为了显示样品退火前后各种元素所处的位置,我们进行了 AES 分析.图 4 为样品退火前的

AES 深度剖面分析. 从图中可以看到存在着清晰的 Pt/Ni 和 Ni/InP 界面. 在 Pt 层和 Ni 层中未发现高浓度的其他元素. 图 5 为样品退火后的 AES 深度剖面分析, 表明衬底中的 In 已穿过 Ni 层扩散到 Pt 层中, 而 Ni 已基本上全部扩散到 InP 中, Ni/InP 界面已不存在. 因此我们认为在样品的快速退火过程中, 衬底 InP 中的一部分 In 已穿过 Ni 层而到达 Pt 层, 并与 Pt 形成化合

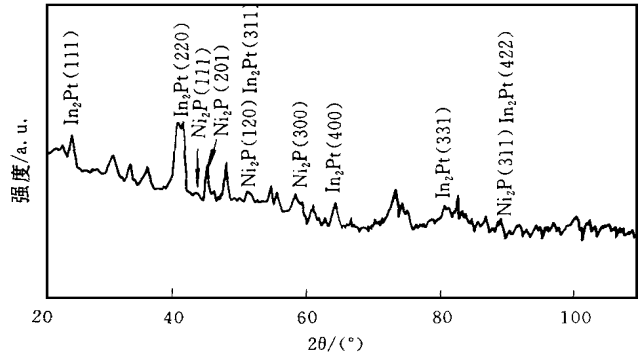


图 3 Pt-Ni/p-InP(100)退火后的 X 射线衍射图

物 In_2Pt , 而 Ni 向 InP 中扩散与 P 形成了化合物 Ni_2P . 多余的 In 达到 Pt 层表面, 并与退火气氛中所含的 O_2 反应形成 In_2O_3 .

在合金退火时, Ni 向 InP 中扩散, 在界面处 Ni 与 InP 中的 P 形成了稳定的金属磷化物 Ni_2P 薄层. 其作用一方面形成了近金属的较低电阻层, 导致比接触电阻的降低; 另一方面防止了 P 的外扩散, 保证了晶体表面的完整性.

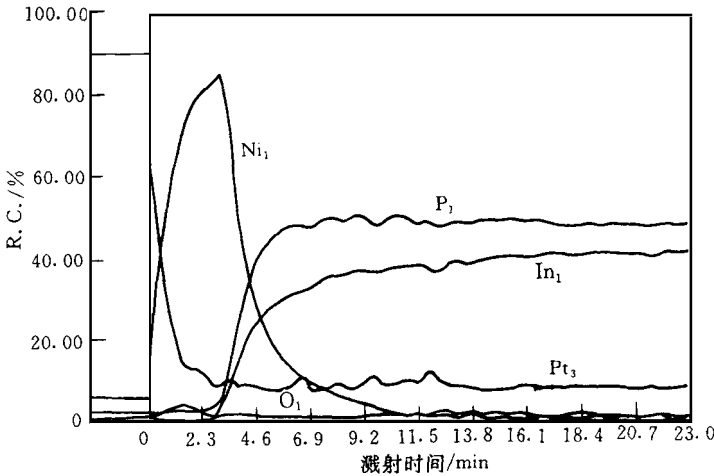


图 4 Pt-Ni/p-InP 退火前 AES 深度剖面分析

由于 In 和 Ni 在 400 时不能形成稳定的化合物, 因此 Ni 对 In 无阻挡作用, 导致了 In 向 Pt 层的扩散, 而 In 和 Pt 可以形成稳定的化合物 In_2Pt , 就可以对 In 起阻挡作用. 在图 5 中我们看到 Pt 层表面存在着少量 In, 这是由于考虑到 Pt 对 X 射线的强吸收作用, 为了更清楚地取得界面处的信息, 有意降低了 Pt 层的厚度所致. 只要适当地增加 Pt 层的厚

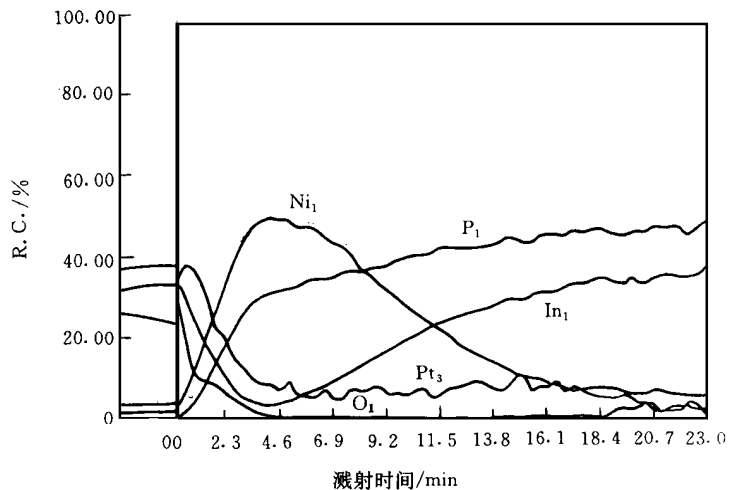


图 5 Pt-Ni/p-InP 退火后 AES 深度剖面分析

度,就可以完全阻挡 In 向表面的扩散 从而避免了与外层的 Au 形成熔点很低的金属化合物 Au₃In,防止欧姆接触老化或变坏

4 结 论

根据我们的实验分析,可以得出如下结论

- 1 对于 Au-Pt-Ni/p-InP 非合金膜系,最佳快速退火温度为 400 ,退火时间为 30 秒 在此条件下,可获得比接触电阻 $\rho = 3 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 的高质量欧姆接触
- 2 在 Ni/p-InP 界面附近形成稳定的金属磷化物 Ni₃P 薄层是改善欧姆接触的重要原因
- 3 Pt 可与 In 形成稳定化合物 In₂Pt,阻挡了 In 的外扩散 从而避免了与外层 Au 形成熔点很低的金属化合物 Au₃In,防止了欧姆接触老化或变坏

致谢 在工作中曾得到陈克铭研究员的帮助,特此致谢

参 考 文 献

- [1] 李秉臣,李建中,科学通报,1998,(待发表).
- [2] S. N. G. Chu, W. C. Dantremont-Smith, R. G. Sobers *et al.*, J. Appl Phys, 1990, **67**(2): 884~ 889.
- [3] D. G. Ivey, R. Bruce and G. R. Piercy, J. Electron Mater., 1988, **17**(5): 373~ 380.
- [4] Hidenori Shimawaki, Naoki Furuhashi and Kazuhiko Honjo, J. Appl Phys, 1991, **69**(11): 7939~ 7941.
- [5] 许顺生, X 射线金属学,北京:科学出版社,1962, 298~ 309.

Mechanism of Non-Alloyed Pt-Ni/p-InP Low Resistance Ohmic Contact

Li Bingchen, Wang Yutian, Zhuang Yan

(Institute of Semiconductors, The Chinese Academy of Sciences, National Research
Center for Optoelectronic Technology, Beijing 100083)

Received 16 October 1997, revised manuscript received 15 December 1997

Abstract Pt-Ni/p-InP (100) non-alloyed thin films deposited by magnetron RF sputtering are thoroughly studied by using XRD and AES. Stable compounds formed by Pt, Ni and In, P on the InP substrate were obtained in the process of annealing. The basic reasons for obtaining the contact resistance as low as $3 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$ are revealed.

PACC: 6110, 6850