

# 表面处理对 p-GaN 欧姆接触特性的影响\*

赵德胜<sup>1,2,†</sup> 张书明<sup>1</sup> 朱建军<sup>1</sup> 赵德刚<sup>1</sup> 段俐宏<sup>1</sup> 张宝顺<sup>1</sup> 杨辉<sup>1</sup>

(1 中国科学院半导体研究所 光电子研究发展中心, 北京 100083)

(2 长春理工大学, 长春 130022)

摘要: 研究了王水溶液对 p-GaN 欧姆接触特性的作用. 在蒸镀欧姆电极之前采用王水溶液对表面进行处理, 使 p-GaN 的比接触电阻从  $8 \times 10^{-3}$  降低到  $2.9 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}^2$ . 利用 X 射线光电子谱(XPS)对 p-GaN 表面氧含量进行分析, 结果表明王水可以有效地去除 p-GaN 表面的氧化物, 从而改善 p-GaN 的欧姆接触特性.

关键词: 王水; p-GaN; Ni/Au; XPS; 比接触电阻率  
PACC: 7280; 7340N; 3365F

中图分类号: TN304.2\*3 文献标识码: A 文章编号: 0253-4177(2007)S0-0545-03

## 1 引言

以 GaN 为代表的 III-V 族氮化物是最重要的宽禁带半导体材料之一, 由于 GaN 具有波长覆盖广(覆盖了从红光到近紫外光), 好的化学稳定性和热稳定性等优越特性, 因此在光电子和微电子领域具有广阔的应用前景. 然而, 在 GaN 基器件制作工艺过程中主要问题之一是降低 p-GaN 的欧姆接触电阻来提高 GaN 基光电子和微电子器件的效率和可靠性<sup>[1]</sup>. 最近有文献报道了可利用 HCl 溶液、KOH 溶液、王水溶液、 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$  溶液<sup>[2,4]</sup> 对 p-GaN 表面进行处理来获得低的比接触电阻. 我们采用王水对 p-GaN 表面进行处理, 使比接触电阻从  $8 \times 10^{-3}$  降低到  $2.9 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}^2$ , 实现了金属与 p-GaN 间良好的欧姆接触, 并对比接触电阻率降低的原因和机理进行了研究.

## 2 实验

实验中的样品是采用金属有机物化学气相沉积

(MOCVD)方法在蓝宝石衬底上生长的 GaN 外延膜, 膜厚约为  $1.5 \mu\text{m}$ . 生长过程中采用 Mg 掺杂, 生长结束后在  $750^\circ\text{C}$  下氮气气氛中退火 15min 从而激活 Mg 原子, 通过霍尔测量得到 p-GaN 的空穴浓度为  $2 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ . 实验中样品分成两组, 第一组样品先用丙酮、乙醇清洗去除表面油污, 然后用盐酸清洗 3min(HCl-treated); 第二组样品是在第一组样品的基础上把样品继续放在沸腾的王水里煮 10min(aqua regia-treated). 比接触电阻的测量是采用圆形传输线方法(c-TLM)<sup>[5]</sup>, 图 1 给出了 c-TLM 测量比接触电阻的图形模型. 我们采用的图形尺寸为: 电极的内圆半径为  $200 \mu\text{m}$ , 圆环的宽度分别为 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50 和  $60 \mu\text{m}$ . 用光刻的方法光刻出测量所需的图案, 用电子束蒸发的方法在 p-GaN 表面蒸镀 Ni(5nm)/Au(5nm), 蒸镀完后将金属剥离, 然后在  $500^\circ\text{C}$  下  $\text{N}_2, \text{O}_2$  混合气氛中退火 5min. 利用 Kithley 2400 源表测量了电极之间 I-V 曲线. 为了表征王水处理后 GaN 表面成分的变化, 我们利用 X 射线光电子谱(XPS)分析测量了王后处理前后 p-GaN 表面氧的含量.

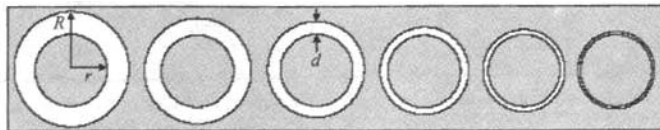


图 1 c-TLM 测量比接触电阻的图形

Fig. 1 Pattern of c-TLM applied in specific contact resistance measurement

\* 高功率半导体激光器国家重点实验室基金资助项目(批准号, 51456020205ZK0301)

† 通信作者. Email: desheng\_zhao@163.com

2006-11-21 收到, 2006-12-12 定稿

### 3 结果与讨论

盐酸处理和王水处理后样品的两个欧姆接触电极之间的  $I-V$  曲线如图 2 所示,从图中可以看出,王水处理过的样品的  $I-V$  曲线的斜率比盐酸处理过的样品的斜率大,说明用王水处理后的样品比用盐酸处理的样品形成了更好的欧姆接触。

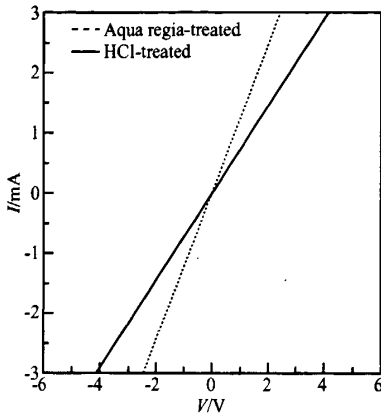


图 2 两组样品电极间距为  $60\mu\text{m}$  的  $I-V$  曲线  
Fig.2  $I-V$  curves of the two samples with  $60\mu\text{m}$  space between electrodes

测量不同圆环间距的总电阻  $R_t$ , 作出  $R_t - \ln(R/r)$  的图形, 利用最小二乘法拟合, 得到  $R_t - \ln(R/r)$  的直线, 如图 3 所示. 根据拟合结果得到直线的斜率  $K$  和  $\ln(R/r) = 0$  时的半导体层电阻  $R_{sh} = R_0$ , 然后利用公式

$$\rho_c = \left( \frac{R_0 \pi r}{R_{sh}} \right)^2 R_{sh} \quad (1)$$

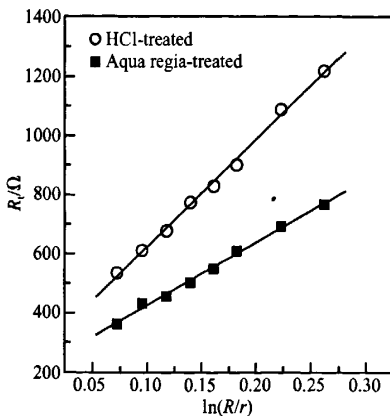


图 3 两组样品的  $R_t - \ln(R/r)$  拟合曲线  
Fig.3 Plot of the measured total resistance  $R_t$  versus  $\ln(R/r)$

计算出比接触电阻  $\rho_c$ , 其中  $R$  为圆环外半径,  $r$  为圆环内半径,  $R_{sh} = 2\pi K$ . 图 2 为两组样品的  $R_t - \ln(R/r)$  拟合结果, 计算得到的第一组和第二组样品的比接触电阻分别为  $8 \times 10^{-3}$  和  $2.9 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}^2$ .

为了研究王水表面清洗方法对 p-GaN 表面的作用, 用 XPS 测量分析了表面的氧含量, 两组样品的 O1s 的 XPS 测试结果如图 4 所示, 从图中可以看到, 王水处理后的样品 O1s 峰的强度明显降低, 表明氧的含量明显降低, 通过计算得到氧的含量从 6.7% 降低到 1.5%, 表明王水溶液能有效地去除 p-GaN 表面氧化层  $\text{GaO}_x$  [6].

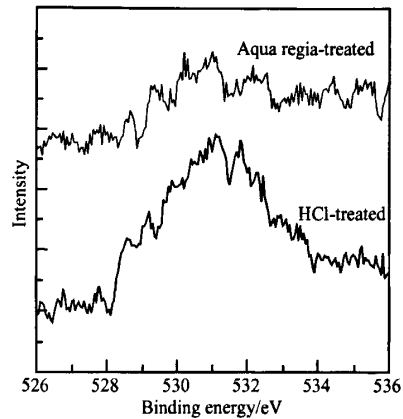


图 4 盐酸和王水处理后样品 p-GaN 表面 O1s 的 XPS 图  
Fig.4 XPS spectra of O1s for HCl-treated and aqua regia-treated p-GaN samples

热平衡条件下金属和 p-GaN 之间有无氧化层的能带图分别如图 5(a) 和 (b) 所示. 金属和 p-GaN 之间厚度为  $\delta$  的氧化层可使肖特基势垒高度增加 [7], 如下式所示,

$$q\Phi_B = q\Phi_{B0} + \frac{2kT}{h} (2m\chi)^{1/2} \delta \quad (2)$$

式中  $\Phi_{B0}$  为没有氧化层的肖特基势垒高度;  $2kT/h (2m\chi)^{1/2} \delta$  是金属和 p-GaN 之间的氧化层引起的势垒高度的增加量,  $\chi$  是载流子从金属到 p-GaN 的平均隧穿势垒,  $m$  是载流子的平均有效质量,  $\delta$  为氧化层厚度.

文献 [7] 计算厚度为 2nm 氧化层可以使肖特基势垒高度增加 0.2~0.3eV, 说明 p-GaN 表面的氧化层对 p-GaN 的欧姆接触特性影响很大, 从 XPS 的分析测试结果可以看出, 王水能有效去除作为肖特基的耗尽层的表面氧化层, 改善 p-GaN 的欧姆接触特性.

### 4 结论

本文研究了王水溶液对 p-GaN 欧姆接触特性

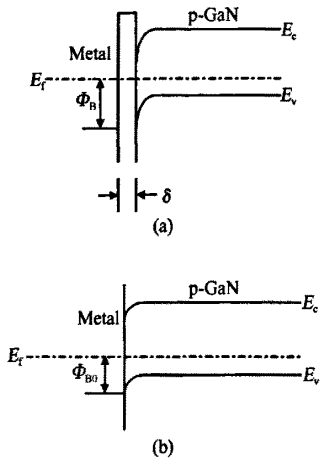


图5 金属和 p-GaN 接触的能带图 (a)有氧化层的 p-GaN; (b)没有氧化层的 p-GaN

Fig.5 Energy band diagrams of the contact between metal and p-GaN with oxide layer (a) and without oxide layer (b)

的作用.在蒸镀欧姆电极之前,用盐酸对 p-GaN 表面处理以后,再用王水溶液对表面做进行处理,使 p-GaN 的比接触电阻从  $8 \times 10^{-3}$  降低到  $2.9 \times 10^{-4}$

$\Omega \cdot \text{cm}^2$ . 利用 X 射线光电子谱对 p-GaN 表面氧含量进行分析,结果表明王水可以有效地去除 p-GaN 表面氧化物,从而改善 p-GaN 的欧姆接触特性.

#### 参考文献

- [1] Khan M A, Kuznia J N, Olson D T, et al. High-responsivity photoconductive ultraviolet sensors based on insulating single-crystal GaN epilayers. *Appl Phys Lett*, 1992, 60:2917
- [2] Lee J L, Kim J K, Lee J W, et al. Effect of surface treatment by KOH solution on ohmic contact formation of p-type GaN. *Solid-State Electron*, 1999, 43:435
- [3] Lee J L, Kim J K. Reduction of ohmic contact resistivity on p-type GaN by surface treatment. *Phys Status Solidi A*, 1999, 176:763
- [4] Loin Y J, You C F, Lee C S. Enhancement of schottky barrier height on p-type GaN by  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$  treatment. *J Appl Phys*, 2006, 99:053706
- [5] Marlow G S, Das M B. The effects of contact-size and non-zero metal resistance on the determination of specific contact. *Solid-State Electron*, 1982, 25:91
- [6] Moulder J F, Stickle W F, Sobol P E, et al. *Handbook of X-ray photoelectron spectroscopy*. Eden Prairie, MN; Perkin-Elmer, 1992
- [7] Ishikawa H, Kobayashi S, Koide Y, et al. Effects of surface treatment and metal work functions on electrical properties at p-GaN/metal interfaces. *J Appl Phys*, 1997, 81:1315

## Effect of Surface Treatment on p-GaN Ohmic Contact Property\*

Zhao Dsheng<sup>1,2,†</sup>, Zhang Shuming<sup>1</sup>, Zhu Jianjun<sup>1</sup>, Zhao Degang<sup>1</sup>, Duan Lihong<sup>1</sup>, Zhang Baoshun<sup>1</sup>, and Yang Hui<sup>1</sup>

(1 Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China)

(2 Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China)

**Abstract:** The effect of the aqua regia solution on ohmic contact property of p-GaN is investigated. After aqua regia treatment the specific contact resistance of Au/Ni/p-GaN is improved from  $8 \times 10^{-3}$  to  $2.9 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}^2$ . With XPS measurement the concentration of oxide in the surface of GaN is obtained and it is obviously decreased due to aqua regia treatment. So we can suggest that aqua regia is effective in removing the surface oxides and as a result the p-GaN ohmic contact property is improved.

**Key words:** aqua regia; p-GaN; Ni/Au; XPS; specific contact resistance

**PACC:** 7280; 7340N; 3365F

**Article ID:** 0253-4177(2007)S0-0545-03

\* Project supported by the Foundation of the National Key Laboratory on High Power Semiconductor Lasers (No. 51456020205ZK0301)

† Corresponding author. Email: dsheng-zhao@163.com

Received 21 November 2006, revised manuscript received 12 December 2006

©2007 Chinese Institute of Electronics