

金属/n型 AlGaN 欧姆接触*

周慧梅¹ 沈 波¹ 周玉刚¹ 刘 杰¹ 郑泽伟¹ 钱 悅¹ 张 荣¹ 施 肖¹ 郑有炡¹
曹春海² 焦 刚² 陈堂胜²

(1 南京大学物理系, 南京 210093)

(2 南京电子器件研究所, 南京 210016)

摘要: 用传输线模型对 n 型 AlGaN(n-AlGaN) 上 Au/Pt/Al/Ti 多金属层欧姆接触进行了接触电阻率的测量。在 850℃退火 5min 后, 测得欧姆接触电阻率达 $1.6 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 。经 X 射线衍射分析, Au/Pt/Al/Ti/n-AlGaN 界面固相反应得出在 500℃以上退火过程中, AlGaN 层中 N 原子向外扩散, 在 AlGaN 表面附近形成 n 型重掺杂层, 导致欧姆接触电阻率下降; 随退火温度的升高, N 原子外扩散加剧, 到 800℃以上退火在 Au/Pt/Al/Ti/n-AlGaN 界面形成 Ti₂N 相, 导致欧姆接触电阻率进一步下降。

关键词: III族氮化物; 欧姆接触; 界面固相反应

PACC: 7330; 7280; 6630V

中图分类号: O485

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2002)02-0153-04

1 引言

III族氮化物在高频、高温、高功率电子器件, 特别是微波功率器件方面有诱人的应用前景, AlGaN/GaN 异质结场效应晶体管是最重要的 GaN 基电子器件^[1,2]。欧姆接触和肖特基接触是器件制备的关键工艺和重要组成部分, 对器件性能有重要的影响^[3]。

相对于 Si 或 GaAs 材料, 对于宽禁带半导体, 制作低接触电阻的欧姆接触有一定的困难。目前, 在 n 型 GaN(n-GaN) 上采用 Ti/Al 和 Ti/Al/Pt/Au 多层金属已能实现较低的接触电阻^[4,5]。在 AlGaN/GaN 异质结构上的欧姆接触, 是 AlGaN/GaN 异质结场效应晶体管制备的一个重要课题, 与 n-GaN 相比, n 型 AlGaN(n-AlGaN) 上的欧姆接触相对较差, 还有待进一步研究^[6,7]。人们正在不断探讨材料质量、材料生长方法、表面处理、退火温度、退火时间等有关参数对降低金属/n-AlGaN 欧姆接触电阻率的作用。目前的研究水平是金属/n-AlGaN 欧姆接触

电阻率仅能达到 $10^{-3} \sim 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 。本文采用传输线模型研究了 Au/Pt/Al/Ti/n 型 AlGaN 不同退火温度下欧姆接触电阻率的变化, 并用 X 射线衍射谱(XRD) 分析了界面固相反应。

2 实验

所用的调制掺杂 AlGaN/GaN 异质结构材料是由金属有机化学气相沉积(MOCVD) 方法制备的, 衬底为(0001) 面的蓝宝石(α -Al₂O₃)。样品结构为 n-AlGaN(65nm)/i-AlGaN(3nm)/i-GaN/ α -Al₂O₃, 其中 Al 组分为 22%, i-AlGaN 和 i-GaN 分别表示非故意掺杂的 AlGaN 和 GaN 层, n-AlGaN 采用 Si 掺杂, 掺杂浓度是 $1.26 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 。

Au/Pt/Al/Ti/n-AlGaN 欧姆接触制备程序如下: 首先, 将样品用去离子水清洗后, 在样品表面大面积蒸一层 SiON, 然后, 用环型掩膜版进行光刻, 再进行镀膜, 所镀金属膜为 Ti(15nm)/Al(100nm)/Pt(40nm)/Au(200nm)。然后, 进行剥离工艺。剥离

* 国家重点基础研究专项(G20000683), 国家自然科学基金(69806006, 69976014 及 69987001) 和国家高技术发展计划资助课题

周慧梅 女, 1980 年出生, 硕士研究生, 从事 III 族氮化物异质结构研究。

沈 波, 男, 1963 年出生, 博士, 教授, 博士生导师, 从事 III 族氮化物材料和器件研究。

2001-07-01 收到, 2001-08-30 定稿

© 2002 中国电子学会

之后的样品在高纯 N₂ 气氛下分别做了 500、600、800、850℃温度下 5min 退火, 然后测量欧姆接触之间的 I-V 特性和接触电阻率。接触电阻率用圆环形线性传输模型测量^[8], 测量用图形为同心的圆点和其外的两个圆环, 圆点直径为 200μm, 中间圆环的内外直径分别为 220、800μm, 最外面圆环的内外直径分别为 820、1400μm。图 1 为环形线性传输模型的版图及相应的等效电路。接触电阻率根据测量结果由程序计算精确给出。在 I-V 测量中使用了四探针法以消除探针与样品之间的接触电阻和接触电势带来的影响。在测量 r_0 和 r'_1 以及 r_1 和 r_2 之间的电阻 R_1 、 R_2 后, 根据下式, 算出欧姆接触电阻率 R_c ^[8]。

$$R_c = \left| \log_e \left[\frac{r'_2}{r_1} \right] R_1 - \log_e \left[\frac{r'_1}{r_0} \right] R_2 \right| (r_0)^2 \Delta$$

$$\Delta = \frac{2\pi}{(\alpha r_0)^2 \Psi} \left| \frac{A(r_1, r_1') B(r_1, r_1')}{C(r_1, r_1')} + D(r_1, r_1') \right|$$

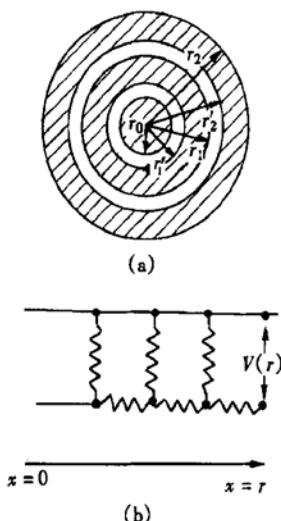


图 1 圆环形线性传输模型的版图(a)和等效电路(b)

Fig. 1 Circular contact pattern (a) and the equivalent circuit for circular contact (b)

Au/Pt/Al/Ti/n-AlGaN 不同退火温度下的界面固相反应采用 XRD 谱测量分析。所用样品结构同上, 但为增大探测面积, 未做成圆环图形。XRD 谱仪为 D/max/A, X 光波长为 0.1542nm, 测量电压为 30kV, 测量电流为 60mA。

3 结果与讨论

图 2 为 N₂ 气氛下 800℃退火后样品的 I-V 特性曲线。从图中我们可以看到, 其 I-V 特性已接近

线性, 形成了良好的欧姆接触。

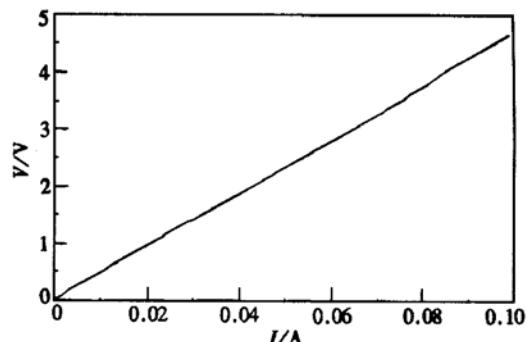


图 2 800℃退火后的 I-V 特性图

Fig. 2 I-V characteristics after annealing at 800°C in N₂ ambient

不同温度退火后样品的欧姆接触电阻率 R_c 的测量结果见表 1。可以看到, 在相同退火时间下, 随退火温度的上升, 其接触电阻值逐渐降低。500℃退火后, 接触电阻率是 $1.5 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}^2$, 而当 850℃退火后, 得到的欧姆接触电阻率为 $1.6 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 。

表 1 样品分别在 500、600、800、850℃ N₂ 气氛下退火 5min 后的接触电阻率 R_c

Table 1 Contact resistivity R_c after annealing at 500, 600, 800 and 850°C in N₂ ambient for 5min, respectively

	退火温度	退火时间	接触电阻率 R_c
	/°C	/min	/Ω · cm ²
Ti/Al/Pt/Au	500	5	1.5×10^{-3}
Ti/Al/Pt/Au	600	5	9.7×10^{-4}
Ti/Al/Pt/Au	800	5	5.1×10^{-4}
Ti/Al/Pt/Au	850	5	1.6×10^{-4}

为分析上述欧姆接触电阻变化的机理, 我们对 Ti/Al/Pt/Au/n-AlGaN 接触界面固相反应进行了研究。

常温下的 XRD 谱有 GaN、AlGaN、Al₂O₃ 以及 Pt 和 Au 的衍射峰, 没有看到 Ti 和 Al 的峰。我们可以把它解释为: 淀积的 Ti 和 Al 的晶粒尺寸很小, 所以 X 光衍射较弱, 因此看不到 Ti 和 Al 的衍射峰。

在 500~700℃退火后, Ti 和 Al 形成合金。图 3 为 700℃退火后的衍射谱, Ti 和 Al 相互扩散, 形成多种合金相, 如 AlTi、AlTi₂ 和 AlTi₃。同时, Ti 的衍射峰出现, 因为温度提高后, 会使 Ti 膜结晶状态变好, 生长成比较大的晶粒。

图 4 为 800℃退火后的衍射谱, 其中, Ti 与 Al-GaN 中的 N 反应, 生成化合物 Ti₂N, 其衍射峰位于

37.0°处。

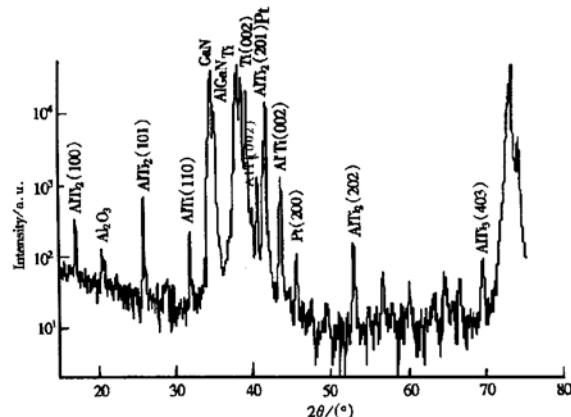


图3 700℃退火后的XRD谱

Fig. 3 XRD spectrum after annealing at 700°C

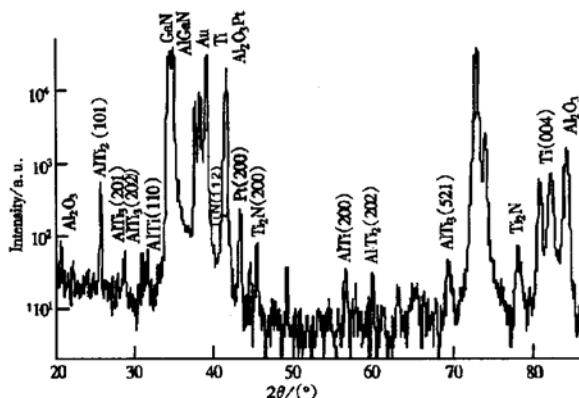


图4 800℃退火后的XRD谱

Fig. 4 XRD spectrum after annealing at 800°C

图5为900℃退火后的衍射谱,其中,Ti和Al的合金没有太大的变化,Au和Pt的峰已经消失,这说明Au和Pt在这时已经相互渗透,从XRD谱中

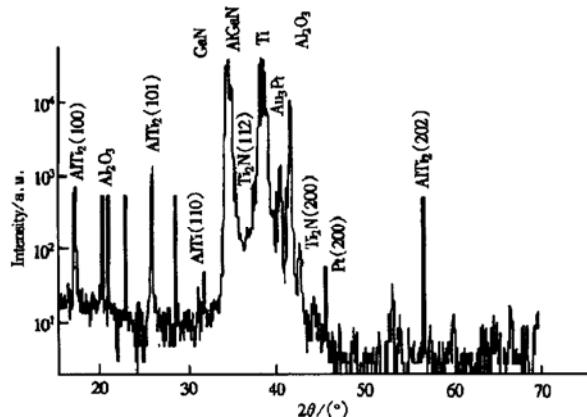


图5 900℃退火后的XRD谱

Fig. 5 XRD spectrum after annealing at 900°C

我们也可以看出,有Au和Pt的合金Au₃Pt生成。

由此,我们可以分析得出:500~700℃退火时主要发生Ti/Al的互溶反应,形成多种TiAl间的合金相。900℃退火后,Pt、Au发生互溶反应生成新的PtAu合金相,无证据表明Pt和Al或Ti发生界面反应。

同时,我们认为500℃退火过程中Ti原子和AlGaN中的N原子的互扩散已经开始,只是数量较小,不足以形成Ti和N的合金相。随着退火温度升高,互扩散加剧,至800℃时,形成新的Ti₂N相。

4 结论

在500~900℃的退火温度范围内,Au/Pt/Al/Ti-n型AlGaN欧姆接触电阻率R_c随退火温度升高而降低,500℃退火时的R_c为 $1.5 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 。850℃退火后,R_c降为 $1.6 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 。Au/Pt/Al/Ti/n-AlGaN在不同退火温度下发生复杂的界面固相反应。500~700℃时,主要是Ti/Al互溶形成新的TiAl金属间化合物;800℃以上退火时,出现Ti₂N相;900℃时,Pt/Au层互溶形成Au₃Pt等新的金属间化合物相。结果和分析表明,在500℃以上退火过程中,就存在AlGaN层中N原子的外扩散现象,形成AlGaN表面附近N空位积累,形成n型重掺杂质层,导致欧姆接触电阻率下降。随退火温度的升高,N原子外扩散加剧,AlGaN表面附近n型载流子浓度进一步增高,导致欧姆接触电阻率进一步下降。

参考文献

- [1] Chen Q, Wang J W, Gaska R, et al. IEEE Electron Device Lett, 1998, 19: 44
- [2] Mishra U K, Uw Y F, Keller B P, et al. IEEE Trans Microw Theory Tech, 1998, 46: 756
- [3] Wurfi J, Abrosimova V, Helsenbeck J, et al. Microelectronics Reliability, 1999, 39: 1737
- [4] Liu Q Z, Lan S S. Solid-State Electronics, 1998, 42(5): 677
- [5] Zhang J W, Zhang T P, Wang W, et al. Chinese Journal of Semiconductors, 2001, 22: 737[张锦文, 张太平, 王玮, 等. 半导体学报, 2001, 22: 737]
- [6] Shur M S, Gaska R, Bykhovski A. Solid-State Electron, 1999, 43: 1451
- [7] Pearton S J, Zolper J C, Shul R J, et al. J Appl Phys, 1999, 86: 1
- [8] Reeves G K. Solid-State Electron, 1980, 23: 487

Metal/n-AlGaN Ohmic Contact*

Zhou Huimei¹, Shen Bo¹, Zhou Yugang¹, Liu Jie¹, Zheng Zewei¹, Qian Yue¹, Zhang Rong¹, Shi Yi¹, Zheng Youdou¹, Cao Chunhai², Jiao Gang² and Chen Tangsheng²

(1 Department of Physics, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

(2 Nanjing Electronic Device Institute, Nanjing 210016, China)

Abstract: By the means of the transmission line model, the resistivity (R_c) of the Ohmic contact between Au/Pt/Al/Ti multi-layer and n-type AlGaN (n-AlGaN) is tested. After annealing at 850°C for 5min, the R_c is reached as low as $1.6 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}^2$. Based on the analysis of XRD measurements, it is concluded that N atoms in n-AlGaN layer diffuse out and much more N-vacancies are formed after the annealing temperatures reached 500°C and above. It induces the heavy n-type doped layer near the n-AlGaN surface, and thus, it leads to the decrease of R_c . With increasing of the annealing temperature, more N atoms in n-AlGaN layer diffuse out and react with Ti atoms. Ti₂N at the interface between Au/Pt/Al/Ti and n-AlGaN is formed after annealing at 800°C, resulting in the R_c further decreases.

Key words: III-nitride; Ohmic contact; interfacial solid-state reaction

PACC: 7330; 7280; 6630V

Article ID: 0253-4177(2002)02-0153-04

* Project supported by Special Funds for Major State Basic Research Projects of China (No. G20000683), the National Natural Science Foundation of China (Nos. 69806006, 69976014 and 69987001), and the National High Technology Research & Developments Program of China

Zhou Huimei female, was born in 1980. She primarily is engaged in the research on III-nitride heterostructures.

Shen Bo male, was born in 1963, professor. He primarily is engaged in the research on III-nitride materials and devices.

Received 1 July 2001, revised manuscript received 30 August 2001

© 2002 The Chinese Institute of Electronics