

硅衬底 GaN 基 LED N 极性 n 型欧姆接触研究*

封飞飞¹⁾ 刘军林¹⁾²⁾ 邱 冲²⁾ 王光绪¹⁾ 江风益^{1)2)†}

1) (南昌大学教育部发光材料与器件工程研究中心, 南昌 330047)

2) (晶能光电(江西)有限公司, 南昌 330029)

(2009 年 12 月 4 日收到; 2009 年 12 月 22 日收到修改稿)

在 Si 衬底 GaN 基垂直结构 LED 的 N 极性 n 型面上, 利用电子束蒸发的方法制作了 Ti/Al 电极, 通过了 I - V 曲线研究了有无 AlN 缓冲层对这种芯片欧姆接触的影响. 结果显示, 去除 AlN 缓冲层后的 N 极性 n 型面与 Ti/Al 电极在 500 到 600 °C 范围内退火才能形成欧姆接触. 而保留 AlN 缓冲层的 N 极性 n 型面与 Ti/Al 电极未退火时就表现为较好的欧姆接触, 比接触电阻率为 $2 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}^2$, 即使退火温度升高至 600 °C, 也始终保持着欧姆接触特性. 因此, AlN 缓冲层的存在是 Si 衬底 GaN 基垂直结构 LED 获得高热稳定性 n 型欧姆接触的关键.

关键词: 硅衬底, N 极性, AlN 缓冲层, 欧姆接触

PACC: 7280E, 7340C

1. 引 言

以 GaN 基为代表的 III-V 族氮化物作为新一代宽禁带半导体材料体系, 其发光波长可以涵盖从红外到紫外的整个波长范围, 在半导体照明领域具有诱人的应用前景^[1-3]. 尽管 GaN 基 LED 已经得到商业化, 但在实际使用方面仍存在许多问题. 对于大功率照明 LED 而言, 传统的同侧结构存在电流拥挤, 电压较高和散热难等缺点^[4-7]. 而垂直结构可以有效地解决这些问题^[8-11]. 要制作垂直结构 LED, 就需要在 GaN 的 N 极性面(以下简称 N 面)上制作 n 型欧姆接触, 然而在 N 面上制作优良的欧姆接触比在 Ga 极性面(以下简称 Ga 面)上困难很多^[12-15]. Kwak 等分别将 Ga 面 n-GaN 和 N 面 n-GaN 的 Ti/Al 接触高于 500 °C 退火, 前者获得了欧姆接触($\rho_c = \sim 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}^2$), 而后者却只能得到肖特基接触^[16]. Jeon 等最近报道 TiN/Al 电极与 N 面 n-GaN 获得了非合金欧姆接触($\rho_c = 6.0-7.2 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}^2$), 但是热稳定性差, 300 °C 退火后接触性能就开始蜕化^[17]. 显然, 要获得大功率垂直结构 LED, 就需要在 N 面 n-GaN 上制作比接触电阻率低且热稳定性好的欧姆接触.

本文研究了 AlN 缓冲层对 GaN 基垂直结构 LED N 极性 n 型面与 Ti/Al 电极形成的欧姆接触的影响.

2. 实 验

实验样品为本实验室研制的 Si 衬底 GaN 基蓝光 LED 外延片, 有关 GaN 的生长方法已有报道^[18]. 生长后将其转移到新的 Si 基板上, 剥离掉原生长用的 Si 衬底, 得到了出光面为 N 极性 n 型面即 N 面朝上的芯片, 最后在 N 面制作 n 电极并制成垂直结构的 LED 芯片, 具体结构如图 1(a) 所示. 其中 n 型 GaN 施主掺杂浓度为 $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$.

本实验采用同一炉外延相邻位置的两片外延片来制备 LED 芯片, 在剥离硅衬底前采用完全相同的芯片工艺得到了芯片 A 和 B. 然后 A 和 B 分别采用不同的工艺制作 n 电极. 其中样品 A 不做任何处理, 保留 AlN 缓冲层; 样品 B 腐蚀掉 AlN 缓冲层. 然后将样品 A 和 B 清洗吹干, 再依次蒸发 10 nm 的 Ti 和 2500 nm 的 Al, 以剥离(lift off)方式获得 n 电极. 最后将 A 和 B 各分成 6 份, 在 N_2 氛围, 不同温度退火 5 min. 实验采用 EDS 来表征是否腐蚀掉 AlN. 利用半自动探针测试仪, 在图 1(b) 所示电极上, 测芯

* 国家高技术研究发展计划(批准号:2006AA03A128), 教育部长江学者与创新团队发展计划(批准号:IRT0730)资助的课题.

† 通讯联系人. E-mail: jiangfy@ncu.edu.cn

片的 *I-V* 曲线,两三角电极间隙距离为 20 μm. 并且采用传输线法 (CTLM) 测量了保留 AlN 的样品在未退火下的比接触电阻率.

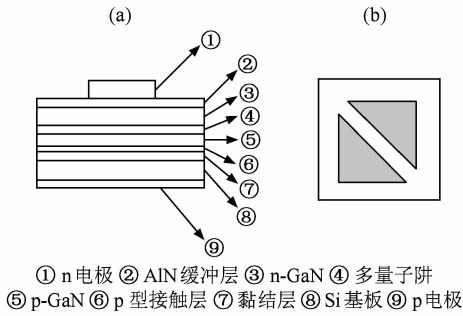


图 1 (a) Si 衬底垂直结构 LED 芯片结构图;(b) 电极结构图

3. 结果与讨论

图 2 为 A, B 两样品在蒸镀电极前的表面 EDS 能谱结果,图 2(b) 的插图为 Al 能谱峰的局部放大,便于更清楚地看到 B 样品表面没有 Al 元素特征峰,其中 1.48 keV 为 Al 元素特征 X($K_{\alpha 1}$) 谱线的能量

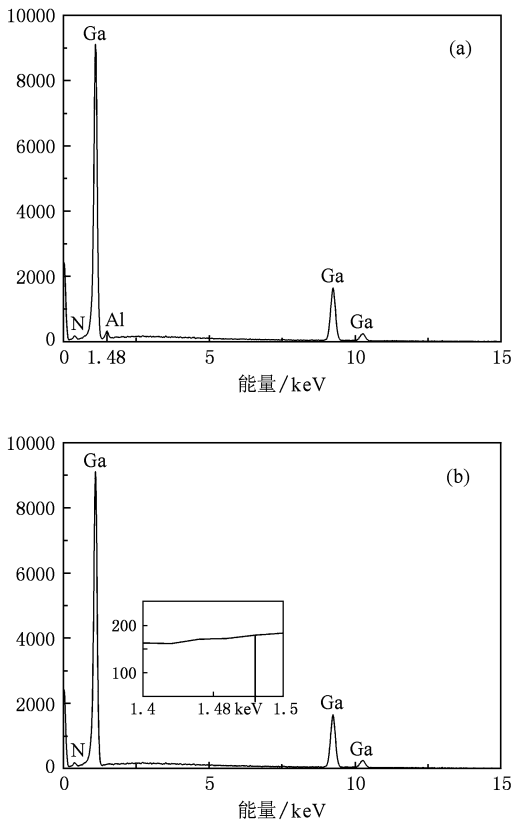


图 2 N 极性 n 型面 EDS 能谱图 (a) A 样品,未去除 AlN 缓冲层;(b) B 样品,去除 AlN 缓冲层

值. 可以看出:未做处理的 A 样品表面有 Al 元素,经过处理的 B 样品表面没有 Al 元素. 这表明 A 样品表面保留着 AlN,而 B 样品表面的 AlN 已被去除.

图 3 为 A, B 两样品退火前的 *I-V* 特性曲线,可以看出 A 样片的 *I-V* 曲线为线性,是欧姆接触,而 B 样品的 *I-V* 曲线呈非线性,是肖特基接触. Ti 在 AlN 上容易形成欧姆接触的原因可归结为 AlN 中高硅掺杂浓度(二次离子质谱实验测得本文样品 AlN 缓冲层中的平均 Si 浓度达到了 $8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$,主要来源于衬底 Si 的扩散),和 Ti 的功函数(4.33 eV)小于 AlN 的功函数(5.35 eV)^[19]. 相比之下,去除 AlN 缓冲层的 n-GaN 掺杂浓度只有 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$,而且 n-GaN 的功函数(4.1 eV^[20])小于 Ti 的功函数,在退火前未能与 Ti/Al 形成欧姆接触也就不难理解了.

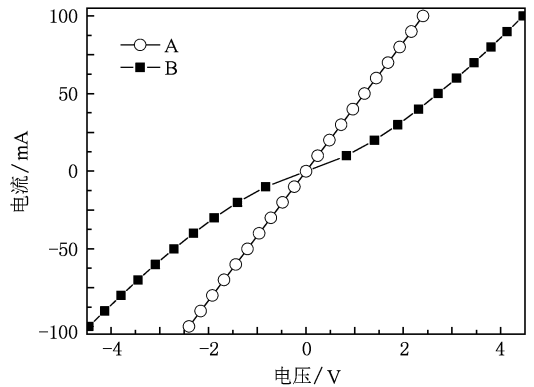


图 3 A, B 两样品未退火的 *I-V* 曲线

图 4 为 A 样品在不同温度退火后的 *I-V* 特性曲线,右下角的插图为大图的局部放大,便于更清楚地区分曲线. 可以看出:不高于 600 °C 退火后,图像的 *I-V* 曲线都呈线性. 未退火的样品具有最大的斜

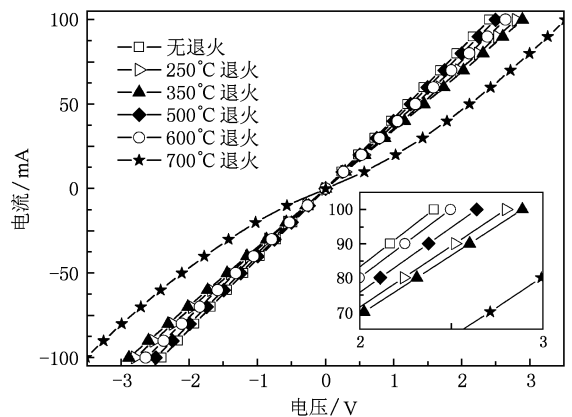


图 4 A 样品在不同温度下退火的 *I-V* 曲线

率,最低的欧姆接触电阻率($\rho_c = 2 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}^2$).从不退火到 600 °C 退火, A 样品均呈现出良好的欧姆接触特性,退火温度对欧姆接触没有很明显的影 响.当退火温度在 700 °C 左右, Ti/Al 电极严重球聚,破坏了 Ti/Al 欧姆接触,使之蜕化成肖特基接触.由此可见有 AlN 缓冲层存在时, Ti/Al 电极与 N 极性 n 型面形成的欧姆接触具有良好的热稳定性.

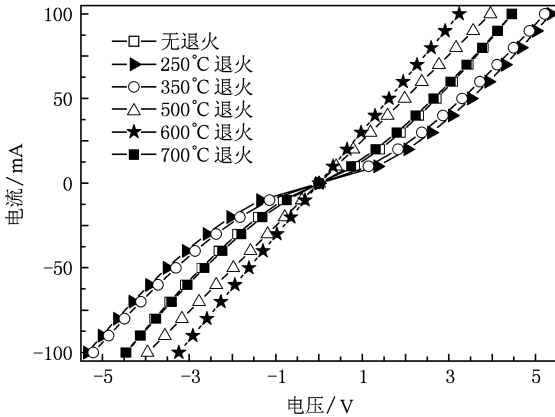


图 5 B 样品在不同温度下退火的 I - V 曲线

图 5 为 B 样品在不同温度退火后的 I - V 特性曲线.当退火温度低于 500 °C 时, I - V 曲线表现为非欧姆接触特性;温度在 500 °C 和 600 °C 之间时 I - V 曲线呈线性,变为欧姆接触;退火温度升高到 700 °C 时,退化为肖特基接触.本文对这一现象作如下解释: N 空位在 GaN 中起施主作用,表面 N 空位越多越容易

形成 n 型欧姆接触;当退火温度低于 500 °C 时, Ti/Al 电极中的 Al 穿过 Ti 与 n-GaN 发生界面反应生成 AlN 并引入 N 空位的能力有限,当退火温度高于 500 °C 且随着退火温度提高时,这种能力大大提高,相对容易形成了欧姆接触. Luther 等人将 n-GaN/Ti/Al 接触在 600 °C 退火 15 s,通过高分辨率透射电镜 (HRTEM) 在界面观察到薄层 AlN^[21], Jang 等也得到了这样的结论^[12]. 这些结论都支持了本文的解释;而当退火温度进一步升高到 700 °C 时, Ti/Al 电极出现严重球聚现象,使之与 GaN 的接触蜕化为肖特基接触.

4. 结 论

在 Si 衬底 GaN 基垂直结构 LED N 极性 n 型面制作 Ti/Al 电极,通过 I - V 曲线研究了 AlN 缓冲层对这种芯片欧姆接触的影响. 研究表明:缓冲层 AlN 使 Ti/Al 电极在 N 面 n-GaN 上不用退火就能形成欧姆接触,比接触电阻率为 $2 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}^2$,即使退火温度升高至 600 °C,也依旧呈现良好的欧姆接触特性,表现为很好的欧姆接触热稳定性. 而去除 AlN 缓冲层的 N 面与 Ti/Al 电极只在退火温度 500—600 °C 之间形成欧姆接触. 因此,缓冲层 AlN 的存在可以使 Si 衬底 GaN 基垂直结构 LED 的 N 极性 n 型面更容易获得性能优良的欧姆接触.

[1] Jiang Y, Luo Y, Wang L, Li H T, Xi G Y, Zhao W, Han Y J 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 3468 (in Chinese) [江 洋, 罗毅, 汪 莱, 李洪涛, 席光义, 赵 维, 韩彦军 2009 物理学报 **58** 3468]

[2] Lee Y J, Lin S Y, Chiu C H, Lu T C, Kuo H C, Wang S C, Chhajed S, Kim J K, Schubert E F 2009 *Appl. Phys. Lett.* **94** 1111

[3] Song X Y, Zeng X H, Zhang J B, Zeng X H, Dong Y J 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** (in Chinese) [宋雪云, 曾祥华, 张俊兵, 曾祥华, 董雅娟 2010 物理学报 **59**]

[4] Guo X, Schubert E F 2001 *J. Appl. Phys.* **90** 4191

[5] Guo X, Schubert E F 2001 *Appl. Phys. Lett.* **78** 3337

[6] Shen G D, Zhang J M, Zou D S, Xu C, Gu X L 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 472 (in Chinese) [沈光地, 张剑铭, 邹德恕, 徐 晨, 顾晓玲 2008 物理学报 **57** 472]

[7] Xue Z Q, Chen C, Huang S R, Zhang B P 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 7 (in Chinese) [薛正朝, 陈 朝, 黄生荣, 张保平 2010 物理学报 **59** 7]

[8] Cao X A, Arthur S D 2004 *Appl. Phys. Lett.* **85** 3971

[9] Tan B S, Yuan S, Kang X J 2004 *Appl. Phys. Lett.* **84** 2757

[10] Xiong C B, Jiang F Y, Fang W Q, W L 2007 *J. Lumin.* **122-123** 185

[11] Xiong C B, Jiang F Y, Fang W Q, Wang L, Mo C L 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 3176 (in Chinese) [熊传兵, 江风益, 方文卿, 王 立, 莫春兰 2008 物理学报 **57** 3176]

[12] Jang H W, Lee S, Ryu S W, Son J H, Song Y H, Lee J L 2009 *Electrochem. Solid-State Lett.* **12** H405

[13] Jung S Y, Seong T Y, Kim H, Park K S, Park J G, Namgoong G 2009 *Electrochem. Solid-State Lett.* **12** H275

[14] Kim H, Ryou J H, Dupuis R D, Lee S N, Park Y, Jeon J W, Seong T Y 2008 *Appl. Phys. Lett.* **93** 2106

[15] Jang T, Lee S N, Nam O H, Park Y 2006 *Appl. Phys. Lett.* **88**

[16] Kwak J S, Lee K Y, Han J Y, Cho J, Chae S, Nam O H, Park Y 2001 *Appl. Phys. Lett.* **79** 3254

[17] Jeon J W, Seong T Y, Kim H, Kim K K 2009 *Appl. Phys. Lett.* **94** 2102

- [18] Mo C L, Fang W Q, Pu Y, Liu H C, Jiang F Y 2005 *J. Cryst. Growth.* **285** 312
- [19] Pelletier J, Gervais D, Pomot C 1983 *J. Appl. Phys.* **55** 994
- [20] Mohammad S N 2006 *J. Appl. Phys.* **100** 3708
- [21] Luther B P, DeLuca J M, Mohny S E, Karlicek J R F 2006 *Appl. Phys. Lett.* **71** 3859

N-polar n-type Ohmic Contact of GaN-based LED on Si substrate*

Feng Fei-Fei¹⁾ Liu Jun-Lin^{1) 2)} Qiu Chong²⁾ Wang Guang-Xu¹⁾ Jiang Feng-Yi^{1) 2) †}

1) (Education Ministry Engineering Research Center for Luminescence Materials and Devices, Nanchang University, Nanchang 330047, China)

2) (Latticepower (jiangxi) Corporation, Nanchang 330096, China)

(Received 4 December 2009; revised manuscript received 22 December 2009)

Abstract

Ti/Al contacts have been deposited by electron beam Evaporation onto N-polar n-type surfaces of GaN-based vertical structure LED on Si substrate. The effect of AlN buffer layer on ohmic contact of these chips has been investigated through *I-V* characteristic. The results shown Ti/Al contacts prepared on N-polar n-type surface without AlN buffer layer became ohmic contact after annealing in the temperature range of 500—600°C. The as-deposited Ti/Al contacts on N-polar n-type surface with AlN buffer layer shown ohmic behaviors with a specific contact resistivity of $2 \times 10^{-5} \Omega\text{cm}^2$ and maintained ohmic contact characteristics until anneal at 600°C. Therefore, The exsiting of AlN buffer layer is the key to forming highthermal stability ohmic contact for GaN-based vertical structure LED on Si substrate.

Keywords: Si substrate, N-polar, AlN buffer layer, ohmic contact

PACC: 7280E, 7340C

* Project supported by the National High Technology Research and Development Program of China (Grant No. 2006AA03A128), the Program for Changjiang Scholars and Innovative Research Team in University of Ministry of Education of China (Grant No. IRT0730).

† Corresponding author. E-mail: jiangfy@ncu.edu.cn