

He⁺、N⁺注入 GaN 的背散射和电学特性研究

周生强¹, 姚淑德^{1,2}, 焦升贤¹, 孙长春¹, 孙 昌¹

(1. 北京大学 技术物理系, 北京 100871; 2. 北京大学 重离子物理研究所, 北京 100871)

摘要:采用背散射/沟道(RBS/channeling)技术分析了 GaN 的物理性质和结晶品质。研究了 He⁺、N⁺注入所引起的 GaN 的电阻变化与退火温度的关系。在不同温度下,氮气保护退火30 min,用 Hall 法测量电阻率。测量结果表明:GaN 的电阻率增大 7~8 个数量级。在 200~400 °C 下退火,电阻率变化最大。经高温(600~700 °C)退火后,电阻率仍比注入前大 3~4 个数量级。

关键词: GaN; 离子注入; 背散射/沟道; 电阻率; 辐照损伤

中图分类号: TN204 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6931(2003)01-0028-03

RBS Study on GaN Implanted With He⁺, N⁺

ZHOU Sheng-qiang¹, YAO Shu-de^{1,2},

JIAO Sheng-xian¹, SUN Chang-chun¹, SUN Chang¹

(1. Department of Technical Physics, Peking University, Beijing 100871, China;

2. Institute of Heavy Ion Physics, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: The structure and crystal quality of GaN are studied using Rutherford backscattering spectrometry (RBS) and channeling. The samples are grown on sapphire substrate by metalorganic vapor-phase epitaxy. The He⁺, N⁺ implantation with different ion energy and post-implantation annealing are investigated. 7~8 orders increasing of resistivity is observed by Hall measurements after specific temperature annealing, and the optimized annealing temperature is about 200 and 400 °C for He⁺ and N⁺, respectively. After 600~700 °C annealing, the resistivity is still very high, and radiation damages is found by RBS/channeling.

Key words: GaN; ion implantation; RBS/channeling; resistivity; radiation damage

新型光电材料 GaN 具有迁移率高、击穿电场高、热活化效率低和发射波长覆盖可见光到紫外等特点,广泛应用于高温、大功率电子学器件和蓝光、紫外波段的光学器件。通常,采用金属有机化学气相沉积法在蓝宝石衬底上直接生长的 GaN 晶体为 n 型半导体。针对不同的应

用,采用离子注入改性手段可改善 GaN 晶体的电学、光学特性。研究表明:注入金属或稀土元素离子可改善 GaN 的发光特性;Mg⁺/P⁺离子一起注入并经高温快速退火,可实现从 n 型到 p 型的转变^[1]。在 GaN 中注入 H⁺离子,经氮气保护退火,可将其电阻率提高 3 个数量级^[2],

收稿日期:2001-07-02;修回日期:2001-09-03

作者简介:周生强(1976—),男,山东郓城人,在读硕士研究生,粒子物理与核物理专业

其他离子注入 GaN 的详情参见文献[3]和[4]。

本工作用 He⁺、N⁺注入 n 型未掺杂 GaN, 在不同温度氮气保护下退火 30 min, 测量退火前后的电阻率, 以研究 He⁺、N⁺注入 GaN 的背散射谱和电学特性。

1 实验

GaN 样品为在蓝宝石衬底上生长的六方结构未掺杂 n 型 GaN, 编号分别为 # 1194、# 1269。离子注入前, 室温下用 Hall 法测量其电阻率、载流子浓度及迁移率。结果列于表 1。

表 1 离子注入前 GaN 的电学特性

样品编号	电阻率/ ($\Omega \cdot \text{cm}$)	载流子浓度/ cm^{-3}	迁移率/ ($\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)
# 1194	2.88	1.13×10^{17}	19.3
# 1269	1.85	3.53×10^{17}	9.5

1.1 背散射/ 沟道(RBS/ channeling) 实验

RBS/ channeling 实验在北京大学技术物理系 $2 \times 1.7 \text{ MV}$ 静电加速器的专用背散射束线上进行。入射 He²⁺ 能量为 2.023 MeV, 探测器为 Au-Si 面垒型半导体探测器, 探测散射角为 165°。在以上实验条件下测量随机背散射谱和沟道谱。

1.2 离子注入和电阻率测量

离子注入在中国科学院半导体研究所的 LC-4 型高能离子注入机上进行。注入时, 离子束流方向与样品法线方向成 10° 角。注入前, 用 TRIM 程序模拟注入离子的射程和分布, 根据模拟结果确定注入方案(表 2)。

采用多能量注入, 以使注入离子均匀分布在样品中; 先注入高能离子, 再注入低能离子, 以避免注入离子的相互影响。

首先测量注入后样品的电阻率, 在 N₂ 气保护下(温度高于 550 °C 时, GaN 中的元素 N 开始逃逸) 经不同温度退火处理后, 分别测量其电阻率。

表 2 He⁺ 和 N⁺ 离子的注入能量和注量

注入离子 编号	能量/ keV	射程/ nm	注量/ cm^{-2}	平均浓度/ cm^{-3}
He ⁺ # 1194	35	283.2	1.5×10^{13}	0.8×10^{18}
	60	427.0	1.5×10^{13}	
	90	581.3	2.0×10^{13}	
	120	746.1	2.0×10^{13}	
N ⁺ # 1269	60	85.7	1.0×10^{14}	1.0×10^{19}
	180	246.0	2.2×10^{14}	
	450	538.2	3.2×10^{14}	

注: 平均浓度以原子个数计

2 结果与讨论

2.1 RBS/ channeling 实验结果

RBS/ channeling 实验结果示于图 1。用 RUMP 程序计算出沟道谱与随机谱在表面峰附近区间的计数之比 $\text{min} = 1.3\%$, 表明 GaN 的结晶品质很好, 近乎为完美晶体。

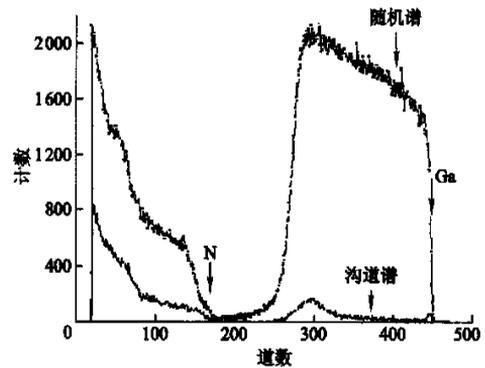


图 1 离子注入前 GaN 的沟道谱和随机谱比较

Fig. 1 Comparison of aligned and random RBS spectra of as-grown GaN # 1194 样品

2.2 离子注入后的电阻率变化

离子注入后, # 1194、# 1269 样品的电阻率分别为 4.75×10^7 和 $4.19 \times 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$, 均比注入前提高约 7~8 个量级。图 2 为对两块样品分别注入 He⁺ 和 N⁺ 后与注入前的电阻率之比 f 随退火温度的变化。常规 Hall 法无法测量高阻样品的载流子浓度和迁移率, 因此, 无法

对离子注入前后载流子浓度和迁移率的变化作出比较。

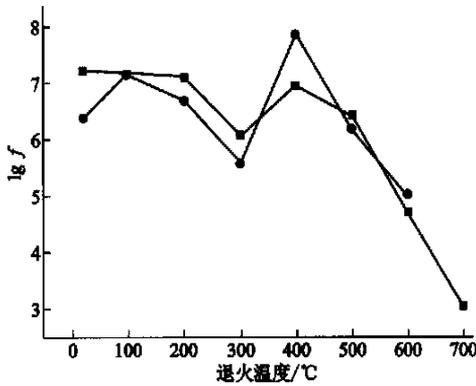


图2 He⁺和N⁺注入引起的Ga₂N电阻率变化与退火温度的关系

Fig. 2 Resistivity vs annealing temperature for He⁺, N⁺ implanted GaN

—He⁺注入, #1194 样品; —N⁺注入, #1296 样品

由图2可见:注入He⁺和N⁺后,随退火温度升高,电阻率先是增大或不变;当温度升到200时,电阻率开始下降,300时为极小值;升到400(这一温度随注量和元素各异^[3])时,电阻率达极大值;温度继续升高,电阻率下降。

离子注入后,GaN电阻率的变化通常被认为是注入造成的损伤导致了深能级的出现,补偿了原有的载流子,退火效应又减少了载流子跃迁,从而使电阻率升高;当退火温度高于特定温度后,注入损伤基本上得以恢复,损伤造成的深能级已消失,样品的导电性能提高。损伤造成的深能级可以通过样品的拉曼(Raman)散射测量进行研究,有关内容将另行报道。

2.3 离子注入造成的损伤

离子注入Ga₂N产生高电阻率有两种机制:离子轰击产生缺陷和形成化学键。对缺陷造成的高阻,当退火温度达到一定值时,缺陷开始恢复,电阻率相应下降;化学键造成的高阻经一般的退火处理不易消除。为此,经700退火后,再次测量样品的沟道谱。图3为#1194样品注入前后沟道谱的比较, $\rho_{\min} = 4.4\%$,与注入前的 $\rho_{\min} = 1.3\%$ 相比,变化不大,但损伤并

未完全恢复。这些数据无法判断He⁺和N⁺注入Ga₂N产生高阻的机制。

另外,由图3可知:注入造成的损伤集中在样品的近表面,但表2所列数据表明注入离子基本上平均分布在样品中。这是一个值得注意的现象,这可能是由于注入过程中的动态退火所致,对此还需进一步研究。

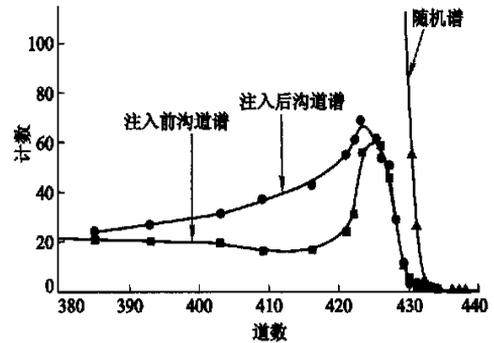


图3 He⁺注入Ga₂N前后的沟道谱和随机谱

Fig. 3 Comparison of aligned RBS spectra of unimplanted and He⁺ implanted GaN #1194 样品

3 结论

He⁺、N⁺离子注入Ga₂N后,经适当温度退火,可有效提高电阻率达7~8个数量级;经高温(600~700)退火,电阻率仍比注入前高3~4个数量级。背散射/沟道研究表明:注入造成的损伤未完全恢复,产生高电阻率的机制有待进一步研究。

参考文献:

- [1] Pearton SJ, Vartuli CB, Zolper JC, et al. Ion Implantation Doping and Isolation of GaN[J]. Appl Phys Lett, 1995, 67(10): 1435~1437.
- [2] 姚淑德,孟兆祥,周生强,等. 新型光电材料Ga₂N的离子束辐照改性与结构分析[J]. 原子能科学技术, 2000, 34(增刊): 41~44.
- [3] Cao XA, Sinh RK, Pearton SJ, et al. Ultra High Temperature Rapid Thermal Annealing of GaN[J]. Mat Sci Semi Processing, 1998, 1: 267~270.
- [4] Pearton SJ, Abernathy SR, Wilson RG, et al. Effects of Hydrogen Implantation Into GaN[J]. Nucl Instrum Methods, 1999, B-147: 171~174.