

文章编号: 0254- 5357(2001)03- 0195- 04

# N 型氮化镓的结构和光电导特性

艾子萍<sup>1</sup>, 刘云燕<sup>2</sup>, 张德恒<sup>3</sup>

(1. 山东大学实验中心, 山东 济南 250100; 2. 淄博学院基础部, 山东 淄博 255000;

3. 山东大学物理系, 山东 济南 250100)

**摘要:** 采用透射电镜高分辨反射电子衍射、扫描电镜形貌观察、X 射线衍射等不同方法测试了不同 Mg 含量的 N 型氮化镓薄膜的结构。几种测试方法的比较表明, 高分辨反射电子衍射是确定厚衬底的薄膜结构的快速而简便的方法, 材料的杂质和缺陷是影响其光电导性质的重要因素。

**关键词:** 透射电镜; 高分辨反射电子衍射; 扫描电镜; X 射线衍射

**中图分类号:** O614. 371; TN16; O72

**文献标识码:** A

GaN 和 III 族氮化物材料作为第三代半导体材料的典型代表是近年来光电子材料领域研究的重要课题。GaN 材料的一个重要应用是制做紫外光探测器, 这是因为 GaN 具有宽的直接带隙 ( $E_g = 3.37 \text{ eV}$ ), 用它制作的紫外光探测器对波长大于 365 nm 的光是不敏感的, 而对于波长小于 365 nm 的紫外光却有好的光响应。这对在可见光和红外光背景中探测紫外光辐射是非常重要的, 而且 GaN 比其他 III- V 价氮化物有更大的电子迁移率, 在相同紫外光照射的情况下能产生更大的光电流从而使探测器有更高的灵敏度。GaN 紫外光探测器被认为是和蓝光发光二极管、蓝光激光器同样重要的 GaN 器件。GaN 激光器的光电特性决定于其结构特性。所以对其结构的测量具有重要意义。本研究采用了几种不同的方法测试了用金属有机物化学气相沉积 (MOCVD) 方法制备的 GaN 薄膜的结构, 并对测试的结果进行了比较。

## 1 原理

高分辨电子衍射测量是在透射电镜中用电子束投射到放在投影镜下面的样品上, 在样品下方的显示屏上得到电子衍射图样。样品上方的各级透镜起汇聚电子束的作用, 相当于一台普通的电子衍

射仪。调整入射电子与样品平面的夹角, 可得透射电子衍射花样和反射电子衍射花样。当样品衬底较厚时, 因衬底对透射电子有很强的吸收, 用反射电子衍射方式较为适宜<sup>[1]</sup>。

扫描电镜是用入射电子束激发样品表面的二次电子用以成像。主要观察样品的表面形貌。

X 射线衍射是用特定波长的 X 射线照射样品, 由晶格布拉格衍射所产生的衍射图样来研究样品的晶格结构。

## 2 实验

所用 GaN 样品是在金属有机物化学气相沉积 (MOCVD) 系统中用 (0001) 取向的  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  衬底制备出的。制备条件如文献[2, 3], 先在 550 °C 温度下生长 25 nm 的 GaN 作缓冲层, 而后在 1030 °C 下生长 1.5  $\mu\text{m}$  的 GaN 薄膜。生长过程中调整 Mg 源气体的流量, 可得出 Mg 含量不同的 N 型样品。

反射电子衍射测量是用 JEM-100CX II 透射电镜。做该实验时要求样品与样品座有好的电接触, 因此先将样品用无水乙醇进行清洁处理, 再用导电胶粘到样品座上。样品四周也放少量的导电胶, 以使衬底上的 GaN 与样品座导电。

扫描电镜测量所用的是 S-520 扫描电镜。实

收稿日期: 2000-10-23; 修订日期: 2001-03-11

基金项目: 山东自然科学基金项目 (Y96A12016)

作者简介: 艾子萍 (1946-), 女, 四川成都人, 副教授, 从事电镜分析测试工作。

验时需在样品表面喷金,再用导电胶将样品与样品座固定,以保证导电。

X射线衍射测量所用的是 D-MAX- $\gamma$ A 衍射仪。

光电流的测量是用 1.5 V 干电池作电源接到样品的插指电极上,所用光源为小功率紫外灯管,照射到样品的光强约为  $3 \text{ mW/cm}^2$ 。

### 3 结果和讨论

图 1 给出 3 个样品反射电子衍射的实验结果,从图中可以看出,样品 2 仅出现衍射斑点,说明该样品为单晶。样品 1 和样品 3 除出现衍射斑点外还出现衍射环,说明这两个样品不是完整的单晶结构,有缺陷存在。改变样品位置,可得到样品多个位置的衍射花样。

图 2 是上述 3 个样品的 X 射线衍射谱。3 个样品都只出现 (0002) 衍射峰,说明样品取向单一,为六角纤锌矿结构,可以算出薄膜的晶格常数  $C = 0.518 \text{ nm}$ 。

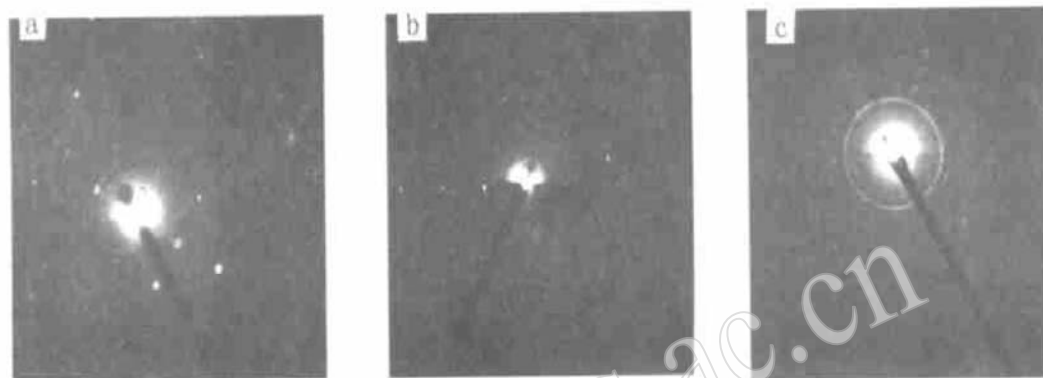


图 1 3 个样品的电子衍射图

Fig. 1 Electron diffraction patterns for samples

a—1 号样品; b—2 号样品; c—3 号样品。a—the sample 1; b—the sample 2; c—the sample 3.

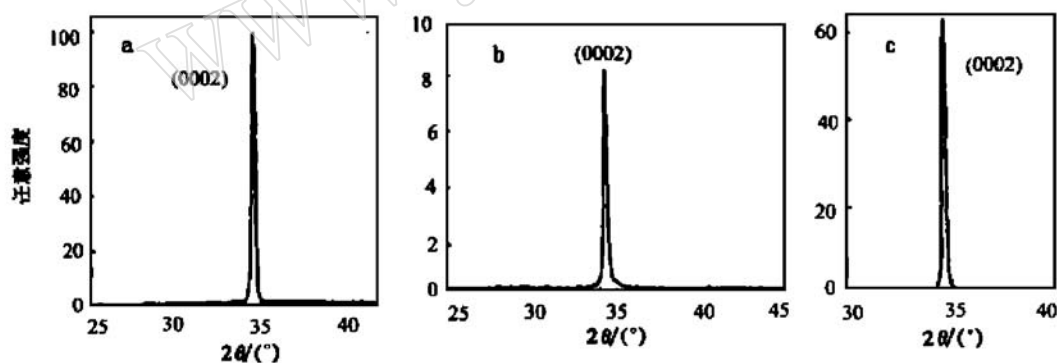


图 2 3 个样品的 X 射线衍射图

Fig. 2 The X-ray diffraction spectra for 3 samples

a—1 号样品; b—2 号样品; c—3 号样品。a—the sample 1; b—the sample 2; c—the sample 3.

图 3 给出上述 3 个样品扫描电镜图片。结果显示,样品 1 表面粗糙,柱状晶粒无规则排列,颗粒尺寸为  $0.5 \mu\text{m}$  左右,晶粒间界大(图 3-a)。样品 2 表面光洁,没有缺陷,结晶最好(图 3-b)。样品 3 次之,表面也有凹凸现象,但比样品 1 稍好(图 3-c)。

比较这几种测试方法,X射线衍射能很快确定样品的结构,但得到的是样品的平均结果,反映不

出某一局部区域的结晶状况,也不能直接反映出样品的缺陷情况。所以 3 个样品的衍射图谱看不出有多大差别。

扫描电镜照片直观反映了样品的形貌,可直接看出样品 2 最好,样品 3 次之,样品 1 最差。但却不能反映样品的结构,不能直接确定样品是单晶还是多晶。

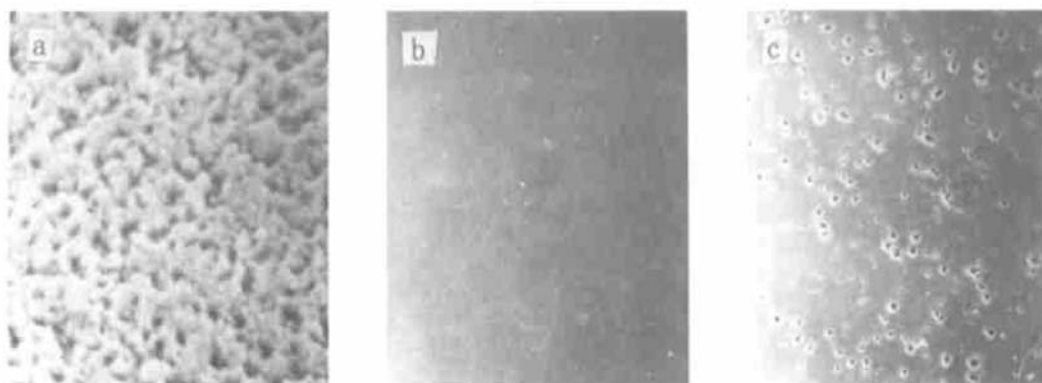


图 3 3 个样品的扫描电镜图

Fig. 3 The SEM micrographs for samples

a—1 号样品; b—2 号样品; c—3 号样品。a—the sample 1; b—the sample 2; c—the sample 3.

反射电子衍射通过衍射花样的特征能很快确定样品的结晶状况。局部区域的结晶状况可通过改变样品的位置而得到。样品 2 结晶好, 取向一致, 只有单晶花样; 而样品 1 和样品 3 的局部区域出现了多晶环, 说明晶体取向和结构发生了改变,

显然出现晶体缺陷, 这将会影响到样品的宏观性能。

表 1 给出了在常温下 3 个样品杂质含量和某些光电导参数的测试结果。

表 1 3 个样品 Mg 含量及有关光电参数

Table 1 Mg contents and optoelectronic parameters for the 3 samples

| 样品<br>sample | Mg 杂质<br>$w(\text{Mg})/\%$ | 电阻率<br>$\rho/(\Omega \cdot \text{cm})$ | 迁移率<br>$(\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s})$ | 载流子浓度<br>$(\text{cm}^{-3})$ | 电流 $i/\text{mA}$ |       | 弛豫时间 $t/\text{s}$ |       |
|--------------|----------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------|------------------|-------|-------------------|-------|
|              |                            |                                        |                                                |                             | 暗                | 光     | 上升                | 衰减    |
| 1            | 0.010                      | $4.43 \times 10^{-2}$                  | 25                                             | $5.65 \times 10^{18}$       | 106              | 107.8 | 37                | 1100  |
| 2            | 0.0038                     | $1.23 \times 10^{-2}$                  | 33                                             | $1.53 \times 10^{18}$       | 1.66             | 2.0   | 0.058             | 0.290 |
| 3            | 0.0017                     | $1.47 \times 10^{-2}$                  | 49.2                                           | $8.63 \times 10^{17}$       | 1.5              | 2.5   | 1.5               | 40    |

表 1 的测试结果表明, 样品属轻掺杂的 N 型 GaN, 从样品 1 到样品 3, 其杂质 Mg 含量逐渐减小, 载流子浓度也由大变小, 而迁移率却由小变大。

在紫外光照射下的光响应, 样品 1 光电流最大, 弛豫时间最长; 样品 2 光电流最小, 弛豫时间最短; 而样品 3 杂质含量小于样品 2, 弛豫时间介于样品 1 和样品 2 之间。这是由于样品的结构缺陷造成的。

当载流子浓度大于  $2 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$  时, 杂质和缺陷是载流子形成的主要原因<sup>[3]</sup>, 上面 3 个样品的载流子浓度都大于此值, 所以杂质和缺陷是影响材料性能的主要因素。掺杂和晶体缺陷形成的陷阱会俘获少数载流子(空穴), 从而使缺陷较多的样品 1

和 3 的过剩多数载流子(电子)的浓度比缺陷较低的样品 2 高, 使光电导增加。缺陷产生的陷阱还可能俘获载流子, 从而使过剩载流子的弛豫时间变长<sup>[4]</sup>。这是样品 1 和样品 3 弛豫时间比样品 2 长的原因。

迁移率的差别主要是来源于晶粒间界的势垒, 这些势垒阻碍载流子在晶粒间的运动, 使载流子的迁移率变小。同时势垒区存在的陷阱态对载流子的陷落作用会使弛豫时间变长<sup>[5]</sup>。样品 1 的迁移率比样品 2 小, 弛豫时间长。样品 3 缺陷比样品 1 少, 杂质含量少于样品 2, 但缺陷多于样品 2, 所以迁移率比样品 1 和样品 2 大, 弛豫时间比样品 2 长。

#### 4 结语

在确定 N 型 GaN 材料结构的几种测试方法中,高分辨反射电子衍射因不用减薄样品,能快速确定样品的结晶状况,给出样品结构的更多信息,是确定样品结构性质的最好方法。对轻掺杂的 N 型 GaN,杂质含量和结晶状况是影响光电导特性和其他光电参数的主要因素。

#### 5 参考文献

[1] 朱宣,张存珪. 电子显微镜的原理和使用[M]. 北京:

北京大学出版社,1983. 194—195.

[2] 张德恒,刘云燕. 用 MOCVD 方法制备的 N 型 GaN 薄膜紫外光电导[J]. 物理学报. 2001, 待出版.

[3] Zhang G Y, Tong Y Z, Yang Z J, et al. Relationship of Background Carrier Concentration and Defects in GaN Grown by Metalorganic Vapor Phase Epitaxy[J]. *Appl Phys Lett*. 1997, 71(23): 3376.

[4] 叶良修. 半导体物理学(上册)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1994. 289.

[5] Zhang D H, Ma H L. Scattering Mechanism of Carriers in Transparent Conducting Oxide Films[J]. *Appl Phys A*. 1996, 62: 487

## The Structure and Photoconductivity of N-Type GaN

AI Zi-ping<sup>1</sup>, LIU Yun-yan<sup>2</sup>, ZHANG De-heng<sup>3</sup>

(1. Experimental Center of Shandong University, Jinan 250100, China; 2. Zibo College, Zibo 255000, China; 3. Department of Physics, Shandong University, Jinan 250100, China)

**Abstract:** The structural properties of Mg doped GaN films with different Mg concentrations deposited by MOCVD have been measured by TEM with high-resolution reflective electron diffraction, SEM and X-ray diffraction. The obtained results show that the high-resolution reflective electron diffraction is the simplest and the most efficient method for determining the crystallization of the samples with thick substrates. The impurities and defects are main factors that affect the photoconductivity and electric conductivity of N-type GaN.

**Key words:** transmission electron microscope (TEM); high-resolution reflective electron diffraction; scanning electron microscope (SEM); X-ray diffraction

更正

笔者在今年本刊第2期发表的“X射线衍射定量相分析的策略架构”一文(P81~87)中, P82, 倒数16行, “两个样品间同种被测相”, 应为“两个样品间不同被测相”; P82, 倒数13行, “两个样品间不同被测相”, 应为“两个样品间同种被测相”, 特此更正, 并深表歉意。

作者: 刘仕子