

在复合衬底 $-Al_2O_3/Si(001)$ 上生长 GaN*

刘 喆 王军喜 李晋闯 刘宏新 王启元 王 俊 张南红 肖红领 王晓亮 曾一平

(中国科学院半导体研究所 材料科学中心, 北京 100083)

摘要: 采用分子束外延(MBE)生长方法,使用 $-Al_2O_3$ 材料作为新型过渡层,在 Si(001)衬底上获得了没有裂纹的 GaN 外延层,实验结果表明使用 $-Al_2O_3$ 过渡层有效地缓解了外延层中的应力.通过生长并测试分析几种不同结构的外延材料,研究了复合衬底 $-Al_2O_3/Si(001)$ 生长 GaN 情况,得到了六方相 GaN 单晶材料,实现了 GaN c 面生长.预铺薄层 Al 及高温 AlN 层可以提高 GaN 晶体质量,低温 AlN 缓冲层可以改善 GaN 表面的粗糙度.为解决 Si(001)衬底上 GaN 的生长问题提供了有益的探索.

关键词: GaN; MBE; $-Al_2O_3$; 缓冲层

PACC: 3220R; 7280C; 7360F

中图分类号: TN304.2

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2005)12-2378-07

1 引言

近年来, GaN 材料不仅在光电子应用领域,如蓝光、绿光、紫外光发光二极管(LEDs)、短波长激光二极管(LDs)、紫外探测器等^[1~4]方面获得了重要的应用和发展,在微电子应用方面也得到了广泛的关注. GaN 材料可以制作高温、高频和大功率器件,如高电子迁移率晶体管^[5,6](HEMTs)、异质结双极晶体管(HBTs)等.相对于普遍使用的蓝宝石衬底, Si 衬底以其低价格、高质量、大尺寸和便于集成等特性成为生长 GaN 的重要衬底.目前,在 Si(111)(与 GaN 晶格失配 17%)上的研究较多,且进展较快^[7~10],而在 Si(001)(与 GaN 晶格失配 40%)衬底上生长 GaN 的研究则较少. Si(001)是集成电路的主流衬底,在 Si(001)衬底上进行 GaN 材料生长研究具有重要意义.由于 Si(001)与六方 GaN 存在较大的晶格失配和热失配,在 Si(001)衬底上难以制备出高质量的 GaN 材料,因此至今没有相关器件的报道.为了解决这个问题,研究人员采用引入缓冲层方法来提高外延层质量,已尝试的缓冲层有 GaAs^[11]、Si(001)作图形二次外延^[12]、SiC 薄层^[13]、

多层 GaN/Al_xGa_{1-x}N^[14]、低温 AlN 和多层 AlN/GaN 超晶格^[15]及 Si-SiO₂-Si^[16].根据报道结果, Si(001)衬底上生长 GaN 存在六方和立方混相、双向畴、不容易控制 GaN 晶向等问题,并且 Si 在 NH₃ 气氛下氮化形成非晶氮化硅也是 Si 基生长难点之一.

本文采用 $-Al_2O_3$ 作为新型过渡层生长 GaN. $-Al_2O_3$ 空间群为 $Fd\bar{3}m$,存在四方畸变,晶格常数 $a = 0.795\text{nm}$, $c = 0.779\text{nm}$. Si 上生长 $-Al_2O_3$ 因具有高介电常数、晶体质量好、与衬底界面分明、表面平整均匀、低界面态密度等特点曾用于 SOI 结构,有效地阻止了界面扩散.在 Si 基 GaN 生长中, GaN(10 $\bar{1}0$)与 $-Al_2O_3(110)$ 方向平行,晶格失配为 1.73%; GaN($\bar{1}2\bar{1}0$)平行于 $-Al_2O_3(1\bar{1}0)$,失配 13.5%^[17],将 $-Al_2O_3$ 用作 Si 与 GaN 之间的过渡层,可以缓解 Si 与 GaN 之间的晶格失配,抑制非晶 SiN 的形成,同时 $-Al_2O_3$ 也是一种非常稳定的氧化物,这对高温生长非常重要.

因为制备 $-Al_2O_3$ 过渡层难度较大,关于采用 $-Al_2O_3$ 作为过渡层的报道非常少,目前仅两个科研机构有过报道^[17,18],他们在 MOCVD 设备上采用传统的二步生长方法生长 GaN 外延层.本文使用

*中国科学院创新工程重要方向性项目,国家自然科学基金重点项目(批准号:60136020),国家重点基础研究发展规划(批准号:G20000683和 2002CB311903)和国家高技术研究发展规划(批准号:2004AA311040)资助项目

刘 喆 女,1978 年出生,博士研究生,主要从事 族氮化物半导体材料的生长研究. Email:liuzhe@red.semi.ac.cn
2005-05-25 收到,2005-08-05 定稿

MBE 方法,利用在位 RHEED 可以实时分析生长情况,并且在 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Si}(001)$ 复合衬底上生长了多种结构,深入地研究了 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 与 GaN 及不同缓冲层之间的关系,采用 X 射线衍射(XRD)、X 射线双晶摇摆曲线(XRDRC)、原子力显微镜(AFM)、反射高能电子衍射(RHEED)、扫描电镜(SEM)、光学显微镜(OM)等测试,获得了无裂纹的六方相 GaN 单晶材料。

2 实验

2.1 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Si}(001)$ 复合衬底制备

首先,利用低压 MOCVD 方法在 50mm Si(001) 衬底上生长 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 缓冲层,Si 衬底为 p 型,电阻率为 $8 \sim 12 \Omega \cdot \text{cm}$ 。生长的 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 层厚度大约为 100nm,详细生长过程见文献[18]。该厚度可以防止 Si 表面氮化,并有效地阻止 Si 与 Ga 的反应。

2.2 GaN 外延生长

在复合衬底 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Si}(001)$ 上采用 MBE 方法生长 GaN,外延生长设备为国产 型 MBE 设备,氮源为高纯度 NH_3 ;镓源和铝源为 7N 纯度的金属镓和铝,束流强度由源炉温度控制。

在 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Si}(001)$ 复合衬底上生长了几种不同的结构。样品 1 为在衬底温度 550 时生长低温薄层 AlN 10nm,然后提高衬底温度至 720 生长高温 GaN 外延层 1h;样品 2 为先在衬底温度 800 生长高温薄层 AlN 10nm,然后在衬底温度 720 生长 GaN 外延层 1h;样品 3 用 30s 预铺一层 Al 层,接着在衬底温度 800 生长高温 AlN 10nm,最后在衬底温度 720 生长 GaN 外延层。生长 1h GaN 外延层的厚度约为 $0.5 \mu\text{m}$,肉眼观察生长的外延片比较光亮。

对 GaN 样品主要采用以下表征,以 RHEED 实时观察生长情况;以 XRD 和 XRDRC 测定 GaN 物相、晶型和结晶质量;AFM 表征表面形貌和粗糙度;SEM 分析生长横断面及表面形貌;Raman 光谱检测生长的应力和微结构等情况。

3 结果和分析

3.1 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 层结果

首先,我们表征了 Si(001) 上生长的 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

层,RHEED 和 XRD 结果表明生成了 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 层,其晶面为(001)。 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3(001)$ 在 Si(001) 上生长关系是: $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3(001) \parallel \text{Si}(001)$; $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3[110] \parallel \text{Si}[110]$ 晶列, $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3[110] \parallel \text{Si}[110]$ 的失配为: $2a(\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3[110]) - 3a(\text{Si}[110])$,失配度为 2.4%,即 2 个 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 和 3 个 Si 相配^[17]。图 1 的 RHEED 结果为 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3[001]$ 方向,单晶结构,点状图案表明是三维岛状生长。图 2 是 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Si}(001)$ XRD -2 扫描结果, Si(001) 晶面上生长的 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 为(001)晶面,AFM 观测表明其表面粗糙度最小为 3.64nm,如图 3 所示。

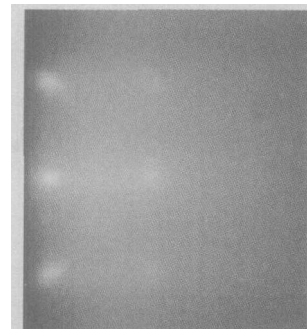


图 1 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 沿 110 方向的 RHEED 结果

Fig. 1 RHEED pattern along the 110 azimuth of intermediate layer $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

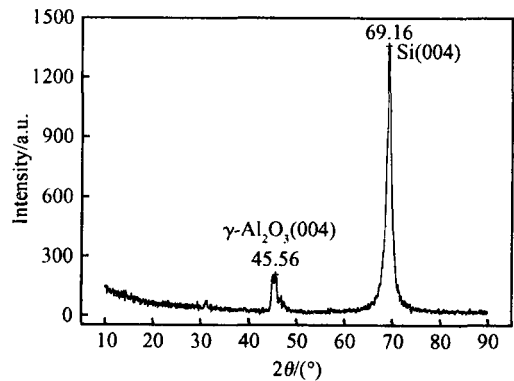


图 2 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ XRD -2 测试图

Fig. 2 XRD -2 scan of $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ intermediate layer

3.2 GaN 外延层测试分析结果

在位 RHEED 可以实时监控 MBE 生长情况,图 4 为生长结束时 GaN 外延层 RHEED 图案。衍射光束方向平行于 GaN 1110 方向,点状图案说明外延生长模式为三维岛状单晶生长。入射方向是同时沿 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 110 方向,说明 GaN 与 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 在 c 面

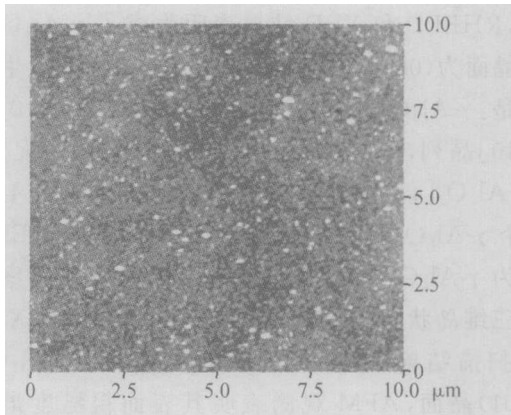


图 3 10μm ×10μm 范围 γ -Al₂O₃ AFM 图像

Fig. 3 10μm ×10μm AFM image of γ -Al₂O₃ intermedate layer

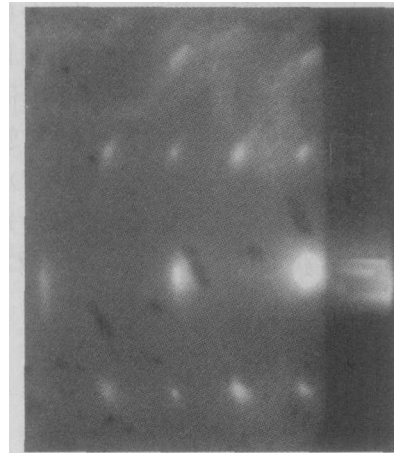


图 4 在位 GaN 外延层沿 $\bar{1}110$ 方向 RHEED 结果

Fig. 4 In-situ RHEED pattern along the $\bar{1}110$ azimuth of GaN films

的晶向关系有 GaN $\bar{1}120$ γ -Al₂O₃ $\bar{1}10$. 衍射没有出现文献[16]报道的 GaN $10\bar{1}0$ 晶向,即没有双向畴问题.

图 5 给出了三个样品的 XRD ω -2 θ 扫描及其对应的摇摆曲线结果. 从图中可以看出,样品 1, 2 和 3

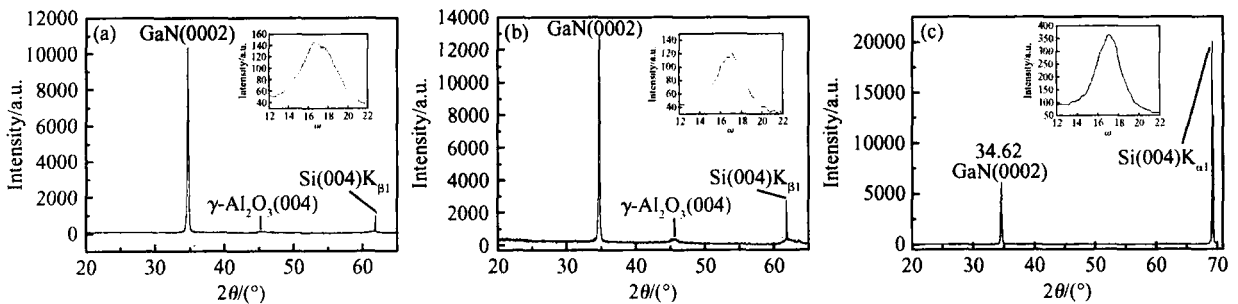


图 5 GaN XRD ω -2 θ 扫描结果 (a)样品 1;(b)样品 2;(c)样品 3

Fig. 5 XRD ω -2 θ and scans of GaN films (a) Sample 1;(b) Sample 2;(c) Sample 3

均显示 GaN (0002) 晶面,而没有 GaN 其它晶面的峰位,说明 GaN 外延层沿 c 向生长,样品 1 和 2 存在 γ -Al₂O₃ (004) 小峰,样品 3 在测试时包括了 Si (004) 峰位,显示了衬底峰与外延层峰强的关系,由于该峰位较强,使得样品 3 没有体现出 γ -Al₂O₃ (004) 峰. 由 XRD ω -2 θ 测量可估算出三个 GaN 样品的晶格常数依次为 $c = 0.51753, 0.51752, 0.5175\text{nm}$,三个样品 c 方向的晶格常数相差无几. 和体材料 GaN 晶格常数 ($c_0 = 0.5186\text{nm}$) 相比,晶格常数 c 变小,说明在生长 c 方向 GaN 受压应力. 平面方向所受应力用 Raman 方法检测.

摇摆曲线测量样品 1 和 2 的 GaN (0002) XRDRC 结果分别为 192 和 156,说明低温 AlN 缓冲层生长的 GaN 结晶质量不如高温 AlN 缓冲层.

另外,我们还发现预先铺 Al 然后生长高温 AlN 缓冲层的 GaN 外延层半高宽最小,为 123,并且其峰形较前两个样品更平滑,说明外延层结晶质量有所提高. 对于 GaN (0002) 摇摆曲线半高宽的加宽,主要是由于与平面有一定倾角的(out-of-plane)马赛克结构(mosaicity)引起的^[20]. 三个样品的摇摆曲线半宽较大,说明生长面上马赛克结构倾角较大,这可能与过渡层 γ -Al₂O₃ 生长质量有关. 从图 3 即 γ -Al₂O₃ AFM 可以看出其表面形貌高低起伏,并且存在一些类似于针尖般的高峰,这些突起为 GaN 偏角生长提供了成核位置. 样品 1,即采用低温 AlN 作为缓冲层外延层的结果与传统蓝宝石上采用低温 AlN 缓冲层生长 GaN 相比差距明显,这是因为 γ -Al₂O₃ 结晶质量与蓝宝石衬底晶体质量相差很多,

低温下生长的 AlN 为多晶态,在退火阶段未能形成质量较好的晶体,影响了 GaN 外延生长质量.据报道,以上结果与 Si(111)上生长 GaN 的结果有差距,因此仍需要优化,但是与在 Si(001)衬底上用其他缓冲层^[11,14,15]相比,较有效地解决了这些报道中反映的双向畴、混相、不沿 c 向多方向生长等问题.此外,根据蓝宝石上生长 GaN 的 XRDC 结果可见,随着厚度的增加,XRDC 半峰宽减小,且幅度较大,因此在今后的生长中,增加生长 GaN 时间,使其厚度加大,结晶质量应该提高,有望得到更小的 XRC 半高宽.

采用 AFM 测试了样品的表面.测试时需要考虑过渡层 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 的粗糙度较高的影响,在其上面继续生长粗糙度小的缓冲层有一定的难度.在 MBE 生长 GaN 的三个样品中,样品 1 的表面粗糙度最小,RMS 为 5.47nm,而样品 2 以及样品 3 的粗糙度相对较大,AFM 结果分别为 13.67nm 和 13.28nm.图 6 给出了样品 1 和样品 3 的 AFM 二维图,可以对比看出样品 1 表面相对平整.线粗糙度测量表明样品 1 晶面起伏较样品 2 和 3 小,峰-谷最大差距为 15nm,而样品 2 和 3 最大峰-谷比为 60~70nm.由此说明,基于 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 过渡层本身存在表面起伏,无论是否预先铺 Al,在高温 AlN 缓冲层上生长的 GaN 表面粗糙度较大,这可能是因为在高温下一些晶粒迅速沿生长方向长大,而未实现三维岛合并所致.从 RHEED 实时测量也可以看出,生长 GaN 的 RHEED 呈点状,这说明 GaN 形成单晶结构,但表面为三维生长.根据蓝宝石和 Si(111)衬底上生长 AlN 缓冲层的经验,低温生长的 AlN 缓冲层结晶颗粒小,晶体质量不高;高温下 AlN 缓冲层的晶粒尺寸增加快,结晶质量好.在我们的实验中,由于过渡层 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 粗糙度较大,高温下生长较大的 AlN 颗粒会增加粗糙度;而低温生长的 AlN 呈多晶态、颗粒小、与复合衬底浸润性较好,在 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 上横向生长率高,有利于实现三维岛合并.因此,优化 AlN 缓冲层温度有利于横向生长,使表面平滑;如果实现二维生长,将改善缓冲层表面粗糙度.

Raman 光谱测量可以就材料的微结构进行表征,声子模和耦合模能够检测外延层应力和载流子情况,本测试是在背散射配置 $Z(X,X)Z$ 下进行的,激光光源是波长为 488nm 的 Ar^+ 激光器.根据选择定则, $A_1(\text{LO})$ 和 E_2 为 Raman 活性,均位于布里渊区点,对于本征 GaN, $E_2(\text{high})$ 应该在 568cm^{-1} ,

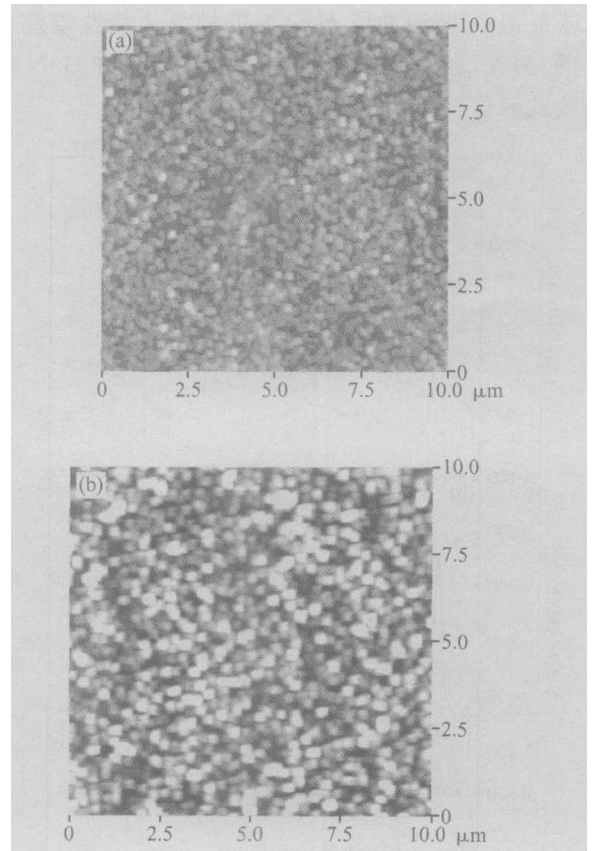


图 6 $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ 范围 GaN AFM 图像 (a) 样品 1; (b) 样品 3

Fig. 6 $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ AFM images for GaN films (a) Sample 1; (b) Sample 3

$A_1(\text{LO})$ 位于 735cm^{-1} ^[21].图 7 分别给出了三种生长结构的 Raman 光谱,样品 2 和样品 3 均出现了六方 GaN 的 $E_2(\text{high})$ 峰及 $A_1(\text{LO})$ 的两个一阶峰, $E_2(\text{high})$ 峰的红移说明外延层受张应力,这是 Si 衬底与 GaN 晶格失配及热膨胀系数失配引起的.当 E_2 在 $562 \sim 568\text{cm}^{-1}$ 范围内,Si 基 GaN 应力与 Raman 峰移动关系系数为 $4.3\text{cm}^{-1}/\text{GPa}$ ^[21].计算出本文生长的 GaN 的张应力约为 0.75GPa,三个样品的 $E_2(\text{high})$ 峰位接近,说明 c 面所受张应力接近,这和 XRD 计算 c 方向所受压应力接近的结论吻合.样品 1,即低温 AlN 缓冲层上的 GaN 仅出现了 $E_2(\text{high})$ 峰,有文献^[21]报道若出现 $A_1(\text{LO})$ 说明该 GaN 外延层载流子浓度小于 10^{17}cm^{-3} ,当载流子浓度大于 10^{18}cm^{-3} 时,LO 和载流子形成的耦合模会严重宽化以至于观察不到.但是在本实验中我们并没有故意掺杂,Hall 测量结果表明 300K 下,GaN 层的载流子浓度仅为 $3.047 \times 10^{14}\text{cm}^{-3}$,电阻率也达到 $2.76 \times 10^2 \Omega \cdot \text{cm}$,因此没有观察到 $A_1(\text{LO})$,这可能是

由于低温 AlN 缓冲层上 GaN 的结晶完整性较差引起的. 另外,在这三个样品中均未出现立方 GaN 微结构的峰位.

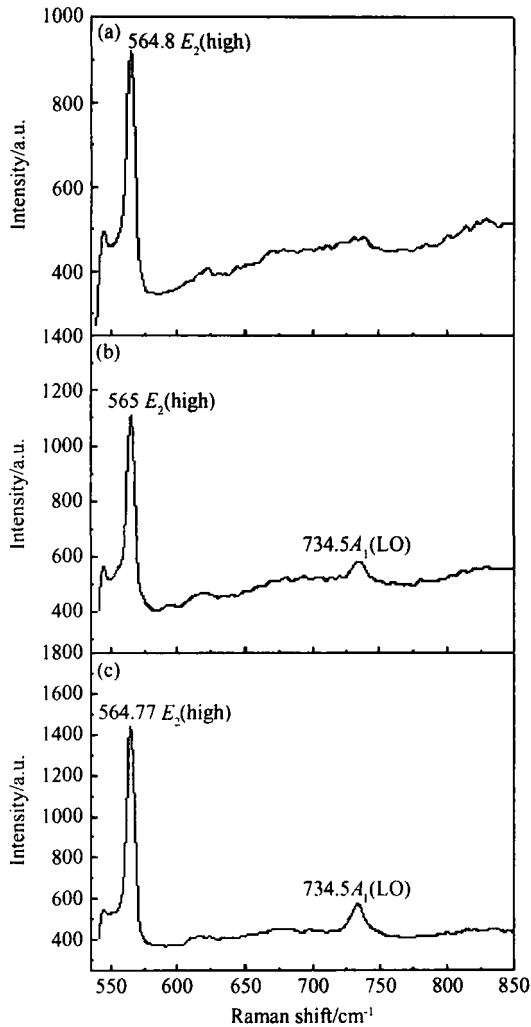


图 7 GaN 样品 1,2,3 的 Raman 光谱图 (a) 样品 1; (b) 样品 2; (c) 样品 3

Fig. 7 Raman spectra of GaN for three samples (a) Sample 1; (b) Sample 2; (c) Sample 3

裂纹是 Si 衬底生长 GaN 的最大问题,我们在没有 $-\text{Al}_2\text{O}_3$ 过渡层的 Si(001) 衬底上生长的 GaN 外延层伴有裂纹. 通过光学显微镜及扫描电镜观察(经过不同的放大倍数)样品表面,在 $-\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Si}(001)$ 复合衬底上生长的所有样品均没有发现裂纹. 图 8 给出扫描电镜观测的 GaN 表面情况,可见整个表面没有裂纹,表面较光滑平整,没有发现多晶颗粒,在样品 3 基础上生长了 $1\mu\text{m}$ 厚度的 GaN 外延层也未发现裂纹. Raman 测量发现与厚度为 $0.5\mu\text{m}$ 的 GaN 外延相比,其 $E_2(\text{high})$ 峰强度增强,峰位为

564.4cm^{-1} ,略有红移,这是由于膜厚度增加,外延层张应力有所增加引起的. 将表面观察结果与 Raman 应力计算联系起来,估算的 Raman 张应力约 0.83GPa (对应厚度为 $1\mu\text{m}$ 的 GaN 膜);对于 MBE 生长 Si 基 GaN,厚度为 $1\mu\text{m}$ 时通常会出现裂纹,从而释放应力,在这种情况下进行 Raman 测量,计算其应力仍约 0.7 到 1GPa 左右,而采用 $-\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Si}(001)$ 复合衬底没有开裂,应力在没有释放的情况下为 0.83GPa ,说明 $-\text{Al}_2\text{O}_3$ 起到了柔性衬底的作用,缓解了 Si 衬底与外延层之间的应力.

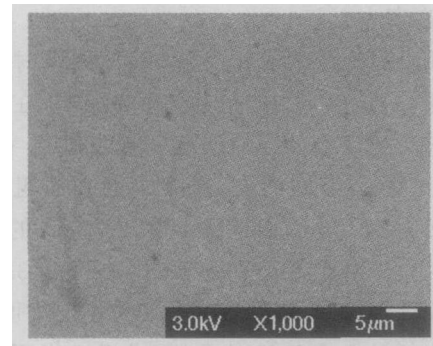


图 8 GaN 外延层表面 SEM 图像

Fig. 8 SEM surface image of GaN film

4 结 论

本文采用 MBE 方法在 Si(001) 衬底上,利用新型过渡层 $-\text{Al}_2\text{O}_3$ 试验了几种不同的结构生长 GaN 外延层. 通过测试分析可知,实现了 GaN c 向生长,得到了六方 GaN,并且没有观察到表面裂纹;发现预铺薄层 Al 及高温 AlN 层可以提高 GaN 晶体质量,从 XRD 摇摆曲线、Raman 结果来看,在三种生长的缓冲层结构中,预铺 Al 结构的结晶质量最好. 而低温 AlN 缓冲层可以改善 GaN 表面粗糙度,说明低温下生长的 AlN 与复合衬底浸润性较好,有利于横向生长. 通过分析在 $-\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Si}(001)$ 复合衬底上采用低温 AlN 和高温 AlN 两种缓冲层的生长结果,为解决在复合衬底 $-\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Si}(001)$ 上生长 GaN 材料存在的表面粗糙度和晶体质量问题打下了基础.

参 考 文 献

- [1] Egawa T, Moku T, Ishikawa H, et al. Improved characteristics of blue and green InGaN-based light-emitting diodes on Si grown by metalorganic chemical vapor deposition. Jpn J Appl

- Phys, 2002, 41 :L663
- [2] Krost A ,Dadgar A. GaN-based optoelectronics on silicon substrates. Mater Sci Eng B ,2002 ,93 :77
- [3] Dadgar A ,Poschenrieder M ,Blasing J ,et al. MOVPE growth of GaN on Si(111) substrates. J Cryst Growth ,2003 ,248 :556
- [4] Wang Jun ,Zhao Degang ,Liu Zongshun ,et al. GaN Schottky barrier ultraviolet detector. Chinese Journal of Semiconductors ,2004 ,25(6) :711 (in Chinese) [王俊 ,赵德刚 ,刘宗顺 ,等. GaN 基肖特基结构紫外探测器. 半导体学报 ,2004 ,25(6) :711]
- [5] Shao Gang ,Liu Xinyu ,He Zhijing ,et al. Development of high performance 1mm gate width AlGaIn/ GaN power HEMTs. Chinese Journal of Semiconductors ,2005 ,26(1) :88 (in Chinese) [邵刚 ,刘新宇 ,和致经 ,等. 高性能 1mm AlGaIn/ GaN 功率 HEMTs 研制. 半导体学报 ,2005 ,26(1) :88]
- [6] Zhang Xiaoling ,Lu Changzhi ,Xie Xuesong ,et al. Research on AlGaIn/ GaN HEMT. Chinese Journal of Semiconductors ,2003 ,24(8) :847 (in Chinese) [张小玲 ,吕长治 ,谢雪松 ,等. AlGaIn/ GaN HEMT 器件的研制. 半导体学报 ,2003 ,24(8) :847]
- [7] Zhang B S ,Wu M ,Liu J P ,et al. Reduction of tensile stress in GaN grown on Si(111) by inserting a low-temperature AlN interlayer. J Cryst Growth ,2004 ,270 :314
- [8] Jang S H ,Lee C R. High-quality GaN/ Si(111) epitaxial layers grown with various $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ / GaN superlattices as intermediate layer by MOCVD. J Cryst Growth ,2003 ,253 :64
- [9] Dikme Y ,Gerstenbrandt G ,Alam A. Investigation of buffer growth temperatures for MOVPE of GaN on Si(111). J Cryst Growth ,2003 ,248 :578
- [10] Zhang Baoshun , Wu Mo , Chen Jun , et al. Crack-free GaN grown by MOCVD on Si(111). Chinese Journal of Semiconductors ,2004 ,25(4) :410 (in Chinese) [张宝顺 ,伍墨 ,陈俊 ,等. Si(111) 衬底无微裂 GaN 的 MOCVD 生长. 半导体学报 ,2004 ,25(4) :410]
- [11] Ploog K H ,Brandt O ,Yang H ,et al. Nucleation and growth of GaN layers on GaAs , Si , and SiC substrates. J Vac Sci Technol B ,1998 ,16(4) :2229
- [12] Lee S C ,Sun X Y ,Hersee S D ,et al. Spatial phase separation of GaN selectively grown on a nanoscale faceted Si surface. Appl Phys Lett ,2004 ,84 :2079
- [13] Yamada A ,Maruyama T ,Akimoto K. Growth of ϵ -GaN on carbonized Si(100) surfaces. J Cryst Growth ,1998 ,189/190 :401
- [14] Zhang X ,Chua S J ,Feng Z C ,et al. MOCVD growth and characterization of GaN films with composite intermediate layer buffer on Si substrate. Phys Status Solidi A ,1999 ,176 :605
- [15] Schulze F ,Dadgar A ,Blasing J. Influence of buffer layers on metalorganic vapor phase epitaxy grown GaN on Si(001). Appl Phys Lett ,2004 ,84 :4747
- [16] Wang Junxi ,Wang Xiaoliang ,Liu Hongxin ,et al. GaN grown on Si and Si-SiO₂-Si compliant substrates. Chinese Journal of Semiconductors ,2004 ,25(6) :678 (in Chinese) [王军喜 ,王晓亮 ,刘宏新 ,等. Si 衬底和 Si-SiO₂-Si 柔性衬底上的 GaN 生长. 半导体学报 ,2004 ,25(6) :678]
- [17] Wang Lianshan ,Liu Xianglin ,Zan Yude ,et al. Wurtzite GaN epitaxial growth on a Si(001) substrate using $\text{-Al}_2\text{O}_3$ as an intermediate layer. Appl Phys Lett ,1998 ,72 :109
- [18] Wakahara A ,Oishi H ,Okada H ,et al. Organometallic vapor phase epitaxy of GaN on Si(111) with a $\text{-Al}_2\text{O}_3$ (111) epitaxial intermediate layer. J Cryst Growth ,2002 ,236 :21
- [19] Tan Liwen ,Wang Jun ,Wang Qiyuan ,et al. Growth of double heteroepitaxial SOI materials of Si/ $\text{-Al}_2\text{O}_3$ / Si. Chinese Journal of Semiconductors ,2003 ,24(12) :289 (in Chinese) [谭利文 ,王俊 ,王启元 ,等. 双异质外延 SOI 材料 Si/ $\text{-Al}_2\text{O}_3$ / Si 的外延生长. 半导体学报 ,2003 ,24(12) :289]
- [20] Bairamov B H ,Gurdal O ,Botchkarev A ,et al. Direct evidence of tensile strain in wurtzite structure m -GaN layers grown on m -Si(111) using AlN buffer layers. Phys Rev B ,1999 ,60 :16741
- [21] Edgar J H ,Strite S. Properties ,processing and application of GaN and related semiconductors. London :Inspec ,1999

Growth of GaN on γ -Al₂O₃/Si(001) Composite Substrates*

Liu Zhe, Wang Junxi, Li Jinmin, Liu Hongxin, Wang Qiyuan, Wang Jun, Zhang Nanhong,
Xiao Hongling, Wang Xiaoliang, and Zeng Yiping

(Materials Science Centre, Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract : Crack-free GaN epilayers on Si(001) substrates are obtained by molecular beam epitaxy with novel γ -Al₂O₃ materials as intermediate layers. GaN growth along c -director is realized and a hexagonal single crystalline GaN is achieved. Experimental results indicate that pretreatment with Al and a high temperature AlN layer can improve the quality of GaN and a low temperature AlN layer can improve the surface roughness of GaN. This provides an effective method to overcome the difficulties of GaN growth on Si(001) substrates.

Key words : GaN; γ -Al₂O₃/Si(001); buffer; MBE

PACC : 3220R; 7280C; 7360F

Article ID : 0253-4177(2005)12-2378-07

* Project supported by the Key Innovation Program of the Chinese Academy of Sciences, the National Natural Science Foundation of China (No. 60136020), the State Key Development Program for Basic Research of China (Nos. G20000683, 2002CB311903), and the National High Technology R & D Program of China (No. 2004AA311040)

Liu Zhe female, was born in 1978, PhD candidate. Her current research interest is growth of γ -Al₂O₃/Si(001) compound semiconductor materials.
Email: liuzhe@red.semi.ac.cn

Received 25 May 2005, revised manuscript received 5 August 2005

©2005 Chinese Institute of Electronics