

生长压力对Ga_N薄膜生长速率和结构特性的影响

倪金玉, 郝跃*, 张进成, 杨林安

西安电子科技大学微电子学院, 宽禁带半导体材料与器件重点实验室, 西安 710071

* 联系人, E-mail: yhao@xidian.edu.cn

2008-11-26 收稿, 2009-02-08 接受

国家自然科学基金(批准号: 60736033, 60676048)和西安应用材料创新基金(编号: XA-AM-200703)资助项目

摘要 研究了生长压力对金属有机物化学气相淀积技术在蓝宝石衬底上生长的 Ga_N 薄膜的生长速率、表面形貌和结晶质量的影响。研究表明, 随着反应室压力由 2500 Pa 增加到 20000 Pa, Ga_N 薄膜表面逐渐粗化, 生长速率逐渐下降。粗糙的表面形貌与初始高温 Ga_N 成核岛的特征密切相关。初始高温 Ga_N 生长阶段采用高压条件, 因低的吸附原子表面扩散率而容易形成低密度、大尺寸的 Ga_N 岛。这些 Ga_N 岛推迟了二维生长过程的出现, 降低了薄膜的生长速率。同时, 这些低密度、大尺寸的 Ga_N 岛在此后生长合并过程中产生较少的线位错, 从而降低了 Ga_N 薄膜 X 射线摇摆曲线的半高宽。

关键词

氮化镓

反应室压力

生长速率

表面形貌

结晶质量

由于发光二极管和高功率/高频率电子器件的发展, III族氮化物薄膜的生长引起人们强烈的研究兴趣。尽管外延层和衬底之间存在着较大的晶格失配和热失配, 但是通过使用一个薄AlN或者Ga_N成核层, 在蓝宝石衬底上成功地生长出了Ga_N薄膜^[1,2]。到目前为止, 许多研究小组已经生长出了高质量的Ga_N薄膜, 其X射线摇摆曲线半高宽仅有几弧分。这些研究表明, 衬底处理^[3,4]、成核层材料^[5]和成核层与高温Ga_N外延层的生长条件^[6-9]对Ga_N薄膜的特性起着重要的影响作用。Fini等人^[9]的研究结果表明, 采用常压(760 Torr)和低压(76 Torr)(1 Torr = 133 Pa)生长高温Ga_N薄膜会表现出不同的合并行为, 常压下生长的Ga_N薄膜中的位错密度远小于在低压下得到的相同厚度Ga_N薄膜的位错密度。

本文重点关注低的反应室压力范围, 此范围是低压金属有机物化学气相淀积系统(LPMOCVD)通常工作的区域。在此区域内, 从 2500 Pa 到 20000 Pa 选择 4 个压力点生长了厚度相当的 Ga_N 薄膜。研究发现, 反应室压力严重影响 Ga_N 薄膜的表面形貌, 并由此推断了生长压力如何影响初始高温 Ga_N 岛的形核特征。研究还发现, Ga_N 薄膜的生长速率和结晶质量也与这些初始高温岛密切相关。这些相互关系指导

我们通过控制高温 Ga_N 初始生长条件来获得低位错密度的 Ga_N 薄膜。

1 实验

采用一个自制的垂直气流LPMOCVD反应室在c面蓝宝石衬底上生长了所要研究的Ga_N薄膜。三乙基镓和氨气分别作为III族和V族源, 氢气为载气。首先衬底在 1000°C下氢气中退火 10 min, 然后把衬底温度降低到 475°C生长 30 nm厚的低温Ga_N成核层, 接着又回到 1000°C生长未掺杂的Ga_N外延层。低温Ga_N成核层的生长压力为 5000 Pa, 为了研究生长压力对Ga_N薄膜特性的影响, 在生长高温Ga_N外延层时, 采用了不同的压力值, 分别为 2500, 5000, 10000 和 20000 Pa。在需要的时候迅速转换压力(5000 Pa的生长压力无需转换), 所以可认为高温Ga_N层是在单一的压力条件下生长的。由于Ga_N薄膜的生长速率是随反应室压力变化的, 所以我们通过调整生长时间使膜厚保持在 1.2 μm左右。Ga_N的膜厚是由Beckman DU-640 型分光光度计测得的透射谱计算得到的, 测量方法已在其他文献中研究过^[10]。Ga_N薄膜的表面形貌采用Agilent 5500 型原子力显微镜(AFM)来表征, 薄膜的结晶质量用Bruker D8 Discover X射线衍射仪

引用格式: 倪金玉, 郝跃, 张进成, 等. 生长压力对 Ga_N 薄膜生长速率和结构特性的影响. 科学通报, 2009, 54(9): 1214~1217

Ni J Y, Hao Y, Zhang J C, et al. Effect of reactor pressure on the growth rate and structural properties of Ga_N films. Chinese Sci Bull, 2009, 54, doi: 10.1007/s11434-009-0300-6

测量的摇摆曲线半高宽来评价。

2 结果与讨论

图1给出了Ga₂N薄膜表面AFM图像,扫描区域为 $2\ \mu\text{m} \times 2\ \mu\text{m}$ 。由图可知,随着反应室压力增加,GaN薄膜表面逐渐粗化。在2500 Pa下生长的Ga₂N薄膜表面(图1(a))具有最窄的原子台阶。随着生长压力从2500 Pa增加到5000 Pa,台阶的宽度增加,如图1(b)所示。薄膜表面出现明显的原子台阶表明出现了二维生长模式。但是,对于在更高压力下生长的薄膜(图1(c)和(d)),原子台阶模糊,并且出现了大的山丘和山谷,导致了较为粗糙的表面。

在低压生长条件下,吸附原子的表面扩散率较高。因此,当在高温Ga₂N生长的初始阶段使用低生长压力时,形成的Ga₂N岛的密度较高。同理,当使用高压生长条件,由于较低的吸附原子表面扩散率而形成较低密度的初始高温Ga₂N岛。在这种情况下,GaN岛的生长速率沿横向方向增加而沿着垂直方向减小,岛在相遇和合并之前将长大。需要指出的是,高压生长条件下,由于高温Ga₂N岛的密度较小,所以其间距较大,因此这些高温岛将比低压生长条件下得到的岛在合并之前长得更大。Fini等人^[9]观察到类似的现象,与低压生长条件相比,在高温Ga₂N生长初始阶段

使用常压容易形成低密度、大尺寸的Ga₂N成核岛。在高温Ga₂N薄膜生长初始阶段使用低的压力具有高密度的Ga₂N岛,它们将加速岛的生长与合并,使得Ga₂N薄膜很快进入二维生长模式,这就是如图1(a)和(b)所示的情形。对于高压条件下的Ga₂N薄膜,由于形成的低密度、大尺寸的初始高温Ga₂N成核岛在生长过程中不易合并,而造成了起伏较大的表面形貌,如图1(c)和(d)所示。Ga₂N薄膜的表面均方根粗糙度(RMS)随着生长压力的增加而逐渐增大,如图2所示。值得注意的是,本文研究的Ga₂N薄膜厚度只有 $1.2\ \mu\text{m}$,如果在高压下生长更厚的Ga₂N薄膜,那么有可能得到与低压下生长的相同厚度Ga₂N薄膜一样光滑的表面,因为图1(c)和(d)所示的情况是成核岛没有完全合并的情形。现在,我们可以得出这样的结论,高压条件有利于高温Ga₂N岛的横向生长,而低压条件有利于它们的垂直生长。这一点通过图3得到了证实,如图所示,GaN薄膜的生长速率随着生长压力的增加而逐渐减小。

图4给出了Ga₂N(002)和(102)面X射线摇摆曲线。由图可见,它们的半高宽均随着生长压力的增加而减小,而且(102)面的半高宽比(002)面的减小得更快。X射线摇摆曲线半高宽可以用来评价Ga₂N薄膜位错

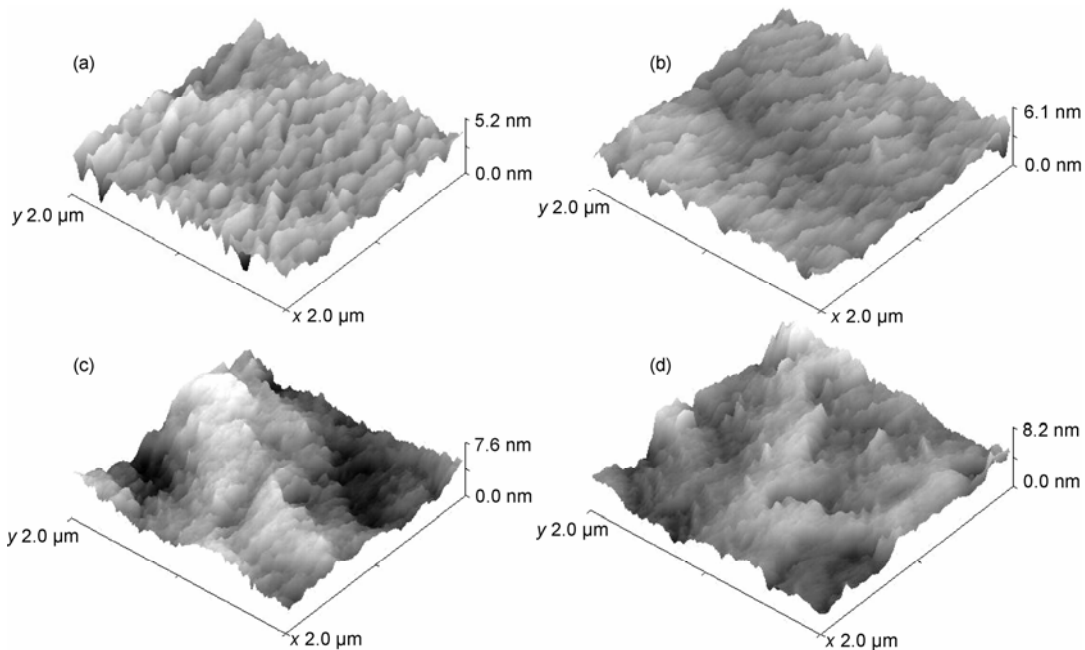


图1 Ga₂N薄膜表面原子力显微镜图像

扫描区域为 $2\ \mu\text{m} \times 2\ \mu\text{m}$ 。(a) 2500 Pa; (b) 5000 Pa; (c) 10000 Pa; (d) 20000 Pa

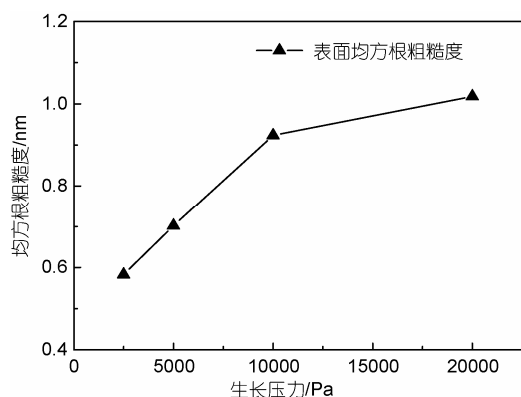


图2 GaN 薄膜表面均方根粗糙度随生长压力的变化

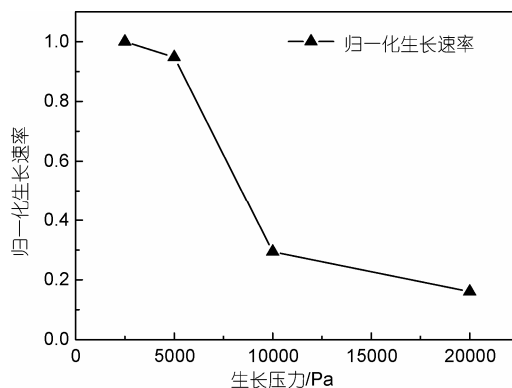


图3 GaN 薄膜归一化生长速率随生长压力的变化

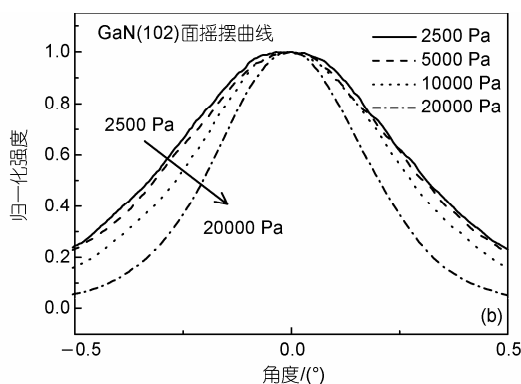
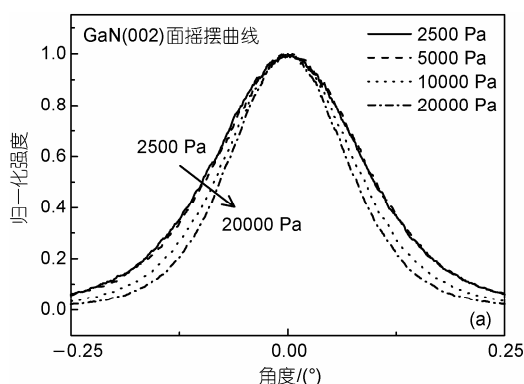


图4 GaN 薄膜 X 射线摇摆曲线随生长压力的变化

(a) (002)衍射面; (b) (102)衍射面

密度的大小。(002)对称衍射面的半高宽与薄膜中的螺位错和混合位错有关,而(102)非对称衍射面的半高宽与所有位错均有关^[11]。因此,(102)面的半宽比(002)面的半宽降低得更快说明GaN薄膜中刃位错密度随着反应室压力的增加而减小。由此可知,随着反应室压力的增加,GaN薄膜的结晶质量通过减小刃位错和螺位错密度而提高了。从上面的分析可知,在初始高温GaN生长阶段采用高的生长压力容易形成低密度、大尺寸的GaN成核岛。大量的线位错在GaN岛遇合过程中产生。因此,GaN岛越少,在岛的合并过程中产生的位错越少。Fini等人^[9]认为这些位错既有刃位错也有螺位错。因此,高压条件下形成的GaN薄膜具有更少的线位错,从而得到更小的X射线摇摆曲线半高宽。

3 结论

本文在相同的低温 GaN 成核层上采用不同的反应室压力生长了相同厚度的 GaN 薄膜。AFM 测量发现,在高温 GaN 生长初始阶段采用高压条件得到的薄膜表面粗糙,并观察到大的山丘和山谷形貌。研究认为粗糙的表面是与高压条件下低的吸附原子表面扩散率相关的。高压条件有利于形成低密度、大尺寸的初始高温 GaN 成核岛。这些初始高温岛在薄膜生长过程中不易合并,从而留下了起伏较大的表面形貌。它们同时推迟了二维生长过程的出现,减小了薄膜生长速率。但是这些低密度、大尺寸的 GaN 岛降低了此后生长合并过程中产生的刃位错和螺位错密度,从而减小了 GaN(002)面和(102)面 X 射线摇摆曲线半高宽。

参考文献

- 1 Amano H, Sawaki N, Akasaki I, et al. Metalorganic vapor phase epitaxial growth of a high quality GaN film using an AlN buffer layer.

- Appl Phys Lett, 1986, 48: 353—355[[doi](#)]
- 2 Nakamura S. GaN growth using GaN buffer layer. Jpn J Appl Phys, 1991, 30: L1705—1707[[doi](#)]
- 3 Gao H Y, Yan F W, Zhang Y, et al. Enhancement of the light output power of InGaN/GaN light-emitting diodes grown on pyramidal patterned sapphire substrates in the micro- and nanoscale. J Appl Phys, 2008, 103: 014314| [[doi](#)]
- 4 Peng D S, Feng Y C, Wang W X, et al. High-quality GaN films grown on surface treated sapphire substrate. J Phys D: Appl Phys, 2007, 40: 1108—1112[[doi](#)]
- 5 Lorenz K, Gonsalves M, Kim W, et al. Comparative study of GaN and AlN nucleation layers and their role in growth of GaN on sapphire by metalorganic chemical vapor deposition. Appl Phys Lett, 2000, 77: 3391—3393| [[doi](#)]
- 6 Kuznia J N, Khan M A, Olson D T, et al. Influence of buffer layers on the deposition of high quality single crystal GaN over sapphire substrates. J Appl Phys, 1993, 73: 4700—4702[[doi](#)]
- 7 Chen J, Zhang S M, Zhang B S, et al. Effects of reactor pressure on GaN nucleation layers and subsequent GaN epilayers grown on sapphire substrate. J Cryst Growth, 2003, 254: 348—352[[doi](#)]
- 8 Sugiura L, Itaya K, Nishio J, et al. Effects of thermal treatment of low-temperature GaN buffer layers on the quality of subsequent GaN layers. J Appl Phys, 1997, 82: 4877—4882[[doi](#)]
- 9 Fini P, Wu X, Tarsa E J, et al. The effect of growth environment on the morphological and extended defect evolution in GaN grown by metalorganic chemical vapor deposition. Jpn J Appl Phys, 1998, 37: 4460—4466[[doi](#)]
- 10 张进城, 郝跃, 李培成, 等. 基于透射谱的 GaN 薄膜厚度测量. 物理学报, 2004, 53: 1243—1246
- 11 Heying B, Wu X H, Keller S, et al. Role of threading dislocation structure on the X-ray diffraction peak widths in epitaxial GaN films. Appl Phys Lett, 1996, 68: 643—645[[doi](#)]

· 书 讯 ·

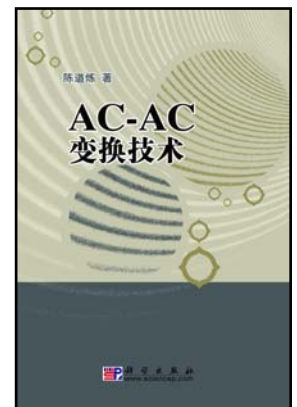
《AC-AC 变换技术》

著者: 陈道炼

书号: 978-7-03-023755-2

出版: 科学出版社 2009 年 2 月

定价: 65 元



该书按照有无中间直流环节、输出与输入频率、电气隔离、电源性质、电路结构、相数、电平数、相关技术等类型, 系统、深入并有创新地论述了晶闸管相控变频器和调压器、交-直-交型变换器、直接和间接矩阵、脉宽调制斩波、脉宽调制低频环节、脉宽调制高频环节、三相、多电平和 Z 源等 AC-AC 变换技术和控制、基准、滤波、机内辅助电源等相关技术。以三类高频环节 AC-AC 变换器为例, 论述了 AC-AC 变换技术的应用。在以变频或恒频交流电为主交流电源的二次电能变换场合, 如可再生能源发电、交流电机调速和软启动、交流调压和稳压、变频电源、电力电子变压、同频波形变换、飞机变速恒频电源、机载电子变压器等民用和国防领域等, AC-AC 变换技术具有广泛的应用前景。

该书可作为高等学校电气工程与自动化学科的本科生、研究生和教师的参考书, 也可供从事 AC-AC 变换器研究和开发的工程技术人员参考使用。