

在 GaSb 衬底上生长 c-GaN 的初步研究

黄大定^a 高维滨^{a, b} 吴正龙^{a, c} 张建辉^a 刘志凯^a

(a 中国科学院半导体研究所 半导体材料科学实验室 北京 100083)

(b 中国科学院半导体研究所 理化分析实验室 北京 100083)

(c 北京师范大学 分析测试中心 北京 100875)

摘要 AES、XPS 分析和 XRD 谱结果证明: 采用低能双离子束淀积 (BD) 技术, 在 GaSb (001) 衬底上共淀积生长了闪锌矿结构 c-GaN。X 光 Φ 扫描显示, 生长薄膜与衬底晶向匹配关系是 c-GaN [110]//GaSb [100]。由此可以得到: 它们的晶格失配度为 4.66%, GaSb 是已采用生长 c-GaN 衬底材料中较好的一种。

PACC: 6855

1 引言

宽禁带半导体 GaN 作为制造高效蓝光发光器件的材料而备受重视。但是, 较高的本征施主浓度、难以寻找生长高质量单晶的衬底以及电学特性不易控制等问题, 严重地限制着它的发展和应用^[1]。

近年来, 闪锌矿 GaN (c-GaN) 材料生长的研究, 为解决上述问题提供了可能^[2], 并可望制成激光器^[3]。到目前为止, 生长 c-GaN 使用衬底材料有: GaAs^[1,3]、MgO^[2]、Si^[4]、 β -SiC^[5] 和 GaP^[6] 等, 生长温度在 450~1050 之间。本文将简述我们采用低能双离子束淀积技术 (BD) 在 GaSb 衬底上生长 c-GaN 的初步结果。

2 实验

我们使用的衬底是我所生长的 GaSb (001) 抛光晶片, 40nm 厚, 面积为 $2.0 \times 2.0 \text{cm}^2$ 。晶片经热、冷三氯乙烯除腊后, 在丙酮、甲醇中超声清洗数次, 再放入浓 HCl 中 2 分钟去除自然氧化层, 去离子水冲净后, 用干氮气吹干迅速装架进入真空室。在淀积 GaN 前, 衬底在 $7 \times 10^{-6} \text{Pa}$ 高真空下, 加热到 500, 除气 30 分钟。

黄大定 男, 1941 年出生, 高级工程师, 当前从事低能离子束薄膜淀积技术研究

高维滨 男, 1937 年出生, 副研究员, 从事半导体材料的 X 射线分析

吴正龙 男, 1962 年出生, 讲师, 从事电子能谱分析

张建辉 男, 1972 年出生, 硕士, 从事低能离子束薄膜淀积技术研究

1997-06-24 收到, 1997-12-15 定稿

GaN 淀积是在国产低能双离子束淀积设备中进行的 在一个 Freeman 源中, 以 Ga_2O_3 为原料, 通入 CCl_4 , 在高温下反应后被高速电子轰击而离化, 产生的 Ga^+ 离子以 25kV 的负高压拉出形成 Ga^+ 离子束流 与此相似, 在另一个 Freeman 源中通入 N_2 气, 使之离化并拉出, 形成 N^+ 离子流 它们分别通过两个磁质量分析器提纯, 经静电偏转滤除中性粒子后, 被减速为 100eV, 一同淀积在衬底上 淀积过程中, 衬底被加热到 250 , 工作室真空度为 $7 \times 10^{-5} Pa$, Ga^+ 、 N^+ 离子流均稳定在 $30\mu A$, 淀积时间为 4 小时, Ga^+ 、 N^+ 淀积总剂量各为 $6.75 \times 10^{17}/cm^2$.

3 测量结果

3.1 俄歇(AES)测量

图 1 示出样品 AES 微分谱 图 1 中曲线 a、b 分别是样品表面及被离子刻蚀 30s 后(估计刻蚀掉 10nm 以上)的结果 可以看到: 样品表面已完全被 Ga、N 复盖, 有严重的氧、碳沾污, 在膜深处逐步过渡到 GaSb, 仍有氧、碳沾污

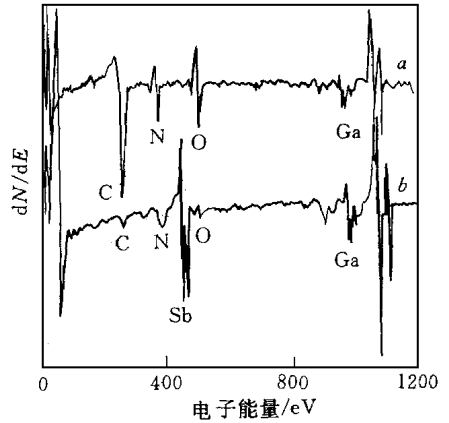


图 1 样品的 AES 微分谱
曲线 a 表面; b 离子刻蚀 30s 后

3.2 X 光光电子能谱(XPS)测量

图 2 示出样品表面及衬底的 XPS 的 Ga3d 峰谱

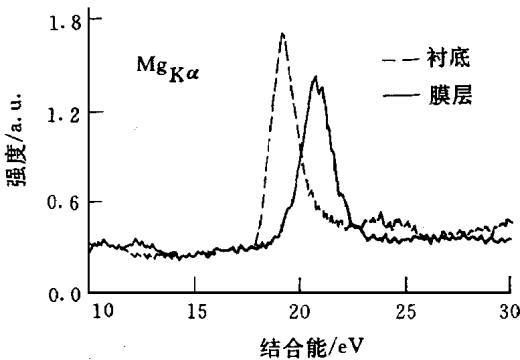


图 2 样品膜层及衬底的 XPS 的 Ga3d 峰谱图

图 表 1 给出样品的 XPS 测量结果与 GaN 标样的比较, GaSb 衬底值为 Ar^+ 离子刻蚀 5 分钟后测得 因为样品表面呈高阻, 测量时有较大的电荷积累, 谱中各峰位均以 $C1s$ (284.6eV) 为标准进行了校准, 荷电偏移量为 1.1eV. 表中俄歇常数是 Ga3d 电子 XPS 结合能与 AES 动能之和, 它更能代表 Ga3d 的实际能量状态 可见薄膜中的 Ga3d 结合能远比衬底高, 而与 GaN 的结合能相符 结果说明: 在 GaSb 上已经生长了 GaN 膜

表 1 样品 XPS 结果与 GaN、GaSb 标样的比较

	Ga3d (BEeV)	N 1s (BEeV)	GaL 3MM (KEeV)	俄歇常数 (Ga3d+ L3MM)
生长层	19.7	397.0	1064.2	1083.9
GaN 标样 ^[7]	19.54	397.0	1064.5	1084.04
GaSb 衬底	19.2		1067.3	1086.5

3.3 X 光衍射(XRD)测量

图 3 示出衬底(a)与样品(b)的 θ -2 θ 衍射图 图(b)中除 GaSb 的 (200)、(400) 峰外, 还有较强的 c-GaN (200) 峰 图中 c-GaN (200) 峰位在 $2\theta = 41.92^\circ$; 相应的面间距为

0.2152nm, 约小于标准的 c-GaN (200) 面间距 0.225nm. 我们初步研究认为: 这是由于生长薄膜很薄(约 30nm), 因晶格失配在膜中受到一压应力所致

图 4 给出了样品的 Φ 扫描结果 图 4(a) 是将 θ Ψ 角调整到 GaN (311) 面衍射后, 沿样

品表面法线旋转测得的结果 可见, GaN 在[001]方向上呈四度对称, 生长的 GaN 膜属立方晶系结构 图 4(b)是将 θ Ψ 角调整到 GaSb(420) 面衍射后, 沿样品表面法线旋转测得的结果 结果说明, c-GaN (311) 四个衍射峰 Φ 方位与 GaSb (420) 四个衍射峰 Φ 方位完全一致

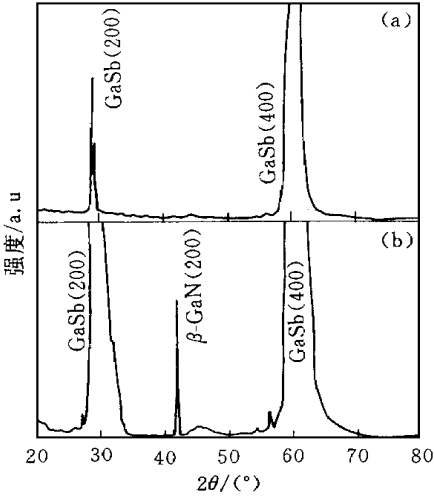


图 3 衬底(a)及样品(b)的 θ -2 θ XRD 谱

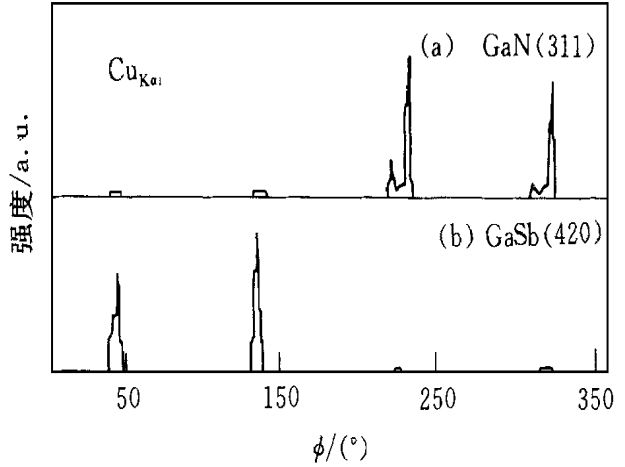


图 4 样品的 Φ 扫描 XRD 谱

4 讨论

图 5 示出在 GaSb (001) 衬底上生长 c-GaN (001) 的极射赤平投影图及在 c-GaN [110]//GaSb [100]取向上的晶格匹配关系 由此可见: 生长的 c-GaN 膜在[100]方向上与 GaSb 衬底[100]方向相差 45 角, 并可计算出 c-GaN 生长的晶格失配度约为 4.66%. 在此晶格匹配下, c-GaN 晶格约大于 GaSb 晶格, 即生长的 c-GaN 膜受到一压应力。

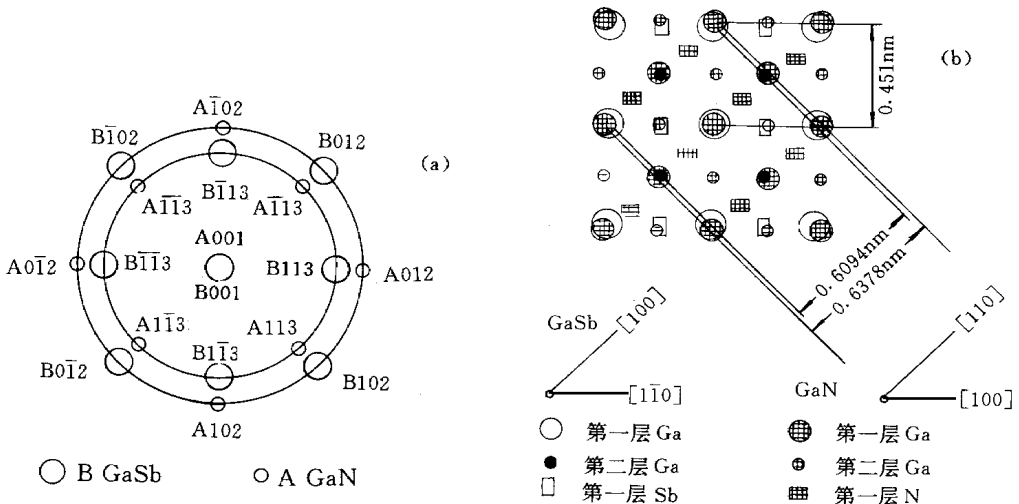


图 5 在 GaSb(001) 衬底上生长 c-GaN (001) 的极射赤平投影图(a)及晶格匹配关系(b)

GaSb 属 III-V 族化合物半导体材料, 为闪锌矿立方晶系结构, 晶格常数 $a_0 = 0.6094\text{nm}$, 熔点为 712°C , 长期暴露在大气中或浸入水中, 其表面易氧化^[8]。我们采用 BD 技术, 已于 250°C 下在 GaSb (001) 衬底上生长了 c-GaN, 它们的晶向关系为 c-GaN [110]//GaSb [100]。如果能克服衬底表面氧化及碳沾污, 采用高质量 GaSb 衬底, 可望获得高质量的 c-GaN 单晶材料。

表 2 列出与 c-GaN 生长有关的各种衬底的物理参数。可见: GaSb 衬底材料在晶格结构、晶格失配度及热学性质等各方面要优于已采用的材料。表 2 还列出与 GaSb 特性类似的几种 III-V 族化合物, 它们都可望作为生长 c-GaN 的衬底。

表 2 与 c-GaN 生长有关的各种衬底的物理参数

衬底材料	结构	晶格常数	热胀系数 $\alpha/10^{-6}\text{K}^{-1}$	生长面	匹配方向	晶格失配/%
c-GaN	闪锌矿	0.451nm	4.78	(001)	[100]//	
TiO ₂	四角	0.459nm	8.8	(001)	//[100]	1.74
β -SiC	闪锌矿	0.436nm	3.9	(001)	//[100]	3.44
Si	金刚石	0.543nm	2.5	(001)	//[100]	16.9
MgO	氯化钠	0.4213nm	14	(001)	//[100]	7.05
GaAs	闪锌矿	0.5642nm	6.0	(001)	//[100]	20
GaP	闪锌矿	0.545nm	5.81	(001)	//[100]	17.2
GaSb	闪锌矿	0.6094nm	6.7	(001)	//[100]	4.66
InAs	闪锌矿	0.6058nm	5.19	(001)	//[100]	5.28
InSb	闪锌矿	0.6478nm	5.04	(001)	//[100]	1.54
AlSb	闪锌矿	0.6136nm	4.88	(001)	//[100]	3.95

致谢 作者谨对我所材料中心焦景华同志、理化室王维明同志、中国科学院物理所超导实验室 X 光组程红同志给与的帮助表示诚挚谢意。

参 考 文 献

- [1] R. C. Powell *et al.*, J. Appl Phys, 1993, **73**(1): 189.
- [2] S. A. Nikishin *et al.*, Appl Phys Lett, 1996, **69**(21): 3227.
- [3] R. Klann *et al.*, Appl Phys Lett, 1997, **70**(14): 1076.
- [4] T. Lei *et al.*, J. Appl Phys, 1993, **74**(7): 4430.
- [5] Z. Sitar *et al.*, MRS Symp. Proc., 1990, **162**: 537.
- [6] D. E. Lacklison *et al.*, J. Appl Phys, 1995, **78**(3): 1838.
- [7] D. Briggs *et al.*, Practical Surface Analysis by Auger and X-ray Photoelectron Spectroscopy, 1983: 447.
- [8] Y. Mizokawa *et al.*, Thin Solid Films, 1988, **156**(1): 127.

Preliminary Study on Growth of c-GaN on GaSb Substrate

Huang Dading^a, Gao Weibin^{a,b}, Wu Zhenglong^{a,c}, Zhang Jianhui^a, Liu Zhikai^a

*(a Laboratory of Semiconductor Material Science, Institute of Semiconductors,
The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083)*

*(b Laboratory of Physical and Chemical Analysis, Institute of Semiconductors,
The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083)*

(c The Analysis and Measurement Center, Beijing Normal University, Beijing 100875)

Received 24 June 1997, revised manuscript received 15 December 1997

Abstract It is verified by means of AES, XPS and XRD that films of zinc-blende-structure c-GaN have been grown on GaSb (001) substrate by Low Dual Ion Beam Deposition (BD) Technique. The results of X-ray Φ scan show that the matched film/substrate growth relationship is c-GaN [110]//GaSb [100]. The lattice mismatch is 4.66%. GaSb is a better substrate material used for growing c-GaN than others.

PACC: 6855