

蓝宝石衬底上单晶 InN 薄膜的 MOCVD 生长*

肖红领 王晓亮[†] 杨翠柏 胡国新 冉军学 王翠梅 张小宾 李建平 李晋闽

(中国科学院半导体研究所 材料中心, 北京 100083)

摘要: 采用非掺 GaN 为缓冲层, 利用金属有机物气相沉积(MOCVD)方法在蓝宝石衬底上获得了晶体质量较好的 InN 单晶薄膜. 用光学显微镜观察得到的 InN 薄膜, 表面无钨滴生成. InN(0002) X 射线双晶衍射摇摆曲线的半峰宽为 9.18° ; 原子力显微镜测得的表面平均粗糙度为 18.618nm ; Hall 测量得到的 InN 薄膜的室温背景电子浓度为 $1.08 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$, 相应的迁移率为 $696\text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$.

关键词: 氮化铟; MOCVD; 半峰宽; 迁移率

PACC: 7280C; 7360F; 3220R

中图分类号: TN304.054

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2007)S0-0260-03

1 引言

III 族氮化物半导体材料性能优越, 在光电子器件方面已有重要的应用, 在光电集成、超高速微电子器件和超高频微波器件及电路上也有着十分广阔的应用前景^[1]. 其中, InN 以其不同于 AlN 和 GaN 的特殊物理、化学性质引起人们越来越多的关注^[2~6]. 以前大家一直认为 InN 的禁带宽度是 1.9eV ^[7], 但最近有研究认为 InN 的禁带宽度应该是在 0.7eV 左右^[8]. 这样就使得 InGaN 三元合金的发光波长可以覆盖含所有可见光在内的更宽范围, 使其在全色显示、新型高效太阳能电池制备等领域有着极大的应用潜力. 另外, 理论计算表明, 相对于 GaAs, AlN 和 GaN, InN 具有优越的稳态和瞬态电子输运特性, 其迁移率、峰值速率、饱和漂移速率和尖峰(overshoot)速率较高, 其中低场迁移率可以达到 $3200\text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$, 峰值漂移速率可达 $4.3 \times 10^7\text{cm}/\text{s}$ ^[2,9]. 这些独特的性质都使 InN 成为 III 族氮化物半导体领域一个新的研究热点.

但到目前为止, InN 材料在实验上却没有得到如此优越的电学特性. 这是因为 InN 材料在生长上存在一定的困难, 其材料难以制备, 而薄膜的生长又面临缺乏晶格常数和热膨胀系数都匹配的衬底材料, 以及分解温度较低等问题.

2 实验

我们利用 MOCVD 系统在(0001)蓝宝石衬底

上进行 InN 的异质外延生长, 其生长结构如图 1 所示. 首先在 500°C 左右生长低温 GaN 缓冲层, 厚度约为 20nm ; 接着提高生长温度至 1050°C , 生长一层厚度约为 $1.8\mu\text{m}$ 的高阻 GaN 层作为第二缓冲层^[10]; 最后在 540°C 生长 InN 单晶薄膜, 其中 V/III 流量比为 20000, 生长压力为 1.33Pa , 生长厚度约为 200nm . 在 MOCVD 系统中采用的 N 源和 In 源分别是氨气和三甲基铟(TMIn).

采用 Rigaku SLX-1A 型 X 射线衍射仪分析得到的 InN 薄膜的晶体质量, 用光学显微镜和原子力显微镜观察表面形貌, 并用 Van de Pauw-Hall 对所得薄膜进行了电学性质的测试.

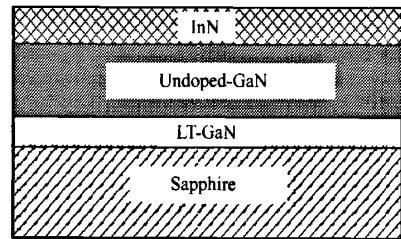


图 1 InN 的生长结构

Fig. 1 Growth sequence of the InN film

3 结果与讨论

图 2 为 InN 薄膜的 X 射线衍射 $\theta-2\theta$ 扫描谱. 由 $\theta-2\theta$ 扫描谱可以看到, InN(0002), GaN(0002) 和蓝宝石的(0006)衍射峰, 说明 InN 薄膜的晶体取向性

* 国家自然科学基金资助项目(批准号: 60606002)

[†] 通信作者. Email: xlwang@red.semi.ac.cn

2006-12-12 收到, 2006-12-28 定稿

很好;且没有出现单质铟的衍射峰,说明在生长过程中很好地控制了金属铟在表面聚集成铟滴的现象.其中,InN(0002)衍射峰对应的衍射角 2θ 为 31.08° ,由此计算得到的该InN薄膜样品的晶格常数 c 为 0.572nm ,与文献报道值很好地吻合^[7,11,12]. θ - 2θ 扫描谱显示我们得到了表面无铟滴的单晶六方纤锌矿结构的InN薄膜.

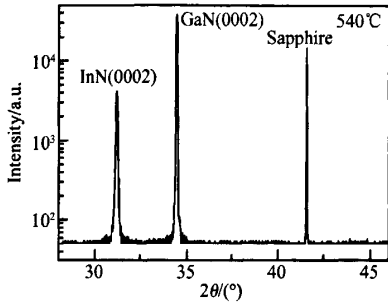


图2 InN薄膜X射线 θ - 2θ 扫描谱

Fig. 2 XRD θ - 2θ spectrum of the InN film

图3给出了该样品的InN(0002)X射线双晶衍射谱的摇摆曲线.由图可知,InN(0002)的半峰宽(FWHM)仅为 $9.18'$,表明我们在蓝宝石衬底上获得了具有较好结晶质量的InN薄膜.

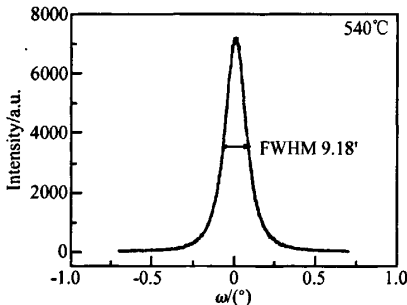


图3 InN薄膜X射线(0002)衍射峰 ω 扫描谱

Fig. 3 Rocking curve of the InN(0002)

在光学显微镜下观察得到的InN薄膜,表面无铟滴生成,这与 θ - 2θ 扫描结果吻合,图4所示的AFM测量结果也证实了这一点.原子力显微镜扫描图显示InN薄膜表面由三维岛状晶粒构成,表面 $2\mu\text{m} \times 2\mu\text{m}$ 范围内原子力显微镜扫描的均方根粗糙度(RMS)为 18.618nm .

我们还对所获得的InN单晶薄膜进行了电学性能测量,结果得到InN薄膜的室温电子迁移率为 $696\text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$,其背景电子浓度为 $1.08 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$.

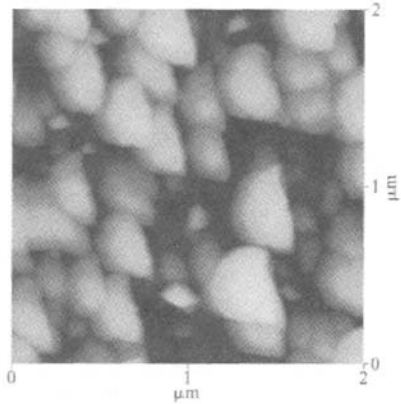


图4 InN薄膜表面AFM形貌图

Fig. 4 AFM image of the InN film

4 结论

采用MOCVD方法在蓝宝石衬底上生长得到了InN单晶薄膜.X射线衍射谱表明,所获得的InN薄膜具有较好的晶体质量,InN(0002)峰X射线双晶衍射谱摇摆曲线的半峰宽为 $9.18'$.表面 $2\mu\text{m} \times 2\mu\text{m}$ 范围内原子力显微镜扫描的均方根粗糙度(RMS)为 18.618nm .Hall测量得到的InN薄膜的室温电子迁移率为 $696\text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$.

参考文献

- [1] Xie Zili, Zhang Rong, Bi Chaoxia, et al. Fabrication and application of InN films. *Micronanoelectronic Technology*, 2004, 41(12): 26 (in Chinese)[谢自力, 张荣, 毕朝霞, 等. InN材料及其应用. *微纳电子技术*, 2004, 41(12): 26]
- [2] O'Leafy S K, Foutz B E, Shut M S, et al. Electron transport in wurtzite indium nitride. *J Appl Phys*, 1998, 83: 826
- [3] Bhyyan A G, Hashimoto A, Yamamoto A. Indium nitride (InN): A review on growth, characterization, and properties. *J Appl Phys*, 2003, 94: 2779
- [4] Chang Chinan, Shih Chuanfeng, Chen Naichuan, et al. High mobility InN films grown by metal-organic vapor phase epitaxy. *Phys Status Solidi C*, 2004, 1(10): 2559.
- [5] Xiao Hongling, Wang Xiaoliang, Zhang Nanhong, et al. RF-MBE growth of an InN epilayer on sapphire substrate. *Chinese Journal of Semiconductors*, 2005, 26(6): 1169 (in Chinese)[肖红领, 王晓亮, 张南红, 等. 蓝宝石衬底上单晶InN外延膜的RF-MBE生长. *半导体学报*, 2005, 26(6): 1169]
- [6] Pelli A, Saarinen K, Tuomosto F, et al. Influence of V/III molar ratio on the formation of In vacancies in InN grown by metal-organic vapor-phase epitaxy. *Appl Phys Lett*, 2006, 89: 011911
- [7] Tansley T L, Foley C P. Optical band gap of indium nitride. *J Appl Phys*, 1986, 59: 3241
- [8] Wu J, Walukiewicz W, Yu K M, et al. Unusual properties of the fundamental band gap of InN. *Appl Phys Lett*, 2002, 80: 3967

- [9] Foutz B E, O'Leafy S K, Shut M S, et al. Transient electron transport in wurtzite GaN, InN, and AlN. *J Appl Phys.* 1999, 85, 7727
- [10] Fang Cebao, Wang Xiaoliang, Liu Chao, et al. High resistivity GaN film grown by MOCVD. *Chinese Journal of Semiconductors*, 2005, 26(Supplement); 91 (in Chinese) [方测宝, 王晓亮, 刘超, 等. MOCVD 外延生长高阻 GaN 薄膜材料. *半导体学报*, 2005, 26(增刊): 91]
- [11] Strite S, Chandrasekhar D, Smith D J, et al. Structural properties of InN films grown on GaAs substrates; observation of the zincblende polytype. *J Cryst Growth*, 1993, 127, 204
- [12] Wakahara A, Yoshida A. Heteroepitaxial growth of InN by microwave-excited metalorganic vapor phase epitaxy. *Appl Phys Lett*, 1989, 54, 2984

MOCVD Growth of InN Films on Sapphire Substrates*

Xiao Hongling, Wang Xiaoliang[†], Yang Cuibai, Hu Guoxin, Ran Junxue, Wang Cuimei,
Zhang Xiaobin, Li Jianping, and Li Jinmin

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

Abstract: InN films with undoped-GaN buffer layer were successfully grown on sapphire substrates by metalorganic chemical vapor deposition (MOCVD) on (0001) sapphire substrate. No indium droplets on the surface of the grown InN films. Atomic force microscopy and double-crystal X-ray diffraction (DCXRD) were used to characterize the InN films. The results show that the InN films have good crystallinity, with full width at half maximum (FWHM) InN (0002) DCXRD peak of 9.18° . The room temperature Hall mobility of the films is $696\text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$.

Key words: InN; MOCVD; FWHM; mobility

PACC: 7280C; 7360F; 3220R

Article ID: 0253-4177(2007)S0-0260-03

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 60606002)

[†] Corresponding author. Email: xlwang@red.semi.ac.cn

Received 12 December 2006, revised manuscript received 28 December 2006