

CH₃CSNH₂/NH₄OH 钝化 GaInAsSb/GaSb PIN 红外探测器*

刘延祥^{1,2} 唐绍裘¹ 夏冠群² 程宗权² 郑燕兰²

(1 湖南大学材料科学与工程学院, 长沙 410082)

(2 中国科学院上海微系统与信息技术研究所, 上海 200050)

摘要: 引入一种新的低毒化合物 CH₃CSNH₂/NH₄OH 对 GaInAsSb 化合物探测器的表面进行了钝化处理, 使其暗电流降低一个数量级, 动态电阻增大 25 倍多, 且钝化 83 天后保持良好的钝化效果, 取得了与 (NH₄)₂S 溶液一样理想的钝化效果. 并采用 AES 和 XPS 对钝化前后的 GaInAsSb 材料进行了分析.

关键词: CH₃CSNH₂/NH₄OH; GaInAsSb; 钝化

EEACC: 2520D; 2550E; 4250

中图分类号: TN304.2 文献标识码: A 文章编号: 0253-4177(2005)S0-0132-04

1 引言

Ⅲ-V 族半导体化合物 GaInAsSb 材料, 随着材料组分变化, 它的带隙在 0.1~1.42eV 的范围内变化, 覆盖了 1~3μm, 3~5μm, 8~14μm 三个重要红外波段. 用与 GaSb 衬底晶格相匹配的 GaInAsSb 材料制备的红外探测器可直接在室温下工作, 并且具有响应速度快、灵敏度高、稳定性好等特点, 因此逐渐受到人们的重视^[1~4]. 但是, 同其他化合物半导体一样, 高的表面态密度和表面复合速率, 限制了 GaInAsSb 四元红外探测器性能的提高.

为了降低其表面态密度, Andreev 等人首先提出利用 Na₂S 和 (NH₄)₂S 溶液对其表面进行处理, 结果发现钝化后暗电流降低了 2~5 倍^[5]; 后来伍滨和、李志怀等人进一步完善了 (NH₄)₂S 溶液的钝化研究, 使暗电流降低了 1 个数量级^[6~8]. 由于经过 Na₂S·9H₂O 溶液钝化后的表面会含有 Na 离子, 从而影响探测器的性能及工艺; 而采用 (NH₄)₂S 溶液又会产生有害性气体, 造成环境污染. 因此我们选用了一种低毒、低污染的有机硫化物进行了初步的实验, 并取得了与 (NH₄)₂S 溶液一样理想的钝化效

果.

2 实验

本试验中采用的 GaInAsSb 样片是利用国产 MBE-IV 型设备, 在 GaSb 衬底上依次生长 0.8μm 的 GaSb 缓冲层, 2μm 的 n 型掺杂 GaInAsSb 层, 2.5μm 的 p 型非故意掺杂 GaInAsSb 层, 最后是 0.5μm 的 p 型掺杂 GaInAsSb 外延层, 器件基本结构如图 1 所示.

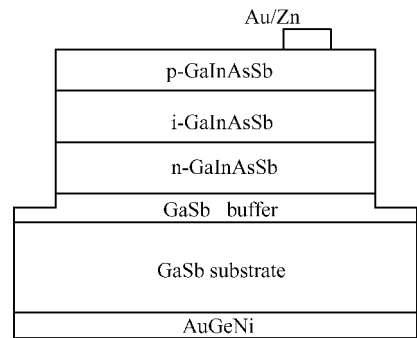


图 1 GaInAsSb 探测器的器件结构

Fig. 1 Structure of GaInAsSb photodetector

* 国家自然科学基金资助项目(批准号:60176011)

刘延祥 男, 1978 年出生, 硕士. Email: sdiuyanxiang@21cn.com

2004-10-16 收到, 2004-12-17 定稿

为了去除样片表面的油脂等,首先采用四氯化碳、丙酮、乙醇进行常规的化学超声清洗,每次超声5min,各超声两次;接着用去离子水漂洗,氮气吹干;然后浸入已配好的 CH₃CSNH₂/NH₄OH 的饱和溶液中,再放入 70℃ 的水浴中加热,每隔 15min 取出,氮气吹干.采用 HP-4145B 晶体管参数特性仪测其 *I-V* 特性,同时采用美国热电 VG SCIENTIFIC 公司的 Microlab 301F 热场发射扫描俄歇微探针仪,对钝化前后材料的元素含量进行了深度分析,并利用英国 VG 公司的 MICROLAB-MKII 多功能表面分析仪对钝化后元素的成键情况进行了研究.

3 结果与讨论

由探测器样品的 105min 的钝化测试,得到探测器暗电流及动态电阻随钝化时间的变化曲线分别如图 2 和 3 所示.由图 2 可以看出经过 105min 的钝化,在 0.1V 的反向偏压下,暗电流从 292.6μA 减小到 11.6μA,降低了一个数量级;随着钝化时间的延长,器件反向偏软的特性得到了明显抑制.由图 3 可看出随钝化时间的延长,探测器的动态电阻逐渐增大;经过 105min 的钝化,其零偏电阻由 374Ω 增大到 9562Ω,增大了 25 倍多.

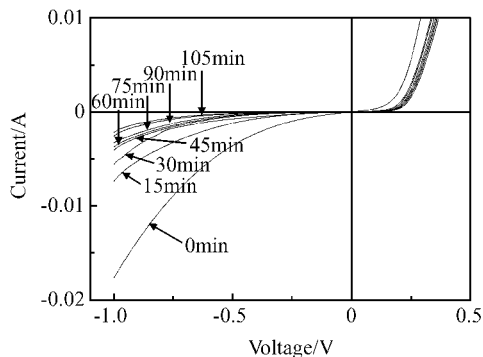


图 2 探测器 *I-V* 曲线随钝化时间的变化

Fig. 2 *I-V* characteristics of the GaInAsSb photodetector with the increase of passivation process time

同时,进行了 CH₃CSNH₂/NH₄OH 溶液钝化的常温老化试验,利用 HP-4145B 对探测器样品钝化前后,以及钝化后 8 天和 83 天的 *I-V* 特性分别进行了测试,结果如图 4 所示.由图 4 可以看出随着时间的延长,探测器的钝化效果保持良好,且其反向偏软的特性得到了进一步的抑制.结果表明,利用 CH₃CSNH₂/NH₄OH 溶液钝化可以形成一种有效

而稳定的钝化膜.

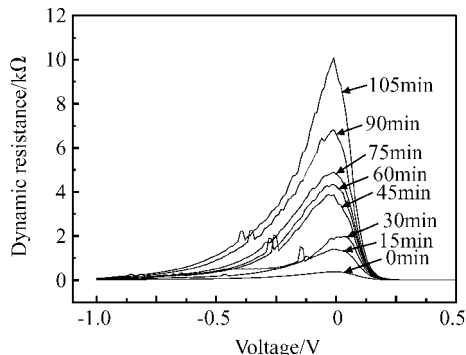


图 3 探测器的动态电阻随钝化时间的变化

Fig. 3 Dynamic resistance of the GaInAsSb photodetector with the increase of passivation process time

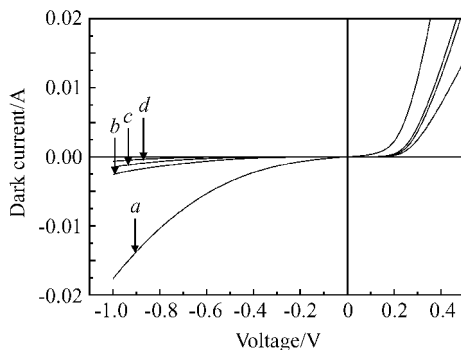


图 4 GaInAsSb 探测器钝化的老化试验曲线 曲线 a: 钝化前; b: 钝化完成瞬时; c: 钝化后 8 天; d: 钝化后 83 天

Fig. 4 Aging results on the sulphur passivated GaInAsSb detector Curves a: Measured before passivation process; b: Measured immediately after passivation process; c: Measured after 8 days exposure; d: Measured after 83 days exposure

探测器的光谱探测率 D_b^* 和峰值探测率 D_λ^* 可以表示为:

$$D_\lambda^* = gD_b^* = \frac{\eta \lambda (q/J_0)^{1/2}}{2hc}$$

其中 J_0 为探测器的暗电流密度.

可见,峰值探测率 D_λ^* 与探测器的暗电流密度 J_0 的 1/2 次方成反比.所以在其他条件不变的情况下,降低探测器的暗电流密度,可以提高探测器的探测率.

为了分析其钝化机理,进行了 AES 元素含量的分析,钝化前后结果分别如图 5 和 6 所示.由 AES 分析结果可知,钝化后 GaInAsSb 外延层表面 S 元素的含量较高,经过 5s 的清洗,表面仍有 37.883%

的含量,随着刻蚀深度的增加 S 元素含量逐渐减少.说明 S 元素仅在表面附近存在,扩散进入到试片中的很少.而经过钝化后 O 元素的含量迅速降低,可能是由于 GaInAsSb 表面氧化层在 $\text{CH}_3\text{CSNH}_2/\text{NH}_4\text{OH}$ 溶液的作用下消失,代之形成了硫化物,从而减少了表面悬挂键,降低了表面态密度,起到了钝化的作用^[9].

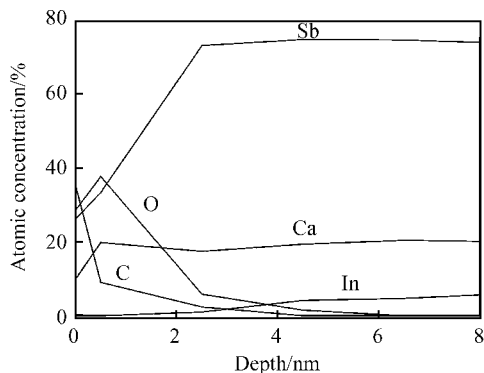


图 5 GaInAsSb 外延片钝化前的 AES 结果

Fig. 5 AES result of an unpassivated GaInAsSb wafer

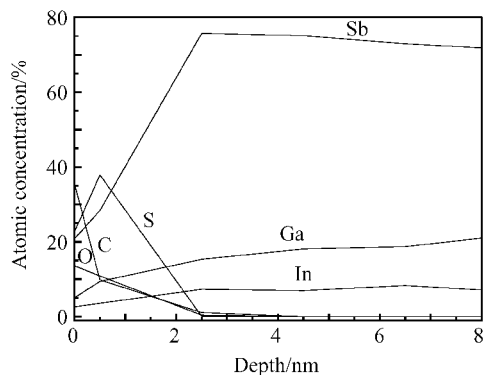


图 6 GaInAsSb 外延片钝化后的 AES 结果

Fig. 6 AES result of a sulfur-passivated GaInAsSb wafer

为了了解 S 元素在 GaInAsSb 外延片表面存在的状态进行了 XPS 分析,其钝化后外延片表面的 XPS 全谱如图 7 所示.图 7 进一步证实了 GaInAsSb 外延片表面经过 $\text{CH}_3\text{CSNH}_2/\text{NH}_4\text{OH}$ 溶液处理以后形成了一层由 Ga_2S_3 , In_2S_3 和 Sb_2S_3 等化合物组成的稳定钝化膜.

4 结论

通过 GaInAsSb 探测器钝化前后 I - V 特性、动

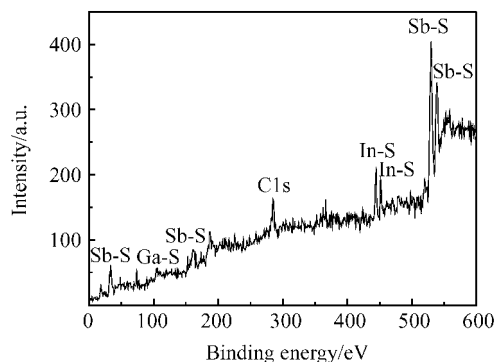


图 7 GaInAsSb 外延片钝化后的 XPS 全谱

Fig. 7 XPS spectrum of a sulfur-passivated GaInAsSb wafer

态电阻的变化、钝化后的常温老化试验分析、钝化前后 GaInAsSb 外延片表面元素含量的深度分析,以及钝化后表面元素成键状况的分析,说明 $\text{CH}_3\text{CSNH}_2/\text{NH}_4\text{OH}$ 溶液是一种理想的钝化溶液.

参考文献

- [1] Wu B H, Xia G Q, Cheng Z Q, et al. GaInAsSb/GaSb long wavelength mid-IR detectors. The 6th International Conference on Solid-State and Integrated Circuits Technology Electronics Proceedings, Shanghai, 2001; 1289
- [2] Lin C, Zheng Y L, Li A Z. Mid-infrared GaInAsSb photodetector grown by solid source molecular beam epitaxy. J Cryst Growth, 2001, 227/228; 605
- [3] Yuan Tian, Chua S J, Jin Yixin. Calculation of R_0A product in n^+n -p and p^+p -n GaInAsSb infrared detectors. Infrared Physics and Technology, 2004, 45; 181
- [4] Andreev I A, Kunitsyna E V, Lantratov V M, et al. Sulfide passivation of GaSb/GaInAsSb/GaAlAsSb photodiode heterostructures. Semiconductors, 1997, 31(6); 556
- [5] Wu Binhe, Xia Guanqun, Li Zhihui, et al. Sulphur passivation of InGaAsSb/GaSb photodiodes. Appl Phys Lett, 2002, 80; 1303
- [6] Zhang X, Li A Z, Lin C, et al. The effects of $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ passivation treatments on the dark current-voltage characteristics of InGaAsSb PIN detectors. J Cryst Growth, 2003, 251; 782
- [7] Li Zhihui, Xia Guanqun, Wu Binhe, et al. Sulphur-passivation mechanism analysis of GaInAsSb photodetectors. J Appl Phys, 2003, 94(3); 1295
- [8] Ali S T, Ghosh S, Bose D N. Ruthenium and sulphide passivation of GaAs. Appl Surf Sci, 1996, 93; 37

$\text{CH}_3\text{CSNH}_2/\text{NH}_4\text{OH}$ Passivation on GaInAsSb/GaSb PIN Infrared Photodetectors *

Liu Yanxiang^{1,2}, Tang Shaoqiu¹, Xia Guanqun², Cheng Zongquan², and Zheng Yanlan²

(1 School of Material Science and Engineering, Hunan University, Hunan 410082, China)

(2 Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050, China)

Abstract: A new low-toxicity sulfur passivation method is developed for GaInAsSb compound detector by $\text{CH}_3\text{CSNH}_2/\text{NH}_4\text{OH}$ solution. Measurement results show reverse currents decrease greatly and dynamic resistance increase up to 25 times, and the passivation result even better after 83 days of passivation, with the equal ideal result of sulphur passivation. AES and XPS are used to analyze the element density with etching depth.

Key words: $\text{CH}_3\text{CSNH}_2/\text{NH}_4\text{OH}$; GaInAsSb; passivation

EEACC: 2520D; 2550E; 4250

Article ID: 0253-4177(2005)S0-0132-04

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China(No. 60176011)

Liu Yanxiang male, was born in 1978, postgraduate. Email: sdliuyanxiang@21cn.com

Received 16 October 2004, revised manuscript received 17 December 2004