

文章编号:1001-5078(2007)增刊-0951-03

微波反射光电导衰退技术在 InGaAs 台面结器件工艺中的应用

吴小利^{1,2}, 张可峰^{1,2}, 唐恒敬^{1,2}, 韩冰^{1,2}, 李雪¹, 龚海梅¹

(1. 中国科学院上海技术物理研究所传感技术国家重点实验室, 上海 200083; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要:微波反射光电导衰退法是一种非接触式的半导体材料少子寿命表征手段, 本文用微波反射光电导衰退法测试了台面 InGaAs 光电器件制备中各单项工艺(刻蚀、腐蚀、硫化)中 InGaAs 样品的少子寿命分布, 结果表明, 离子刻蚀使得样品少子寿命降低, 非均匀性增大, 而湿法腐蚀能够在一定程度上修复离子刻蚀带来的损伤, 损伤区域中心的少子寿命增大, 寿命分布也更加均匀, 硫化钝化能够进一步提高损伤区域少子的寿命, 却使寿命分布均匀性变差。可见, 微波反射光电导衰退法可以简单无损地得到样品少子寿命分布, 对工艺改进具有重要的指导意义。

关键词:微波反射光电导衰退法; InGaAs; 台面; 单项工艺

中图分类号: TN215

文献标识码: A

Application of Microwave Photoconductivity Decay (μ -PCD) Technique in Fabrication Process of InGaAs Mesa Devices

WU Xiao-li^{1,2}, ZHANG Ke-feng^{1,2}, TANG Heng-jing^{1,2}, HAN Bing^{1,2}, LI Xue¹, GONG Hai-mei¹

(1. State Key Laboratories of Transducer Technology, Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The microwave photoconductivity decay (μ -PCD) technique was used to monitor the device process of mesa InGaAs detector, the results showed that ion etching brought great damage to the etched area where the minority carrier lifetime was low and lifetime uniformity of the sample became worse, and wet etching could repair the damage in certain level which resulted in higher lifetime and better uniformity, Sulfur passivation could increase the lifetime of damaged area whereas deteriorate the uniformity of lifetime distribution. The microwave photoconductivity decay (μ -PCD) technique could provide useful information for process improvement of semiconductor device.

Key words: μ -PCD technique; InGaAs; mesa; process

1 引言

In_{0.53}Ga_{0.47}As 光电探测器是一种非常重要的光电器件, 在光纤通讯需求的推动下, 国内 InGaAs 外延材料生长和器件制备都取得很大的进展。同时, 由于 InGaAs 光电器件在室温下有较高的探测率, 在国外 InGaAs 红外焦平面已成功地应用于遥感领域, 如法国的 SPOT4 和 SPOT5 卫星上采用了 3000 元 InGaAs 短波红外扫描焦平面^[1]; 欧洲空间局 (ESA) 新一代的环境卫星 (ENVISAT) 上采用了 1024 元 InGaAs 短波红外扫描焦平面^[2]。而国内的 InGaAs 红

外焦平面器件性能与国际水平相比还存在一定的差距, InGaAs 器件的制备工艺有待进一步提高。

在 InGaAs 器件制备过程中, 对各单项工艺结果的表征和监控是器件制备工艺研究的关键, 而通常的材料表征方法会对材料带来损伤, 而且其结果与器件的性能缺少直接的关联, 所以都无法为工艺研究提供简单有效的监控手段。微波反射光电导衰退

作者简介: 吴小利 (1978 -), 男, 博士生, 主要从事短波红外探测器的工艺研究。E-mail: qiuchong2003@126.com

收稿日期: 2007-06-19; **修订日期:** 2007-07-09

法能够实现半导体材料的非接触式表征,得到材料的少子寿命分布,它广泛地应用于各种半导体材料,如 HgCdTe、Ge/GaAs、掺杂 Si 和离子注入 Si 材料的研究中^[3-5]。InGaAs 光电探测器是基于少数载流子运动的器件,少子寿命是非常重要的参数,它与器件的性能直接关联^[6],因此,微波反射光电导衰退法可以应用于半导体器件的工艺研究中。

本文利用微波反射光电导衰退法对 InGaAs 器件制备过程中几项关键单项工艺进行了表征,从少子寿命及其分布均匀性两个方面考察了各项工艺对器件性能可能的影响,为 InGaAs 器件工艺的改进提供了重要的实验数据。

2 实验

InGaAs 台面探测器所用 P-InP/N-InGaAs/N-InP 结构材料用分子束外延技术生长,结构如图 1 所示,从上至下各层分别为:厚度为 $0.5\mu\text{m}$ 掺 Be 的 P-InP 窗口层, $p \approx 2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$;厚度为 $2.5\mu\text{m}$ 并且与 InP 晶格匹配掺 Si 的 N-In_{0.53}Ga_{0.47}As 吸收层, $n \approx 4 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$;厚度为 $1\mu\text{m}$ 掺 Si 的 N-InP 缓冲层, $n \approx 2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$;2in InP 半绝缘衬底。

用 Ar⁺ 离子刻蚀由光刻胶图形保护的样品表面,得到两个形状相同的台面,如图 2 所示,光刻中采用厚胶,Ar⁺ 离子对光刻胶刻蚀速度缓慢,这样可以有效保护台面结构,刻蚀条件为:刻蚀时间 15min,离子能量 300eV,真空度低于 $6.8 \times 10^{-6} \text{Torr}$ ($1 \text{Torr} = 133.3 \text{Pa}$),氩气工作气压 $1.5 \times 10^{-4} \text{Torr}$,刻蚀温度 10°C 。刻蚀完测量台面高度为 $0.81\mu\text{m}$ 。

湿法腐蚀:刻蚀后 InGaAs 样品选择对 InGaAs 具有选择性腐蚀的 $50\% \text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6:\text{H}_2\text{O}_2 = 5:1$ 的溶液 (35°C),腐蚀由光刻胶保护的样品至缓冲层,如图 3 所示。

硫化:湿法腐蚀后的样品置于 60°C 的 $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ 溶液中处理 20min。

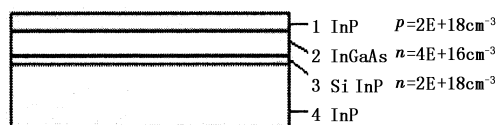


图 1 外延材料结构示意图

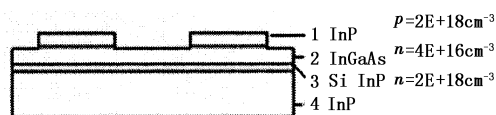
1 - P 型 InP 层;2 - 吸收层;3 - 缓冲层;4 - 衬底

Fig. 1 the structure of epitaxial material;

1 - P-type InP layer;2 - absorbing layer;

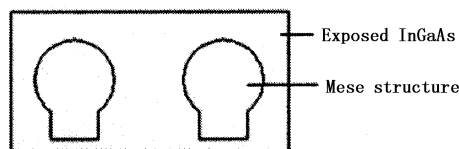
3 - buffering layer;4 - substrate

测量以上单项工艺样品的少子寿命分布,测量仪器为 SEMILAB 公司 WT-2000 微波反射光电导衰退 (μ -PCD) 寿命扫描仪。



(a) 侧面结构

(a) the side face



(b) 正面图形

(b) the top face

图 2 离子刻蚀样品示意图

Fig. 2 the structure of ion etched sample

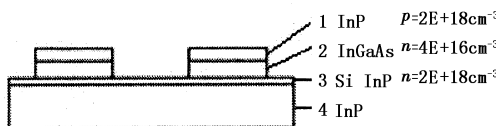


图 3 湿法腐蚀后样品侧面结构示意图

Fig. 3 the side face of wet etched sample

3 结果与讨论

离子刻蚀具有图形转移精度高、各相异性、可控性好等优点,是台面 InGaAs 光电探测器非常重要的工艺,但干法刻蚀会造成晶格损伤,使器件性能降低^[7]。图 4 是离子刻蚀后样品的少子寿命分布图,可以看到,由于离子刻蚀在样品表面引入大量的缺陷使得损伤区域的少子寿命降低,台面中心区少子寿命约为 118ns,刻蚀区中心少子寿命约为 100ns,而且两个台面的少子寿命分布图形也不相同,这将使得最终器件性能均匀性很差。

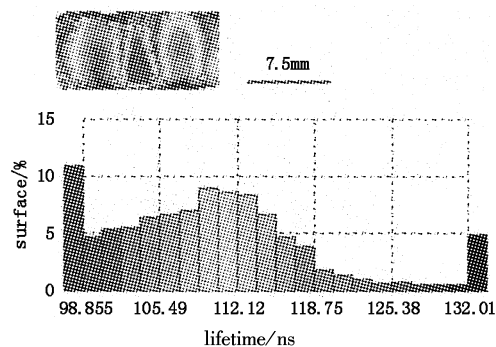


图 4 离子刻蚀样品少子寿命分布图

Fig. 4 the lifetime mapping of ion etched sample

测试结果表明,湿法腐蚀可以在一定程度上修复离子刻蚀带来的损伤^[8],这一修复过程在少子寿命分布图上也得到直接的体现,如图 5 所示,在湿法腐蚀后,台面中心寿命约为 128ns,腐蚀区中心少子寿命约为 130ns。值得一提的是台面区少子寿命在腐蚀后也有所增加,这可能是由于损伤区域少子寿

命提高的缘故。样品的损伤区域包括两部分:台面的侧面和刻蚀区域,在湿法腐蚀过程中,在离子刻蚀中损伤严重的 InGaAs 层被腐蚀掉,留下缺陷较少的 InP 层,使得这一区域少子寿命有所提高,而台面侧面的损伤也得到一定程度的修复。可能是因为少子的迁移,使得损伤区与未损伤区在电学上成为相互影响的整体,这样损伤区域少子寿命的提高致使台面区域寿命的提高,其具体机制尚需进一步研究。而且,少子寿命分布与离子刻蚀的结果相比也更加地均匀。

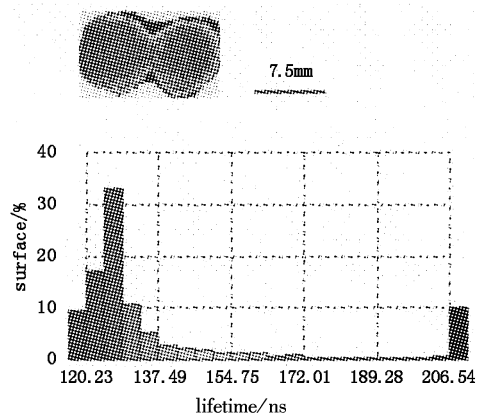


图5 湿法腐蚀样品少子寿命分布图

Fig. 5 the lifetime mapping of wet etched sample

硫化是Ⅲ-V族半导体表面钝化的非常重要工艺手段^[9-10],硫化物的水溶液可以有效地去除Ⅲ-V族半导体材料表面本征氧化层并能将其活性表面钝化。图6为硫化后样品的少子寿命分布图,台面中心的寿命约为129ns,而InP层中心的寿命约为150ns,结果显示,硫化对损伤区域的少子寿命影响很大,其钝化作用较为明显,可是,少子寿命分布却更为离散,这说明钝化过程有可能引入对器件性能的不利因素,如均匀性变差。

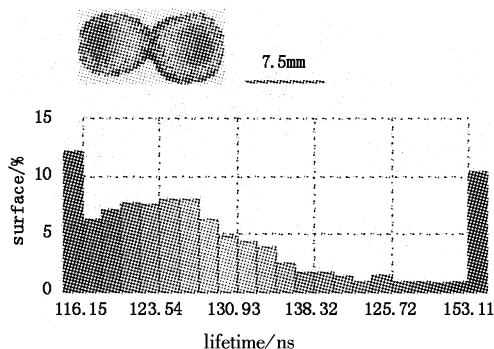


图6 硫化样品少子寿命分布图

Fig. 6 the lifetime mapping of sulfur passivated sample

4 结论

用微波反射光电导衰减法分别测试了刻蚀、

腐蚀、硫化单项工艺中 InGaAs 样品的少子寿命分布,从少子寿命及其分布均匀性两方面考察各工艺对器件性能可能的影响,结果表明,离子刻蚀使得样品少子寿命降低,非均匀性增大,而湿法腐蚀能够在一定程度上修复离子刻蚀带来的损伤,进一步的硫化钝化能够提高损伤区域少子的寿命,却使寿命分布均匀性变差。可见,微波反射光电导衰减法可以简单无损地得到样品少子寿命分布,能够对器件制备工艺过程进行监控,对工艺改进具有重要的指导意义。

参考文献:

- [1] Moy J P, Hugon X, Chabbal J, et al. 3000 InGaAs photodiode multiplexed linear array for the spot 4 SWIR channel [C]. // SPIE, 1989, 1107: 137-151.
- [2] Hoogeveen R W M, van der A R J, Goede A P H. Extended wavelength InGaAs infrared (1.0-2.4 μm) detector arrays on Sciamachy for space-based spectrometry of the Earth atmosphere [J]. Infrared Physics & Technology, 2001, 42: 1-16.
- [3] Chen M C. Photoconductivity lifetime measurements on HgCdTe using a contactless microwave technique [J]. J. Appl. Phys., 1988, 62(2): 946-947.
- [4] Ichimura M, Hirano M, Tada A, et al. Characterization of Si wafers by μ-PCD with surface electric field [J]. Mat. Sci. Eng. B, 2000, 73: 230-234.
- [5] Sontag D, Hahn G, Geiger P, et al. Two-dimensional resolution of minority carrier diffusion constants in different silicon materials [Z]. Sol. Energ. Mat. Sol. C., 2002, 72: 533-539.
- [6] Sze S M. Physics of Semiconductor Devices [M]. New York: Wiley, 1981.
- [7] van der Drift E, Cheung R, Zijlstra T. Dry etching and induced damage [J]. Microelectron Eng, 1996, 32: 241-245.
- [8] 吕衍秋, 越方禹, 洪学鹏, 等. Ar⁺离子刻蚀对 InGaAs、n-InP 和 p-InP 表面损伤及消除 [J]. 半导体学报, 2007, 28(1): 70-74.
- [9] Zhang X, Li A Z, Lin C, et al. The effects of (NH₄)₂S passivation treatments on the dark current-voltage characteristics of InGaAsSb PIN detectors [J]. Journal of Crystal Growth, 2003, 251: 782-786.
- [10] Jaouad A, Aimez V, Aktik C, et al. Fabrication of (NH₄)₂S passivated GaAs metal-insulator-semiconductor devices using low-frequency plasma-enhanced chemical vapor deposition [J]. J. Vac. Sci. Technol. A, 2004, 22(3): 1027-1030.