

文章编号: 1672-8785(2009)07-0014-04

InSb 晶片化学抛光研究

程 鹏 王燕华 赵 超 孔忠弟

(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘 要: 机械抛光会给 InSb 晶片表面造成一定程度的机械损伤, 增加表面的粗糙度, 从而影响器件的性能。化学抛光可以有效地去除表面划痕, 改善晶片的表面形貌, 降低粗糙度。用低浓度的溴-甲醇溶液对机械抛光后的 InSb 晶片进行了化学抛光, 并对化学抛光前后的 InSb 晶片进行了表面形貌、总厚度偏差 (TTV)、粗糙度、表面组分和杂质对比分析。实验结果表明, 用低浓度的溴-甲醇溶液对 InSb 晶片进行化学抛光, 腐蚀速率平稳且容易控制, 能有效去除表面划痕, 从而得到光滑、平坦的表面。晶片表面的粗糙度为 6.443nm, TTV 为 3.4 μ m, In/Sb 原子比接近 1。与传统的腐蚀液 CP4-A、CP4-B 相比, 用低浓度的溴-甲醇溶液对 InSb 晶片进行化学抛光, 可以获得更低的表面粗糙度和 TTV, 且 In/Sb 的原子比更接近于 1。

关键词: InSb; SEM; 溴-甲醇; 化学抛光

中图分类号: TN213 **文献标识码:** A

Study of Chemical Polishing of InSb Wafers

CHENG Peng, WANG Yan-hua, ZHAO Chao, KONG Zhong-di

(North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)

Abstract: Mechanical polishing can result in mechanical damage at the surface of an InSb wafer to a certain extent, increase the surface roughness of the wafer and affect the performance of the final device. However, chemical polishing can remove the surface scratch of the wafer and decrease the surface roughness. The InSb wafer is polished mechanically and further polished with a low concentration Br₂-MeOH solution. The morphology, total thickness variation (TTV), roughness, surface composition and impurity of the polished and unpolished InSb wafers are compared. The result shows that when the InSb wafer is polished with a low concentration Br₂-MeOH solution, the erosion rate is stable and can be controlled easily and the surface scratch can be removed effectively and hence a flat mirror-like surface can be obtained. The chemically polished wafer has its surface roughness of 6.443nm, a TTV of 3.4 μ m and an atomic ratio of In/Sb close to unity. Compared with the traditional CP4-A and CP4-B etching solution, the low concentration Br₂-MeOH solution is more suitable for polishing the InSb wafers chemically.

Key words: InSb; SEM; Br₂-MeOH; chemical polishing

1 引言

InSb 是一种窄禁带 III-V 族化合物半导体材料, 由于具有狭窄的禁带宽度和高电子迁移

率等特点^[1], 在制造红外探测器和霍尔器件等方面有着广泛的应用。InSb 红外探测器由于在军事方面具有重要应用, 在民用方面前景广阔, 引起了越来越广泛的关注^[2]。InSb 红外光电探

收稿日期: 2009-03-05

作者简介: 程鹏 (1981-), 男, 山东聊城人, 硕士, 主要从事铋化锑晶体生长的研究。E-mail: inter311@gmail.com

测器的性能, 尤其是阻抗, 除了与 P-N 特性有关外, 还与表面状态直接相关。InSb 抛光片表面的划伤、粗糙度和平整度对 InSb 器件的性能有很大的影响^[3]。其中表面粗糙度的增加会使器件噪声增大, 另外还会使表面悬挂键密度变大, 使表面吸附力增强, 更容易吸附金属离子, 造成电性能下降, 漏电流增大, 从而影响器件的性能^[4,5]。机械抛光是利用受压的 InSb 晶片表面和抛光衬垫之间的摩擦作用进行的, 这种摩擦将不可避免地给抛光片的表面造成一定程度的机械损伤。而 InSb 材料与其他半导体材料相比硬度更小, 所以机械抛光后的粗糙度会比较大。为了消除这种机械损伤, 需要对晶片进行化学抛光。

本文对经过机械抛光后的 InSb 晶片进行了化学抛光, 并通过对比两者的扫描电子显微镜 (SEM) 图片、能谱、粗糙度和 TTV, 分析了化学抛光对 InSb 晶片表面的影响。

2 实验

2.1 实验原理

常用的腐蚀液为 CP4-A ($\text{HF}:\text{HNO}_3:\text{HAc}=5:3:3$) 和 CP4-B ($\text{H}_2\text{O}:\text{HF}:\text{HNO}_3:\text{HAc}=1:2:3:4$) 两种^[6]。这两种腐蚀液虽然在条件控制得当的时候也能获得较好的抛光表面, 但是由于其腐蚀速度很快, 在腐蚀过程中常常会有大量气体析出, 而且极易氧化^[7], 使得表面平整度较差, 这对制备高质量的 InSb 红外探测器是极为不利的。半导体工艺中另一种常用的腐蚀液是溴-甲醇 ($\text{Br}_2\text{-MeOH}$), 其腐蚀机理为: 铟原子与锑原子化合生成 InSb 晶体, 它们的外层电子轨道交叠后会形成 sp 杂化轨道, 即闪锌矿结构。在 InSb(111) 面上, 表面原子键合键被打破, 具有极性, 处于不稳定状态。这样, 铟原子就容易被氧原子氧化, 从而生成可溶物。另一方面, 溴原子又是一种强氧化剂, 能将铟原子的外围电子拉到自己一边, 使其氧化, 生成可溶物, 因而能使这一反应持续下去。其腐蚀速率会随 Br_2 含量增加而提高, 在 Br_2 组分低的一端基本上呈线性关系。对溶液进行搅拌也可使腐蚀速率得到提高, 但腐蚀速率与温度的依存关系不明显。溴-甲醇溶液具有极好的抛光性能, 但

也容易使片子发生塌边现象。同时, 溴-甲醇对 InSb 的择优腐蚀会造成晶片表面粗糙度上升。为了控制腐蚀速率, 我们选择浓度较低的溴-甲醇溶液进行了实验, 并缩短了腐蚀时间。我们将腐蚀厚度控制在 $1\mu\text{m}$ 以下, 以保持抛光表面的平整, 从而减少了因化学腐蚀造成的表面粗糙度上升以及塌边等现象。

2.2 实验过程

实验样品选用 2in (111) 晶向的 n 型 InSb 晶片, 出于后面器件制作的需要, 选择 In 面作研磨、抛光的表面。对研磨后的样品, 分别以 200nm 和 20nm 的 SiO_2 颗粒进行粗抛和精抛, 将其表面机械抛光成镜面。然后用分析纯以上的化学试剂, 配出浓度为 0.3% 的溴-甲醇溶液, 并搅拌均匀。抛光腐蚀时, 搅拌速度设定为 $50\sim 100\text{rpm/s}$ 。抛光结束后, 保证晶片表面不被氧化。

3 结果分析

3.1 表面形貌

图 1 所示为用 SEM 拍摄的 InSb 样品的表面形貌。图 1(a) 和图 1(b) 分别为以 200nm 和 20nm 的 SiO_2 颗粒进行粗抛和精抛后的样品。从图 1(a) 中我们可以明显地看出条纹状的机械刮擦痕迹, 表面比较粗糙, 而图 1(b) 表面已经比较平整, 但依然可以清晰地看到表面上的机械刮痕。经化学抛光后, 划痕已经完全消失, 如图 1(c) 所示, 表面光亮, 整洁。图 1(d) 和图 1(e) 分别为精抛和化学抛光样品在高倍率 (3000 倍) 下的表面形貌图。可以看到, 机械抛光形成的表面比较粗糙, 有许多颗粒状突起物; 经化学抛光以后, 这些小突起物完全消失, 晶片表面变得光滑而平整。

3.2 TTV 及粗糙度

一般认为, 溴-甲醇溶液具有极好的抛光性能, 因而也容易使晶片发生塌边, 并且溴-甲醇对 InSb 的择优腐蚀会造成晶片表面粗糙度上升。为了进一步了解化学抛光对 InSb 晶片表面的影响, 我们又分别测试了化学抛光前后样品的 TTV 和粗糙度 (见表 1)。结果显示, 化学抛光后的晶片既没有发生塌边, 也没有造成晶片表面 TTV 和粗糙度恶化。这是因为通过控制溴-甲醇溶液的浓度可以使反应速度达到理想的状

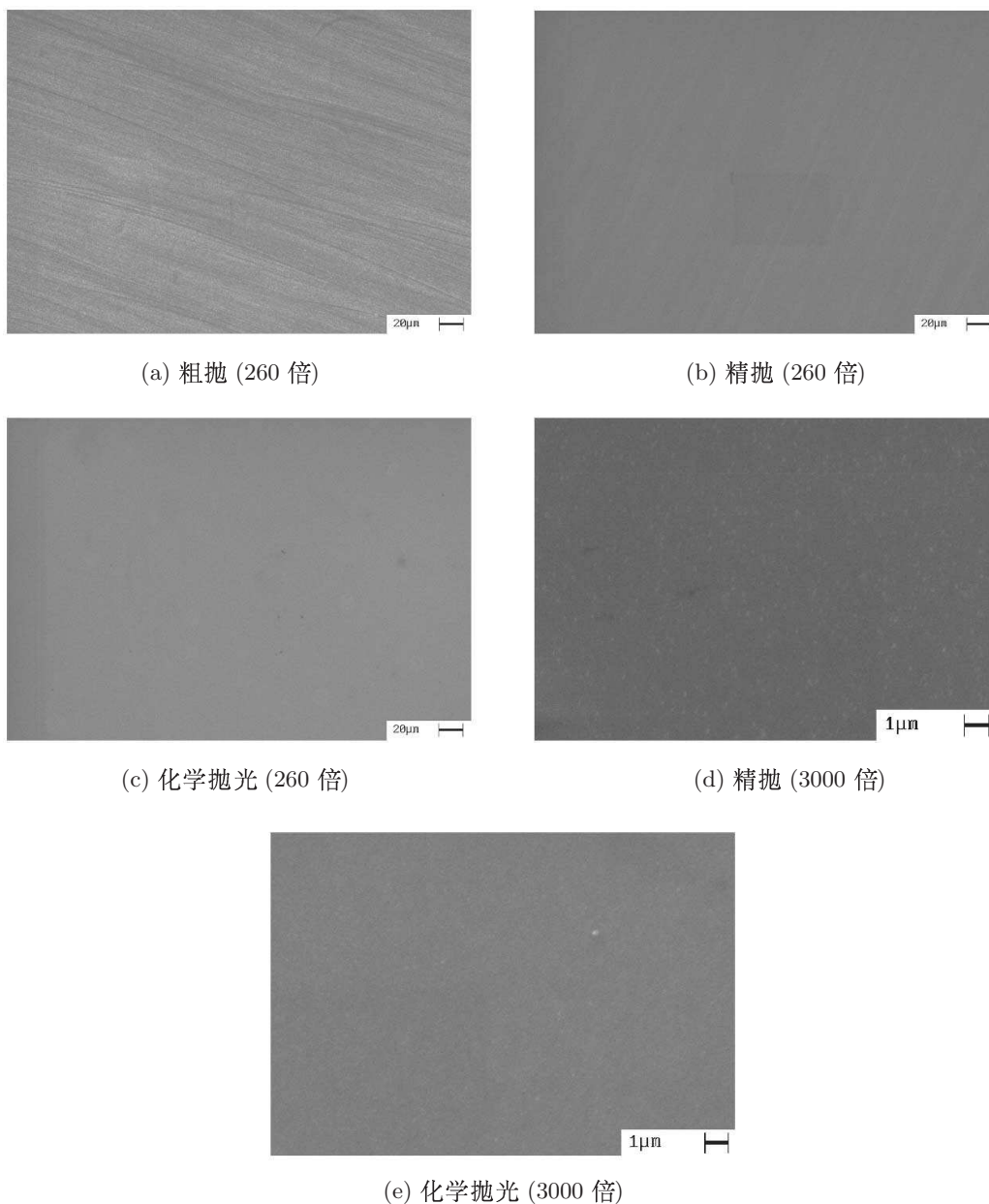


图 1 化学抛光前后的 SEM 表面形貌图

态,使反应局限在机械抛光造成的表面破坏层及其下很浅的区域,从而把化学反应对晶片 TTV 及粗糙度的影响降低到最小程度。同时,在抛光过程中,对溶液进行平稳而快速的搅动可及时带走样品表面的反应物,使反应稳定地进行下去,而且还可消除因反应不均匀而造成的浓度梯度,使各处的反应速度趋于一致,从而减小由择优腐蚀造成的影响。而快速流动的液体在样品表面的刮擦也可起到平整表面的作用。

3.3 组分和杂质检测

在半导体器件工艺中,材料表面的性质对器件的制造和器件的性能具有极其重要的影响。为了成功地制造化合物半导体器件,必须满足与半导体表面有关的两条重要准则:一条是表面必须无污染物质,另一条是表面成分必须符合化学计量比^[8,9]。而有文献指出,经酸性腐蚀液处理过的 InSb 晶片表面富集 In,这对获得优良的红外探测器极为不利^[10]。为了了解 InSb 晶片的几种表面性质,我们对实验样品进行了组分和杂质检测。

表 2 列出了对化学抛光前后的样品表面的检测结果。可以发现, 两者表面的 In/Sb 原子比都大于 1, 但在化学抛光以后, In/Sb 的原子比略有下降, 接近于 1。这个结果对于制备优良的红外探测器是有利的。机械抛光时残留在样品表面的 Si 和 C 原子经过化学抛光后已经无法检测到了, 说明溴 - 甲醇溶液对 InSb 抛光表面有较好的清洗作用。另外, 在化学抛光以后的表面上, 除了 N 杂质以外, 没有观察到明显的 O 元素。可以认为样品表面并没有明显的氧化层。

表 1 化学抛光前后的样品的 TTV 和粗糙度

样品	TTV (μm)	粗糙度 (nm)
化学抛光前	3.4	6.692
化学抛光后	3.4	6.443

表 2 化学抛光前后的样品的表面组分和杂质

样品	In/Sb	In(%)	Sb(%)	杂质
抛光前	1.03	50.73	49.27	Si、C、N
抛光后	1.01	50.22	49.78	N

4 结论

用低浓度溴 - 甲醇溶液对 InSb 晶片进行了化学抛光, 并测试了样品的表面形貌、TTV、粗糙度、表面 In/Sb 原子比和表面杂质。结果表明, 化学抛光成功地去除了机械抛光产生的表面划痕, 清除了残留在表面的杂质, 获得了清洁而平整的表面, 同时并没有造成表面的 TTV 和

粗糙度增大; 化学抛光以后, 表面 In/Sb 的原子比接近于 1, 这对制备性能优良的红外器件是有利的。

参考文献

- [1] HAMIDREZA S. Optimisation of cooled InSb detectors [J]. *III - V s Review*, 2004, **17**(7): 27-31.
- [2] 江峰. 军用夜视技术及其对抗的措施 [J]. *红外*, 2008, **29**(7): 32-36.
- [3] SHIGEOMI H, YOSHITAKA K, IKUO K, et al. First detection of gamma-ray peaks by an undoped InSb Schottky detector [J]. *Nuclear Inst and Methods in Physics Research*, 2006, **559**(2): 143-146.
- [4] OSZWALDOWSKI M, BERUS T. Doping of InSb thin films with lead [J]. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 2000, **61**(6): 875-885.
- [5] WADE T L, VAIDYANATHAN R, HAPPEK U, et al. Electrochemical formation of a III - V compound semiconductor superlattice: InAs/InSb [J]. *J Electroanal Chem*, 2001, **500**(1-2): 322-332.
- [6] 孙则, 宋泉珍. InSb 表面电子能谱研究 [J]. *激光与红外*, 1984, **3**: 57-60.
- [7] 陆春明, 李深, 董国胜, 等. 化学腐蚀和硫处理对 InSb(111) 表面的影响 [J]. *物理学报*, 1992, **41**(4): 675-682.
- [8] 雷胜琼, 张星灿. 化学抛光 InSb 晶片的扫描电镜观测 [J]. *半导体光电*, 1992, **13**(3): 239-343.
- [9] 翟树礼. 铋化铟表面腐蚀和清洗方法的俄歇评价 [J]. *红外与激光工程*, 1983, **3**: 39-44.
- [10] 于福聚, 张月琴. 化学腐蚀对铋化铟表面的影响 [J]. *红外研究*, 1984, **3**(2): 111-116.

简讯 News

数字式辐射计

美国光谱探测器公司推出 Trap 系列数字式辐射计和焦耳计, 它们的光谱测量范围为 0.25 至 15 μm , 响应的不均匀性和测量的不确定性都小于 1%。整个测量系统被装在一个紧凑的探测器盒内, 探测器盒经由 USB

端口供电, 用户也可以通过 USB 端口把探测器盒与 PC 机连接起来。配置的 Labview 软件保证系统具有单通道和双通道测量能力, 并提供了强大的自动例行程序以及先进的数据采集、统计和图示功能。辐射计由一个大面积的热释电探测器和一块大面积的宽带反射镜构成, 两者相对形成一个 15° 的楔形结构。这样的结构能使 99% 的入射光被吸收并得到测量。

□ 顾聚兴