

文章编号: 1672-8785(2012)07-0034-05

InSb 晶片清洗研究

赵 超 于增辉 程 鹏

(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘 要: 随着红外探测器件制备工艺的不断发展, 人们对 InSb 晶片表面质量的要求也越来越高, 但是晶片在生产过程中不可避免地会引进各种杂质。研究了一种利用兆声超声并结合药液去离子水清洗 InSb 晶片的方法, 并对清洗后的 InSb 晶片进行了表面颗粒度、表面有机物和表面粗糙度等方面的测量。实验结果表明, 该方法能够有效去除 InSb 晶片表面的颗粒、有机物和金属离子杂质, 但是也会略微增大晶片表面的粗糙度。

关键词: InSb; 兆声; SC-1; 表面颗粒度; 表面粗糙度

中图分类号: TN213 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2012.07.008

Research on Cleaning of InSb Wafers

ZHAO Chao, YU Zeng-hui, CHENG Peng

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

Abstract: With the rapid development of the fabrication technology of infrared detecting devices, more and more strict requirements are put forward to the quality of the surface of InSb wafers. However, various impurities are inevitably introduced in the wafer production process. A method for cleaning InSb wafers is studied. In the method, the Megasonic and ultrasonic techniques are combined with the deionized water. After cleaning, the particles and organic matter on the wafer surface and the surface roughness are measured. The experimental result shows that this method can remove the particles, organic matter and metal ion impurities on the surface of InSb wafers effectively. But it can also increase the surface roughness of InSb wafers slightly.

Key words: InSb; Megasonic; SC-1; particle size of surface; roughness of surface

0 引言

InSb 是一种 III - V 族化合物半导体材料, 它具有电子迁移率极高、禁带宽度小和电子有效质量很小等独特的半导体性质^[1], 因而在红外探测、大面积红外焦平面阵列探测器以及霍耳器件等领域具有重要的应用价值和前景^[2]。随着锑化铟红外探测器的不断发展, 像元数的不断增加以及线宽的不断减小^[3], 人们对锑化铟晶片的质量要求也越来越高, 特别是对锑化铟抛光片表面质量的要求越来越严。抛光片表

面的颗粒、金属沾污、有机物沾污、自然氧化层和表面粗糙度等会严重影响器件的性能、可靠性、稳定性和成品率, 因此锑化铟晶片的表面清洗就成了锑化铟器件生产中至关重要的一个环节^[4]。

在锑化铟晶片生产中, 切割、研磨和 CMP 等工艺需要大量使用各种粘接胶、磨料、冷却液、抛光蜡以及抛光液等化学品, 不可避免地会给晶片带来各种沾污。一般讲来, 晶片表面沾污可以分为有机杂质沾污、颗粒沾污和金属离子

收稿日期: 2012-06-06

作者简介: 赵超(1986-), 男, 山东临沂人, 学士, 主要从事锑化铟材料方面的研究。E-mail: zhaochaod@163.com

沾污三大类^[5]。通常, 颗粒粘附在晶片表面时会影响下一工序的几何特征形成及电特性。有机杂质沾污通常会在晶片表面形成有机物薄膜(阻止清洗液到达晶片表面), 导致金属离子沾污无法去除^[6]。而且晶片用作衬底时会导致外延片表面出现白斑等(蜡和有机溶剂是其重要的污染源)。金属离子沾污会导致 P-N 结上的漏电流增加和少数载流子的寿命减少, 从而严重影响器件的稳定性和可靠性^[7]。高质量免洗抛光片应该尽量减少这三类沾污。以外延对衬底表面质量的要求为例, 表面直径大于 $0.3\ \mu\text{m}$ 以上的颗粒必须少于 $10\ \text{个}/\text{cm}^2$, 金属离子污染物的个数必须控制在 $10^{10}/\text{cm}^2$ (甚至更少)^[6]。

1 实验原理

1.1 清洗原理

根据颗粒与表面的粘附情况分析, 其粘附力虽然表现出多样化, 但主要还是范德瓦尔斯吸引力, 所以对颗粒主要是用物理或化学方法进行底切, 并逐渐减小其与晶片表面的接触面积, 最终将其去除。有机物与金属离子也是吸附在晶片表面的。污染物的清洗可用物理方法和化学方法进行。物理方法主要包括接触式表面清洗和非接触式表面清洗。非接触式表面清洗有超声清洗和兆声清洗两种。超声波清洗的频率一般为 $20 \sim 40\ \text{kHz}$ 。该方法利用空化效应产生高达数千个大气压的冲击压力和局部高温, 然后在超声波媒液的搅拌作用下使附着污染物脱离表面。这种方法主要用于清洗较大的颗粒沾污。兆声清洗采用高频 ($0.8 \sim 1.0\ \text{MHz}$) 交流电激励压电陶瓷晶体, 使其产生振动。随后振动产生兆声波, 使晶片表面附近产生薄的声学边界层, 并在溶液中产生压力振动以及超高频的高能量, 从而产生极大的声压梯度、粒子速度以及声流作用等。此时, 晶片表面吸附的污染物及微粒被强制去除并进入清洗溶液中。清洗溶液处在不停地从底往上流动和过滤循环中(见图 1)。由于频率过高, 空化作用在清洗中不起主要作用, 而主要用于清洗较小的颗粒沾污^[8]。另外, 据研究

发现, 兆声清洗的效率比机械擦洗或化学清洗高 4 倍左右, 所用化学试剂是一般清洗方法用液的 $1/8$ 左右, 而且在达到相同去污效果的情况下可明显降低清洗用化学药液的作用液温^[9]。化学方法主要有以下几种: 一是将氧化剂与腐蚀剂作用于晶片表面, 使其产生氧化层-腐蚀-氧化层-腐蚀反应; 如此反复进行, 附着在晶片表面的颗粒和一部分金属离子杂质便会随着腐蚀层落入清洗液内。二是使用强氧化剂使附着在晶片表面的金属氧化成金属离子, 并溶解在清洗液中或吸附在晶片表面。然后用无害的小直径正离子(如 H^+) 替代吸附在晶片表面的金属离子, 使之溶解于清洗液中^[9]。除了以上物理与化学方法之外, 清洗用去离子水的电阻率越高(相应地, 金属离子含量更低), 清洗效果越显著, 所以在清洗过程中还应使用大量高阻率去离子水进行多遍的超声清洗, 以排除溶液中的金属离子, 并增加晶片表面颗粒和有机杂质的去除效果^[5]。另外, 清洗液的温度越高, 表面颗粒的清洗效果越好, 而且 $70 \sim 80\ ^\circ\text{C}$ (兆声作用下为 $40\ ^\circ\text{C}$ 左右) 时到达去除效果的峰值^[10], 所以有必要提高清洗液的作用液温。

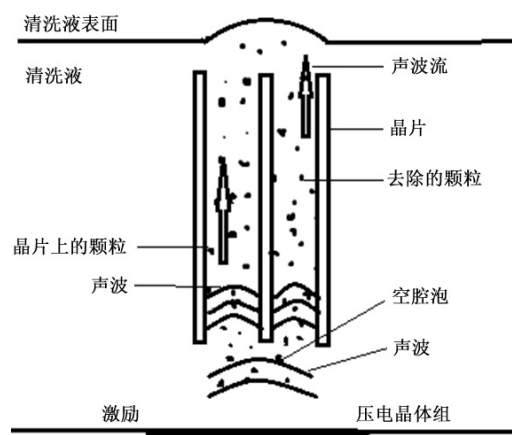


图 1 兆声清洗的原理示意图

1.2 清洗方法设计

CMP 工艺中使用的液态蜡会导致晶片背面及边缘有大量的蜡残留, 从而影响其它沾污的清洗。清洗的第一步就是去除这些残留蜡。通常采用的工艺是用有机溶剂进行浸泡, 使蜡溶解或

者用专用的去蜡水进行超声去蜡。但由于现在的 KILALA 301 去蜡水呈碱性并有弱腐蚀性, 抛光片表面的 In/Sb 元素化学计量比会发生偏移, 从而改变表面的微观形貌。而液态蜡在异丙醇中的溶解度很高, 但异丙醇为中性有机溶剂, 又极易溶于水, 因此对残留蜡须采用 CMOS 级异丙醇进行多遍超声清洗。第二步, 采用 SC-1 药液结合兆声进行清洗。SC-1 溶液采用 $\text{NH}_4\text{OH} : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O}=1:1:5$ 的比例, 将液温设置在 $40\text{ }^\circ\text{C}$ 。用化学清洗方法中氧化剂与腐蚀剂相配合的剥离方法有效去除表面颗粒、有机杂质和部分金属离子沾污。第三步, 因为前一步使用的 SC-1 药液只能去除一部分金属离子沾污, 而且其氧化性会在晶片表面形成一层氧化层, 剩余的金属离子还会因为在碱性溶液里产生吸附作用而被吸附在新产生的氧化层的表面上。传统的晶片清洗工艺通常是用 SC-2 ($\text{HCL}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=1:1:6$) 药液去除金属离子杂质的。但是我们的实验证明, InSb 晶片使用这种药液后表面会严重氧化。原因可能是 InSb 易与酸碱产生反应并且容易被氧化^[11], 所以我们采用弱酸、无氧化剂的药液并且同样结合使用液温为 $40\text{ }^\circ\text{C}$ 的兆声清洗方法。金属离子附着现象容易发生在碱性清洗液中, 而不易发生在酸性溶液中, 所以该方法对晶片表面的金属离子杂质具有较强的去除能力。药液的主要成分为 HCl。HCl 产生的无害 H^+ 离子能有效地替代吸附在晶片表面的金属离子, 使之溶解于清洗液中。另外, 盐酸中的氯离子与残留金属离子产生络合反应后会形成易溶解于水溶液的络合物^[9]。弱酸性药液不仅能够腐蚀掉晶片表面的氧化层, 而且还能使吸附在氧化层表面的金属离子随氧化层一同去除。在清洗过程中合理安排清洗顺序并在两个药液清洗步骤中插入多步高阻率去离子水溢流浸泡清洗, 可更有效地去除药液残留和沾污残留。第四步是采用异丙醇脱水与干燥技术, 即利用 CMOS 级异丙醇加热气化、蒸发及表面张力的作用使晶片脱水 (见图 2)^[9]。这样可有效地干燥晶片, 使其不留有水迹, 同时还可避免干燥过程给晶片带

来二次沾污。

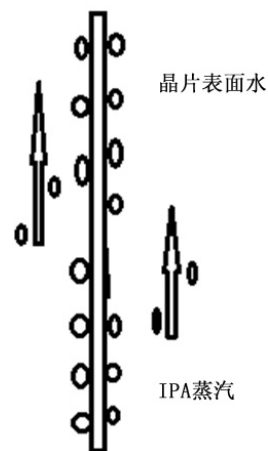


图 2 IPA 干燥的原理示意图

2 实验过程

实验样品为经过正常抛光处理的 2 in (111) 晶向 n 型 InSb 晶片。采用多槽溢流型清洗设备对其进行清洗, 以保证有大量足够的流动去离子水清洗晶片表面。按照设计的清洗方法依步骤清洗晶片。在每次用清洗液清洗后, 添加超声去离子水清洗步骤以去除残留的清洗液, 从而更有效地去除颗粒、有机物和金属离子沾污。

3 实验结果与分析

3.1 表面颗粒度

表 1 和图 3 所示为用 Reflex TT 颗粒度测试仪得到的清洗后晶片表面颗粒度的状态。测试结果表明, 此清洗方法在晶片表面上存在 $0.2\text{ }\mu\text{m}$ 以上和 $0.2\text{ }\mu\text{m}$ 以下粒径的颗粒时都有非常好的清洗作用。而且根据图 1 中晶片表面剩余颗粒的分布情况 (除两处明显的晶片划道与缺陷外) 可知, 此清洗方法可以均匀地清洗晶片表面并且不会引起颗粒聚集。这可能是在清洗过程中利用 $40\text{ }^\circ\text{C}$ 的 SC-1 药液结合兆声清洗并加上多道去离子水超声清洗的结果。InSb 表面在 H_2O_2 氧化作用下会生成氧化膜。该氧化膜又会被 NH_4OH 腐蚀, 腐蚀后又被氧化 (氧化与腐蚀反复进行)。因此, 附着在晶片表面的颗粒也会随着腐蚀层而落入清洗液中。在超声波清洗中, 超声利用的是溶

液空洞效应气蚀作用产生的能量。对粒子施加的能量 (W) 可以描述为

$$W \propto Af^2d^3 \quad (1)$$

式中, f 为频率, d 为粒子直径。由此可见, 粒子越大, 得到的能量越大, 脱离越容易发生。所以超声波对于较大粒子污染杂质的去除作用比较明显, 但是随着粒子尺寸的减小, 其清洗效果

逐渐下降。对于 $0.2 \mu\text{m}$ 以下的纳米级污染物, 它就难以去除, 而且该频率下产生的驻波容易对片子造成损伤。与兆声清洗相比, 超声波清洗难以清除粒径小于 $1 \mu\text{m}$ 的微粒。但是兆声波利用的是液分子加速度产生的能量, 对表面损伤较小, 可去除粒径在 $0.2 \mu\text{m}$ 以下的粒子^[8]。所以本文提出的清洗方法对于去除颗粒具有显著的效果。

表 1 清洗后的晶片表面颗粒度

粒径 / μm	0.15 ~ 0.17	0.17 ~ 0.20	0.20 ~ 0.22	0.22 ~ 0.25	0.25 ~ MAX
数量	26	20	2	3	5

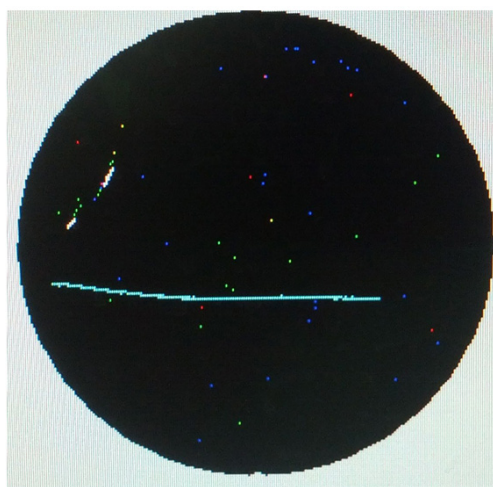


图 3 清洗后晶片表面颗粒的分布图

3.2 表面有机物

经 SEM 测试, 晶片表面基本上观测不到明显的 C 元素, 而且也观测不到明显的 O 元素, 说明此清洗方法对有机物 (C) 的清洗作用明显, 而且其中的弱酸性药剂对晶片表面氧化层的去除作用明显^[12]。这可能是由于 H_2O_2 的强氧化作用和 NH_4OH 的溶解作用, 有机物沾污得到溶解并随去离子水的冲洗而被去除了。

3.3 表面粗糙度

表 2 和图 4 所示为用白光干涉仪得到的晶片表面粗糙度结果。结果表明, 清洗后晶片表面的粗糙度略微变差了, 其主要原因可能是 SC-1

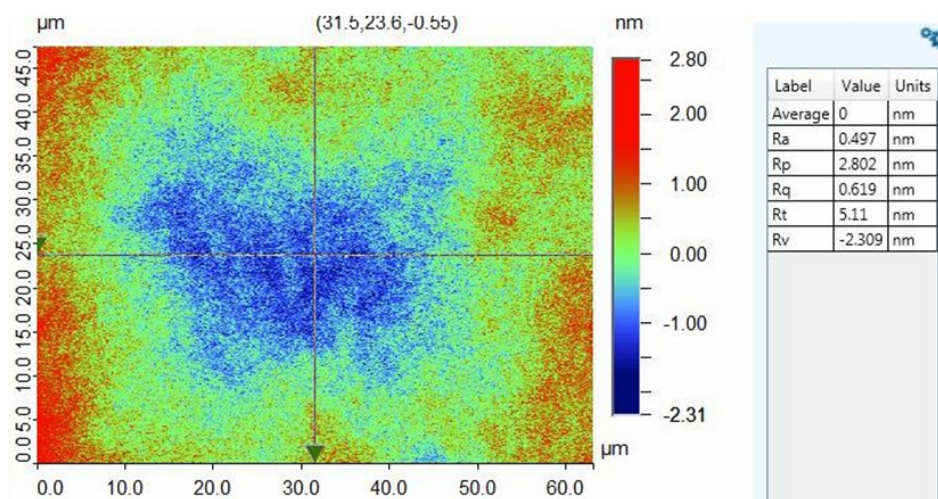


图 4 清洗后晶片表面粗糙度的着色标记图

药液与第二步中的弱酸溶液对晶片表面产生了腐蚀作用。但是由于晶片表面粗糙度的变化数值不大, 我们基本上可以忽略其对器件的影响。

表 2 清洗前后的晶片表面粗糙度和 TTV

晶片	粗糙度 /nm	TTV/ μm
清洗前	0.3	3.5
清洗后	0.497	3.5

4 结论

使用本文方法有效去除了抛光后的 InSb 晶片的表面颗粒、有机物和金属离子沾污, 而且引进的新杂质极少。不足之处是, 晶片表面的粗糙度略微变差了。我们以后可以继续通过改进清洗过程中的药液配比来改善其对晶片粗糙度的影响。本文为后续的红外器件生产打下了坚实基础, 并且为下一步生产开盒即用型 InSb 晶片及 InSb 外延衬底做好了准备。

参考文献

- [1] Hamidreza S. Optimisation of Cooled InSb Detectors [J]. III - V s Review, 2004, 17(7): 27-31.

- [2] 陆春明, 李深, 董国胜. 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.
- [3] Nesher O. High Resolution 1280*1024, 15 μm Pitch Compact InSb IR Detector with On-chip ADC [C] SPIE, 2009, 7298: 72983K.
- [4] 陈亚楠. 硫酸在硅抛光片清洗中的作用研究 [J]. 天津科技, 2011, 25(1): 41-42.
- [5] 宋泉珍. 离子探针分析锑化铟器件表面沾污 [J]. 红外与激光技术, 1987, 8(4): 14-19.
- [6] 李仁. 半导体 IC 清洗技术 [J]. 半导体技术, 2003, 28(9): 44-47.
- [7] 王云彪, 赵权, 牛沈军, 等. LED 用 GaAs 抛光片清洗技术研究 [J]. 半导体技术, 2009, 34(5): 446-458.
- [8] 雷红. CMP 后清洗技术的研究进展 [J]. 半导体技术, 2008, 33(5): 369-373.
- [9] 张厥宗. 硅单晶抛光片的加工技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [10] 史梦然, 赵建忠. InSb CMP 超精密加工表面吸附物控制技术研究 [C]. 北京: 全国光电子与量子电子学技术大会论文集, 2011.
- [11] 翟树礼. 锑化铟表面腐蚀和清洗方法的俄歇评价 [J]. 红外与激光技术, 1983, 4(3): 39-44.
- [12] 于福聚, 张月琴. 化学腐蚀对锑化铟表面的影响 [J]. 红外研究, 1984, 3(2): 111-116.

(上接第 19 页)

直接影响光学系统的成像质量。在装配组件时, 需要尽量减小装配应力对反射镜的影响。本文通过优化组件的装配流程, 分析了主镜镜面的受力特点, 设计了合理的组件装配调整装置, 实现了主镜组件的微应力装配。装配后, 通过力学环境试验和真空热循环试验对其进行了检验。结果表明, 面形测试数值及分布趋势与试验前相比没有发生改变, 说明本文设计的装配方法和调整装置具有有效性。本文对于其它外形及结构相似的空间遥传感器的反射镜装配工作也具有

一定的借鉴意义。

参考文献

- [1] 李志来, 徐宏. 长条形空间反射镜及其支撑结构设计 [J]. 光学精密工程, 2011, 19(5): 1039-1047.
- [2] 关英俊, 辛宏伟. 长条形空间反射镜轻量化及其支撑结构设计 [J]. 激光与红外, 2011, 40(11): 1245-1249.
- [3] 闫勇, 贾继强, 金光. 新型轻质大口径空间反射镜支撑设计 [J]. 光学精密工程, 2008, 16(85): 1533-1539.
- [4] 王忠素, 翟岩, 梅贵, 等. 空间光学遥感器反射镜柔性支撑的设计 [J]. 光学精密工程, 2010, 18(8): 1833-1840.