

文章编号: 1672-8785(2017)11-0016-04

线切割 InSb 晶片表面损伤研究

柏 伟 赵 超

(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘 要: 利用扫描电子显微镜 (Scanning Electron Microscopy, SEM)、台阶仪和 X 射线衍射仪 (X-ray Diffraction, XRD) 研究了线切割 InSb 晶片和内圆切割晶片的表面损伤程度, 定量分析了损伤层的厚度, 并探讨了影响 InSb 切割晶片表面损伤的因素。结果表明, 线切割 InSb 晶片的表面较平整, 粗糙度小, 表面损伤小, 损伤层的厚度约为 $14\ \mu\text{m}$, 小于常规内圆切割晶片。研究结果对大尺寸、大批量 InSb 晶片的生产及后续加工具有一定的参考价值。

关键词: InSb; 线切割; 内圆切割; 表面损伤

中图分类号: TN213 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2017.11.004

Study of Surface Damage in Wire-electrode Cutting InSb Wafer

BAI Wei, ZHAO Chao

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

Abstract: The surface damage in both wire-electrode cutting InSb wafers and inside-diameter cutting (ID-cutting) InSb wafers was studied by means of Scanning Electron Microscopy (SEM), profilometer and X-ray diffraction (XRD). The thickness of the damage in InSb wafers was analyzed quantitatively. The factors that have influences on the surface damage in cutting InSb wafers were discussed. The results showed that the wire-electrode cutting InSb wafers had smooth surfaces, small roughness and small surface damage. The thickness of the damage layers in wire-electrode cutting InSb wafers was about $14\ \mu\text{m}$ which was less than that of the ID-cutting InSb wafers. This research result was of referential value to the mass production and subsequent processing of large-size InSb wafers.

Key words: InSb; wire-electrode cutting; ID-cutting; surface damage

0 引言

具有闪锌矿结构的二元金属间化合物锑化铟 (InSb), 作为一种 III—V 族化合物半导体材料, 有诸多独特的半导体性质, 如窄禁带宽度、很小的电子有效质量和极高的电子迁移率^[1]。基于这些优异的性能, InSb 受到了广泛重视, 并在科学研究和工业技术领域得到了重要应用。目前, 其被广泛用于制造霍尔器件、磁阻元件和

红外探测器^[2]。由于 InSb 红外探测器在 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 中波波段是本征吸收, 拥有极高的量子效率和响应率, 因此 InSb 成为了中波红外探测器领域的最佳材料之一^[3]。随着 InSb 红外探测器由单元、多元到一维线列和二维面阵的迅速发展, 探测器的像元数目不断增加、线宽不断减小, 集成度越来越高, 器件制造对 InSb 晶片的表面质量要求越来越高。晶片表面的损伤对器件性能的影响巨大, InSb 晶体经过切割、研磨和抛光

收稿日期: 2017-08-28

作者简介: 柏伟 (1990-), 男, 山东济南人, 硕士, 主要从事化合物半导体材料制备及性能研究工作。

E-mail: yiyangluoxue@126.com

后, 机械加工损伤的程度和深度是 InSb 晶片质量的关键问题之一。

目前, InSb 晶片大多采用内圆切割, 其优势在于操作方便、技术成熟。近年来国内外研究人员已经对内圆切割 InSb 晶片的损伤及作用机理进行了较深入的研究, 认为损伤层由两层晶格的不完整区构成: 外表层是碎裂层, 包括微裂纹、破碎和缺陷, 碎裂层下面则是应力层; 碎裂层的微裂纹是导致 InSb 晶片机械强度大大降低的主要原因^[4]。但随着 InSb 晶体直径和长度的不断增大, 尤其是对 4 in 以上的 InSb 晶体, 内圆切割无论在加工效率方面还是在加工损耗方面都存在明显的缺点。目前, 线切割的刀线直径一般小于 150 μm ; 而内圆切割机的刀片厚度为 300 μm , 明显宽于刀线直径。多线切割机的刀线通过复杂的机械机构绕成多条平行刀线, 每次可同时切割, 其加工效率是内圆切割机的数十倍以上^[5]。线切割更适用于大尺寸、大批量 InSb 晶片的生产加工。因此, InSb 晶片的多线切割越来越引起人们的关注。但是, 目前国内外对于 InSb 晶片多线切割的研究较少, 对其损伤的程度和深度更是缺少相关的参考数据。本文利用 SEM、XRD 研究了线切割 InSb 晶片的表面损伤程度及损伤层的厚度, 并利用台阶仪研究了 InSb 晶片的表面粗糙度, 同时还以常规内圆切割晶片作对照, 对所得结果进行了讨论, 为大尺寸、大批量 InSb 晶片的生产及后续加工提供了参考。

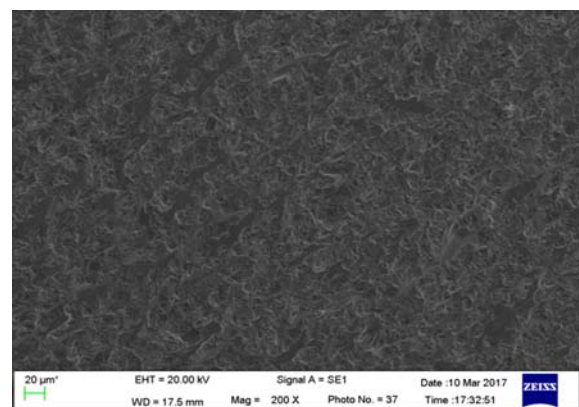
1 实验样品

InSb 单晶晶锭是在 H_2 保护条件下利用切克劳斯基法制备得到, 实验所用晶片是由经过原位退火热处理后的晶锭切割加工而成的 $\langle 111 \rangle$ 取向晶片。线切割 InSb 晶片由中国电科第四十六研究所代为切割。切割刀线的直径为 120 μm , 切割厚度为 800 μm 。内圆切割晶片是在华北光电技术研究所内圆切割机上切割得到, 内圆刀刀金刚砂粒径小于等于 40 μm , 刀片转速为 1600 rps/min, 切片的厚度为 800 μm 。两组实验晶片经去离子水洗净后再经去油、去污处理。

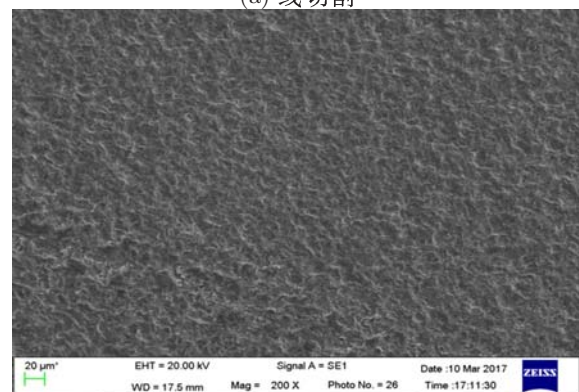
2 测试及分析

我们使用蔡司 EVO[®]18 扫描电子显微镜对处理干净的 InSb 晶片表面进行观察, 分别拍摄了放大 200 倍和 600 倍时线切割 InSb 晶片和内圆切割晶片的表面状态, 如图 1 和图 2 所示。由图 1 可以明显看出, 两种不同切割方式的晶片表面的形貌存在很大的不同。线切割 InSb 晶片表面相对较平整, 而内圆切割晶片的表面十分粗糙, 在放大 600 倍的图 2 中更明显。从图 2 虚线标记框可以看出, 线切割 InSb 晶片表面存在较平滑的切割平面, 切割过程的崩裂损伤较小; 而内圆切割晶片的外表层则完全是由破碎、微裂纹构成的碎裂层, 整体较粗糙, 切割过程的崩裂损伤很大。

我们使用 Dektak3 型台阶仪对线切割 InSb 晶片和内圆切割晶片的表面粗糙度进行了测量, 扫描长度为 2 mm, 步长为 2 μm , 垂直范围为



(a) 线切割

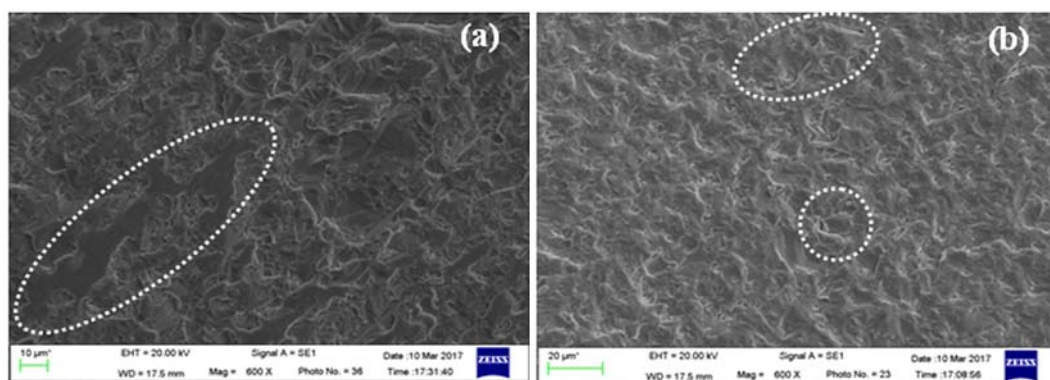


(b) 内圆切割

图 1 放大 200 倍时 InSb 晶片的 SEM 表面形貌

100 Å~655 kÅ，精度为 10 Å，结果如图 3 和图 4 所示。从图 3 和图 4 的测量结果可以看出，内圆切割 InSb 晶片的表面高低差为 6 μm 左右，而线切割晶片的表面高低差仅为 3 μm 左右。此外，线切割 InSb 晶片的测量曲线较水平，而内圆切割晶片的测量曲线出现倾斜，说明内圆切割晶

片存在一定的弯曲，这可能是因为内圆切割刀片为刚性结构，切割过程中的应力较大，存在一定弯曲所致；而线切割的刀线为柔性结构，在切割过程中可起到自动调节的作用。以上结果进一步说明，线切割 InSb 晶片表面比内圆切割晶片的表面平整，粗糙度更小，崩裂损伤少。



(a) 线切割

(b) 内圆切割

图 2 放大 600 倍时 InSb 晶片的 SEM 表面形貌



图 3 线切割 InSb 晶片的表面粗糙度

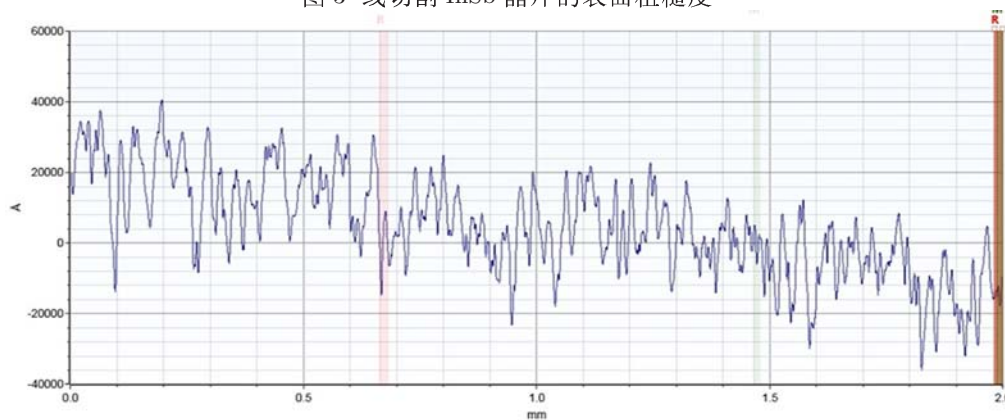


图 4 内圆切割 InSb 晶片的表面粗糙度

对于晶片损伤的深度, 我们利用 X 射线双晶衍射结合逐层化学腐蚀剥离的方法进行了定量分析。X 射线双晶衍射对材料的损伤应变层非常敏感^[6], 晶片表面损伤层附近的原子有序排列遭到严重破坏。X 射线在原子扰乱层上发生衍射时, 会引起衍射曲线半峰宽 (Full-Width at Half-Maximum, FWHM) 的宽化^[7]。半峰宽的值越大, 晶片表面损伤越大, 反之, 则表面损伤越小。我们使用 ATX-E 型 X 射线双晶衍射仪对 InSb 晶片进行检测。通过腐蚀剥层技术, 每进行一次 X 射线双晶衍射后, 使用配比为 $\text{H}_2\text{O}_2:\text{HF}:\text{H}_2\text{O}=1:1:8$ 的腐蚀液逐层腐蚀 InSb 晶片损伤层, 用去离子水洗净, 再用氮气枪吹干, 然后用灵敏度为 0.1 mg 的天平称重。利用称重法测算 InSb 晶片的腐蚀厚度, 多次重复后, 可得到损伤深度和半峰宽的关系, 结果如图 5 和图 6 所示, 其中插图为局部放大图。由图 5 和图 6 可以看出, 线切割 InSb 晶片的表面半峰宽为 181 arcsec, 明显小于内圆切割晶片半峰宽 253 arcsec。这进一步说明线切割 InSb 晶片的表面损伤较小。原因可能是内圆切割刀片的转速较高、振动较大, 且 InSb 晶体材料较脆, 在切割过程中, 晶体脆性崩裂严重, 晶片切割表面产生了较多的破碎、微裂纹及嵌镶块体, 因而晶片近表面损伤较大, 半峰宽较大。当线切割 InSb 晶片及内圆切割晶片的腐蚀深度分别达到 16 μm 和 14 μm 时, 两者的衍射曲线半峰宽值均达到较稳定的状态 (约为 7arcsec),

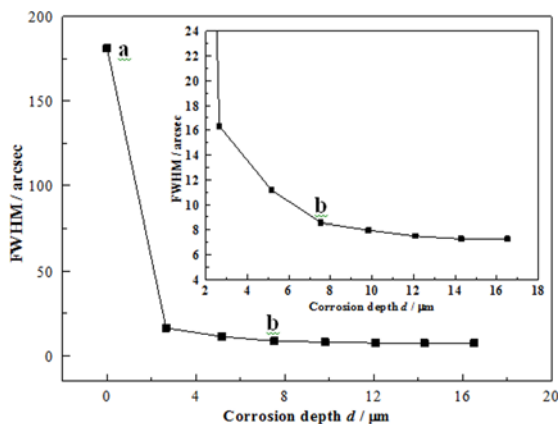


图 5 线切割 InSb 晶片的半峰宽和腐蚀深度的关系

相当于无应变状态的情况, 此时所对应的化学腐蚀深度即为晶片的损伤深度^[6]。显然, 线切割 InSb 晶片损伤层的厚度要小于内圆切割晶片。

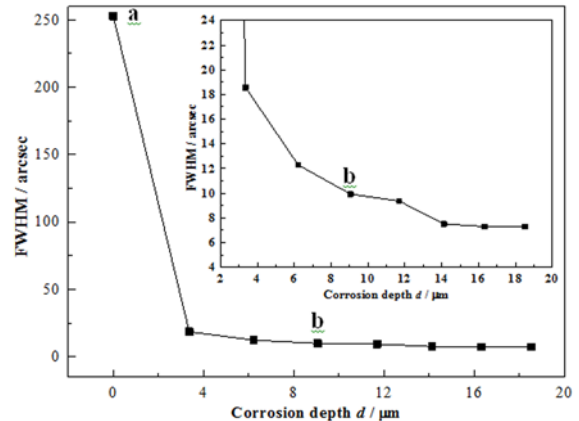


图 6 内圆切割 InSb 晶片的半峰宽和腐蚀深度的关系

3 讨论

InSb 晶片浅表面损伤层由多层结构组成, 大致可以分为碎裂层、非晶多晶嵌镶块层、微裂纹、严重畸变区以及弹性畸变应力区等。从扫描电子显微镜实验可以发现, 内圆切割 InSb 晶片的表面有明显的碎裂、嵌镶及微裂纹, 而线切割晶片的表面较平整。台阶仪粗糙度测试进一步证实了线切割 InSb 晶片的表面粗糙度较小, 约为内圆切割晶片的一半。在图 5 和图 6 中的 ab 段即化学腐蚀剥离初期, X 射线衍射曲线的半峰宽下降较快, 变化幅度较大, 说明这一区域的损伤最严重, 其对应的是晶片的碎裂层、嵌镶块层及微裂纹区, 腐蚀速率最迅速。对于线切割 InSb 晶片而言, 此区域约为 7.5 μm , 而内圆切割晶片则有 9 μm , 即线切割 InSb 晶片的碎裂层、嵌镶块层及微裂纹区明显小于内圆切割晶片。这可能是因为线切割的刀线相对较软, 且为柔性结构, 自由度大, 在切割过程中减少了与晶片的强烈挤压, 对晶片的作用力相对较小, 损伤应力也小, 因而碎裂、嵌镶及裂纹较小。

4 结论

通过对线切割 InSb 晶片表面损伤的研究, 我们得到以下结论: (1) 线切割 InSb 晶片表面
(下转第 26 页)