**文章编号:** 1672-8785(2015)12-0018-09

## InSb晶片的表面状态参数研究

### 赵 超 周立庆

#### (华北光电技术研究所,北京 100015)

**摘 要:**随着 InSb 红外探测器的不断发展,像元数不断增加,线宽不断减小;在采用外 延工艺生长衬底时,人们对 InSb 晶片表面状态的要求也越来越高。主要讨论了 InSb 晶 片的表面状态参数及其相关的测试方法,列举了一些相关标准以及国内外厂家和研究 机构对表面状态参数的关注点,并找到了下一步的研发方向。该研究为生产更大规格 的焦平面探测器、提高探测器性能的稳定性以及给外延生长提供优质衬底打好了基础。

关键词: InSb; 表面状态; 标准; 焦平面探测器

中图分类号: TN213 文献标志码: A DOI: 10.3969/j.issn.1672-8785.2015.12.004

## Study of Surface State Parameters of InSb Chip

#### ZHAO Chao, ZHOU Li-qing

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

**Abstract:** With the continuous development of InSb infrared detectors, the pixel number increases and the line-width decreases continuously. When an epitaxial process is used to grow substrates, the requirement of the surface state of InSb wafers is becoming higher and higher. The surface state parameters and their related measurement methods are discussed mainly. Some related standards and the attention of the manufactures and research organizations at home and abroad to the surface state parameters are listed. The direction is found for next step research. This research has laid the basis for the production of larger format focal plane arrays, the improvement of the stability of detector performance and the provision of high-quality substrates for epitaxial growth.

Key words: InSb; surface state; standard; FPD

## 0 引言

作为一种 III-V 族化合物半导体材料, InSb 因具有电子迁移率极高、禁带宽度小以及电子 有效质量很小等独特的半导体性质<sup>[1]</sup>,已被广 泛应用于红外探测、Hall 器件和磁阻元件<sup>[2]</sup>。 此外,近几年它还被美国英特尔公司用来开发 新一代中央处理器的晶体管。作为一种衬底材 料, InSb 还可用于外延制作高温焦平面组件以 及制备超晶格材料。它的表面特性使其在分子 导线等纳米技术方面也具有很多应用<sup>[3]</sup>。

随着 InSb 红外探测器的不断发展,像元数 不断增加,线宽不断减小<sup>[4]</sup>;在采用外延工艺 生长衬底时,人们对 InSb 晶片表面状态的要求 也越来越高。研究人员对 Si、GaAs 等大规模应 用材料的表面状态进行了多年研究,并且在半 导体行业标准 (SEMI/GB 标准)中也制定了相应 的晶片表面状态标准。而针对 InSb 材料表面状 态的研究却较少,并且缺乏相关的行业标准, 以至于很难为我们的器件用 InSb 晶片和外延用

**收稿日期**: 2015–11–02

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

"开盒即用"(Epi-Ready)型 InSb 晶片的表面状态参数标准化以及下一步研究提供相应指导, 所以亟需对 InSb 晶片的表面状态进行研究,以 确定我们的器件以及外延工艺所需要的晶片表 面状态参数及指标。本文列举了关于 InSb 晶片 表面状态的相关参数,并提出了用于评价各参 数的相关测试方法;同时还列举了相关的行业 标准以及国内外公司和研究机构所关注的 InSb 晶片表面参数。

1 InSb 晶片及衬底制备流程

器件用 InSb 晶片的制备流程包括原材料区

熔提纯、原材料处理、单晶生长、晶片切割、晶 片倒角、晶片研磨、晶片抛光和晶片清洗(见图 1)。在此基础上,分子束外延(Molecular Beam Epitaxy, MBE)用 InSb 衬底的制备流程会多出衬 底表面氧化层处理工艺这一步。这些晶片制备工 艺会对晶片产生很多物理和化学作用,而且由于 大量使用各种粘接胶、磨料、冷却液、活性剂、 抛光蜡、抛光液、清洗液和腐蚀液等化学品,晶 片表面不可避免地会产生各种宏观缺陷、表面 损伤、沾污、应力、氧化层和变形等。



图 1 InSb 晶片制备的流程图

- 2 InSb 晶片的表面状态参数
- 2.1 物理状态

2.1.1 表面外形尺寸

#### 2.1.1.1 总厚度偏差

总厚度偏差 (Total Thickness Variation, TTV) 是指晶片的最大厚度值与最小厚度值之差 (见图 2)。它是 InSb 器件光刻过程中全面对焦需求的 主要指标之一<sup>[5]</sup>,同时也会影响倒装焊工艺中 In 柱与读出电路的互联,因为厚度的不均匀性 会影响湿法刻蚀中想要得到的腐蚀图形。在新 的 2700×2700 元大尺寸焦平面组件的研制中,由 于芯片尺寸的增加,倒装焊 In 柱互联的难度加 大,所以亟需减小 InSb 晶片的表面 TTV 值。 2.1.1.2 总指示读数

总指示读数 (Total Indicator Reading, TIR) 是 指在晶片被吸附的状态下,晶片表面上的点与





参考平面间最高到最低的距离(见图 3)。它也是 InSb 器件光刻过程中全面对焦需求的主要指标 之一<sup>[5]</sup>,对光刻影响很大,尤其是使用较大场 尺寸的时候。

#### 2.1.1.3 焦平面偏离

焦平面偏离 (Focal Plane Deviation, FPD) 是 指在晶片被吸附的状态下晶片表面上的点与参 考平面之间的最大距离 (见图 3),也是影响光刻 质量的重要因素。TIR 和 FPD 经常被用来表示 整体或局部平整度。



vacuum chuck 图 3 TIR 和 FPD 的示意图

#### 2.1.1.4 弯曲度

弯曲度 (Bow) 是指在自由状态下整个晶片 凸或者凹的程度 (见图 4)。它是晶片表面上的点 相对于中位面的最大偏离值, 与厚度变化无关。 如果表面平坦, 那么由于真空吸盘的吸力, 一定



The biggest value is MaxBow-XY.

范围内的弯曲度可能并不会影响光刻效果。但 是在某些情况下,真空吸盘的吸力作用可能无 法消除所有弯曲度的影响<sup>[6]</sup>。

#### 2.1.1.4 翘曲度

翘曲度 (Warp) 是指晶片表面处于自由状态 时,晶片中面上的各点在轴向上偏离参考面的 正向最大值与反向最大值之和 (见图 5)。过量的 晶片翘曲度会影响光刻质量,进而影响芯片性 能,同样也会给器件工艺中 In 柱与 Si 读出电路 的倒装互联造成影响<sup>[7]</sup>。

#### 2.1.1.5 峰 - 谷值

峰 - 谷值 (SORI) 是指在自由状态下,晶片 上表面的点相对于最小二乘面的正向最大值与 反向最大值之和 (见图 6)。当 TTV 很小时,它 与翘曲度基本相等。

通常采用基于非接触式电容法的测试设备 测量TTV、翘曲度和弯曲度等表面平整度参数, 也可使用激光斜入射干涉仪,通过在晶片表面 上干涉产生干涉条纹的方法来测量所有的晶片 表面平整度参数。



图 5 翘曲度的示意图

图 4 弯曲度的示意图



#### 2.1.2 晶向偏离度

晶向偏离度是指偏离所需晶向的角度数。 一般采用 InSb (111) A±1°晶片生产红外焦平面 器件,并在此方向上实现器件工艺。采用 InSb (100) 偏 (111) B 面 (2°~3°)±1°晶片作为衬底,并 在此晶向上进行外延生长。这样不仅可以降低生 长温度,而且还可以阻止 Hillock 缺陷的形成, 从而得到形貌好、光滑的高质量 InSb 外延膜。 实际的晶片表面都会具有一定的晶向偏离度, 其存在可能会影响器件或者外延工艺,所以需 要尽可能地减小晶向偏离度。人们通常使用 X 射线定向仪来测量实际晶片的晶向。

#### 2.1.3 表面粗糙度

表面粗糙度是指晶片表面具有的较小间距 和微小峰谷的不平度。其中,两个波峰或两个 波谷之间的距离(波距)很小(在1mm以下), 用肉眼难以区分,因此它属于微观几何形状误 差。用于表征表面粗糙度的主要参数包括 *Ra* 和 *RMS*: *Ra* 是指在取样长度内,轮廓偏离平均线 的平均值;*RMS*(即*Ra*)是指在取样长度内,轮 廓偏离平均线的均方根值<sup>[10]</sup>。随着表面粗糙度 的增加,器件噪声会变大;同时,表面粗糙度过 大会造成表面悬挂键密度较大,使表面吸附力增 强,以致更容易吸附金属离子;此时,电特性会 下降,漏电流会增大,从而影响器件性能<sup>[8-9]</sup>。

此外,晶片的表面粗糙度还会影响后续的镀膜 工艺。如果表面粗糙度过大,即 R<sub>a</sub>大于薄膜厚 度,那么薄膜将会出现断裂和不连续问题。外延 层的表面粗糙度与衬底的表面粗糙度之间有着 很强的联系,而前者过高又会造成上述器件问 题,所以满足衬底要求的表面粗糙度要更低, 而且如果衬底的表面粗糙度过大,则会阻碍迁移速率小的 Sb 原子的运动,引起原子堆积而形成表面缺陷<sup>[22]</sup>。与其他半导体材料相比, InSb 材料的表面硬度更小,导致抛光后的粗糙度较大。因此, InSb 抛光片的表面粗糙度较大已经成为国内外 InSb 器件研究的主要问题。

目前有很多测试方法可以用来测量晶片的 表面粗糙度,包括基于原子力显微镜的扫描探 针法、机械/光学轮廓法、干涉显微法和光散射 法等。其中,轮廓法或干涉法通常只能进行微区 扫描,然而光散射法则可一次扫描整个晶片表 面<sup>[10]</sup>。

# 2.1.4 抛光表面质量 (宏观缺陷)2.1.4.1 抛光雾

抛光雾是指抛光后在晶片表面上留下的密度为10<sup>5</sup>/cm<sup>2</sup>的微浅损伤缺陷。该缺陷在强聚光灯的照射下会引起光散射,从而会使人眼产生一种像雾一般的感觉。这些微浅损伤包括高密度的凹坑、小丘和拉丝(也叫擦伤,是指在经过严格清洗处理的抛光面上所看到的一些无规则的轻微划痕)等。抛光雾在强火灯下的具体目检表现为一种呈灯丝发散状的结构,其清晰及粗细程度可用于表征晶圆表面亚损伤层的轻重。人们通常认为抛光雾产生于精抛过程<sup>[11]</sup>。

#### 2.1.4.2 划痕

划痕是指在晶片研磨或者抛光过程中,盘 面或研磨砂颗粒不均匀对晶片表面所造成的较 深损失。

#### 2.1.4.3 崩边

崩边是指在双面研磨中,晶片边缘与游星 片边缘之间撞击所造成的晶片边缘的损失。 2.1.4.4 坑点

坑点是指在化学机械抛光 (Chemical-Mechanical Polishing, CMP) 中,当化学作用大于机械 作用时,由于机械摩擦无法去除化学反应对晶 片产生的软化层所造成的晶片表面缺陷。

#### 2.1.4.5 橘皮

橘皮是指在 CMP 抛光中,当化学作用大于 机械作用时,由于机械摩擦无法去除化学反应 所生成的晶片表面软化层而造成的晶片表面缺 陷(面积较大)。

21

抛光片表面的宏观缺陷会直接影响 InSb 光 电器件的性能和成品率。我们通常使用强光源 和显微镜对此等宏观缺陷进行观测和统计。

2.1.5 表面损伤

损伤可以分为表面损伤和亚表面损伤两 种。其中,表面损伤一般包括划痕、破碎、微 裂纹、凹坑和橘皮等(前面已部分提及);亚表 面损伤主要包括相变、位错、层错、微裂纹以及 残余应力等。因此,加工后的晶片表面损伤层可 能是一种由非晶层、多晶层、嵌壤块层和弹性畸 变层等构成的多层结构 [12-13]。晶片表面的机械 损伤会增加探测器的漏电流, 其至会引起电击 穿,所以要求晶体表面应光滑目无损伤。晶片表 面的残余应力以及机械加工损伤层对晶片性能 都有很大影响。离子注入层的深度通常处在晶 片的亚表面损伤范围之内,其晶格的不完整性 会直接影响离子注入层的电阻率均匀性和电子 迁移率,导致多元探测器性能不均匀,甚至产生 盲元<sup>[14]</sup>,从而降低器件的成品率<sup>[15]</sup>。在外延生 长的过程中,残余应力会造成表面晶格畸变,以 至于外延薄膜的位错密度增大, 其至出现剥落 和裂开现象。总之, 表面损伤层与完整晶体结构 所呈现出的不同的物理化学性能会极大地影响 材料使用情况。

损伤层测试方法主要包括透射电镜、逐层腐 蚀、磨角腐蚀、X射线双晶衍射、拉曼散射光谱、 卢瑟福离子背散射、激光散射、红外光反射、电 子通道花样、X射线形貌<sup>[12]</sup>和紫外反射光谱<sup>[16]</sup> 等。在实际应用中,需要根据分析目的及要求来 选择合适的表征方法。可采用 X射线形貌相、 逐层腐蚀、透射电镜和红外光反射等手段对损 伤分布进行检测;可采用 X射线衍射、电子通 道花样、拉曼散射光谱和卢瑟福离子背散射等 手段对损伤层进行定性分析;可采用透射电镜和 磨角腐蚀等手段,或者将 X射线衍射、卢瑟福 离子背散射等与逐层腐蚀相结合,对表面损伤 层的深度进行定量表征。因此,需要全面考虑各 种条件,由此挑选出最佳的表征方法;或者把几 种表征手段结合起来使用 [12]。

#### 2.2 化学状态

#### 2.2.1 表面沾污

晶片的表面沾污可以分为颗粒沾污、有机 杂质沾污和金属离子沾污三种 [17]。其中,颗粒 通常会粘附在晶片表面上,从而影响下一道工 序中几何特征的形成以及电特性。另外, 它还会 在外延工艺中给外延膜带来缺陷。有机杂质沾 污通常会在晶片表面上形成有机物薄膜。该薄 膜会阻止清洗液到达晶片表面,导致金属离子 沾污无法去除<sup>[18]</sup>,而且在将晶片用作衬底时, 外延片的表面上会出现白斑等。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寿命缩短,从 而严重影响器件的稳定性和可靠性<sup>[19]</sup>。高质量 的免洗抛光片应该尽量减少这三类沾污。以满 足外延要求的衬底表面质量为例,表面直径大 于 0.3 μm 的颗粒应少于 10 个 /cm<sup>2</sup>, 金属离子污 染物的个数必须控制在 10<sup>10</sup>/cm<sup>2</sup> 甚至更少的水 平上<sup>[18]</sup>。在我所 InSb 光电器件的研制过程中, 清洗后的晶片表面上依然会残留很多小点;扩 散完成后,其表面状态很差。经观察发现,这些 小点大多是蜡残留以及静电吸附的较大颗粒, 所以如何去除这些难以去除的有机物及颗粒沾 污是一个很重要的研究内容。

人们通常采用全反射荧光光谱方法测量表 面金属离子沾污,采用 X 射线光电子能谱仪 (Xray Photoelectron Spectrometer, XPS) 测量表面有 机物沾污,并采用光散射法测量表面颗粒沾污。 2.2.2 表面氧化层

InSb 材料的表面因其化学活性而很容易被 氧化。当其表面经过不同工艺处理或者暴露在空 气中时,所形成的表面氧化层在氧化物组成、厚 度、致密性和均匀性等方面相差很大。对于器件 工艺来说,表面氧化层是一个不稳定的来源。 覆盖在晶片表面上的氧化层本身以及氧化层与 晶片的界面都会在能带中引入高密度的表面能 态。氧化层的结构及性质会明显影响整体结构 的电响应,特别是界面处的电子输运,最终都会 影响到器件的性能及其稳定性<sup>[20]</sup>。对于外延工 艺来说,表面氧化层的化学组成及结构等因素 会影响脱氧温度。质量不佳的表面氧化层具有 很高的脱氧温度,导致 In 析出并形成外延膜缺 陷<sup>[21]</sup>;有时甚至超过了 InSb 的熔点(527℃), 仍不能完全脱氧。表面氧化层不均匀会导致脱 氧不完全。因此,在衬底表面上残留的氧化层会 成为岛状形核位置,从而产生微结构缺陷。该缺 陷会对外延层的结晶质量造成很大影响<sup>[23]</sup>。

一般采用二次离子质谱仪或椭偏仪测量表 面氧化层的厚度和均匀性,并采用 XPS 测量表 面氧化层的组成成分。文献 [28] 采用美国 J.A. Woollam 公司生产的 VASE 型椭偏仪测量并显示 了整个晶片表面的氧化层分布,包括氧化层的 厚度和均匀性等信息 <sup>[28]</sup>。

#### 2.2.3 表面化学计量比

表面化学计量比是指晶片表面上的 In/Sb 原 子比。在器件的制造工艺中,这个可变数值的含 义很重要,因为器件特性及晶片表面的电化学 性质与化学计量比有很大关系<sup>[24]</sup>。在外延生长 时,表面 In/Sb 原子比还会影响 Sb<sub>2</sub> 原子在表面 上的堆积现象<sup>[21]</sup>。我们可以采用 XPS 或俄歇电 子能谱仪 (Auger Electron Spectroscopy, AES) 测量 表面化学计量比<sup>[24-25]</sup>

#### 2.2.4 表面迟豫再构及表面态

InSb 的 (001) 面和 (111) 面都是极性的, 它们 均由一层阴离子和一层阳离子交替排列而成。 在理想状态下, 其表面应该全是阴离子或者阳离 子。实际上, 表面很少是理想的, 因为不同的制 备方法以及表面的化学组成都会表现出不同程 度的表面迟豫和重构现象<sup>[26]</sup>。图7所示为III-V 族化合物半导体的 (110) 面迟豫。2010 年, Dawid Toton 等人提出在缺乏 V 族元素气氛的情况下进 行外延生长,并通过离子溅射或者在超高真空 (UHV)条件下进行热处理,可以使 InSb (001) 面 发生 c(8×2) 重构<sup>[3]</sup>。不同的半导体表面结构是 影响其半导体界面电学特性的根本因素,并会 产生被称为表面态和表面共振态的电子能态。这 些能态会在半导体界面上产生费米钉轧效应。 密度仅为 $10^{12} \sim 10^{13}$  cm<sup>-2</sup>的表面态就能产生费 米钉轧效应。化学吸附及化学反应能够使表面 能态发生变化,并在能带中产生新的受主和施 主能级。这些能态会引起能带弯曲,并会形成空 间电荷层。换言之,如果密度为 10<sup>12</sup> cm<sup>-2</sup> 的表 面态能产生一定的影响,那么也就是说,吸附大 约 0.1% ~ 1% 表面面积的单原子层就能对电学 特性产生很大影响。因此,表面电导率、表面重 构速率、载流子迁移率以及腐蚀速率等表面性 质在很大程度上取决于表面状态<sup>[26]</sup>。

人们通常采用准静态 C-V 法或者光伏测算 法测量表面态密度及其对器件电性能的影响。

综上所述, InSb 晶片的表面状态参数可以粗 略分为物理状态和化学状态两大类。其中, 物理 状态又可分为表面外形尺寸、晶向偏离度、表面 粗糙度、抛光表面质量(宏观缺陷)和表面损伤 等, 化学状态又可分为表面沾污、表面氧化层、 表面化学计量比、表面迟豫重构和表面态等。 表面状态的各个参数都会对器件性能的稳定性 或外延材料的质量产生很大影响, 所以要重视 InSb 晶片表面状态方面的研究, 并寻找 InSb 晶



图 7 III-V 族化合物半导体的 (110) 面迟豫

片表面质量的评价标准和制定下一步的研究方 向。

## 3 表面状态参数的相关标准

由于光电器件用 InSb 晶片和外延用 InSb 衬 底晶片在表面状态方面尚无相关标准,这里使 用比较成熟的 Si 及 GaAs 表面状态方面的标准 作为参考。

#### 3.1 GB/T 中国半导体材料标准

表1列出了 GB/T 12964-2003 硅单晶抛光片标准中关于表面状态参数的相关内容。

#### 3.2 SEMI 标准

作为一个全球性产业协会,国际半导体设备材料产业协会(SEMI)最早成功地将硅晶圆标准化。该协会发表了一套针对各种半导体材料的标准。通过参照该标准中的 M1 和 M9 部分,我们总结出了需要关注的晶片表面状态参数(见表2 和表 3)。

	硅片直径/mm	50.8	76.2
几何尺 寸	TTV/µm	≤8	≤10
	Warp/µm	≤25	≤8
	TIR/µm	≤5	≤6
表面晶	正晶向	0°±	⊧0.5°
向偏离 度	偏晶向	2.5°±0.5°或	诸 4.0°±0.5°
	项目	最大每	中陷限度
抛光片 表面质 量	划伤、蚀坑、雾、区域沾污、崩边、 裂纹(鸦爪)、凹坑、沟(槽)、小 丘、橘皮(波纹)、刀痕、杂质条纹 亮点(颗粒沾污)/(个/片)	4	无
其他	硅抛光片表面的局部平整度、微小颗	<b>赵沾污、金属沾污等</b>	由供需双方协商确定

#### 表1 GB/T 12964-2003 硅单晶抛光片标准

#### 表2 关于硅抛光片表面状态的 SEMI 标准

	硅片直径/mm		50.8	76.2
	TTV/µm		≤12	≤25
	BOW/µm		≤38	≤40
几何尺	Warp/µm	Not	specified	≤40
寸	SORI/µm	[	]max	[ ]max
	Flatness, Global	[	]max	[]max
	Flatness, Site	[	]max	[]max
表面晶	正晶向		0°:	±1°
向偏离 度	偏晶向		2.5°±0.5°或	者 4.0°±0.5°
	项目		最大缺	陷限度
	划伤、蚀坑、雾、区域沾污、崩边、			
抛光片	裂纹(鸦爪)、火山口状凹坑、凹坑、		无	
表面质	沟(槽)、小丘、橘皮(波纹)、刀			
量	痕、电阻率条纹			
	亮点(颗粒沾污)/(个/片)		4	6
其他	硅抛光片表面的局部平整度、微小颗	顽粒沾污	、金属沾污等	由供需双方协商确定

Zn

表3 最小线宽在0.8~1.2 μm 左右的电路和 器件的建议金属离子沾污限		
金属杂质元素	沾污水平	
Na	$\leq 1 \times 10^{11} \text{ atoms/cm}^2$	
Al	$\leq 1 \times 10^{11} \text{ atoms/cm}^2$	
К	$\leq 1 \times 10^{11} \text{ atoms/cm}^2$	
$\operatorname{Cr}$	$\leq 1 \times 10^{11} \text{ atoms/cm}^2$	
Fe	$\leq 1 \times 10^{11} \text{ atoms/cm}^2$	
Ni	$\leq 1 \times 10^{11} \text{ atoms/cm}^2$	
Cu	$\leq 1 \times 10^{11} \text{ atoms/cm}^2$	

 $\leq 1 \times 10^{12} \text{ atoms/cm}^2$ 

综上所述, Si 和 GaAs 的各个标准主要关注 的是表面外形尺寸、表面抛光质量、表面沾污以 及表面晶向偏离度等,而对于光电器件用 InSb 晶片来说,不仅要关注这些方面,而且还要关注 表面损伤和表面态等。这些参数也会对器件性 能产生重要影响。通过对以上这些方面进行研 究,能够为制备大尺寸的高性能 InSb 焦平面组 件打好基础。对于外延用 InSb 衬底晶片来说, 则还要关注表面粗糙度、表面氧化层和表面原 子比等方面。

## 4 国内外厂家及研究机构的 InSb 晶 片表面状态参数

#### 4.1 加拿大 Firebird 公司

表4列出了加拿大 Firebird 公司研制的 InSb 产品的表面参数。

#### 4.2 美国 Galaxy 化合物半导体公司

表 5 列出了美国 Galaxy 化合物半导体公司 研制的 InSb 产品的表面参数。

#### 4.3 英国 Wafer Technology 公司

表 6 列出了英国 Wafer Technology 公司研制

表 4 加拿大 Firebird 公司研制的 InSb 产品的表面参数

表面参数	指标	
晶向偏离度	$\pm 0.5^{\circ}$	
表面粗糙度 (PV)	$<5~\mu{\rm m}$	
抛光状态	双面抛光	
表面沾污	超洁净表面	

的 InSb 产品的表面参数。该公司在文献 [27] 中 提到了关于"开盒即用"型 InSb 衬底的表面指标。此指标不仅是要求干净得没有一点颗粒沾 污,而且还要求实现非常薄且具有稳定计量比 的容易脱氧去除的表面氧化层以及粗糙度极低 的非常平整的表面。文献 [27] 所提到的 3″ InSb (100) 衬底的表面粗糙度在 0.2 nm 左右,其表面 氧化层的厚度约为 1.2 ~ 1.5 nm <sup>[27]</sup>。

#### 4.4 华北光电技术研究所

我们已经对 InSb 晶片表面进行了多年研究,比如 3" InSb 晶片抛光、InSb 晶片化学抛光、InSb 晶片清洗、3" InSb 晶片研磨等研究。我们在制备表面质量优良的 InSb 晶片方面也取得了一定的成果(见表 7)。

综上所述,本所生产的 InSb 晶片在 TTV、 表面抛光质量和表面晶向偏离度等方面已经与 国际知名同类公司的水平相当,但在表面粗糙 度、表面氧化层和表面沾污等方面仍有一定的 差距。

#### **5** 结束语

由于表面参数对器件性能的稳定性和外延 层的质量具有很大影响,我们不仅需要关注 InSb 材料的晶体质量,而且还要关注晶片的表面质 量。本文主要列举了关于 InSb 晶片表面质量的

表5 美国 Galaxy 化合物半导体公司研制的 InSb 产品的表面参数

表面参数	晶片尺寸				
	$2^{\prime\prime}$	$3^{\prime\prime}$	$4^{\prime\prime}$	$5^{\prime\prime}$	
晶向偏离度	$\pm 0.5^{\circ}$	$\pm 0.5^{\circ}$	$\pm 0.5^{\circ}$	$\pm 0.5^{\circ}$	
p-v 晶片前表面平整度 (μm)	<5	<5	<5	<7	
$TTV (\mu m)$	<5	<5	<10	<10	

http://journal.sitp.ac.cn/hw

INFRARED (MONTHLY)/VOL.36, NO.12, DEC 2015

表面参数		晶片尺寸	
	2"	3″	$4^{\prime\prime}$
晶向偏离度	$\pm 0.1^{\circ}$	$\pm 0.1^{\circ}$	$\pm 0.1^{\circ}$
${\rm Polished/Etched}  {\rm TTV} \ (\mu {\rm m})$	<15	<15	<15
Bow $(\mu m)$	<10	<10	<10
Warp $(\mu m)$	<15	<15	<15
Polished/Polished TTV $(\mu m)$	<5	<5	<5
Bow $(\mu m)$	<5	<5	<5
Warp $(\mu m)$	<8	<8	<10

表 6 英国 Wafer Technology 公司研制的 InSb 产品的表面参数

\* 其他:利用三轴 X 射线衍射仪可以将表面晶向偏离度精确到 ±0.05°;能够提供"开盒即用" 型晶片,并能够利用包括雾颗粒表面扫描仪、椭偏仪以及掠入射干涉仪在内的先进光学计量技 术表征表面状态。

表7 我所在 InSb 晶片表面质量方面所取得的成果

表面参数			
TTV	<10 μm		
抛光表面质量(划道、崩边、	你 <u>人</u> 学工师业性的 CD 标准		
水渍、雾、亮点、橘皮等)	付音天于抛元片的 GB 标准		
表面粗糙度	<1 nm		
表面氧化层	<2 nm		
表面晶向偏离度	$\leq$ 0.5 $^{\circ}$		
表面化学计量比(In/Sb)	接近于1		
	有机物沾污去除明显;颗粒度沾污 26 (0.15~		
表面沾污(平均值)	0.17 $\mu m$ ), 20 (0.17 ${\sim}$ 0.20 $\mu m$ ), 2 (0.20 ${\sim}$ 0.22		
	$\mu$ m), 3 (0.22 $\sim$ 0.25 $\mu$ m), 5 (0.25 $\mu$ m $\sim$ max)		

主要状态参数、半导体晶片材料标准以及国内 外公司针对 InSb 晶片表面参数的关注点。此举 不仅能够为 InSb 晶片的标准化打好基础,而且 还能指导晶片表面状态研究的后续方向,同时 也能在晶片表面状态方面为器件工艺提供一些 参考。另外,我们还需要在 InSb 晶片的表面状 态方面展开深入研究,比如研究表面氧化层的 组成价态、表面损伤层的形成机理及深度,并降 低表面氧化层的厚度,减少金属离子沾污、有机 物特别是蜡的沾污,增加颗粒沾污去除的稳定 性等。而且在晶片表面的外形尺寸方面,我们不 仅要关注 TTV,而且还要关注翘曲度、弯曲度 和总体平面度等参数。通过开展以上研究,可以 为生产更大规格的焦平面探测器、提高探测器

性能的稳定性以及给外延生长提供优质衬底打 好基础。

#### 参考文献

- Hamidreza S. Optimisation of Cooled InSb Detectors
  III-Vs 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] Dawid Toton, Jiangping He, Crzegorz Goryl. Structure of InSb (100) Surface [J]. J Phys: Condens matter, 2010, 22: 2655001.
- [4] Nesher O. High Resolution 1280×1024, 15 μm Pitch Compact InSb IR Detector with on-chip ADC [C]. SPIE, 2009, 7298: 72983K.
- [5] 狄卫国. 甚大规模集成电路制备中硅衬底精密抛光的研究 [D]. 天津:河北工业大学, 2002.

(下转第31页)