

文章编号: 1672-8785(2020)11-0011-06

InSb 红外探测器组件的 无输出问题研究

李忠贺 吕梁晴 李海燕 牟宏山 赵建忠 李春领

(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘 要: 研究了 InSb 红外探测器组件的无输出问题。通过故障分析确定探测器的失效部件为 InSb 芯片。结合器件结构和工艺, 对 InSb 器件的失效机理进行了研究。发现器件在去胶工艺中有光刻胶残留, 在后续的钝化工艺中会生成难以腐蚀去除的沾污层, 导致电极膜层存在可靠性隐患。经历高温、振动等环境试验后电极浮起, 导致了探测器组件的无输出问题。

关键词: InSb; 红外探测器; 失效分析

中图分类号: TN215 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2020.11.002

Research on No Output Problem of InSb Infrared Detector Assembly

LI Zhong-he, LV Liang-qing, LI Hai-yan, MU Hong-shan, ZHAO Jian-zhong, LI Chun-ling

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

Abstract: The problem of no output of InSb infrared detector module is studied. Through failure analysis, it is determined that the failure component of the detector is the InSb chip. Combined with the device structure and process, the failure mechanism of InSb device is studied. It is found that there is photoresist residue in the device during the degumming process, and a contaminant layer that is difficult to be etched and removed will be generated in the subsequent passivation process, resulting in hidden reliability problems in the electrode film. The electrode floats after environmental tests such as high temperature and vibration, which will cause the problem of no output of the detector assembly.

Key words: InSb; infrared detector; failure analysis

0 引言

InSb 是一种 III-V 族二元化合物半导体材料, 其晶体结构为闪锌矿结构, 77 K 温度下的禁带宽度为 0.228 eV, 相应的光谱响应范围为 1~5 μm 。该材料具有量子效率高、电子有

效质量小、物理稳定性好、材料及器件易于制备等特点^[1]。由于 InSb 材料的优良特性, 美国、英国、以色列、法国等西方发达国家较早开始了相应的研究工作, 并将其广泛应用在各类武器装备中, 如“响尾蛇”空空导弹、“毒

收稿日期: 2020-08-10

作者简介: 李忠贺(1981-), 男, 高级工程师, 主要从事红外探测器方面的研究。

E-mail: zhli1981@163.com

刺”便携式导弹、“拉姆”舰载防空导弹等^[2]。国内虽然在 InSb 红外探测器研制方面起步相对较晚,但经过多年的努力,已经研制出单元、线列、 128×128 、 320×256 、 640×512 、 1280×1024 等各类型及规格的探测器组件,满足了军民等各方面的应用需求。随着探测器组件工程化程度的加大,整机系统对探测器的可靠性水平也提出了更高的要求^[3]。本文针对一种单元 InSb 红外探测器组件的无输出问题进行了研究,并通过对探测器的组成结构进行分析定位,确定探测器的失效部件为 InSb 芯片。然后结合器件结构和工艺过程,对芯片的失效机理进行了研究,为后续产品的设计和制造提供了可靠性方面的必要支撑。

1 探测器组件的构成及问题定位

该探测器的初始状态为筛选后检验合格的探测器,在进行了高温、高湿、振动、战斗损伤等综合环境试验后,出现了无输出情况。此探测器组件分为滤光片、光伏 InSb 芯片、金属结构件、制冷器和前置放大器等 5 个部件,其组成和结构示意图如图 1 所示。

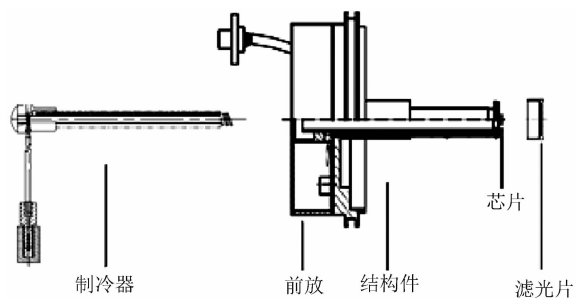


图 1 探测器组成结构的示意图

滤光片主要用来确定探测器组件芯片的响应光谱范围。它是通过在宝石基材上镀制光学膜层来制备的。如果滤光片出现故障,不会造成无输出现象,因此首先排除滤光片故障因素。

InSb 光伏二极管芯片的功能是,通过二极管 P-N 结的光生伏特效应将入射到其光敏面上的 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 红外光信号转换为电信号输出。InSb 芯片的基本结构采用成熟的台面型光伏二极管形式,经成结、台面成形、钝化保护、电极引出等工艺完成制备。如果芯片出现故障而

失去光电转换或输出等功能,则会造成无输出现象,因此不能排除芯片因素。

结构件的主要功能是承载其它零部件,并用来与整机系统实现机械连接,其内有引线以连接芯片和前置放大器。若引线断开,则会直接导致探测器出现电通路中断,造成无输出故障现象。用万用表分别测量了结构引线前放端和芯片端的导通情况。结果显示,引线导通,因此可以排除结构引线断开因素。

前置放大电路主要用来对光电转换后的信号进行低噪音放大,并与整机系统实现电学连接。如果前放及其元器件等出现断开情况,则可能会导致探测器无输出。首先对故障探测器进行目视检查,未发现异常情况。对前放引线进行了检查,线缆连接良好,未出现引线断开情况;同时对前放进行了加电测试,电路输出正常,因此可以排除前放及其元器件故障因素。

制冷器为节流制冷器,用来给探测器芯片提供低温。如果制冷器出现堵塞或漏气等故障,则会导致探测器芯片无法冷却到工作温度,且无法正常输出信号噪声。对故障探测器的制冷器进行了气体流量测试。结果显示,气体流量正常,因此可以排除制冷器故障因素。

通过以上分析和定位,可以确定探测器的 InSb 芯片部件出现了失效,从而导致无输出的故障现象。为进一步验证 InSb 芯片失效,对该器件进行了 I-V 测试。结果呈现开路状态(室温下 InSb 材料应表现为导体性质, I-V 测试应该呈现短路现象)。随后在室温下分别测试了芯片的正、负电极与芯片材料的导通情况。结果显示,负极与 InSb 材料导通,而正极与 InSb 材料断开。因此可以确定 InSb 器件的电极正极出现了故障,从而导致了探测器组件的无输出问题。用显微镜对故障器件进行了观察及测量(结果见图 2)。

通过显微镜可以明显看到,器件正电极在电极孔位置上出现了浮起的异常情况。通过共聚焦显微镜轮廓检查,进一步确认了器

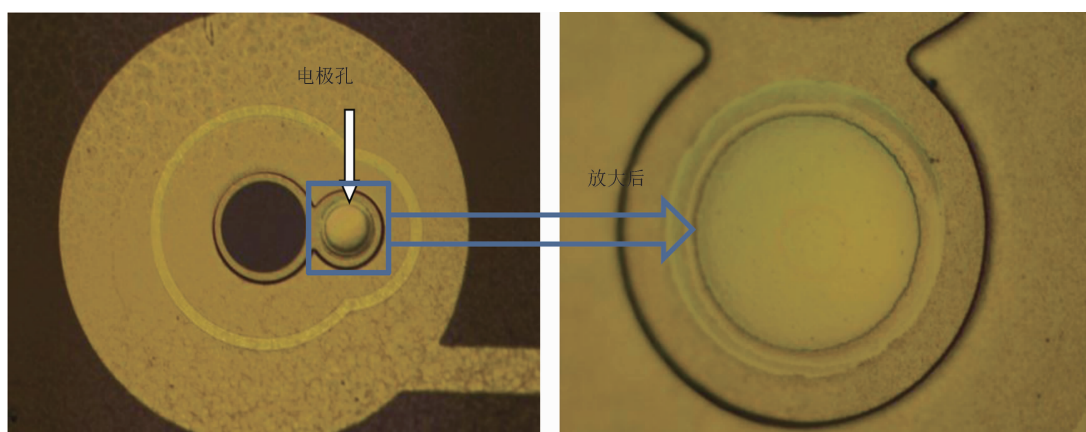


图 2 故障器件的显微镜照片

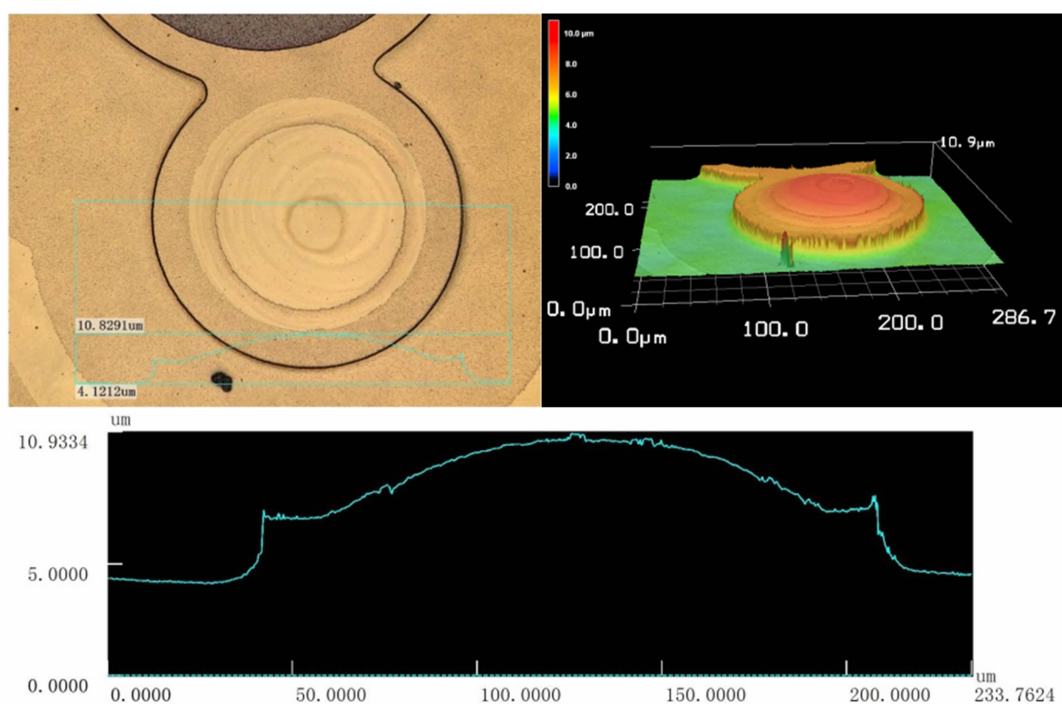


图 3 器件正电极故障位置的轮廓照片

件的失效位置(见图 3)。

从故障位置的轮廓照片中可以更加清楚地看到, 正电极孔内的电极浮起, 浮起高度约为 $3\ \mu\text{m}$, 高出电极孔的深度, 失去了与 InSb 材料的电学接触, 从而导致了器件开路。这在探测器组件上表现为无输出。

2 器件结构及工艺流程

图 4(a)和图 4(b)分别为 InSb 器件的俯视示意图和台面部分的剖面示意图。该器件整体为矩形结构, 由具有 P-N 结的台面部分、钝化层、正负引出电极等几部分构成。其中台面

部分为“葫芦”型, 包括光敏面区域和正电极孔。光敏面区域内无金属电极, 只有钝化层覆盖。电极孔内无钝化层, 只有金属电极覆盖。它也就是造成该器件无输出问题的故障位置。

InSb 器件的主要工艺流程如图 5 所示。先进行 P-N 结成结工艺, 然后进行 P^+ 型减薄; 光刻后进行台面腐蚀, 去胶并光刻后进行阳极氧化工艺^[4], 接着去除保护的光刻胶; 采用化学气相沉积的方式生长氧化硅钝化层, 经光刻后用氢氟酸缓冲液进行电极孔腐蚀, 去除光刻胶后进行金属化; 经光刻、金属腐蚀、中测后

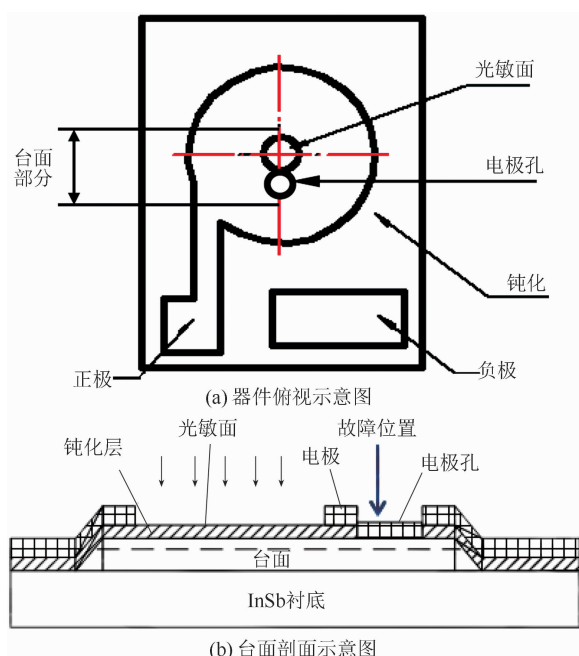


图 4 InSb 器件的结构示意图

划片，形成单一的 InSb 器件。

3 失效机理分析

为进一步明确该器件的失效机理，通过对失效器件、与失效器件同一晶片的其它器件以及正常器件进行扫描电子显微镜 (Scanning E-

lectron Microscope, SEM) 拍摄来完成对比分析 (结果见图 6~图 8)。

通过比对拍摄结果发现，失效器件与正常器件的钝化层经腐蚀后的形貌存在明显差别；失效器件及其同一晶片上的器件的钝化层存在钻蚀情况，钝化层边缘呈现毛糙多孔状态，且电极孔内部存在众多细小颗粒；而正常器件的钝化层在腐蚀后边缘齐整，无钻蚀现象，且电极孔内部干净、无颗粒残留。可以看出，正是钝化层钻蚀及电极孔内细小颗粒粘污物导致了器件失效问题。

针对钝化层钻蚀情况，对失效器件和正常器件的钝化层进行了组分分析 (结果见图 9)。组分分析结果显示，两个器件的钝化层组分基本一致，因此可以排除由钝化工艺造成的钻蚀及颗粒残留。

结合器件照片和器件工艺，电极孔内的残留物质只可能是钝化层和光刻胶。如果是钝化层残留，则会在腐蚀电极孔工艺中被腐蚀掉，因此残留物质只能为光刻胶。由于阳极氧化后的去胶工艺不彻底，存在微量残留；随后的钝

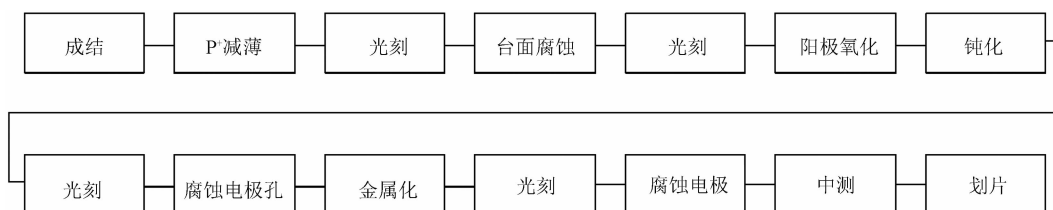


图 5 器件的主要工艺流程

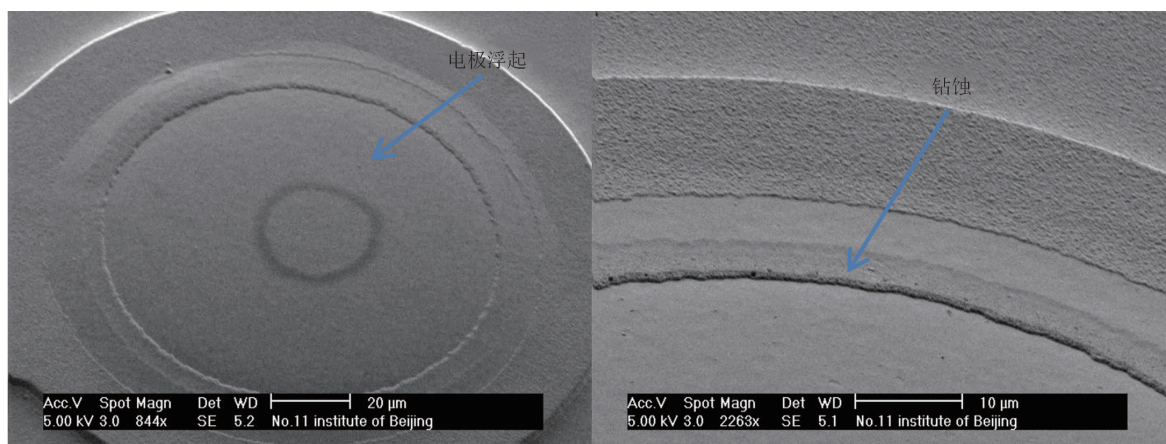


图 6 失效器件的正电极孔 SEM 照片

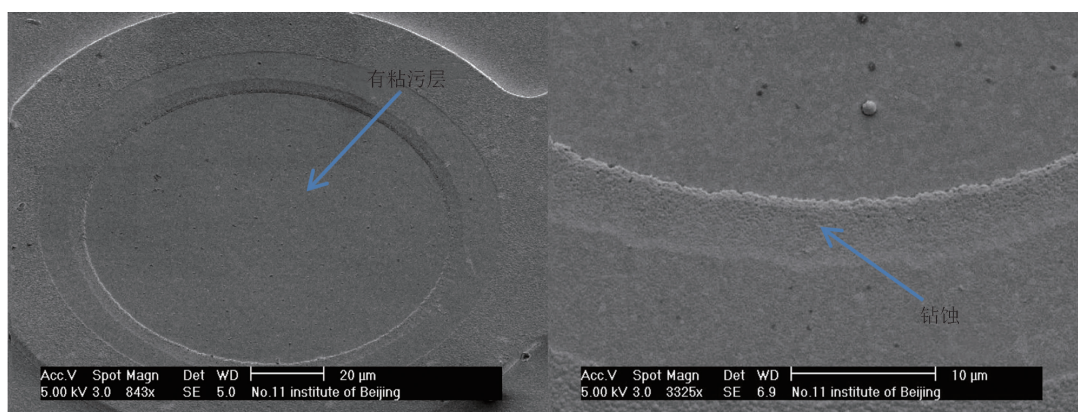


图 7 与失效器件同一晶片器件的正电极孔 SEM 照片

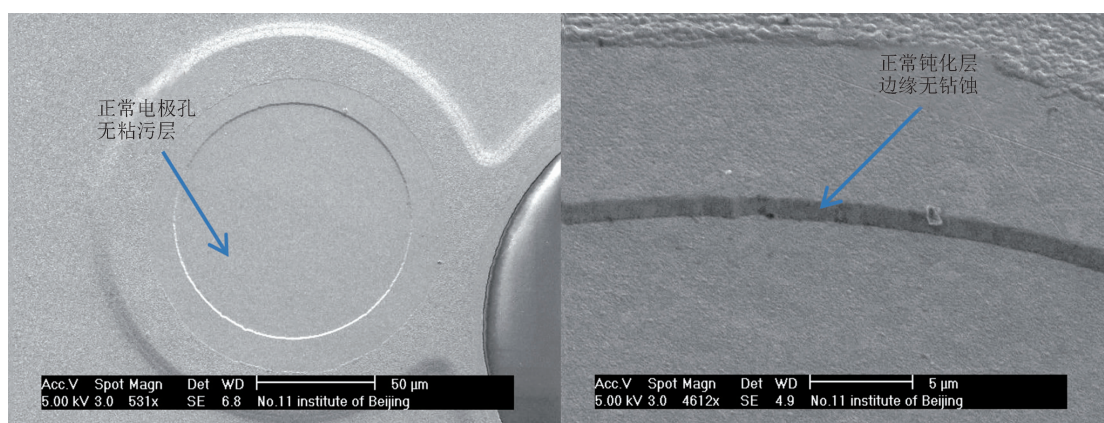


图 8 正常器件的正电极孔 SEM 照片

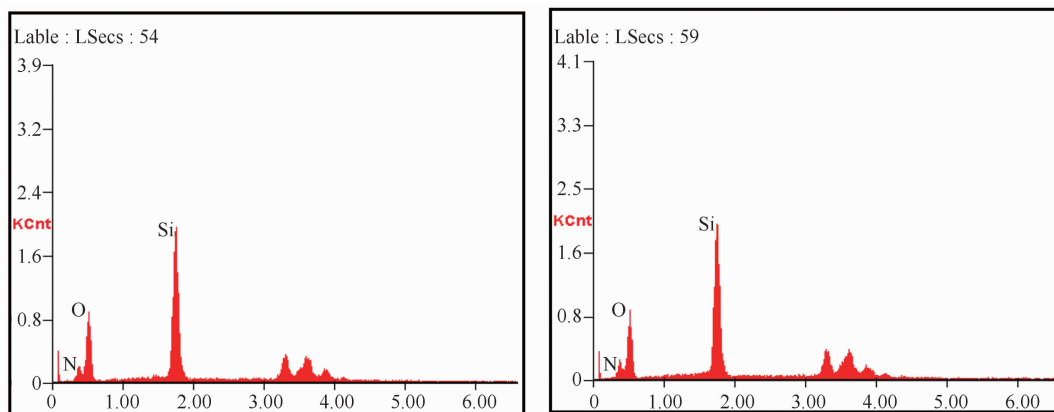


图 9 失效器件和正常器件的钝化层组分分析

化工艺在高温和等离子体环境的共同作用下,使残留物变性,形成了钝化层腐蚀液难以腐蚀去除的物质^[5-6],即 SEM 下观察到的细小颗粒物质;同时难腐蚀沾污层的存在会导致钝化层腐蚀出现钻蚀。沾污层会直接导致金属层和 InSb 材料基底的粘附力下降,使金属电极在可靠性上存在故障隐患。在反复开关机测试(约

190 °C~70 °C)以及长时间的综合高温、高湿、振动、战斗损伤等严酷环境试验条件的共同作用下,金属电极浮起,导致器件开路 and 失效。

4 结论

针对 InSb 红外探测器组件的无输出问题进行了研究。通过故障分析确定探测器的失效部件为 InSb 芯片。结合器件结构和工艺,对

InSb 器件的失效机理进行了研究。发现器件在去胶工艺中有光刻胶残留, 后续的钝化工艺中生成了难以腐蚀去除的沾污层, 导致电极膜层存在可靠性隐患。在反复开关机测试及综合高温、高湿、振动、战斗损伤等环境试验后, 电极浮起, 从而造成了 InSb 红外探测器组件的无输出问题。

参考文献

- [1] 赵建忠. InSb 焦平面探测器的发展现状与趋势 [J]. 红外技术, 2016, 38(11): 905-913.
- [2] 牟宏山. InSb 焦平面探测器现状与进展 [J]. 激光与红外, 2016, 46(4): 394-399.
- [3] 罗宏. 光伏型 InSb 红外探测器开路失效研究 [J]. 激光与红外, 2010, 40(7): 720-724.
- [4] 宁玮, 罗宏. InSb 阳极氧化膜组分和形貌分析 [J]. 激光与红外, 2008, 38(3): 234-237.
- [5] 李雅飞, 李晓良, 马英杰, 等. ICP 刻蚀对光刻胶掩膜及刻蚀图形侧壁的影响 [J]. 半导体光电, 2018, 39(2): 216-220.
- [6] 徐纯洁, 张福刚, 崔立加, 等. 感应耦合等离子体干法刻蚀中光刻胶异常变性的改善 [J]. 液晶与显示, 2017, 32(4): 265-268.