

文章编号: 1672-8785(2023)06-0007-05

铟化铟红外探测器的三维电极成型技术

张泽群¹ 龚志红² 李忠贺¹ 李 乾¹ 宁 提¹ 杨 刚¹

(1. 华北光电技术研究所, 北京 100015;

2. 中国人民解放军 93160 部队, 北京 100071)

摘 要: 铟化铟的电极因三维特性易产生侧壁断裂问题, 互联的铟柱会侵入电极内部, 影响铟化铟芯片的可靠性。使用离子束溅射沉积、热蒸发、磁控溅射等方法制备三维电极体系, 并通过聚焦离子束(Focused Ion Beam, FIB)方法以及扫描电子显微镜(Scanning Electron Microscope, SEM)对其进行表征。结果表明, 通过热蒸发、磁控溅射制备的电极三维覆盖情况较好, 但存在电极脱落和剥离困难的问题; 离子束溅射沉积方法可通过改变沉积角度、移除修正挡板来实现铟化铟三维电极的高质量制备。

关键词: 铟化铟; 三维电极体系; 热蒸发; 磁控溅射; 离子束溅射沉积

中图分类号: TN215 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2023.06.002

Three-Dimensional Electrode Forming Technology for InSb Infrared Detector

ZHANG Ze-qun¹, GONG Zhi-hong², LI Zhong-he¹,LI Qian¹, NING Ti¹, YANG Gang¹

(1. North China Research Institute of Electro-Optics, Beijing 100015, China;

2. Unit 93160 of PLA, Beijing 100071, China)

Abstract: The indium antimonide (InSb) electrode is prone to sidewall fracture due to its three-dimensional characteristics. Interconnected indium bumps will invade the inside of the electrode, affecting the reliability of the InSb chip. Three-dimensional electrode systems were prepared by ion beam sputtering deposition, thermal evaporation and magnetron sputtering. It was characterized by the focused ion beam (FIB) method and scanning electron microscope (SEM). The results show that the electrodes prepared by thermal evaporation and magnetron sputtering have good three-dimensional coverage, but there are problems with electrodes falling off and difficulty in peeling off. The ion beam sputtering deposition method can achieve high-quality preparation of three-dimensional InSb electrodes by changing the deposition angle and removing the correction baffle.

Key words: InSb; three-dimensional electrode system; thermal evaporation; magnetron sputtering; ion beam sputtering deposition

收稿日期: 2022-11-01

作者简介: 张泽群(1995-), 男, 山东济南人, 助理工程师, 硕士研究生, 主要从事红外探测器方面的研究。E-mail: zhangzequnsdu@foxmail.com

0 引言

锑化铟材料是人类最早认知的半导体材料之一，也是较早用于制作光伏型红外探测器的材料。锑化铟是典型的 III-V 族二元窄禁带半导体。在液氮温度下，锑化铟材料的红外响应波段可以覆盖大气窗口的短波波段($1\sim 3\ \mu\text{m}$)和中波波段($3\sim 5\ \mu\text{m}$)。锑化铟红外探测器凭借其大尺寸像元阵列、高探测灵敏性和高性价比等优势，被广泛应用于国防军事以及空间探测领域^[1]。

锑化铟红外探测器是一种基于 p-n 结的光伏效应制成的光伏型探测器。光生载流子在 p-n 结的结内电场作用下产生定向运动，进而产生光生电压与光生电流。锑化铟表面生成的光电流需要通过金属电极引导至读出电路端，最终完成电信号的转换^[2]。金属电极与锑化铟的接触会直接影响探测器的性能与稳定性，是器件制备中的关键步骤。在电极金属材料的选择方面，金属铬(Cr)在锑化铟表面上的粘附能力较强，且不易发生扩散，适合作为电极的接触层；金属金(Au)在液氮温度下具有优秀的延展性和导电性，且可与倒装互联时的铟柱形成合金，增强互联稳定性。因此，锑化铟探测器

经常采用铬-金(Cr-Au)电极体系。

锑化铟红外探测器的电极常采用离子束沉积方法^[3]、热蒸发方法等进行制备。制备时采用剥离工艺，即锑化铟芯片除电极孔与部分钝化层外，其余部分均被光刻胶覆盖(见图 1)；进行整片电极沉积后，通过湿化学处理将多余电极剥离去除^[4]。因为电极孔存在垂直坡度，电极与钝化层侧壁的接触覆盖尤为关键，电极侧壁的断裂会使互联的铟柱侵入电极内部，严重影响芯片的可靠性。本文通过对不同设备、不同条件下制备的锑化铟电极的三维覆盖情况进行表征，探究可行的锑化铟电极制备方式。

1 实验方案

通过对锑化铟单晶材料进行高温热扩散处理来制备 p-n 结。经正面减薄后，p 型层的厚度减小。采用湿法腐蚀法制备台面，随后通过化学气相沉积设备在锑化铟表面形成钝化层，并使用湿法腐蚀得到电极接触孔。接着利用离子束沉积设备、热蒸发设备、磁控溅射设备分别进行相同电极体系的制备。电极制备完成后，通过 FIB 与 SEM 表征金属电极在锑化铟上的三维覆盖情况。表 1 列出了 5 组样品的电极制备方式及工艺设备信息。

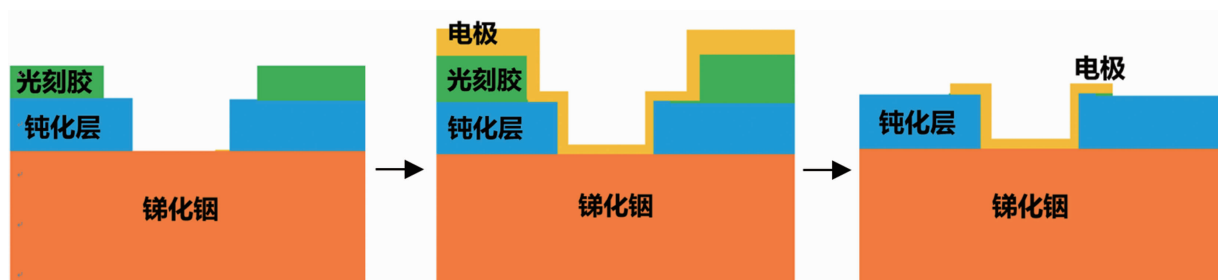


图 1 锑化铟电极制备示意图

表 1 5 组样品的电极制备方式及工艺设备信息

样品名称	电极制备方式	工艺设备
样品 1	热蒸发	国产热蒸发设备
样品 2	磁控溅射	多靶磁控溅射设备
样品 3	离子束沉积	一号机
样品 4	离子束沉积	二号机(配有修正挡板)
样品 5	离子束沉积	二号机(无修正挡板)

2 实验结果与讨论

2.1 热蒸发制备

热蒸发方法通过对金属材料进行加热, 使其蒸发气化并在芯片表面冷却沉积, 最终形成金属薄膜。使用国产设备进行电极的热蒸发制备。铈化铟芯片有光刻胶覆盖, 因此在工艺过程中不对样品盘进行加热。

完成热蒸发电极制备后, 在进行电极剥离工艺时会出现大部分电极脱落的情况。随机选取两个电极未脱落处正常像元的电极, 并对其 FIB 处理。通过 SEM 表征电极的三维覆盖情况(见图 2)。可以看出, 金属电极的三维覆盖情况较好, 未出现侧壁断裂的现象。

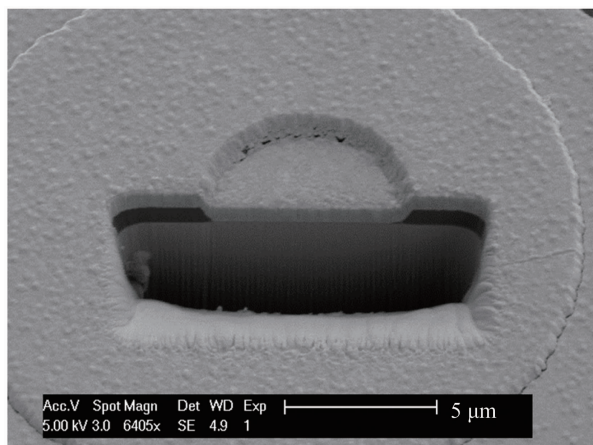


图 2 通过热蒸发制备的电极经 FIB 处理后的 SEM 图像

与磁控溅射方法和离子束沉积方法相比, 用热蒸发方式制备的电极薄膜致密度相对较差, 且制备时未对样品盘进行加热处理, 加剧了电极金属的脱落。因此, 热蒸发方式不适用于湿化学剥离法的铈化铟电极制备。

2.2 磁控溅射制备

使用多靶磁控溅射设备进行铈化铟的电极制备。制备完成后, 在进行电极剥离工艺时, 出现大范围电极剥离残留的现象。随机选取两处正常像元的电极进行 FIB 处理, 并通过 SEM 表征电极的三维覆盖情况(见图 3)。可以看出, 金属电极的三维覆盖情况较好, 未出现侧壁断裂的现象。

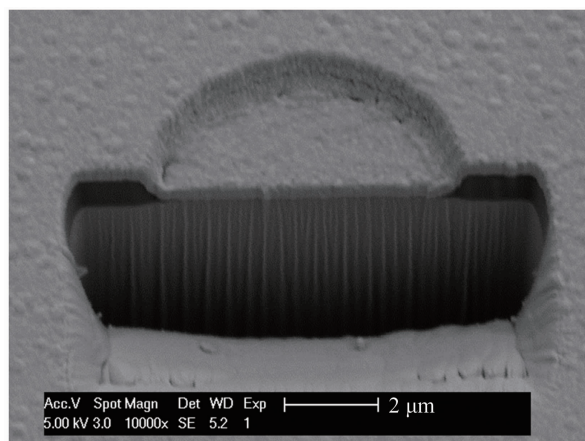


图 3 通过磁控溅射制备的电极经 FIB 处理后的 SEM 图像

但用磁控溅射法制备的电极剥离时存在残留。在后续的器件工艺中, 当铈化铟芯片与硅读出电路互联时, 残留的金属电极会与互联使用的钢结合, 造成部分像元互联失败等异常问题, 存在较大的可靠性隐患。因此, 磁控溅射不适用于用湿化学剥离方法的铈化铟电极制备。

2.3 离子束沉积制备

离子束沉积设备通过离子源引出高能氩离子, 使其撞击金属靶材后形成金属粒子。金属粒子经过电场后沉积到位于样品台的铈化铟芯片表面。在离子束沉积金属薄膜过程中, 束压是指从离子源射出的惰性气体离子所携带的能量, 束流是指单位时间、单位面积从离子源中发射的离子数量。较高的束压与束流会对铈化铟表面造成损伤。实验过程中, 均采用低损伤条件的束压和束流进行样品制备。现阶段有两台用于铈化铟电极制备的离子束沉积设备(一号机和二号机)。

2.3.1 一号离子束沉积设备(一号机)

一号机设计较为特殊, 样品台处于水平位置, 且其工作角度无法调整。因此金属粒子的入射分布固定, 无法进行调节。

制备完成后, 在不同位置随机选取若干像元, 通过 SEM 表征电极的三维覆盖情况(见图 4)。可以看出, 铈化铟侧壁电极与底面电极之间存在缝隙。这是由于样品台的角度固定, 金属粒子在侧壁的沉积分布较差, 无法实现电极

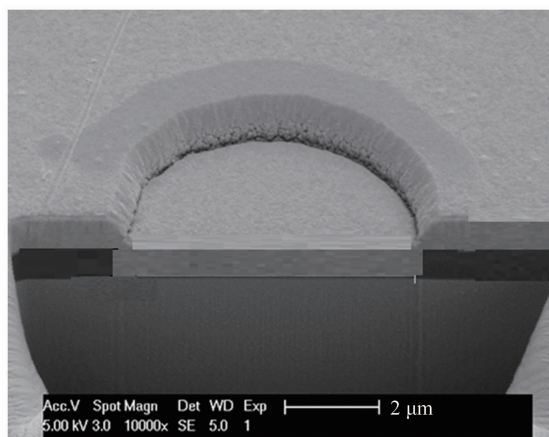


图 4 用一号机制备的铈化锑电极的三维覆盖图
侧壁的完全沉积。

2.3.2 二号离子束沉积设备(二号机)

二号机样品台的角度能够任意调节,故可以通过调整样品台的角度改变金属粒子的入射分布。该设备通过样品台的自转满足轴向位置

的均匀性,并通过修正挡板满足径向位置的均匀性。制备时,装配修正挡板,设置样品台与水平方向的夹角为 15° 。

制备完成后,在不同位置随机选取若干像元,通过 SEM 表征电极的三维覆盖情况(见图 5)。可以看出,当样品台与水平方向存在一定角度时,铈化锑电极的侧壁覆盖要优于一号机样品,但在某些像元点仍有部分裂隙。

二号机在设计中采用修正挡板。它是一块具有特定形状的金属片。当样品台旋转到修正挡板下时,金属粒子均沉积到修正挡板上。通过改变修正挡板的形状来实现径向沉积厚度的一致性。但考虑到实际工艺情况,虽然金属沉积的总量是一致的,但在经过固定位置的修正挡板时,位于该处电极侧壁的金属沉积减少,造成电极断裂。且在实施工艺时,只需保证芯

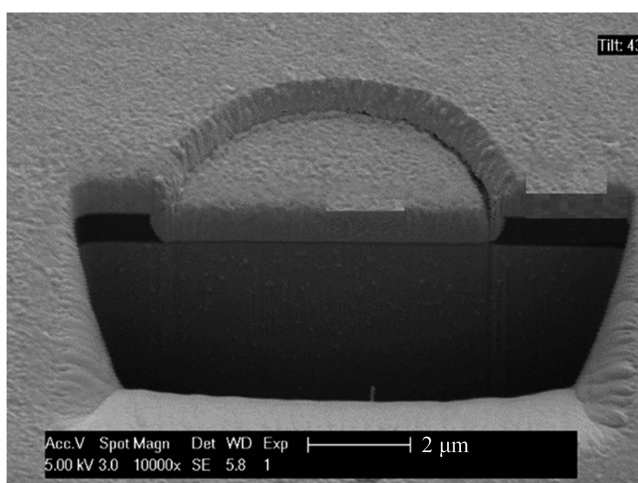
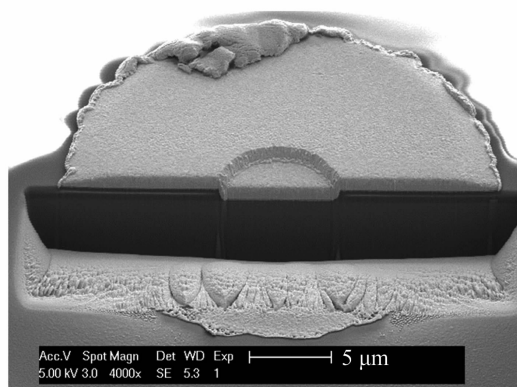


图 5 用装配修正挡板的二号机制备的铈化锑电极的三维覆盖图

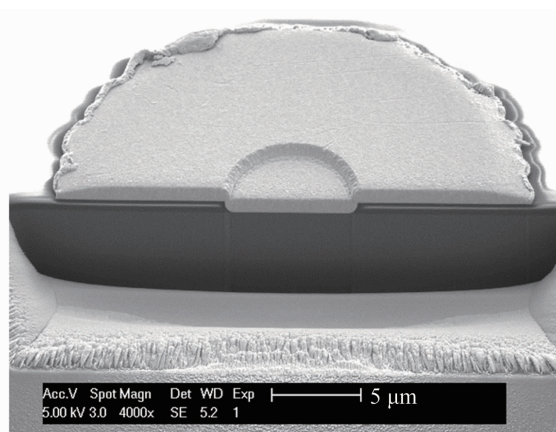
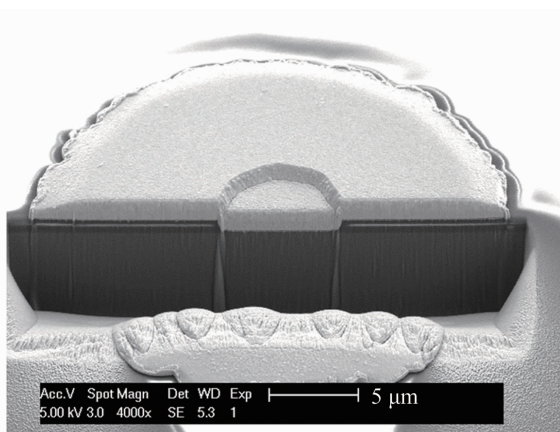


图 6 用移除修正挡板的二号机制备的铈化锑电极的三维覆盖图

片位置沉积厚度的一致性即可, 无需保证整个样品盘的一致性。

在保证其他工艺条件一致的前提下, 移除修正挡板后进行样品的制备。接着在不同位置随机选取若干像元, 通过 SEM 表征电极的三维覆盖情况(见图 6)。可以看出, 在相同的工艺条件参数下, 用改造后的二号机制备的铟化铟电极的三维覆盖效果得到了明显的提升。该方法解决了电极裂缝问题, 消除了芯片的工艺隐患, 因此可以稳定、批量地进行电极制备。

3 结束语

本文分别采用热蒸发、磁控溅射和离子束沉积等方式进行了铟化铟的电极制备, 探究了不同方法、不同设备制备铟化铟三维电极的效果。结果表明, 用热蒸发、磁控溅射方式制备的电极三维覆盖较好, 但两者分别存在电极脱落和剥离困难的问题, 不适于铟化铟的电极剥离制备; 使用一号离子束沉积设备进行制备

时, 由于样品台的角度无法调节, 金属粒子的入射角度不在最优状态, 电极的三维覆盖较差; 使用二号离子束沉积设备进行制备时, 通过移除修正挡板, 解决了电极侧壁断裂的问题, 实现了大批量铟化铟电极的稳定制备。下一步将对采用电极刻蚀技术路线的电极制备方式进行探究。

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] 何力, 杨定江, 倪国强. 先进焦平面技术导论 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
- [3] 刘金声. 离子束沉积薄膜技术及应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.
- [4] 李忠贺, 李海燕, 杜红燕, 等. 平面 PN 结 InSb 红外焦平面探测器的研究 [J]. 激光与红外, 2015, 45(7): 814-816.