

文章编号: 1672-8785(2016)10-0007-03

金电极薄膜微应力对 InSb 芯片性能的影响研究

曹 亮¹ 邝永变² 刘 炜²

(1. 海军驻洛阳地区航空军事代表室, 河南 洛阳 471009 ;

2. 中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471009)

摘 要: 基于碲化铟 (InSb) 红外探测器的大批量生产, 发现电极薄膜微应力会引起器件性能劣化。通过实验设计验证了金电极薄膜微应力对 InSb 芯片探测率、灵敏度和可靠性的影响。研究了电极薄膜微应力的可恢复性及其作用机理, 并提出了控制和优化电极微应力的途径, 为从工艺结构上提高红外探测器的性能和可靠性奠定了理论参考和实验基础。

关键词: 碲化铟; 微应力; 金电极薄膜; 伏安特性

中图分类号: V261.99 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2016.10.002

Study of the Effect of Gold Electrode Thin-film Microstress on Characteristics of InSb Chip

CAO Liang¹, KUANG Yong-bian², LIU Wei²

(1. Aeronautical Military Representative Office of Naval in Luoyang, Luoyang 471009, China;

2. China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China)

Abstract: In the mass production of InSb infrared detectors, it is found that the micro-stress in an Au electrode thin-film can result in the performance degradation of InSb devices. Through experimental design, the effect of Au electrode thin-film on the detectivity, sensitivity and reliability of InSb chips is verified. The mechanism and recoverability of the micro-stress in the Au electrode thin film are studied and a way to control and optimize the micro-stress is proposed. The research has laid the theoretical and experimental basis for the improvement of the performance and reliability of infrared detectors in the aspects of process and device structure.

Key words: InSb; microstress; Au electrode thin-film; voltage-current characteristic

0 引言

由于具有灵敏度和可靠性高等优异的光电性能, InSb 红外探测器已经在军事领域得到了广泛应用。随着半导体集成度的不断提高, InSb 探测器在制造过程中需要的薄膜材料越来越多,

薄膜应力对探测器芯片可靠性的影响也越来越大。当薄膜淀积于 InSb 衬底表面时, 薄膜应力会作用在光敏元上, 从而形成一定分布的应力场。另外, 由于热膨胀系数不同, 各种薄膜材料也会产生应力。而 InSb 探测器的工作温度比较

收稿日期: 2016-06-02

作者简介: 曹亮(1987-), 男, 湖南益阳人, 工程师, 硕士, 主要研究方向为空空导弹监造及红外制导技术。

E-mail: wwwcl136029@163.com

特殊, 需要经历较大的温差 ($200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上)。这些应力都会引起光敏元结构和电学参数发生变化, 进而对器件的可靠性造成不良影响^[1-3]。

从结构上来说, InSb 探测器包含多种薄膜材料, 如钝化膜、电极薄膜和增透膜等。由于与探测器表面直接接触, 钝化膜对红外探测器性能的影响最大, 因此人们对这方面的研究相对较多^[4-5], 而针对金属电极薄膜对探测器性能影响的研究则相对较少。另外, 应力研究也通常集中在探测器失效方面, 如材料破裂、界面开裂分层、器件无整流特性等, 而薄膜微应力对芯片性能的影响研究通常容易被忽略。

本文主要研究了金电极薄膜微应力对 InSb 红外探测器光电性能的影响, 通过实验设计验证了金电极薄膜微应力导致伏安特性劣化和可靠性下降的情况以及电极薄膜微应力对器件影响的可恢复性, 并分析了微应力的作用机理。针对器件结构的特点, 提出了一种电极微应力优化方法, 从而为器件可靠性的提高和器件工艺的改进提供依据。

1 器件结构及工艺制造

InSb 红外探测器的器件结构为台面二极管结构, 其红外光敏元为 P+/N 光电二极管。图 1 为 InSb 探测器芯片的结构示意图, 其实现方式如下: 采用 N 型 InSb 单晶作为探测器的基片, 通过光刻和腐蚀形成 PN 台面结, 然后在 InSb 芯片表面上生长一层钝化薄膜, 最后蒸发出 Cr/Au 金属薄膜层并以此作为电极引出层。

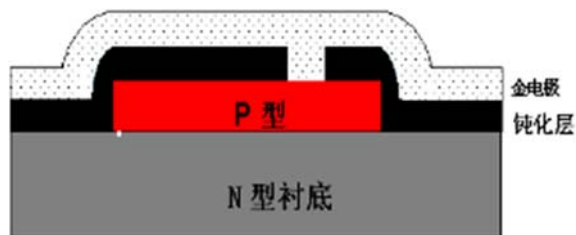


图 1 InSb 探测器芯片的结构示意图

首先, 采用热扩散技术在 N 型 InSb 基片表面上掺杂 Cd 元素, 形成 PN 结二极管的 P 型层。P 型层的厚度约为 $1.5\text{ }\mu\text{m}$ 。然后在芯片表面上生长厚度为 $0.3\text{ }\mu\text{m}$ 左右的氧化物钝化层。

为了引出二极管电极, 我们分别在 P 型区和 N 型区腐蚀出电极引出窗口, 并通过热蒸发形成厚度约为 $1.2\text{ }\mu\text{m}$ 的 Cr/Au 电极层。为了有效控制金属膜的质量, 我们将 Au 的蒸发速率恒定在 $10^{-3}\text{ }\mu\text{m/s}$ 。InSb 台面结构、电极引出窗口以及电极图形均是利用光刻腐蚀技术形成的。

当探测器芯片制造完成后, 在液氮温度下对其进行电性能测试。所有测试均由 TEITHLEY 4200-SCS 型半导体特性分析仪和 Agilent 4284A 型 LCR 表完成。

2 测试与分析

在探测器的制造过程中, 不同的材料和工艺都会对探测器结构产生一定的应力。同时, 由于工作在液氮温度 (77 K) 下, InSb 探测器从常温降到低温时, 各种材料的不同热膨胀系数也会产生应力。这些应力最终都会作用在 InSb 芯片上, 进而对探测器的性能产生影响。当金属电极薄膜淀积于基片表面以及蒸发工艺参数或生长厚度选择不合理时, 都会产生较大的薄膜应力, 导致器件因界面开裂或分层而失效。失效器件的 PN 结伏安特性会发生很大变化, 并且没有光电二极管特性, 如图 2 所示。

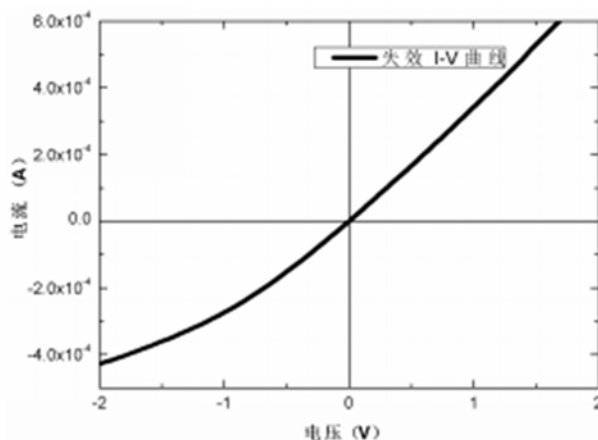


图 2 较大应力作用下失效探测器的 I-V 曲线特性

本文主要讨论非失效性薄膜应力, 此时器件的电性能仍具有光电二极管特性, 但器件参数有所漂移, I-V 特性曲线开始劣化。为了对比分析电极薄膜对 InSb 探测器性能的影响, 本文设计了 2 组试验样品。除了电极版图设计不同之外, 这两组样品的其他工艺及工序完全一致。样

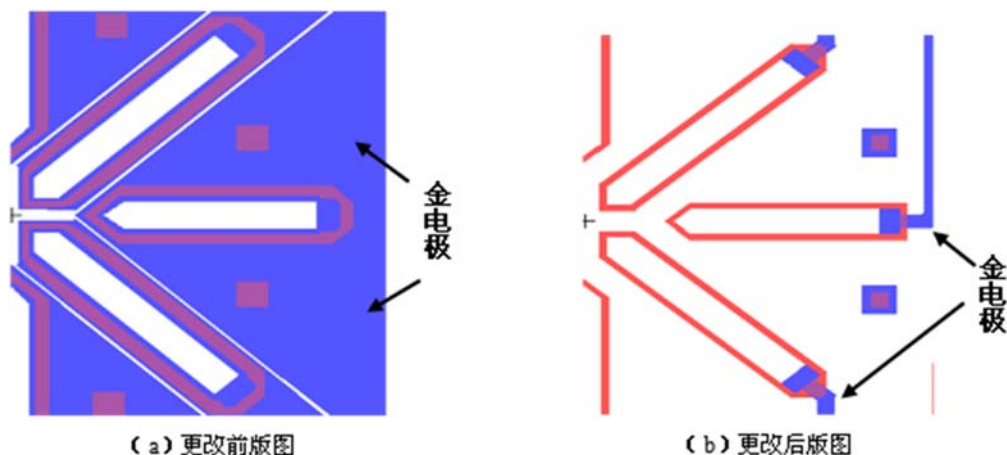


图 3 2 组不同样品的电极版图设计

品 1# 芯片的金电极薄膜面积较大, 覆盖了光敏元及其四周边缘, 容易引入薄膜应力 (具体电极图形见图 3(a))。样品 2# 芯片的金电极薄膜在版图设计上进行了改进, 减小了电极图形面积, 而且电极引出线只覆盖了光敏元台面的很小一部分 (具体设计见图 3(b))。

通过同样的 InSb 芯片生产工艺完成整个探测器样品的制造后, 在液氮温度下对两组探测器芯片进行了光电性能测试。结果表明, 样品 2# 芯片的电学特性表现为典型的 PN 结 I-V 特性曲线, 而样品 1# 芯片的 I-V 曲线却在负电压扫描的工作区域出现了漏电流明显增加的现象。随着电压绝对值的不断增加, 该现象具有剧增趋势, 如图 4 所示。在探测器的使用过程中, 伏安特性劣化会造成探测器的灵敏度和探测率下降等问题。另外, 器件的反向击穿电压降低, 会导致探测器的抗击穿能力明显下降。

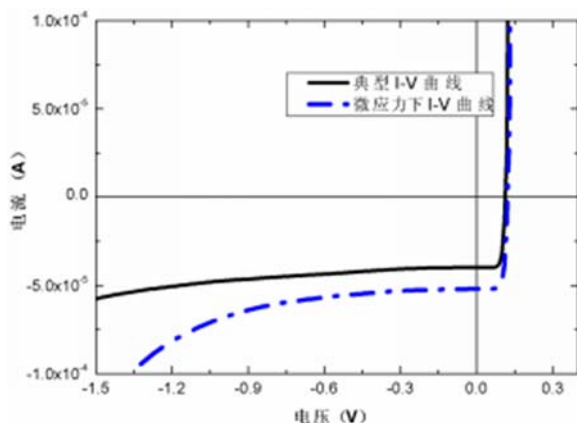


图 4 不同探测器的 I-V 曲线测试

为了证实样品 1# 芯片的 I-V 曲线劣化是由薄膜微应力导致的, 并排除其他工艺因素, 本文对样品 1# 芯片的电极作了进一步的工艺处理。采用金腐蚀液去除了芯片台面及其周围大部分的电极层, 而仅仅保留了探针测试所用的很小一部分电极薄膜。对减小电极的样品 1# 芯片复测了二极管的伏安特性, 得到了图 5 所示的 I-V 曲线。可以看出, 在反偏电压下的 I-V 曲线劣化程度得到了缓减, 器件的 I-V 性能得到了恢复。通过计算可知, 芯片的关键指标——反偏压漏率和阻抗值恢复 90% 以上。

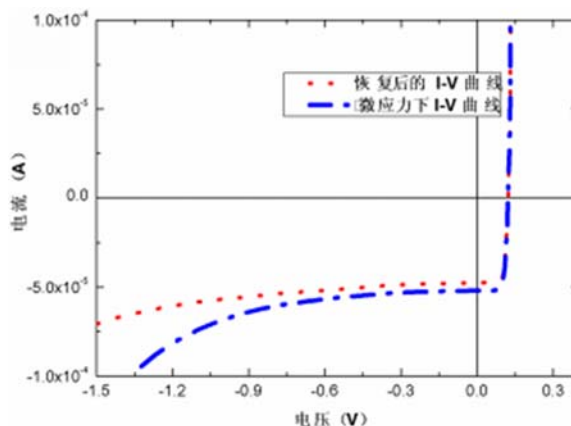


图 5 微应力减小前后的探测器 I-V 曲线测试

InSb 是一种具有独特性能的压阻效应半导体材料。若在它的晶向方向上施加微应力, 则会导致其禁带宽度发生变化。因此, 电导率和迁移率将会随应力变化, 从而影响 InSb 芯片的光电性能^[6-10]。

(下转第 40 页)