

文章编号: 1672-8785(2020)01-0011-04

铋化锑红外焦平面器件 信号分层问题研究

温 涛¹ 龚志红² 邱国臣¹ 亢 喆¹

(1. 华北光电技术研究所, 北京 100015;

2. 空军装备部驻北京地区第七军事代表室, 北京 100015)

摘 要: 铋化锑红外焦平面器件在杜瓦测试中常常会出现信号分层问题, 由此影响器件制造的成品率。通过对器件杜瓦测试电平图、管芯电流电压测试结果及衬底掺杂浓度进行研究, 找到了导致探测器信号分层的原因。进一步的理论分析表明, 铋化锑衬底上局部的高浓度掺杂区域会对器件性能造成影响。基于此研究, 在芯片的制备过程中可采取相应的措施, 最大限度地避免后道工序中的无效工作, 从而提高铋化锑焦平面器件工艺线的流片效率。

关键词: 铋化锑; 红外焦平面探测器; 信号分层

中图分类号: TN215 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2020.01.003

Study on Signal Layering of InSb Infrared Focal Plane Arrays

WEN Tao¹, GONG Zhi-hong², QIU Guo-chen¹, KANG Zhe¹

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

2. The Seventh Military Representative Office of Air Force in Beijing Area, Beijing 100015, China)

Abstract: The problem of signal layering often occurs in Dewar testing of InSb infrared focal plane arrays (IRFPA) detector, affecting the yield of device manufacturing. The cause of the detector signal layering was found by testing the level graph of the Dewar, I-V curve and the substrate doping concentration. Further theoretical analysis also shows that local high-concentration doped regions on the indium antimonide substrate will affect device performance. Based on this research, we can take corresponding measures during the preparation of the chip to minimize the ineffective work in the subsequent processes and improve the tape-out efficiency of the indium antimonide focal plane device process line.

Key words: InSb; IRFPA detector; signal layering

0 引言

红外探测器是红外系统的核心部件, 其性能对整个红外系统有决定性的影响。焦平面探

测器具有结构简单、空间分辨率高、探测能力强和帧频高等优点, 是红外成像技术的主流器件^[1]。在中波红外光谱探测方面, 铋化锑红

收稿日期: 2019-11-01

作者简介: 温涛(1982-), 男, 山西晋中人, 硕士, 工程师, 主要从事红外探测器器件研究。

E-mail: taotao0919@163.com

外探测器具有性价比高、光吸收能力强、灵敏度高、材料器件工艺成熟等优点,在军事、航天、安防、气象、环境等领域有十分广泛的应用^[2-3]。

在铽化铟红外焦平面探测器的研制和生产过程中,盲元、信号等问题一直是影响成品率的关键因素。在不合格的铽化铟焦平面探测器中,“信号分层”问题占一定的比例。所谓“信号分层”就是在焦平面探测器的杜瓦测试电平图上由于信号大小明显不同而导致图像出现分层的现象。典型的“信号分层”现象如图1所示。

本文对“信号分层”问题进行了实验研究及理论分析,最终找到了导致该现象发生的原因。通过采取工艺措施可将此类管芯提前剔除,提高流片效率。

1 “信号分层”现象分析

在铽化铟焦平面红外探测器的杜瓦测试中,“信号分层”问题时有发生。为了寻找“信号分层”问题的根本原因,我们对出现该问题的器件杜瓦的测试结果进行了分析整理。我们发现,对于在同一晶片上出现该现象的器件,其杜瓦测试电平图可以拼接在一起。三个典型晶片上出现的“信号分层”器件杜瓦测试电平图如图2所示(将这三个典型晶片编号为

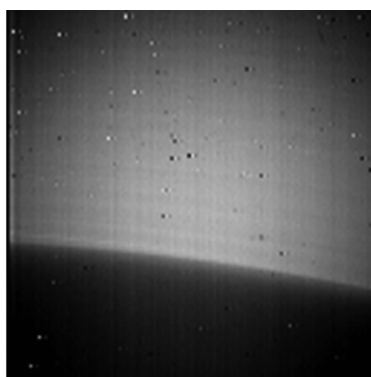
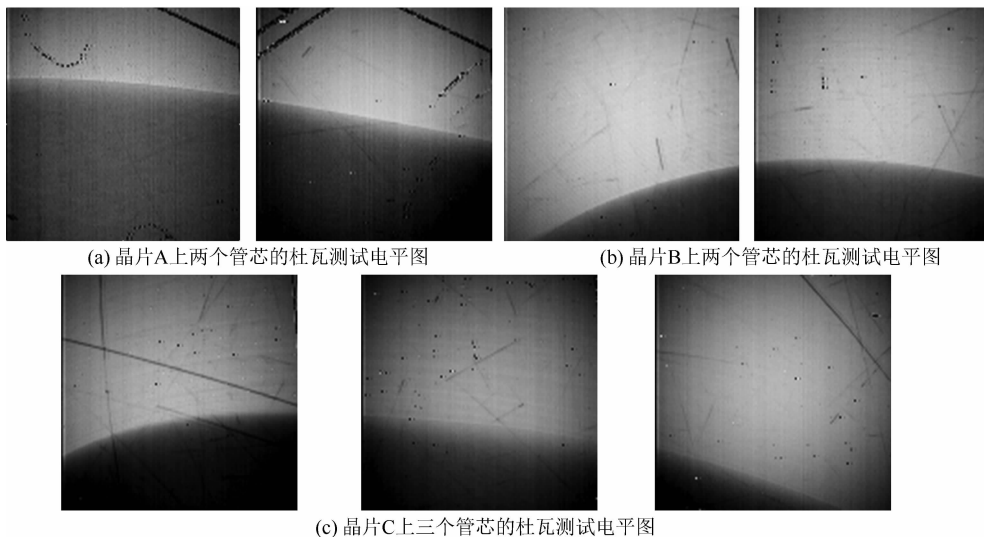


图1 杜瓦测试电平图中典型的“信号分层”现象
晶片 A、晶片 B、晶片 C)。

从图2中可以看出“信号分层”管芯杜瓦测试电平图的特点,即同一晶片上出现“信号分层”问题的器件中,“信号分层”界线有明显的连贯性。通过追溯可以发现,这些器件都靠近晶片的底边。同时我们注意到,电极工艺完成后,在铽化铟红外焦平面探测器晶片的I-V测试过程中,大多数晶片底边附近都存在一个短路电流明显变小的区域。我们在这区域附近进行了多点连续I-V测试。结果表明,大多数晶片都有一个电流突变分界线。这条线在晶片底边附近,呈弧形,如图3所示。图3中,深灰色区域的I-V测试短路电流明显变小。通过管芯流片追踪可以发现,I-V测试电流突变分界线与器件信号分层界线在分布上存在对应关系。



(a) 晶片A上两个管芯的杜瓦测试电平图

(b) 晶片B上两个管芯的杜瓦测试电平图

(c) 晶片C上三个管芯的杜瓦测试电平图

图2 同一晶片上典型的“信号分层”器件杜瓦测试电平图

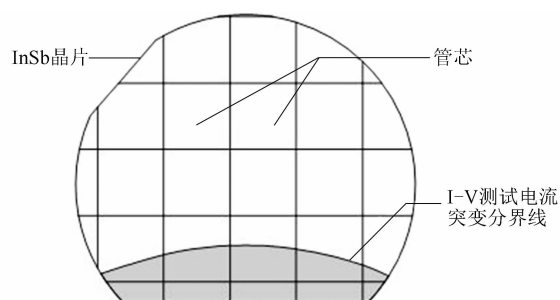


图 3 典型的 I-V 测试电流突变分界线示意图

2 实验及讨论

为了对问题进行深入分析, 我们对在 I-V 测试中出现电流突变分界线的典型铋化锑红外焦平面探测器晶片进行了进一步处理。首先通过磨抛去掉电极、钝化层等表面结构, 然后通过湿化学腐蚀去除扩散产生的 p 型层, 仅剩 n 型衬底。接着将 I-V 测试电流突变分界线附近区域划片为 $10\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 的衬底样品(如图 4 所示), 并对样品进行霍尔测试。测试样品的载流子浓度见表 1。

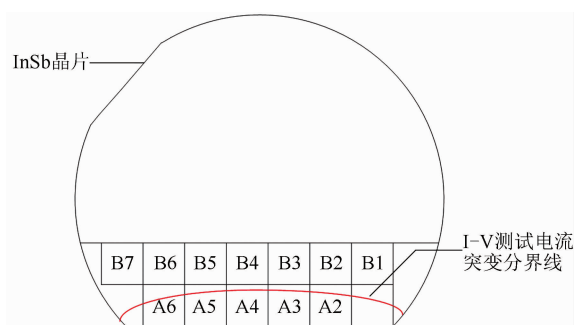


图 4 测试样品在晶片上的位置及 I-V 测试电流突变分界线示意图

从测试结果可以看出, 在样品晶片底边附近很窄的区域内, 载流子浓度比其余地方高 5 倍左右; 其次, 从单排来看, 由图 5 中 A 排的分布图可以大概看出, 底边靠近晶圆中间区域的掺杂浓度较高, I-V 测试电流的突变与衬底掺杂浓度的突变有位置对应关系。

光伏型铋化锑红外探测器是基于半导体的光生伏特效应制成的。红外辐射从探测器的衬底背面入射, 能量大于禁带宽度的光子经铋化锑衬底时会吸收产生电子-空穴对; 这些载流子扩散到 pn 结, 在内建电场的作用下, 铋化

表 1 测试样品的载流子浓度

编号	载流子浓度/ cm^{-3}
A1	3.32×10^{15}
A2	3.86×10^{15}
A3	4.14×10^{15}
A4	4.34×10^{15}
A5	4.02×10^{15}
A6	3.04×10^{15}
B1	6.75×10^{14}
B2	6.95×10^{14}
B3	6.89×10^{14}
B4	6.59×10^{14}
B5	6.37×10^{14}
B6	6.76×10^{14}
B7	6.54×10^{14}

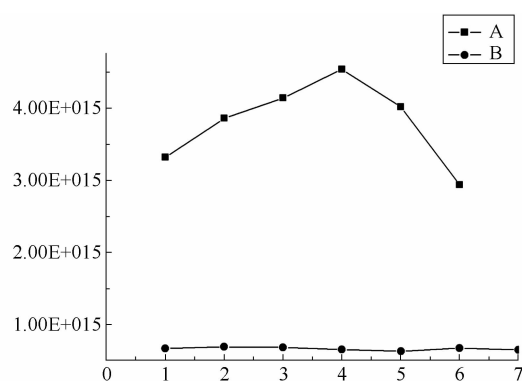


图 5 A 排、B 排样品的载流子分布

锑内部产生了光生电动势; 如将 pn 结短路, 则会出现光生电流^[4-5]。基于倒装焊工艺和读出电路集成, 铋化锑探测器面阵芯片上每个像元都与硅读出电路上对应的一个电流模式放大器互连在一起, 通过对光生电流积累的电荷进行顺序读出或对焦平面阵列的不同部位进行扫描, 最终实现光电信号的传输^[6]。典型的铋化锑混成器件结构如图 6 所示。

在红外辐射的激发下, 多数载流子的浓度变化非常小, 而少数载流子的浓度变化却很大。光伏型铋化锑红外探测器的光电流大小主要取决于体内光生少数载流子到达 pn 结的数量, 这与光子吸收的透入深度和少数载流子的扩散长度有关, 其中少数载流子的扩散长度主要取决于铋化锑衬底的掺杂浓度。本实验中,

在 p 区掺杂浓度及其他条件不变的情况下, 随着 n 型衬底掺杂浓度的增大, pn 结耗尽区变窄, 少子寿命下降, 扩散长度变小, 量子效率下降。图 7 表明了碲化铟少数载流子扩散长度与量子效率的关系^[7]。

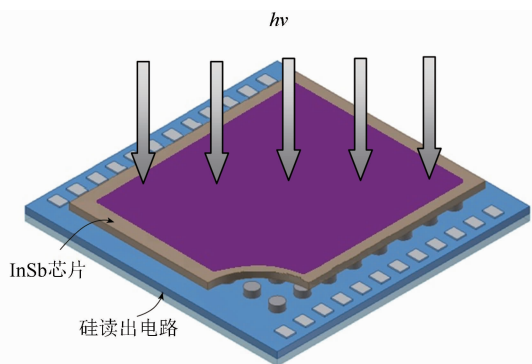


图 6 混成碲化铟芯片的结构示意图

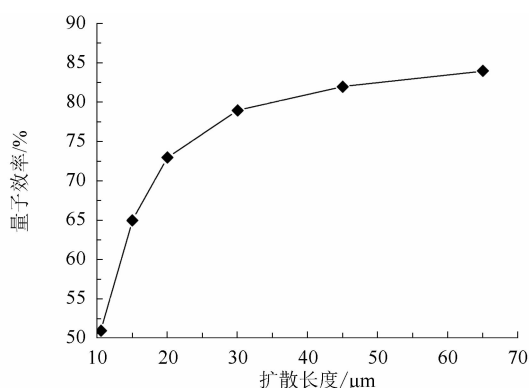


图 7 少数载流子扩散长度与量子效率的关系

在 pn 结光伏器件中, 短路光电流的大小为

$$I_{sc} = \eta q \Phi_b A_d \quad (1)$$

式中, A_d 为探测器的光敏面积, Φ_b 为光子通量密度, η 为量子效率, q 为电子电量。可以看出, 短路光电流与量子效率 η 正相关。在其他条件不变的情况下, 量子效率减小, 短路光电流也会减小。

探测器光敏元的输出可表示为

$$V_{out} = \frac{R_i t_{int}}{C_{int}} = \frac{\eta q \lambda t_{int}}{h c C_{int}} = \frac{0.808 \eta \lambda t_{int}}{C_{int}} \quad (2)$$

式中, V_{out} 为探测器光敏元的输出 (单位为 V), R_i 为电流响应率, t_{int} 为积分时间, C_{int} 为积分电容, η 为量子效率, q 为电子电量, λ 为入射辐射的波长, c 为光速, h 为普朗克常数。在其他条件不变的情况下, 量子效率

减小, 探测器光敏元的输出也减小。

理论分析也印证了材料衬底在晶体生长过程中引入的高浓度掺杂区域对器件所造成的影响。因此, 在器件制备过程中可采取相应的措施, 如调整光刻管芯图形的位置, 尽量避开芯片底边附近的高浓度掺杂区域, 划片后剔除最下面一排可能存在“信号分层”问题的管芯等, 以便提高流片效率。

3 结论

通过实验和理论分析找到了器件测试中出现“信号分层”现象的原因, 即碲化铟衬底的局部区域在晶体生长过程中引入了不均匀的高浓度掺杂。局部掺杂浓度异常偏高的区域通常出现在碲化铟芯片的底边附近, 呈大小随机的弧形, 主要影响最下排的管芯。因此, 我们在芯片的制备过程中采取了相应的措施, 最大限度地避免了后道工序中的无效工作, 提高了工艺线的流片效率。后续我们将对如何进一步改善碲化铟晶体生长过程中杂质分布的均匀性展开研究, 以提升器件性能的一致性, 进一步提高制造碲化铟红外焦平面探测器的成品率。

参考文献

- [1] 王明昌, 陈宝国, 吕雷. 红外焦平面探测器应用系统的设计与实现 [J]. 激光与红外, 2008, 38(3): 242-244.
- [2] 张国栋, 徐淑丽, 赵鸿燕, 等. InSb 阵列探测芯片的感应耦合等离子反应刻蚀研究 [J]. 激光与红外, 2009, 39(9): 948-951.
- [3] 马京立, 杨翠, 张小雷, 等. p-n 结结深对台面型 InSb 光伏型探测器性能的影响 [J]. 航空兵器, 2015, 52(5): 36-40.
- [4] 刘恩科, 朱秉升, 罗晋升, 等. 半导体物理学 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1994.
- [5] 马京立. 光伏型 InSb 红外焦平面探测器的性能研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2015.
- [6] 王利平, 孙韶媛, 王庆宝, 等. 红外焦平面探测器的读出电路 [J]. 光学技术, 2000, 26(2): 122-125.
- [7] 龚启兵, 王海珍, 王巍, 等. 64×64 元 InSb 凝视红外焦平面探测器研制 [J]. 航空兵器, 2001, 38(2): 10-15.