

文章编号: 1672-8785(2018)11-0017-04

红外半导体材料 SIMS 分析研究

李 乾 折伟林 周 朋 李 达

(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘 要: 介绍了二次离子质谱仪 (Secondary Ion Mass Spectrometer, SIMS) 的基本原理及其在焦平面红外半导体材料和器件制备工艺中发挥的重要作用。通过对掺砷碲镉汞和 CdTe/InSb 材料进行 SIMS 测试, 研究了不同离子源和一次束流大小对测试结果的影响, 为后续 SIMS 分析技术在红外探测器材料的进一步研究奠定了基础。

关键词: 二次离子质谱仪; 碲镉汞; 红外焦平面

中图分类号: TN213 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2018.11.004

Study of SIMS of Infrared Semiconductor Materials

LI Qian, SHE Wei-lin, ZHOU Peng, LI Da

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

Abstract: The principle of Secondary Ion Mass Spectrometry (SIMS) and its importance in the manufacture of infrared semiconductor materials and Infrared Focal Plane Array (IRFPA) devices are presented. Through SIMS tests of As-doped HgCdTe and CdTe/InSb materials, the influences of different ion sources and primary beam intensity on test results are studied. The study lays a foundation for the further study of application of SIMS in infrared detector materials.

Key words: secondary ion mass spectrometry; HgCdTe; IRFPA

0 引言

红外焦平面器件虽然在军事电子装备中得到了广泛应用, 但存在性能与成本问题, 这对红外材料提出了更高的要求, 需要发展密度高、面积大、均匀性较好的多色、大规格、异质外延碲镉汞薄膜材料和 InAs/GaSb 类超晶格材料, 以满足夜视、火控、侦察、监视、精确制导和光电对抗等军事应用的要求^[1]; 更要在提升原有探测器材料性能的基础上开发新型

材料, 为十三五和十四五规划奠定基础。

在红外焦平面探测器工艺研制过程中, 材料内部微量掺杂元素的纵向分布情况会影响探测器的性能。SIMS 具有极高的灵敏度, 可达 ppm 甚至 ppt 量级。目前仪器的一次离子束直径可达微米, 甚至亚微米级别, 可以很好地进行深度分析。对于半导体材料在生长和工艺中的掺杂或污染, 其浓度一般处于 $10^{13} \sim 10^{19}$ at/cm^3 之间。相比于其他表面分析技术如卢瑟

收稿日期: 2018-09-13

作者简介: 李乾(1990-), 男, 山东泰安人, 助理工程师, 主要从事红外半导体材料的测试开发研究。

E-mail: liqianbuaa@126.com

福背散射分析、俄歇电子能谱分析、扫描透射电子显微镜/X射线能谱分析、X射线光电子能谱技术/化学分析电子光谱分析等, SIMS 可对掺杂元素的浓度分布进行直接测试, 在半导体测试技术中无可替代^[2]。

1 SIMS 分析技术

离子源(氧源或铯源)发射出的一次离子束, 经透镜聚焦后轰击在样品表面。一次离子在穿透样品表层的过程中, 会发生一系列弹性碰撞与非弹性碰撞。高能离子将部分能量传递给晶格原子, 获得能量的晶格原子会向材料表面运动, 同时将能量传递给表面原子, 使其溅射。溅射出来的二次离子在经过质谱计和静电分析器的过程中按荷质比分离。通过监测器对收集到的二次离子信号进行分析, 得到质谱分析图、深度分析图(常用)和离子像, 如图 1 所示^[3]。

二次离子质谱分析技术的主要优点有:

- (1) 能对元素周期表内 H~U 所有元素表征分析;
- (2) 测试灵敏度较高, 对污染或者掺杂的检测通常能达到 ppm 甚至 ppt 量级;
- (3) 可对单质和化合物进行表征分析, 获得材料的分子量及分子结构等信息;
- (4) 能对样品进行微区成分分析及深度剖面分析;
- (5) 具有良好的空间和时间分辨率。^[3,4,5]

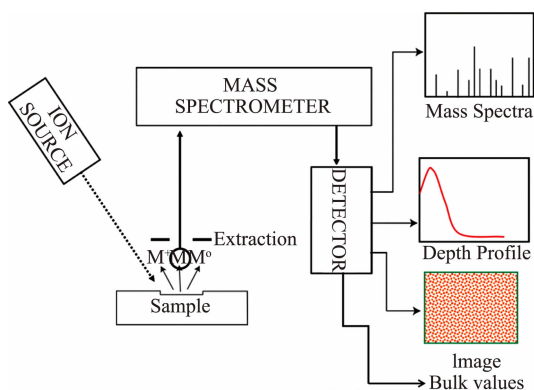


图 1 SIMS 仪的工作原理示意图

2 实验及实验结果

本实验主要研究 SIMS 设备中离子源的选择和一次束流大小对测试结果产生的影响。分别使用氧源与铯源对碲镉汞中的 As 元素进行测试, 以研究离子源对测试结果的影响。通过调整一次束流大小分别对 CdTe/InSb 材料和碲镉汞中的 As 元素进行分析, 以研究一次束流大小对测试结果的影响。

2.1 离子源的选择对测试结果的影响

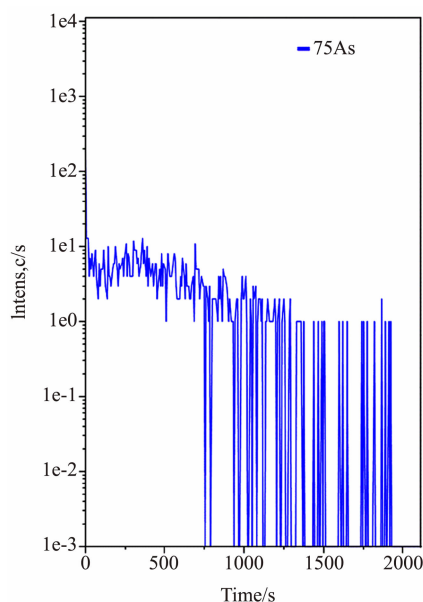
碲镉汞中 As 元素的 SIMS 测试可以选择氧源或者铯源进行, 但是检测限不同。检测限即所能检测出的最小杂质含量, 是标志检测能力的重要指标^[6]。据文献报道, 针对碲镉汞中的 As 元素, 氧源测试极限为 10^{16} atoms/cm³, 铯源的测试极限为 2×10^{15} atoms/cm³。铯源的精度更高, 应优先选择。使用 SIMS 设备测试碲镉汞中 As 元素的结果如图 2 所示。

在测试过程中, 无论使用铯源还是氧源, 前期都有信号。但是选用铯源测试时, 探测器监测到的信号较小, 测试结果如图 2(a)所示。使用氧源测试时, 能获得较好的测试曲线, 符合材料的掺杂元素分布情况, 如图 2(b)所示。铯源测试结果不佳, 可能与参数设置、设备状态有很强的关联性。

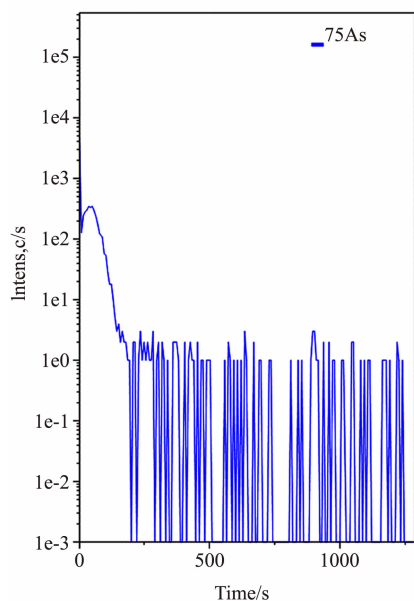
2.2 一次束流对测试结果的影响

对 CdTe/InSb 的 SIMS 测试结果进行分析, 通过改变一次束流大小得到测试结果。图 3(a)中, 一次束流为 99 nA, 图 3(b)中一次束流为 125 nA。对比不同的一次束流测试结果时发现, 束流增大, 所有元素溅射出的二次离子增加, 探测器接收到的离子增加, 检测到的信号强度增强。以 In 元素为例, 束流强度从 99 nA 升到 125 nA 时, 探测器接收到的信号强度由 2×10^6 c/s 升到 1.7×10^7 c/s, 信号强度在 10^6 c/s 附近时会发生探测器 EM/FC 的切换, 造成信号强度瞬间下降。

一次束流增加, 各元素的信号强度都会增加, 但是程度不同。以平台期信号强度为例, 结果见表 1。



(a) 铯源测试结果



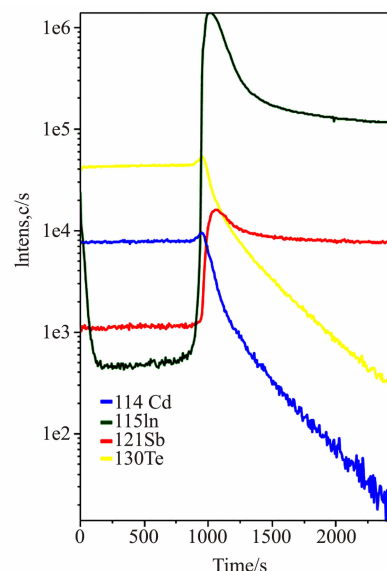
(b) 氧源测试结果

图 2 掺 As 碲镉汞材料选用不同离子源测试的结果

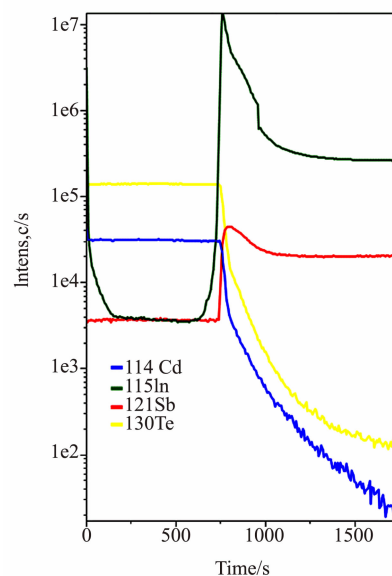
表 1 不同束流下各元素的信号强度

束流 (nA)	Cd 的信号 强度(c/s)	In 的信号 强度(c/s)	Sb 的信号 强度(c/s)	Te 的信号 强度(c/s)
99	7.7×10^3	5.0×10^2	1.2×10^3	4.0×10^4
125	3.0×10^4	4.0×10^3	3.5×10^3	1.6×10^5

一次束流的增加会影响刻蚀速率。同一 CdTe/InSb 样品, 刻蚀到同一深度界面所用的



(a) 99 nA测试结果



(b) 125 nA测试结果

图 3 铯源不同束流测试 CdTe/InSb 材料的结果
时间不同, 99 nA 束流对应的时间为 1100 s, 125 nA 束流对应的时间为 800 s。束流越大, 刻蚀速度就越快。

在 SIMS 测试中, 一次束流强度会改变刻蚀速率, 影响二次离子的产额, 使探测器检测到的信号强度不同。束流增加会增大信号强度, 但并不是束流越大越好。在碲镉汞材料的 As 元素检测中, 基于前期使用铯源测试 As 元素并无良好结果, 我们选择氧源进行测试。图 4 中, 束流强度为 323 nA 时的测试结果与 590 nA 时的测试结果相比, As 元素有一个峰

值或者平台期, 细节更加明显, 与掺杂工艺一致。过大的一次束流会导致刻蚀速率较高, 元素纵向分布的部分细节变模糊。

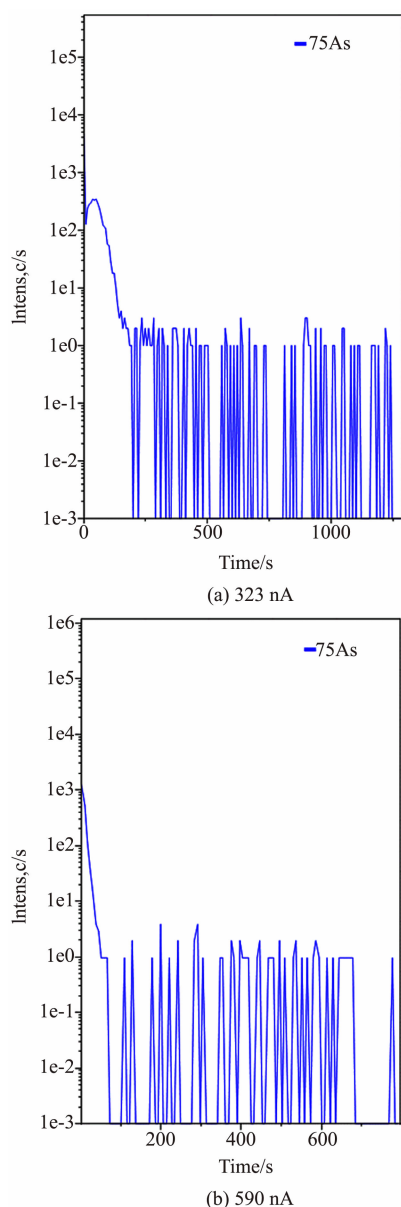


图 4 不同束流强度氧源测试掺 As 碲镉汞材料的结果

3 结论

研究表明, 在 SIMS 测试中, 离子源的选

择和一次束流的大小都会影响测试结果。通过分析实验结果, 我们得到以下结论:

(1) SIMS 测试中离子源的选择会影响测试样品的测试极限, 但是测试结果与设备状态、测试参数有很大关系;

(2) 在一定范围内, 一次束流的大小会影响刻蚀速率和二次离子产额。一次束流越大, 溅射出各种元素的二次离子就越多, 刻蚀速率明显上升, 从而探测器检测到的信号增强;

(3) 一次束流增大, 会增强刻蚀速率, 使得探测器的敏感度下降, 从而影响元素纵向分布的部分细节。

除离子源的选择和一次束流的调整, 样品表面粗糙度、基底材料、质量分辨率等因素都会影响最终测试结果。关于 SIMS 测试, 遗留的问题很多, 下一步将对设备参数和浓度标定进行更深入的研究。

参考文献

- [1] 朱西安, 左雷, 李震. SIMS 在碲镉汞红外焦平面探测器工艺中的应用 [J]. 激光与红外, 2006, 36(11): 1013-1015.
- [2] 王佑祥, 陈春华, 陈新. 二次离子质谱分析在半导体材料与器件工艺中的应用 [J]. 半导体技术, 1993, 18(2): 48-52.
- [3] 吴志鹏. 用于 SIMS 分析的 LED 芯片样品制备 [D]. 南昌: 南昌大学, 2014.
- [4] Adams F, Gijbels R, R Van Grieken. 祝大昌译. Inorganic Mass Spectrometry [M]. 上海: 复旦大学出版社, 1993.
- [5] 梁汉东. 煤的二次离子质谱解析 [J]. 质谱学报, 1998, 19(3): 42-51.
- [6] 范亚茹. 二次离子质谱分析碳化硅中钒杂质含量的研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2007.