

激光束感应电流法研究 HgCdTe 电活性缺陷 和焦平面器件的光电特性*

茅文英 孙 全 褚君浩

(中国科学院上海技术物理研究所红外物理国家重点实验室, 上海, 200083)

赵 军 王令名

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

摘要 用高分辨率的、非破坏的光学表征技术的激光束感应电流研究碲镉汞(MCT)晶片中电活性缺陷和光伏型红外碲镉汞焦平面器件及光伏型硅光电器件 P-N 结光电特性, 实验表明在 MCT 晶片中探测到激光束感应电流, 在光伏型 P-N 结构的器件中, 观察到周期结构的激光束感应电流分布, 定性地观察激光束感应电流图谱以及定量地分析单个 P-N 结的感应电流分布形状可以判断器件的均匀性和器件的质量。

关键词 红外焦平面器件, P-N 结, 激光束感应电流。

ELECTRICALLY ACTIVE DEFECTS IN HgCdTe AND OPTO-ELECTRONIC PROPERTIES OF FOCAL PLANE ARRAY BY LASER BEAM INDUCED CURRENT*

MAO Wen-Ying SUN Quan CHU Jun-Hao

(National Laboratory for Infrared Physics, Shanghai Institute of Technical
Physics, Chinese Academy of Science, Shanghai 200083)

ZHAO Jun WANG Ling-Ming

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Science, Shanghai 200083, China)

Abstract A high-resolution and nondestructive optical characterization technique called laser beam-induced current (LBIC) was utilized to detect electrically active defects in HgCdTe wafers. It was also used to study the opto-electronic properties in photovoltaic detector elements for focal plane array without the requirement of any electrical contacts to individual detector elements. The LBIC was detected in HgCdTe wafers. The periodic distribution of LBIC was observed in photovoltaic detector with P-N junction array. The uniformity for the performance of the diodes in an array can then be assessed by examining qualitatively the LBIC image and by analyzing quantitatively the profile of LBIC signal corresponding to individual diodes.

Key words infrared focal plane arrays, P-N junction, laser beam induced current.

引言

红外探测器已迅速从单元器件、线列器件发展到焦平面阵列器件, 但制备高质量、大面积焦平面器件目前还是十分困难的, 首先, 制备焦平面器件的工艺是相当复杂的, 而且工艺过程缺乏简单的监测手

段, 目前往往是器件制备好, 再进行测量, 这样在分析器件问题时, 往往较多因素交叉在一起, 寻找问题相当困难, 其次, 焦平面器件的元数极多, 各个单元的光电特性有时会出现不均匀, 甚至会出现一个器件中只夹有一个或几个性能极差的元件, 这种现象可能是制备焦平面器件材料的不均匀所引起的, 也

* 国家自然科学基金(编号 69878031)资助项目
稿件收到日期 2000-12-28, 修改稿收到日期 2001-04-14

* The project supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 69878031).
Received 2000-12-28, revised 2001-04-14

可能是制备工艺过程中所带来的. 材料本身的不均匀应当在制备前将其筛选出去. 目前对材料不均匀性检测已有很多手段, 例如用光电导衰减法测量体寿命和表面复合速度分布^[1], 用四探针法测微区的电阻率^[2]等.

本文采用激光束感应电流技术, 简称 LBIC^[3], 既可作为研制焦平面器件工艺过程的监控及测量手段, 又可以作为筛选材料中电活性缺陷的手段.

本研究使用氦激光作为激发光源, 对块状碲镉汞晶片、MBE 薄膜晶片、光伏型红外碲镉汞焦平面器件和大面积的硅光伏器件进行了研究. 在 MCT 晶片上测到由于电活性缺陷而产生的感应电流; 而在 MBE 薄膜晶片上未测到感应电流; 在光伏型红外碲镉汞焦平面器件和大面积的硅电器件上测量到周期分布的激光束感应电路信号. 因此 LBIC 法用于判断材料中电活性缺陷是可行的; 用于监控和测量红外焦平面器件的光电特性是十分有效的.

1 激光束感应电流原理

激光束感应电流是在被测样品(材料或器件)的两端制备两个欧姆电极. 将微激光束入射到样品上, 光入射到样品某点上. 若该点样品附近存在局部电场, 则会产生电子-空穴对, 两端电极未加任何偏压, 电子-空穴对在局部电场作用向相反方向运动进而形成电流, 称此电流为激光束感应电流, 其电流主要取决于局部电场. 并与入射光点和电极的相对位置等有关. 局部电场可能是由于材料中的缺陷形成的, 这些缺陷包括杂质、应力、沉淀、夹心、双晶界等. 而光伏型的大规模焦平面器件上有大量的 P-N 结, 这些 P-N 结构成周期分布的电场, 从焦平面器件两端的衬底作欧姆电极输出. 当微激光束沿着一个方向扫描时, 所形成的感应电流呈周期的正负双峰结构.

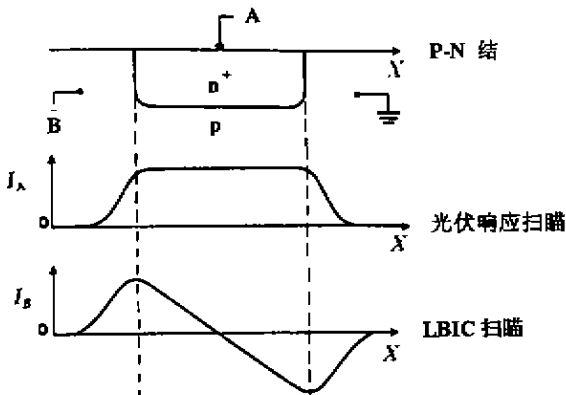


图 1 P-N 结光电流与激光束感应电流

Fig. 1 Photoelectric current and LBIC of a P-N junction

峰结构显示了 P-N 结的光电特性, 故可作为监测工艺和测量焦平面器件的手段.

图 1 示出一个 P-N 结的通常光电流和激光束感应电流, 通常的光电流是结上的 C 点和衬底上 A 点两端作欧姆电极输出, 当激光束从一端扫向另一端时测出电流, 而激光束感应电流是衬底一端上的 A 点与衬底另一端上的 B 点作为欧姆电极输出, 当激光束从一端扫向另一端时测出激光束感应电流. 激光束感应电流的产生除起因于通常的垂直于结的光伏效应外, 还与平行于结的光伏效应^[4]有关, 它是 P-N 结在局部非对称照明下所产生的, 故此电流呈现正负双峰结构.

测量 P-N 结的光伏器件光电流分布, 要求每一个单元器件的光电流时它的输出一端必须连接于此单元器件的“结”, 另一端从衬底输出, 大规模焦平面器件的测量则要求每个单元器件都要引输出电极. 这样除工作量极大外, 还对单元器件有不同程度的破坏. 而测量激光束感应电流时只需在样品两端衬底上引欧姆电极输出即可, 所有的单元器件的测量均共用这一输出电极. 因此激光束感应电流为研究焦平面中每一个元(或 P-N 结)光电特性提供了一种新的方法, 它具有简单、非破坏等优点.

2 实验

图 2 为实验装置示意图. 图 2 中氦氖激光器, 其波长为 $0.6328\mu\text{m}$, 作为从样品光敏元方向激发的光源, 样品的前表面位于激光斑的焦平面上.

实验中的激光光源除波长与所测样品的禁带宽度有关外, 光斑的大小还决定被测 P-N 结的线度以及测量的分辨率. 因此对光斑的大小至少必须有数量级的认识. 为此用小激光光斑测量光敏元为 $120\mu\text{m} \times 120\mu\text{m}$ 的硅光器件的线分布, 以此估计光

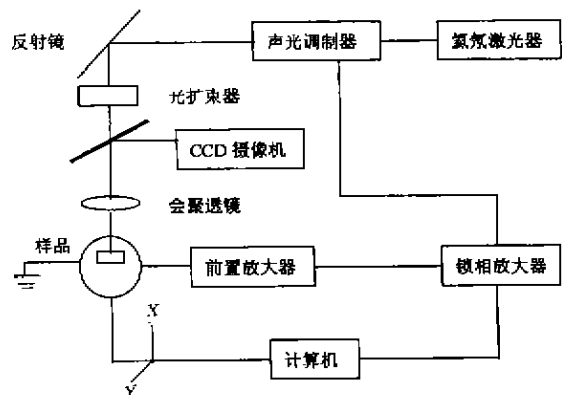


图 2 实验装置示意图

Fig. 2 Block diagram of experimental set-up

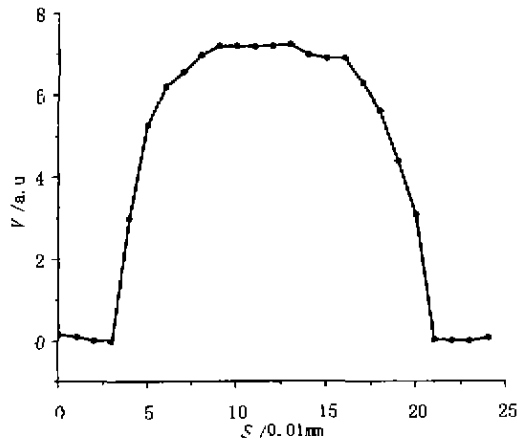


图3 0.12mm × 0.12mm 面积硅光器件 X 方向响应
Fig. 3 Optoelectronic response along X direction
for the silicon photonic device with an
area of 0.12mm × 0.12mm

斑尺寸(见图3)。

实验在碲镉汞晶片上测量到激光束感应电流,所用材料的组分 x 为 0.18,在液氮温度下测量,晶片的长度为 10mm。

对碲镉汞 MBE 薄膜晶片进行实验,材料的组分分别为 0.249、0.229 和 0.229,但均未测到激光束感应电流。

为了进行对比,特选 3 种不同材料的 P-N 结光伏器件进行实验。第 1 种为硅光电 P-N 结器件,硅器件结构为 P on N,器件的几何尺寸为 10mm × 10mm,结区即 P 区面积为 1.5mm × 1.5mm, N 区即两个结之间的间距为 0.3mm,两个相邻结的中心间距为 1.6mm,在室温下进行测量。第 2 种为块状碲镉汞材料制备的光伏型焦平面器件,第 3 种为薄膜碲镉汞材料制备的光伏型焦平面器件,块状碲镉汞材料制备的器件结构为 P on N,材料组份 x 为 0.23,碲镉汞薄膜材料制备的器件结构也为 P on N,材料为铟衬底上用 MBE 法生长 P 型碲镉汞薄膜,材料组分为 0.21,光敏元面积为 $500\mu\text{m} \times 500\mu\text{m}$,衬底间距为 $500\mu\text{m}$,即两光敏元中心间距为 $500\mu\text{m}$,这两种器件实验均在液氮温度下进行。

由于激光束感应电流与电极的位置有关,故对器件进行扫描时,在两特殊方向进行了测量,即沿着相对两电极连线为垂直方向和平行方向扫描,所得结果虽然有所不同,但都反应了结的特性。

3 结果与讨论

图 3 为光敏元为 0.12mm × 0.12mm 的硅光器

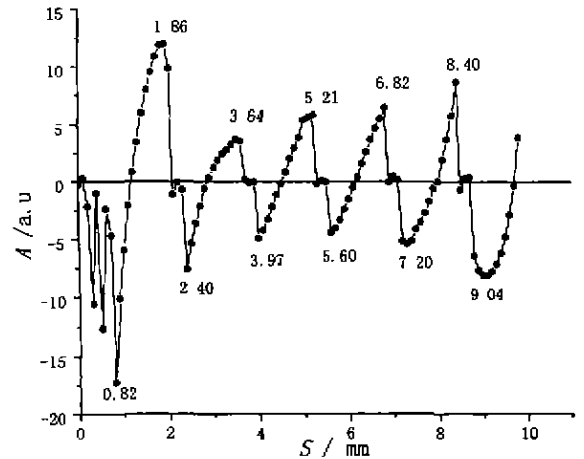


图4 光伏型硅光器件激光束感应电流--个方向
扫描曲线(器件为 10mm × 10mm)
Fig. 4 Typical LBIC profiles measured along X direction
for the silicon photovoltaic device
with $D=10\text{mm} \times 10\text{mm}$

件的标准光电响应曲线,其半功率点为 0.15 mm,考虑到器件两边光导响应的指数衰减,故光斑 $\leq 0.015\text{mm}$ 。

对块状 MCT 晶片线度为 10mm 的样品进行激光束感应电流实验结果,所测量到激光束感应电流部分约占总样品 0.2%,这说明块状 MCT 材料中电活性缺陷不但存在,而且含量较大。

对 MBE 薄膜晶片进行激光束感应电流进行测试,其结果三个样品均未测量到感应电流,这说明 MBE 薄膜材料中没有电活性缺陷存在。

图 4 为光伏型 Si 器件的激光束感应电流信号

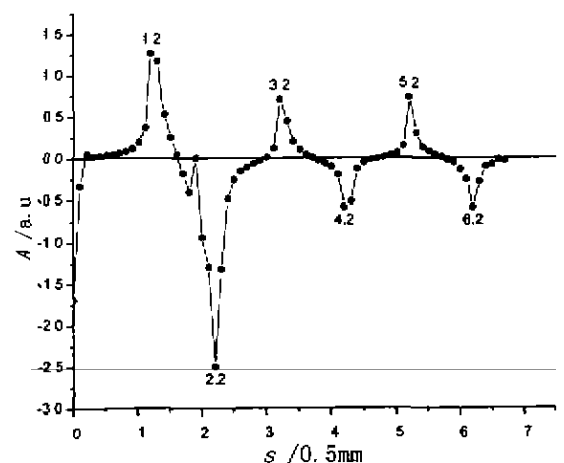


图5 薄膜 MCT 焦平面器件激光束
感应电流沿 X 方向扫描
Fig. 5 Typical LBIC profiles measured along X direction
for infrared focal plane arrays of film MCT

在 X 方向的分布,从图 4 中可见,器件中间的 P-N 结的 LBIC 几乎接近理想特征双峰结构,结区和衬底区可以明显区分开,峰值的位置基本上与设计的器件几何结构一致.但是越靠近器件的边缘则越偏离理想情况,这可能是由于在切片、制备电极,以及安装中,样品受到应力或其它形变等的影响,从而 P-N 结的完整性受到破坏.

实验对块状碲镉汞材料制备的器件与薄膜碲镉汞材料制备的器件进行测量所得结果与材料来源没有直接关系,图 5 是薄膜碲镉汞材料制备的焦平面器件的激光束感应电流图谱,电流峰间距与器件设计数据完全一致,但峰值特别在边缘处相差较大.

4 结语

(1) 激光束感应电流用于监测光伏型焦平面器件的工艺流程及 P-N 结的光电特性测量是很好的方法.

(2) 激光束感应电流法只需在衬底两端上引线,此方法用于器件测量基本上可称为非破坏的.

(3) 本方法探针为微激光束,其分辨率取决于微光束的大小,氦氖激光的光斑可小于 $1\mu\text{m}$,配合使用高精度的 X-Y-Z 调整架,本方法具有很高的分

辨率.

(4) 本方法测量的是极小的电流,目前电流测量技术可测量小到 μA ,因此本方法具有极高的灵敏度.

感谢 我所朱龙源、靳秀芳、胡亚春、史国良等同志协助制备样品,以及与李标博士等进行过很有意义的讨论,在此一并表示感谢.

REFERENCES

- [1] GONG Hai-Mei. Study on surface and interface of mercury cadmium telluride. Doctoral Dissertation, Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences (龚海梅, 碲镉汞表面与界面的研究, 中国科学院上海技术物理研究所博士论文), 1993
- [2] Joseph J Kopanski, Jeremiah R Lowney, Donald B Novotny, *et al.* High-spatial resolution resistivity mapping applied to mercury cadmium telluride. *J. Vac. Sci. Technol.*, 1992, B10(4): 1553
- [3] Baja J, Bubulac L O, Newman P R, *et al.* Spatial mapping of electrically active defects in HgCdTe using laser beam induced current. *J. Vac. Technol.*, 1992, A5(5): 3186
- [4] Wallmark J T. A new semiconductor photocell using lateral photoeffect. *Proc. IRE.*, 1957, 45: 474