

文章编号:1001-9014(2011)05-0409-05

近红外 256×1 元 InGaAs 焦平面探测器无效像元研究

李雪^{1,2}, 邵秀梅^{1,2}, 唐恒敬^{1,2}, 汪洋^{1,2}, 陈郁^{1,2}, 龚海梅^{1,2}

(1. 中国科学院上海技术物理研究所 传感技术国家重点实验室, 上海 200083;
2. 中国科学院上海技术物理研究所 红外成像材料和器件重点实验室, 上海 200083)

摘要:采用分子束外延方法生长的 PIN 型 InP/InGaAs/InP 双异质结材料制备了正照射 256×1 元近红外探测器, 并与 128×1 奇偶两路读出电路互连, 制备了近红外 256×1 元焦平面探测器. 针对近红外 InGaAs 焦平面探测器中的无效像元问题, 通过光学显微镜、扫描电镜和电学测试将无效像元进行分类, 并分析了无效像元产生的原因. 研究表明光敏芯片较低的零偏电阻、键压过程引入的损伤和虚焊以及钝化膜侧面覆盖较薄导致了无效像元的产生, 通过光敏芯片设计结构改进和钝化膜工艺优化, 消除了近红外 256×1 元 InGaAs 焦平面探测器的无效像元.

关键词:近红外; 焦平面; 无效像元
中图分类号:TN21 **文献标识码:**A

Inoperable pixels of 256×1 element linear InGaAs near-infrared focal plane arrays

LI Xue^{1,2}, SHAO Xiu-Mei^{1,2}, TANG Heng-Jing^{1,2}, WANG Yang^{1,2},
CHEN Yu^{1,2}, GONG Hai-Mei^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Transducer Technology, Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China;
2. Key Laboratory of Infrared Imaging Materials and Devices, Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract: 256×1 element front-illuminated InGaAs detector arrays were fabricated by using MBE-grown p-InP/n-InGaAs/n-InP double-heterostructure epitaxial materials and were wire-bonded to 128×1 element odd and even readout integrated circuits (ROICs) in order to form near-infrared 256×1 element InGaAs focal plane arrays (FPAs). The inoperable pixels exist in the near-infrared InGaAs FPAs. In this paper, the inoperable pixels were classified and analyzed by the optical microscope, SEM and electrical measurements. The results show that the lower resistance of photosensitive detectors at the bias voltage of 0V, the damage and false bonding, and the thinner profile of passivation film cause the inoperable pixels. The near-infrared 256×1 element InGaAs FPAs without inoperable pixels were obtained by improving the structure of photodetectors and the technics of passivation film.

Key words: near-infrared; FPAs; inoperable pixel
PACS: 42.79.Pw

引言

新型铟镓砷 (InGaAs) 探测器组件在 $0.9 \sim 1.7 \mu\text{m}$ 波段具有非制冷室温工作、探测率高、均匀性好等优点, 是小型化、低成本和高可靠性的短波红外探测系统的最佳选择, 在航空航天、医学成像、生产过程监测、食品检测等领域有广泛的应用前景^[1-2].

近红外 InGaAs 探测器通常采用平面型和台面型两种结构, 平面扩散工艺所制备的 InGaAs 探测器具有暗电流小和探测率高的优点, 目前光敏面扩大和串音抑制技术是研究的热点; 台面型 InGaAs 探测器通常采用原位成结的 PIN 型 InP/InGaAs/InP 双异质结材料制备, 通过物理隔离的方式实现串音抑制, 其侧面和表面的钝化技术是影响器件探测率的主要因素. 提高 InGaAs 探测器探测率、响应均匀性

收稿日期: 2010-11-05, 修回日期: 2011-05-24
基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (50632060)
作者简介: 李雪 (1976-), 女, 辽宁义县人, 博士, 副研究员, 主要从事短波红外探测器的研究, E-mail: lixue@mail.sitp.ac.cn.

Received date: 2010-11-05, revised date: 2011-05-24

及降低串音已有研究报道^[3],但鲜见对近红外 InGaAs 焦平面探测器无效像元的研究报道. 研究红外焦平面探测器的无效像元的抑制对应用系统有重要意义,文献[4]报道了红外焦平面阵列盲元检测及补偿算法,通过应用系统处理实现无效像元的补偿,文献[5]报道了铋化锑红外焦平面探测器在在寿命周期中无效像元失效问题,表明热循环会造成焊点疲劳和失效,最终导致焦平面探测器失效.

本文通过微观手段研究了近红外 256×1 元 InGaAs 焦平面探测器无效像元的产生机理,为探测器结构改进和工艺优化提高了依据,有效地降低了近红外 256×1 元 InGaAs 焦平面探测器的无效像元.

1 实验过程

本文研究的近红外 256×1 元 InGaAs 焦平面探测器如图 1 所示,光敏芯片是用上海微系统所分子束外延生长的 PIN 型 InP/InGaAs/InP 双异质结材料制备的,通过超声键压的方式实现了 256×1 元光敏芯片与 128×1 奇偶两路读出电路等平面耦合互连.

对近红外 256×1 元 InGaAs 焦平面探测器进行常规测试,测试条件为:黑体温度为 900 K,黑体孔径 d 为 10 mm,孔径与待测探测器芯片的距离 L 为 30 cm,积分时间为 1 ms. 测试焦平面获得的信号如图 2 所示,根据无效像元的定义,即当探测器响应率 R_V 超过平均响应率 50% 和低于平均响应率 50% 时,定义此探测器像元为无效像元^[6],根据测试结果, 256×1 元 InGaAs 焦平面探测器无效像元率在 3%,确定了无效像元的位置.

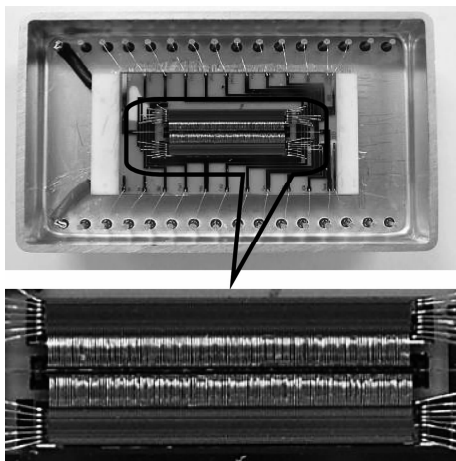


图 1 近红外 256×1 元 InGaAs 焦平面探测器
Fig. 1 The photograph of near-infrared 256×1 InGaAs FPA detector

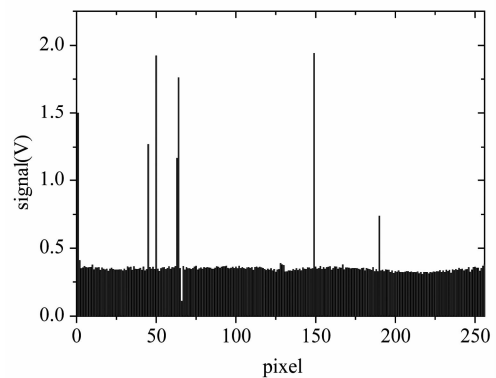


图 2 近红外 256×1 元 InGaAs 焦平面探测器的响应信号
Fig. 2 The response signal of near-infrared 256×1 InGaAs FPA detector

2 研究结果与讨论

2.1 焦平面中无效像元的表面分析

对无效像元位置所对应电路表面和光敏芯片表面进行光学显微镜检,见图 3,电路表面未见明显损伤,光敏芯片表面状态有三种状态,第 I 类,光敏芯片表面存在明显损伤;第 II 类,光敏芯片键压点与光敏元区域之间存在碰撞,如图 3 中虚框内的键压点;第 III 类,探测器表面和电路表面均未发现异常. 进一步采用扫描电镜对无效像元位置所对应光敏芯片表面进行微观分析,见图 4.

如图 4(a) 所示,第 I 类无效像元,其光敏芯片表面存在明显损伤;如图 4(b) 和 4(c) 虚框所示,第 II 类,在光敏芯片电极键压过程可能引入损伤或存在虚焊,损伤引起无效像元的输出信号通常表现为过饱和,而虚焊引起无效像元的输出信号通常表现为无信号和信号很弱.

2.2 焦平面中无效像元对应光敏芯片的电学性能

采用 Keithley236 源测量单元研究焦平面第 III 类无效像元对应的光敏芯片的电学性能. 光敏芯片的伏安曲线如图 5 所示,表明光敏芯片的 PN 结特性异常,其零偏压电阻仅为几千欧姆.

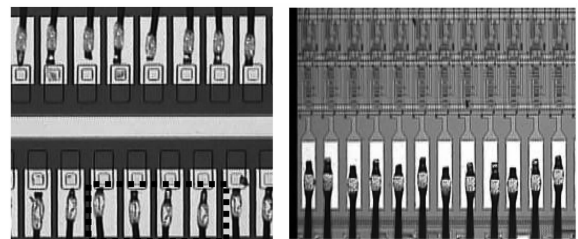


图 3 光敏芯片和电路表面显微照片
Fig. 3 The micrograph of InGaAs photodetector and circuit

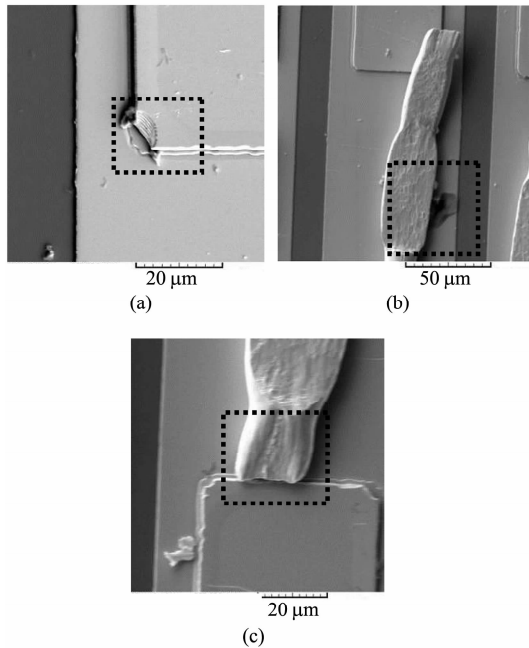


图 4 无效像元对应的光敏芯片扫描电镜图
Fig. 4 The SEM photograph of photodetector corresponding the inoperable pixel

利用 Cadence 模拟软件,按照设计的参数进行电路模拟,当探测器电阻下降到 300 KΩ 时,其探测器的暗电流将会导致过饱和的输出信号.因此,光敏芯片的 PN 结特性异常是图 1 中第 III 类无效像元产生的原因.

光敏芯片采用正照射台面型结构,台阶高度为 2 ~ 3 μm,生长 SiN_x 薄膜作为表面和侧面钝化层.为了研究光敏芯片 PN 结特性异常的原因,采用扫描电子显微镜分析光敏芯片的侧面形貌,如图 6 所示,表面和侧面覆盖的 SiN_x 钝化层厚度分别为 0.61 μm 和 0.22 μm,侧面覆盖的厚度仅为表面的 1/3,

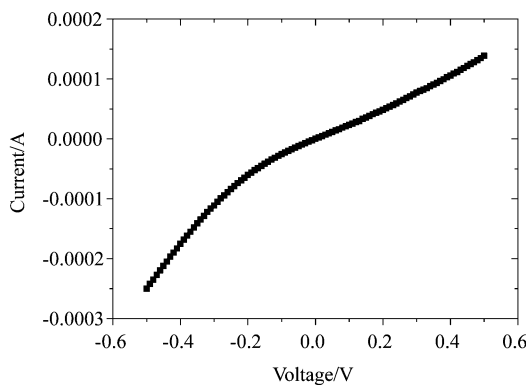


图 5 焦平面中第 3 类无效像元对应芯片 I-V 曲线
Fig. 5 The I-V curve of photodetector corresponding type III inoperable pixel

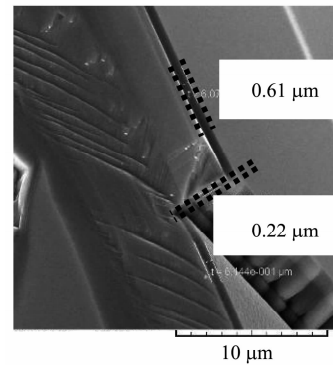


图 6 探测器钝化层侧面形貌
Fig. 6 Profile micrograph of passivated film in the detectors

较薄的侧面钝化膜难以实现台阶边缘的覆盖作用,这会导致 PN 结特性的异常.

2.3 焦平面中无效像元的消除方法

对于第 I 类无效像元,加强工艺过程的检验,对表面明显损伤的光敏芯片进行筛选和剔除;对于第 II 类无效像元,设计新型探测器结构,延长延伸电极,有效的避免了键压过程对探测器 PN 结区可能的损伤;对于第 III 类无效像元,优化光敏芯片钝化膜的厚度,有效地实现了台面结边缘的覆盖.

通过光敏芯片结构改进和钝化膜工艺优化,研制了近红外 256 × 1 元 InGaAs 光敏芯片,将其与 128 × 1 奇偶两路读出电路互连,其焦平面的读出信号如图 7 所示,消除了近红外 256 × 1 元 InGaAs 焦平面探测器的无效像元,响应信号的非均匀性达到了 3.87%.

3 结论

本文通过微观分析与光电性能测试对 256 × 1 元近红外 InGaAs 焦平面的无效像元对应的光敏芯

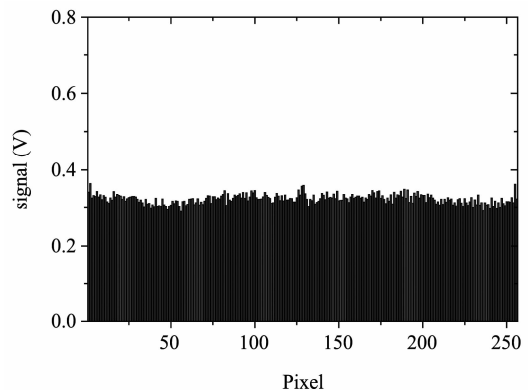


图 7 经过改进后的焦平面读出信号
Fig. 7 The readout signals of the improved FPA

[7] James C Bremer, Jeanette G Baucom, Hung Vu, *et al.* Estimation of long-term throughput degradation of GOES 8&9

visible channels by statistical analysis of star measurements [J]. *Proc. SPIE*, 1998, **3439**(145):145-154.

(上接 408 页)

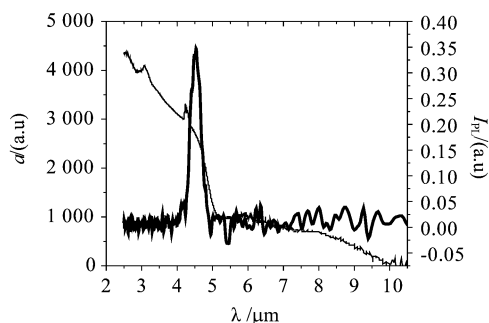


图 5 InAs/GaSb 超晶格材料的 PL 谱和吸收光谱
Fig. 5 PL spectrum and absorption spectrum of the SL samples

采用衬底温度 450℃ 和最优的界面结构条件, 生长了 400 周期的 InAs/GaSb (9ML/12ML) 超晶格材料, 获得吸收光谱曲线在图 5 中以细线表示. 图 5 中粗线是 PL 谱曲线, 测试的样品是 100 周期 InAs/GaSb (9 ML/12 ML) 超晶格材料, 样品测试温度均为 77 K. 可以看出, PL 谱峰值波长在 4.55 μm , 吸收光谱 50% 截止波长大约在 4.84 μm , 与 PL 谱基本一致.

3 结论

在 GaSb 衬底上分子束外延中波 InAs/GaSb (9

ML/12 ML) 超晶格材料, 最优生长温度为 450℃ 时, 生长的外延材料表面平整, 粗糙度最小可达 1Å. DCXRD 结果显示通过改变界面层来调整衬底和外延材料的失配, 而且四级以上卫星峰的双晶半峰宽均小于 35 弧秒, 超晶格晶体质量完好. 吸收光谱测试表明样品 50% 吸收截止波长在 4.85 μm .

REFERENCES

- [1] Sa-Halasz G A, Tsu R, Esaki L. A new semiconductor superlattice [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1977, **30**:651-653.
- [2] Smith D L, Maihiot C. Proposal for strained type II superlattice infrared detectors [J]. *J. Appl. Phys.*, 1987, **62**:2545-2548.
- [3] Johnson J L, Samoska L A, Gossard A C, *et al.* Electrical and optical properties of infrared photodiodes using the InAs/Ga_{1-x}In_xSb superlattice in heterojunctions with GaSb [J]. *J. Appl. Phys.*, 1996, **80**:1116-1127.
- [4] Razeghi M, Wei Y, Bae J, *et al.* Type II InAs/GaSb superlattices for high-performance photodiodes and FPAs [J]. *Proceedings of SPIE the International Society for Optical Engineering*, 2003, **5246**:501-511.
- [5] Rogalski A. Material consideration for third generation infrared photon detectors [J]. *Infrared Physics and Technology*, 2007, **50**:240-252.
- [6] Bracker A S, Yang M J, Bennett BR, *et al.* Surface reconstruction phase diagrams for InAs, AlSb, and GaSb [J]. *Journal of Crystal Growth*, 2000, **220**:384-392.

(上接 411 页)

片进行研究, 发现光敏芯片表面明显损伤和键压过程可能引入损伤或虚焊是部分无效像元产生的原因; 同时, 光敏芯片侧面钝化膜未能实现台阶边缘的有效覆盖, 从而导致光敏芯片 PN 损伤是部分信号过大无效像元产生的原因. 通过改进光敏芯片结构设计和优化钝化膜设计与工艺, 实现了近红外 256 × 1 元 InGaAs 焦平面探测器的有效像元达到了 100%.

REFERENCES

- [1] Battaglia J, Blessinger M, Enriquez M, *et al.* An uncooled 1280 × 1024 InGaAs focal plane array for small platform, shortwave infrared imaging [C]. *SPIE*, 2009, **7298**:72983C-1.
- [2] Devon G T, Timothy C B, Peter D, *et al.* The Development of, and Applications for, Extended Response (0.7 to 1.7 μm) InGaAs Focal Plane Arrays [C]. *SPIE*, 2008, **6940**:

694037-1.

- [3] LV Yan-Qiu, HAN Bing, BAI Yun, *et al.* 256 element InGaAs linear IR focal plane array and scanning image [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (吕衍秋, 韩冰, 白云, 等. 256 元 InGaAs 线性红外焦平面及扫描成像. *红外与毫米波学报*), 2008, **27**:7-11.
- [4] CHEN Da-Chuan, LIU Chan-Lao, ZHEN Yang-Guang. Algorithm of Blind Pixels Auto-searching and Compensation for IRFPA [J]. *LASER & INFRARED* (陈大川, 刘缠牢, 郑阳光. 红外焦平面阵列盲元检测及补偿算法. *激光与红外*), 2008, **38**(12):1215-1217.
- [5] MU Hong-Shan, DONG Suo, LIANG Jin-Zhi. Study of Dead Pixels in InSb IRFPA Detector [J]. *INFRARED* (牟宏山, 董倾, 梁进智. 碲化铟红外焦平面探测器盲元失效问题的研究. *红外*), 2010, **31**(7):9-13.
- [6] QU Hui-Ming, CHEN Qian, GU Guo-Hua, *et al.* Test System for Measuring Characteristic Parameters of IRFPA [J]. *Laser & Infrared* (屈惠明, 陈钱, 顾国华, 等. 红外焦平面阵列性能参数测试系统. *激光与红外*), 2006, **36**(10):950-952.