

# 64×64 元 GaAs/AlGaAs 多量子阱 长波红外焦平面研制\*

李 宁 李 娜 陆 卫 沈学础 陈伯良 梁平治 丁瑞军

(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)

黄 绮 质筠铭 金 莉 李宏伟

(中国科学院物理研究所, 北京, 100080)

TN215

**摘要** 报道了 64×64 元 GaAs/AlGaAs 多量子阱凝视型红外焦平面的研制, 器件的平均响应率为  $R_s = 7.24 \cdot 10^6 \text{V/W}$ , 器件的平均黑体探测率  $D_s^* = 5.40 \cdot 10^6 \text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2}/\text{W}$ , 峰值波长为  $\lambda_p = 8.2 \mu\text{m}$ , 不均匀性小于 20%, 并应用研制成的器件获得了室温物体的热像图。

**关键词** 多量子阱, 凝视型红外焦平面, 红外成像。

长波 红外探测器

## 引言

GaAs/AlGaAs 多量子阱红外探测器由于依据的材料 GaAs 和 AlGaAs 具有成熟的生长和加工工艺, 使其在高均匀性、大面积、低成本的红外焦平面凝视系统中得到应用。近年来, 通过降低 GaAs/AlGaAs 多量子阱探测器的暗电流和提高响应率, GaAs/AlGaAs 多量子阱红外探测器的研究取得了令人瞩目的进展, 从单元器件发展到线列器件, 甚至 256×256 元焦平面阵列 (FPAs), 使 GaAs/AlGaAs 多量子阱探测器在 8~14 $\mu\text{m}$  这一长波大气窗口的红外焦平面阵列方面, 表现出很强的竞争力和实用性<sup>[1-3]</sup>。1997 年已报道截止波长为 9 $\mu\text{m}$  的 256×256 元和截止波长为 15 $\mu\text{m}$  的 128×128 元 GaAs/AlGaAs 多量子阱焦平面照相机<sup>[4-5]</sup>。本文报道在国内率先研制的 64×64 元 GaAs/AlGaAs 多量子阱长波红外焦平面阵列, 器件性能达到了 500K 黑体探测率  $D_s^* = 5.40 \cdot 10^6 \text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2}/\text{W}$ , 探测率不均匀性小于 20%, 并首次获得了室温物体的热像图。

## 1 探测器的制备过程

研制的探测器量子阱结构是采用分子束外延系统外延生长在半绝缘的 GaAs(100) 衬底上的 50 个周期的 GaAs/AlGaAs 多量子阱, 其中垒宽为 45nm, 阱宽为 5nm, 阱中的 Si 掺杂浓度约为  $1 \cdot 10^{17} \text{cm}^{-3}$ , 量子阱的上下电极层厚分别为 2 $\mu\text{m}$  和 1 $\mu\text{m}$ , 掺杂浓度为  $1 \cdot 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 。

探测器的光敏元设计成 64×64 元的二维面阵结构, 单元面积为 50×50 $\mu\text{m}^2$ , 单元间距

\* 国防科工委预研基金(编号 95-I-A-17)资助项目  
稿件收到日期 1998-12-07, 修改稿收到日期 1999-04-11

为  $20\mu\text{m}$ , 根据子带间的跃迁定则, 只有电矢量垂直于多量子阱生长面的入射光 (即  $E_{\perp} \neq 0$ ) 才能被子带中的电子吸收, 故在光敏元上采用二维衍射光栅进行光耦合. 考虑响应波长的实际工艺条件, 光栅周期定为  $8\mu\text{m}$ . 光栅和台面均采用湿法腐蚀, 上下电极蒸发 AuGeNi 合金后形成欧姆接触, 再通过 In 柱与我们自行研制的直接注入模式的 Si-CMOS 读出电路相混成互联后, 然后放入 77K 杜瓦瓶中, 采用冷屏及滤光片, 以抑制背景辐射. 面阵器件结构如图 1 所示, 图 1(a) 为带光栅的光敏元, 图 1(b) 为生长 In 柱准备互连的光敏元.

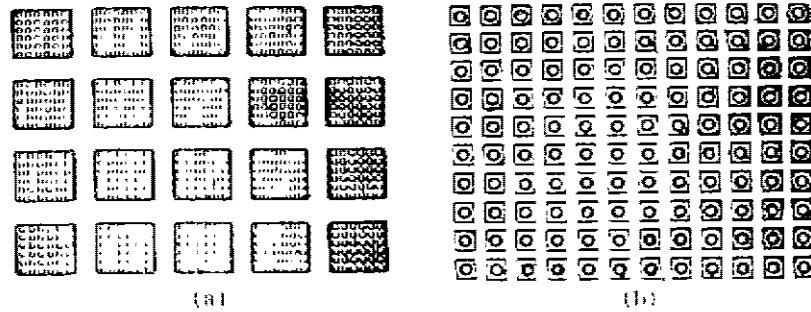


图 1 器件结构示意图

(a) 带光栅的光敏元 (b) 带铟柱的光敏元

Fig. 1 Schematic diagram of the unit cell

(a) The mesa with gratings (b) The mesa with indium bump

## 2 探测器的基本特性

用傅里叶变换红外光谱仪对 GaAs/AlGaAs 多量子阱红外焦平面进行光电流谱测量, 器件的光电流谱如图 2 所示, 其峰值波长为  $\lambda_p = 8.2\mu\text{m}$ . 将封装在杜瓦瓶中的器件放在焦平面测试系统中进行测量, 视场角为  $60^\circ$ , 采样帧数为 32, 器件在 500K 黑体时的均匀响应率  $R_u$  为  $7.24 \cdot 10^{-4} \text{V/W}$ , 平均黑体探测率  $D^*$  为  $5.40 \cdot 10^6 \text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2}/\text{W}$ , 器件响应率不均匀性为 15%, 探测率不均匀性为 19%. 这些测量结果均未考虑各种光学表面带来的红外辐射能损耗的修正, 器件自身未加增透膜.

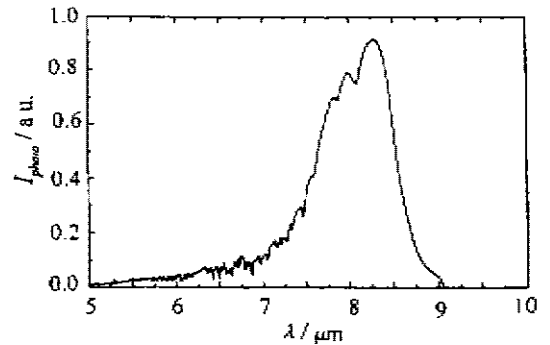


图 2 探测器在 77K 下的光谱响应

Fig. 2 Spectral responsivity of the detector at 77K

## 3 探测器的红外成像结果

混成焦平面的响应信号, 经前置放大信号处理转换成物体的热像图. 用上述的  $64 \cdot 64$  元 GaAs/AlGaAs 多量子阱凝视红外焦平面获得了电烙铁、茶壶和人手的热像图 (见图 3), 热像图通过颜色变化显示了物体不同温度区域的差别, 图像质量是量子阱探测器阵列和读出电路质量的综合体现, 因此均匀性和响应性能的提高也将与两方面的优化设计和工艺完善密切相关.

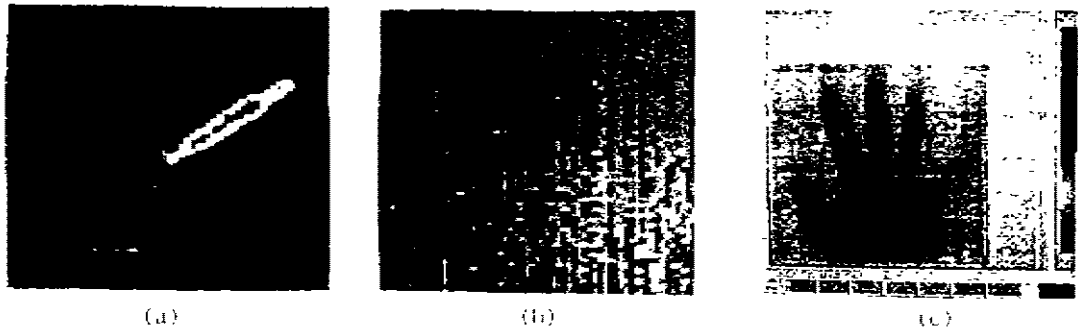


图 3 室温物体热像图

(a) 电烙铁热像图, (b) 茶壶热像图, (c) 人手热像图

Fig. 3 Infrared images of the room temperature body

(a) the image of an iron, (b) the image of a hot teapot, (c) the image of a hand

#### 4 结语

研制了具有室温物体热成像能力的 64 × 64 量子阱面阵焦平面组件, 这是在突破若干项关键技术的基础上取得的, 包括大面积低表面缺陷密度和低深能级中心浓度的 MBE 外延材料的生长工艺; 与 GaAs/AlGaAs 量子阱红外探测器可匹配的 64 × 64 读出电路初步研制成功; 有良好光电耦合的 64 × 64 元 GaAs/AlGaAs 量子阱红外光敏元的制备工艺, 特别是较大规模的光敏元与光电耦合光栅基元的均匀刻蚀工艺; 64 × 64 元 In 柱生长工艺; 64 × 64 焦平面混成互联工艺以及 64 × 64 焦平面测试技术等. 相对于工件在该波段的 HgCdTe 而言, GaAs/AlGaAs 多量子阱红外探测器由于其在材料生长和器件工艺方面成熟, 具有大面积均匀性好、成品率高、材料和器件中关键参数可控性好等优点. 随着材料质量、器件结构和工艺的改进, 探测器性能将得到进一步提高, 可能实现高灵敏度低价格的红外相机.

**致谢:** 感谢中科院北京物理所在材料生长方面给予的积极合作, 并对上海技术物理所六室在器件制作和测试方面所给予的支持表示衷心感谢.

#### REFERENCES

- 1 Levine B F. Quantum-well infrared photodetector, *J. Appl. Phys.*, 1993, **74**: R1.
- 2 Berthea C G, Levine B F. Long wavelength infrared 128 × 128 AlGaAs/GaAs quantum well infrared camera and imaging system, *IEEE Trans. on Electron Device*, 1993, **40**: 1957.
- 3 Claiborne L T. Improved performance of  $\Pi$ -V quantum well IP photodetectors: review of current and potential focal plane technology, *SPIE*, 2999: 94.
- 4 Bandara S, Gunapala S D. Optical coupling mechanisms in quantum well infrared photodetector, *SPIE*, 2999: 103.
- 5 Gunapala S D, Liu J K. 9 $\mu$ m cutoff 256 × 256 GaAs/AlGaAs quantum well infrared photodetector hand-held camera, *IEEE Trans. on Electron Device*, 1997, **44**: 51.
- 6 Gunapala S D, Park J S. 15 $\mu$ m 128 × 128 GaAs/AlGaAs quantum well infrared photodetector focal plane arrays camera, *IEEE Trans. on Electron Device*, 1997, **44**: 45.
- 7 Beck W A, Faska T S. Current states of quantum well focal plane arrays, *SPIE*, **2744**: 193.

## DEVELOPMENT OF $64 \times 64$ GaAs/AlGaAs MQW LONG-WAVE INFRARED FPAs\*

LI Ning LI Na LU Wei SHEN Xue-Chu CHEN Bo-Liang  
LIANG Ping-Zhi DING Rui-Jun

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

HUANG Yi ZHOU Jun-Ming JIN Li LI Hong-Wei

(Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100050, China)

**Abstract** A staring infrared FPA of  $64 \times 64$  multiple quantum wells (MQW) was developed. The average responsivity  $R_p = 7.24 \cdot 10^{-3} \text{V/W}$  was obtained with the peak wavelength  $\lambda_p = 8.2 \mu\text{m}$ . By the typical blackbody detectivity definition of FPAs, the average detectivity was  $D^* = 5.40 \cdot 10^6 \text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2}/\text{W}$ . The non-uniformity was smaller than 20%. Finally, a distinguished thermal image of a room-temperature body was obtained.

**Key words** multiple quantum wells, staring infrared FPAs, thermal imaging.

---

\* The project supported by the Preliminary Research Foundation of Science and Industry Committee of National Defense of China

Received 1998-12-07, revised 1999-04-14