

# \* 128 × 1 元 GaAs/AlGaAs 多量子阱扫描型红外焦平面的红外成像\*

王明芳 欧海疆 陆卫 刘兴权 陈效双 李宁 李娜 沈学础  
(中国科学院上海技术物理研究所, 红外物理国家实验室, 上海, 200083)

王文新 黄绮 周钧铭  
(中国科学院物理研究所, 北京, 100080)

**摘要** 研制成功了 128 × 1 元 GaAs/AlGaAs 多量子阱扫描型红外焦平面(FPAs), 器件的响应率达到  $R_p = 2.02 \times 10^6 \text{V/W}$ , 截止波长为  $\lambda_c = 8.6 \mu\text{m}$ . 根据常规的黑体探测率定义, 得到器件的黑体探测率为  $D_b^* = 2.37 \times 10^9 \text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2}/\text{W}$ , 并最终获得了清晰的室温物体残留热像图.

**关键词** 多量子阱, 扫描型红外 FPAs, 残留热像.

## 引言

80 年代末期发展起来的 GaAs/AlGaAs 多量子阱红外探测器, 由于其所依据的材料 GaAs 和 AlGaAs 具有大面积均匀性好、成品率高、材料与器件中关键参数可控性好等优点, 已使它成为用于大面积焦平面列阵以及长波红外成像系统的优选器件之一<sup>[1,2]</sup>, 因此, 人们对 GaAs/AlGaAs 多量子阱红外焦平面越来越重视<sup>[3,4]</sup>. 本文描述我们最近研制成功的 128 × 1 元 GaAs/AlGaAs 多量子阱扫描型红外焦平面(FPAs), 器件性能达到了  $D_b^* = 2.37 \times 10^9 \text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2}/\text{W}$ , 探测率的不均匀性小于 30%, 并首次在国内获得了可分辨的室温物体残留热像图.

## 1 探测器的制作过程

实验用的探测器量子阱结构是用 Ribier 32R&D 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/Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As 多量子阱, 其中垒厚为 500 Å, 阱宽为 50 Å, 阱中的 Si 掺杂浓度约为  $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ , 阱的上下电极层厚分别为 1 μm 和 1.5 μm, 掺杂浓度为  $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ .

根据潜在的应用背景, 探测器的光敏元设计成两排 64 元品字形结构, 单元面积 75 μm × 75 μm, 行内单元间距 75 μm, 行间隔为 150 μm. 根据子带间的跃迁定则, 只有电矢量垂直于多

\* 中国科学院军工预研基金(编号 97-I-A-17)资助课题  
稿件收到日期 1997-04-15, 修改稿收到日期 1997-08-26

量子阱生长面的入射光(即  $E = 0$ ) 才能被子带中的电子吸收. 考虑到我们研制线列器件是为面阵器件打好基础, 而面阵器件只能采用正入射光栅衍射的方式进行耦合. 另外, 用光栅耦合将对混成器件的互连、封装、致冷带来方便和可靠性好等优点, 故我们采用了光栅衍射耦合方式. 根据麦克斯韦电磁波方程的边界条件, 即与金属相邻处的电磁波必定是  $E$  波, 所以我们将光栅设计成二维的金属光栅. 从理论计算可知, 光栅的周期长短将依据波长对入射光的衍射程度产生很大的选择作用, 换句话说, 应根据材料的吸收峰波长来选用光栅的周期. 由于本文量子阱材料的峰值吸收波长在  $7 \sim 10 \mu\text{m}$ , 所以我们用  $3 \sim 5 \mu\text{m}$  周期的光栅即可使正入射光的量子效率达到 20% 左右. 通过控制光刻化学处理以及蒸发条件, 在探测器的上电极层上一次制作完成  $4 \mu\text{m}$  周期的二维金属光栅.

根据金属-半导体接触的反向漏电与半导体的掺杂浓度有关这一理论, 利用自制的判断腐蚀深度的电学监控装置, 腐蚀器件的台面正好到量子阱结构的下电极层. 采用金属化技术制作器件的欧姆接触金属电极. 器件芯片制成后, 进行划片. 选用导电性和导热性良好的金属化陶瓷片作为基座, 用适当的粘合剂将硅读出电路和 GaAs/AlGaAs 多量子阱红外探测器芯片粘在基座上, 用金丝球焊技术将硅读出电路和 GaAs/AlGaAs 多量子阱红外探测器芯片互连, 然后将基座装在杜瓦瓶的冷头上. 采用冷屏及滤光片, 以限制视场角和带宽的方法来抑制背景辐射.

## 2 探测器的基本特性

用傅里叶变换红外光谱仪对封装好的 GaAs/AlGaAs 多量子阱扫描型红外 FPAs 进行光电流谱测量, 测得的器件光电流谱如图 1 所示, 其峰值响应率  $R_p \times 10^6 \text{ cm}^{-3} \text{ V/W}$ , 截止波长为  $\lambda = 8.6 \mu\text{m}$ .

我们对封装在 77K 杜瓦瓶中的 GaAs/AlGaAs 多量子阱扫描型红外 FPAs 的探测率进行了检测, 采用常规的黑体探测率定义

$$D_b^* = \left( \frac{V_s}{V_n} \right) \frac{1}{\Delta f A_d} \left( \frac{\sigma(T_b^4 - T_0^4) A_b A_d}{2 \pi L^2} \right),$$

其中  $V_s$  是光诱导电压, 视场角为 180 度, 宽谱黑体辐射源温度为  $T_b$ ,  $V_n$  是噪声电压,  $\Delta f$  为带宽,  $A_b$  与  $A_d$  分别是黑体源出口面积和器件光敏面积,  $T_0$  是室温 293K,  $L$  是黑体源与器件之间的距离,  $\sigma = 5.67 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ . 在偏压  $V_b = 4\text{V}$  下测得的  $T_b = 500\text{K}$  时的黑体探测率  $D_b^* = \times 10^9 \text{ cm}^{-3} \cdot \text{Hz}^{1/2}/\text{W}$ .

## 3 探测器的红外成像结果

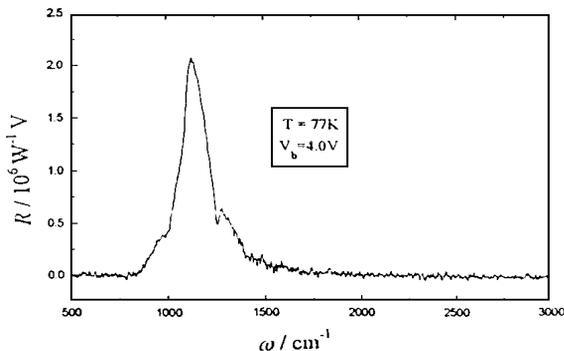


图 1 探测器在 77K 和 4V 偏压条件下的分谱响应

Fig. 1 Spectral responsivity of the detector at 77K and the bias of 4V

终的物体热像图. 我们用上述的  $128 \times 1$  元 GaAs/AlGaAs 多量子阱扫描型红外 FPAs 获得了室温物体残留热像图, 结果示于图 2.

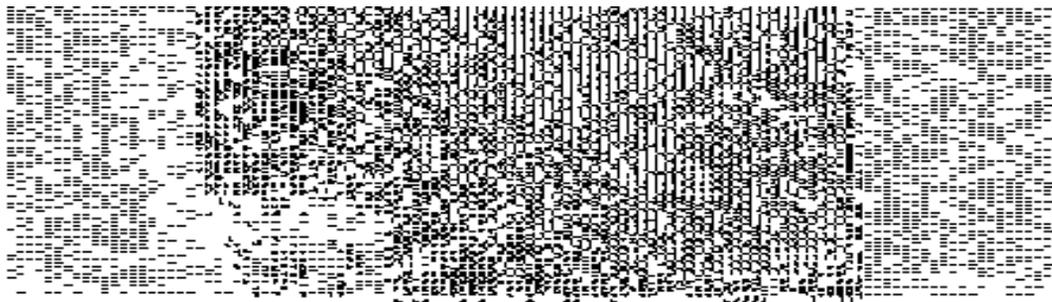


图 2 室温物体残留热像图

(a) 第一张打印纸上的手残留热像图, (b) 第六张打印纸上的手残留热像图

Fig. 2 Infrared image for remanent heat of the room-temperature body

(a) The image for remanent heat of hand at the 1st computer print paper beneath hand,

(b) The image for remanent heat of hand at the 6th computer print paper beneath hand

## 4 结论

我们研制成功的  $128 \times 1$  元 GaAs/AlGaAs 多量子阱扫描型红外 FPAs 达到了很好的热成像效果. 相对于该工作波段中最常用的光电探测材料 HgCdTe 而言, GaAs/AlGaAs 多量子阱红外探测器所依据的 GaAs 和 AlGaAs 在材料生长和器件工艺方面更加成熟, 使它具有大面积均匀性好、成品率高、材料与器件中关键参数可控性好等优点. 这说明, 量子阱红外探测器能获得更高质量的热成像效果, 完全可能实现高灵敏度低价格的红外像机.

## REFERENCES

- 1 Shen S C, *Microelectronic Journal*, 1994, **25**: 713
- 2 LU W, et al. *Journal of Infrared and Millimeter Waves* (陆卫, 等. 红外与毫米波学报), 1993, **13**(1): 9
- 3 Choi K K. *J. Appl. Phys.*, 1993, **73**(10): 5230
- 4 LU W. et al. *International Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 1994, **15**(1): 137

## INFRARED IMAGING BY $128 \times 1$ GaAs/AlGaAs MQW INFRARED FPAs\*

WAN Ming-Fang OU Hai-Jiang LU Wei LIU Xing-Quan  
CHEN Xiao-Shuang LI Ning LI Na SHEN Xue-Chu

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

Wang Wen-Xin HUANG Yi ZHOU Jun-Ming

(Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 10080, China)

**Abstract** A scanning infrared FPA of  $128 \times 1$  multiple quantum wells (MQW) was developed. Responsivity  $R^p = 2.02 \times 10^6 \text{ V/W}$  was obtained with the cut-off wavelength  $\lambda_c = 8.6 \mu\text{m}$ . By the typical blackbody detectivity definition, the detectivity is  $D_b^* = 2.37 \times 10^9 \text{ cm} \cdot \text{Hz}^{1/2}/\text{W}$ . Finally, a distinguished remnant thermal image of a room-temperature body was obtained.

**Key words** multiple quantum wells, scanning infrared FPAs, remnant thermal image.