

# 具有宽带响应的 GaAs/AlGaAs 多量子阱红外探测器\*

李晋闽 郑海群 曾一平 孔梅影

(中国科学院半导体研究所, 北京, 100083)

**摘要** 报道具有宽带响应的 130 元线列 GaAs/AlGaAs 多量子阱红外探测器的研究进展. 通过表面光栅耦合, 采用垂直入射的工作模式, 在  $T=80\text{ K}$  时测得器件探测率的光谱响应曲线的半峰宽为  $4.3\ \mu\text{m}$ . 在  $\lambda_p=9.5\ \mu\text{m}$  时的峰值探测率为  $4.89 \times 10^9\ \text{cmHz}^{1/2}/\text{W}$ , 电压响应率为  $2.89 \times 10^4\ \text{V/W}$ .

**关键词** 红外探测器, 多量子阱, 光谱响应.

## 引言

GaAs/AlGaAs 多量子阱结构的红外探测器是近几年出现的一种新型红外探测器. 该探测器具有响应速度快、灵敏度高等特点, 因此近年来受到高度重视, 并已取得了相当大的进展<sup>[1~4]</sup>. 但是一般量子阱红外探测器的响应带宽很窄, 使该器件的实用化受到了限制<sup>[5]</sup>. 本文报道响应峰值波长为  $9.5\ \mu\text{m}$ 、响应带宽大于  $3.0\ \mu\text{m}$  的 130 元线列 GaAs/AlGaAs 多量子阱红外探测器材料及器件的研究结果.

## 1 实验

实验中红外探测器所用的 GaAs/AlGaAs 多量子阱结构的材料是 Riber-32P MBE 系统生长的, 生长顺序依次为: 在半绝缘 GaAs(100) 衬底上生长  $1\sim 2\ \mu\text{m}$  的 AlAs 波导层, 其作用是用来反射在量子阱结构中传播的红外辐射以增强吸收; 然后生长  $1.5\ \mu\text{m}$  厚、掺 Si 浓度为  $3 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$  的  $n^+$ -GaAs 作为探测器的下欧姆电极的接触层; 在它上面交替生长 50 个周期的 AlGaAs 和 GaAs 多量子阱. 根据 Kronig-Penney 模型计算结果, 对应于探测峰值波长为  $9.5\ \mu\text{m}$  的多量子阱结构典型参数为: AlGaAs 势垒层的 Al 组分为 0.3, 势垒宽度为  $32\ \text{nm}$ , GaAs 量子阱宽为  $52\ \text{nm}$ . 为了使量子阱中基态能级上具有一定的二维电子密度, GaAs 阱中掺 Si 浓度为  $1.0 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ . 在多量子阱上再生长一层

\* 国家自然科学基金资助项目  
本文 1994 年 7 月 28 日收到

AlGaAs, 最后是厚度为  $1.2\ \mu\text{m}$ 、掺 Si 浓度为  $3 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$  的  $n^+$ -GaAs 作为器件的上欧姆电极的接触层. 用常规器件工艺将列阵中各探测器单元做成台面形式, 台面尺寸为  $50\ \mu\text{m} \times 50\ \mu\text{m}$ , 在上、下  $n^+$ -GaAs 欧姆接触层上蒸发 AuGeNi 合金. 由于子带间电子跃迁对入射光的偏振状态有着很强的依赖性, 其选择定则要求只有入射到 GaAs/AlGaAs 多量子阱红外探测器上的光电场方向与量子阱的界面法线方向一致时才产生吸收, 因此该探测器必须采用与传统的带间跃迁红外探测器不同的光耦合方式. 本文研制的 130 元线列采用表面光栅耦合, 在各探测器单元的台面上制备出二维光栅. 光栅的结构参数依据具体的探测波长来确定. 图 1 为 GaAs/AlGaAs 多量子阱材料和器件的结构示意图.

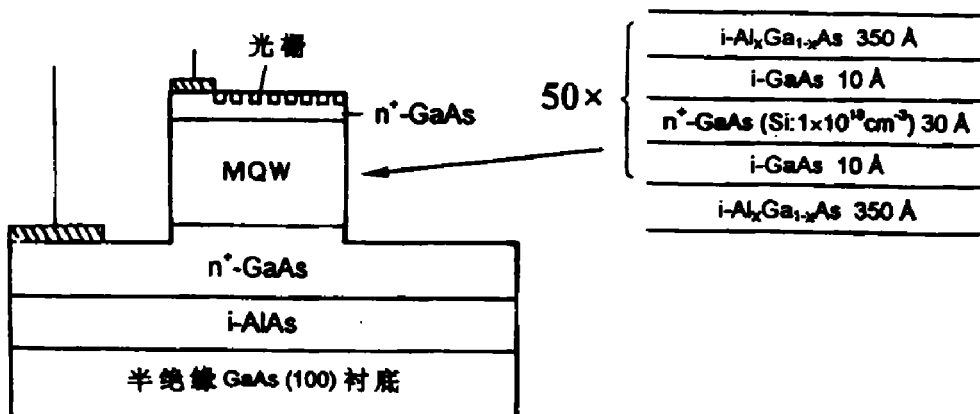


图 1 GaAs/AlGaAs 多量子阱材料和器件结构示意图

Fig. 1 Illustration of GaAs/AlGaAs multiple quantum well and detector structures

## 2 实验结果与讨论

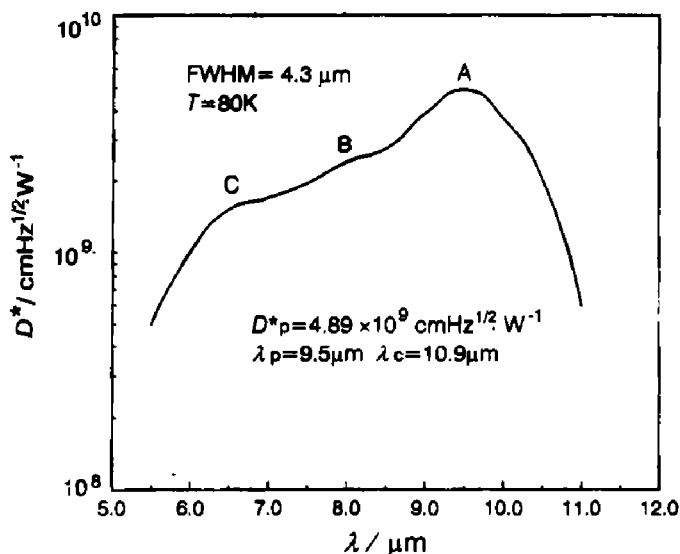


图 2 器件探测率光谱曲线

Fig. 2 The spectral detectivity for one of the detectors

图 2 为器件的光谱探测率曲线. 测试系统采用 Si-C 棒作为红外光源, 用单色仪对红外辐射进行分光, 用锁相放大器处理信号电压, 整个测试系统的数据采集及处理由计算机控制. 在  $T = 80\ \text{K}$ 、偏压为  $3\ \text{V}$  时, 峰值探测率为  $4.89 \times 10^9\ \text{cmHz}^{1/2}/\text{W}$ , 峰值波长为  $9.5\ \mu\text{m}$ , 长波限为  $10.9\ \mu\text{m}$ . 在同样条件下, 器件的响应率为  $2.2 \times 10^4\ \text{V}/\text{W}$ . 由图中可见, 如以探测率光谱曲线的长波限为基点, 则探测率光谱曲线的半峰宽 (FWHM) 为  $4.3\ \mu\text{m}$ . 器件光谱曲线的非对称性以及宽带响应特性表明多量子阱结构中除了存在束缚态之间的光跃迁外, 同时还存在束缚态至准连续扩展态之间的跃迁<sup>[6]</sup>. 图中明显可见到

3 个峰结构, 其中 A 峰对应于量子阱中态能级  $E_0$  至第一激发态  $E_1$  两个束缚态之间的跃迁, 而 B 和 C 则分别对应于基态至准连续扩展态之间的跃迁, 以上结果与我们理论计算值相吻合.

图 3 为器件的光谱响应率曲线. 测试条件为: 用 500 K 黑体炉作为红外光源, 调制频率为 1000 Hz, 器件的信号电压由频谱仪采集, 前置放大器的等效噪声带宽为 230 Hz. 图中结果表明, 器件的黑体响应率在偏压小于 0.8 V 时变化不明显, 偏压在 0.8 V 至 3.0 V 之间基本上线性增大, 在 3.0 V 至 3.8 V 之间接近饱和, 且在  $V_b = 3.5$  V 时达到最大 ( $R_p = 2.89 \times 10^4$  V/W); 当偏压大于 4.0 V 时则迅速减小.

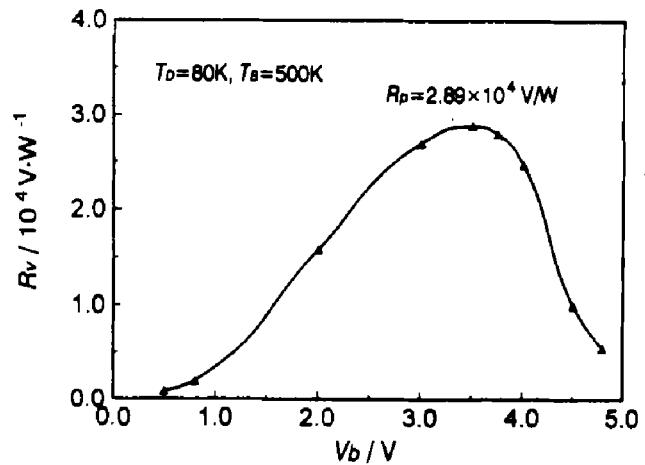


图 3 器件的响应率曲线  
Fig. 3 The bias dependence of responsivity of the detector

### 3 结论

为了获得宽带响应的多量子阱红外探测器, 除了器件结构的优化设计外, 量子阱材料的结构参数也是一个重要因素. 在多量子阱结构中同时存在束缚态至束缚态以及束缚态至准连续扩展态之间的跃迁过程, 有利于展宽红外探测器的光谱响应范围.

**致谢** 在器件特性的测试中得到电子部第十一研究所徐元林、周文娟及祝樵村等同志的支持和协助, 作者在此表示衷心的感谢.

### 参考文献

- 1 Levine B F, et al. *Appl. Phys. Lett.*, 1987, **50**(16):1092~1095
- 2 Kozlowski L J, et al. *IEEE Trans. Electron. Devices*, 1991, **ED-38**(5):1124~1130
- 3 Gunapala S D, et al. *Appl. Phys. Lett.*, 1992, **60**(6):636~639
- 4 Wang Y H, et al. *Appl. Phys. Lett.*, 1993, **62**(6):621~623
- 5 Levine B F. *J. Appl. Phys.*, 1993, **74**(8):R1~R81
- 6 Liu H C. *J. Appl. Phys.*, 1993, **73**(6):3062~3067

## GaAs/AlGaAs MULTI-QUANTUM WELL INFRARED DETECTOR WITH WIDE-BAND RESPONSE\*

Li Jinmin Zheng Haiqun Zeng Yiping Kong Meiyang

(*Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China*)

**Abstract** The investigations of 130-element GaAs/AlGaAs multi-quantum well infrared detector linear-array with a wide-band response are reported in this paper. A spectral response curve of the detector array with FWHM=4.3  $\mu\text{m}$  has been demonstrated with a mode of front-side normal illumination based on a waveguide of doubly periodic grating coupler. A peak detectivity  $D_{\lambda}^* = 4.89 \times 10^9 \text{ cmHz}^{\frac{1}{2}}/\text{W}$  and a high responsivity  $R_p = 2.89 \times 10^4 \text{ V/W}$  have been obtained at  $\lambda_p = 9.5 \mu\text{m}$  and  $T = 80 \text{ K}$ .

**Key words** infrared detector, multi-quantum well, spectral response.

---

\*The project supported by the National Natural Science Foundation of China