

文章编号:1001-9014(2004)03-0193-04

## 集成式 HgCdTe 红外双色探测器列阵

叶振华, 吴俊, 胡晓宁, 巫艳, 王建新, 丁瑞军, 何力  
(中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083)

**摘要:**首次报道了集成中波1/中波2(MW1/MW2)的HgCdTe红外双色探测器的材料生长、器件制备及其性能。采用分子束外延(MBE)技术,生长了p-p-P-N型 $Hg_{1-x}Cd_xTe$ 多层异质结材料。通过 $B^+$ 注入、台面腐蚀、爬坡金属化、台面侧向钝化及互连等工艺,得到了80元的原理型HgCdTe红外双色探测器。纵向上背靠背的2个光电二极管分别有电极输出,确保了空间上同步和时间上同时的探测,并能独立地选择最佳工作偏压。它适于常规的背照射工作方式,且有大的空间填充因子。在液氮温度下,2个波段的光电二极管截止波长 $\lambda_c$ 分别为 $3.04\mu m$ 和 $5.74\mu m$ ,对应的 $R_0A$ 值为 $3.85 \times 10^5 \Omega cm^2$ 和 $3.02 \times 10^2 \Omega cm^2$ 。测得MW1、MW2的峰值探测率 $D_{lp}^*$ 分别为 $1.57 \times 10^{11} cmHz^{1/2}/W$ 和 $5.63 \times 10^{10} cmHz^{1/2}/W$ 。得到2个波段的光谱响应,且MW2光电二极管的光谱串音为0.46%,MW1光电二极管的光谱串音为6.34%。

**关键词:** HgCdTe; 双色探测器列阵; 光谱响应; 峰值探测率  
**中图分类号:** TN4 **文献标识码:** A

## STUDY OF INTEGRATED MW1/MW2 TWO-COLOR HgCdTe INFRARED DETECTOR ARRAYS

YE Zhen-Hua, WU Jun, HU Xiao-Ning, WU Yan, WANG Jian-Xing,  
DING Rui-Jun, HE Li

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

**Abstract:** The material growth, device fabrication and performance of integrated MW1/MW2 two-color HgCdTe infrared detector was reported. A four-layer p-p-P-N hetero-junction  $Hg_{1-x}Cd_xTe$  film was grown in-situ by molecular beam epitaxy technology. The preliminary eighty unit cells two-color HgCdTe infrared detector was obtained by  $B^+$ -implantation, mesa etching, side-wall metallization, side-wall passivation and hybridization. The independent electrical assess to each of two spatially collated back-to-back HgCdTe photodiodes allows the photocurrents of shorter and longer wavelength to be separated, and ensures the spatial uniformity and temporal simultaneity. It was operated in the backside-illuminated mode with infrared radiation incidence on the substrate surface, and with large fill-factor. At liquid nitrogen temperature, the cut-off wavelengths of the two bands are  $3.04\mu m$  and  $5.74\mu m$  individually, the zero-bias dynamic resistance ( $R_0A$ ) products of them are  $3.852 \times 10^5 \Omega cm^2$  and  $3.015 \times 10^2 \Omega cm^2$ , the peak detectivities  $D_{lp}^*$  are  $1.57 \times 10^{11} cmHz^{1/2}/W$  and  $5.63 \times 10^{10} cmHz^{1/2}/W$  respectively. Two-band spectral response was obtained. The spectral crosstalk of MW1 photodiode is 6.34% and that of MW2 photodiode is 0.46%.

**Key words:** HgCdTe; two-color detector arrays; spectral response; peak detectivity

### 引言

一个由集成式红外双色探测器构成的热成像系统,能在空间上同步地获取目标的两个波段信息,可对复杂的背景进行抑制,大大地提高了探测效率和准确性<sup>[1,2]</sup>。目前,国外已有工作在同时模式的集成红外双色探测器的报道,它能实现在空间上同步和

时间上同时的探测<sup>[3-5]</sup>。与单色的相比,双色探测器使用两个探测通道,有利于排除虚假信号,得到更多有意义的目标信息。在预警、搜索和跟踪系统中,这可显著地降低虚警率、提高系统的性能和增强其在各种武器平台上的通用性。

本文报道了集成中波1/中波2的HgCdTe双色器件研究的初步结果。由采用原位(in-situ)掺杂和

收稿日期:2003-03-13,修回日期:2004-02-13

基金项目:中国科学院知识创新工程资助项目(KGCX2-SWJG-06)

作者简介:叶振华,男(1977-),江西玉山人,中国科学院上海技术物理所博士研究生,主要从事红外探测器的研究。

Received date: 2003-03-13, revised date: 2004-02-13

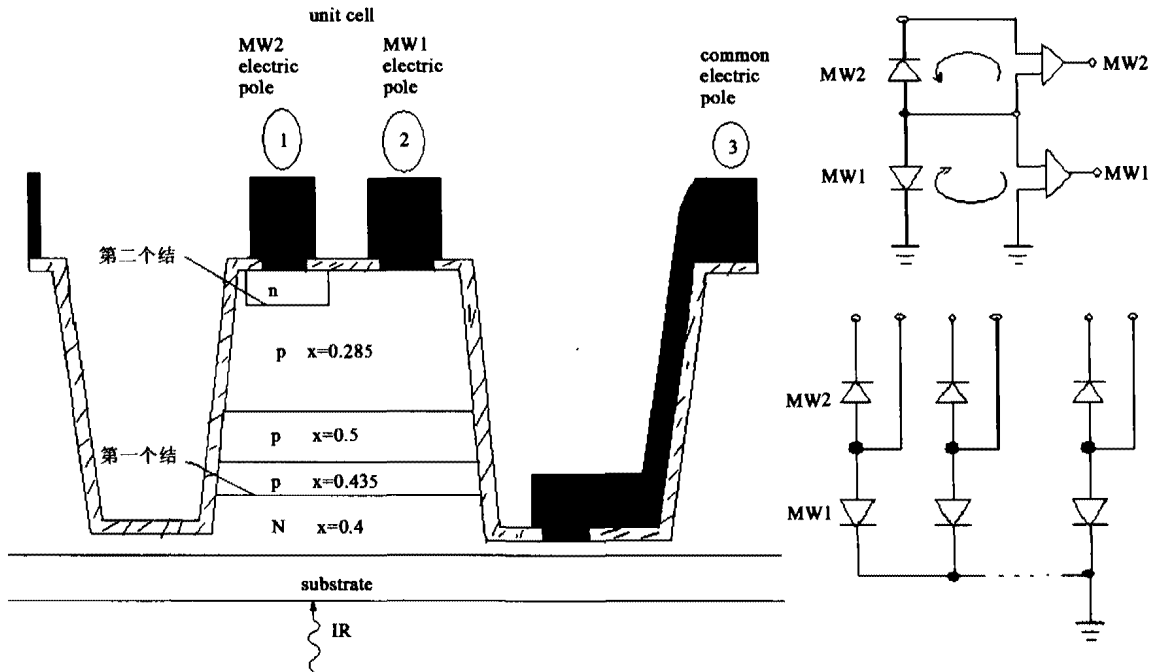


图 1 集成 MW1/MW2HgCdTe 双色探测器单元结构剖面图

Fig. 1 Cross section of unit cell for integrated MW1/MW2 two-color HgCdTe infrared detector

MBE 技术生长的 p-p-P-N 型  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  多层异质结材料,通过选择性区域的  $\text{B}^+$  注入、台面腐蚀、爬坡金属化等工艺,获得了 HgCdTe 红外双色探测器.它与配套设计的蓝宝石读出引线板互连,经测试得到了其两个波段的  $I-V$  特性曲线和光谱响应.最后,得到了表征器件性能的峰值探测率、 $R_0A$  值和两个波段的光谱串音,还分析了器件存在的问题.

## 1 集成 HgCdTe 双色探测器的原理及制备

### 1.1 集成 HgCdTe 双色探测器的原理

图 1 是集成 HgCdTe 双色探测器的单元结构剖面图,它实际上是纵向上并置的 2 个背靠背的光电二极管,能对目标辐射的两个波段产生响应.如图 1 所示,当红外辐射从背面入射到双色探测器上时,穿过透明衬底后,MW1 辐射在第一个结的吸收区先被吸收,光生载流子被 MW1 光电二极管的 P-N 结分开,其光电流信号由 MW1 电极①和列阵公共电极③输出;MW2 辐射继续前进,到达 MW2 吸收层被吸收,光生载流子被 MW2 光电二极管的 p-n 结分开,其光电流信号由 MW1 电极②和 MW2 电极①输出,所以每个单元有两个电极①和②.每个单元最靠近衬底的 N 层是相通的,形成器件列阵的公共电极③,MW1 电极②是 MW1 和 MW2 光电二极管的公共电极.这种单元结构在二维平面空间上周期排列,

就可得到线列或面阵的双色探测器.同时也适于与读出电路互连得到 HgCdTe 双色探测器.如图 1 所示,集成双色探测器每单元的 MW1 和 MW2 光电二极管就可以选择最佳偏压,且能独立地输出光电流信号.

### 1.2 集成 HgCdTe 双色探测器的制备

如图 1 所示,在 GaAs 衬底上,采用分子束外延 (MBE) 和原位掺杂技术,生长了 p-p-P-N 型  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  多层异质结材料.先生长 P-on-N 异质结,它是响应 MW1 辐射的光电二极管,N 层仅有  $2\mu\text{m}$ ,P 型吸收层有  $6\mu\text{m}$ .然后,生长少数载流子(电子)的势垒阻挡层,以减少光谱串音.最后,生长  $8\mu\text{m}$  厚 p 型 MW2 辐射的吸收层.其中,3 层 p-p-P 材料是同型异质结(isotype hetero-structure),它们之间的界面是欧姆接触的,且在中间很薄的 p 区,形成电子的势垒阻挡层<sup>[4]</sup>.

由上述 p-p-P-N 型  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  多层异质结材料,进行选择性的  $\text{B}^+$  注入(如正四边形的单元,选择  $3/4$  面积的“L”形区域进行注入<sup>[5]</sup>),形成 n-on-p 的 MW2 光电二极管.然后,进行台面的湿化学腐蚀,分离器件的各个单元.最后,经钝化层、欧姆接触的爬坡电极和互连 In 柱等工艺,得到原理型的 n-p-p-P-N 型  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  双色探测器.单元注入部分生长 MW2 接触电极,而未注入部分生长 MW1 接

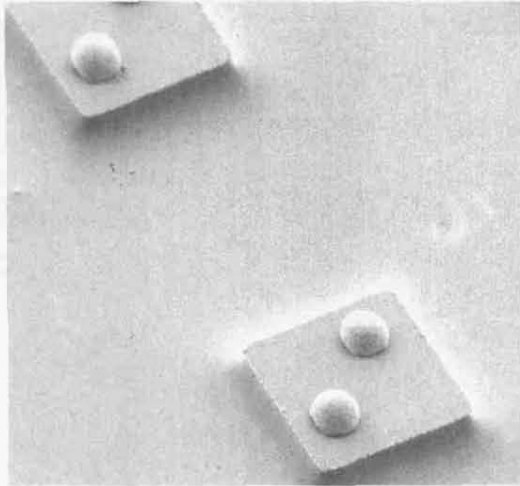


图2 HgCdTe 双色器件的 SEM 形貌  
Fig. 2 SEM photo of two-color HgCdTe detector

触电极(MW2 和 MW1 光电二极管的公共电极),整个器件的公共电极是与通过最靠近衬底的 N 层相连的. MW2 器件的空间填充因子大于 75%,而 MW1 的能达到 100%. 图 2 是 HgCdTe 红外双色探测器的 SEM 形貌,由图可知,每单元有两个 In 柱,以独立地输出 MW1 和 MW2 光电二极管的光电流信号. 图 3 是双色探测器的纵向能带示意图,因有 p 型势垒阻挡层,两个二极管间的电子不能相互扩散.

得到的 80 元 HgCdTe 双色探测器,单元面积分别为  $70 \times 70$ 、 $80 \times 80$ 、 $90 \times 90$  和  $120 \times 120 \mu\text{m}^2$ . 它与配套设计的蓝宝石读出板互连,能在背入射模式下,进行测试和性能的评价.

## 2 测试结果和讨论

### 2.1 两个波段的光电二极管的 I-V 特性

图 4 是 HgCdTe 双色探测器任选的、单元面积为  $80 \times 80 \mu\text{m}^2$  的 MW1 和 MW2 光电二极管在液氮温度下的 I-V 和动态阻抗-电压(R-V)曲线,测试时

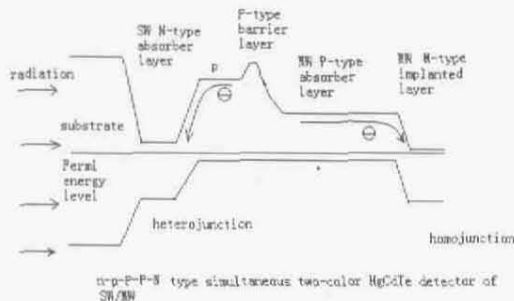


图3 HgCdTe 双色器件的纵向能带分布  
Fig. 3 The schematics of energy band structure for two-color HgCdTe detector

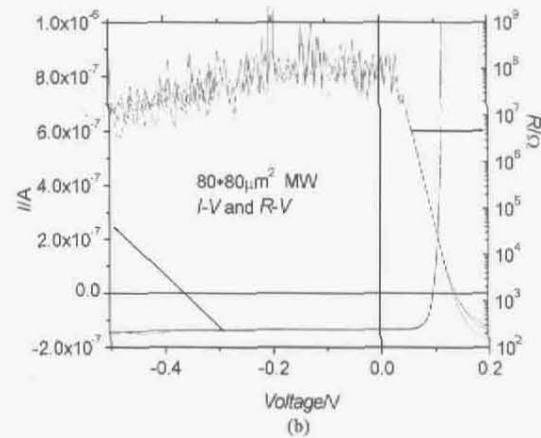
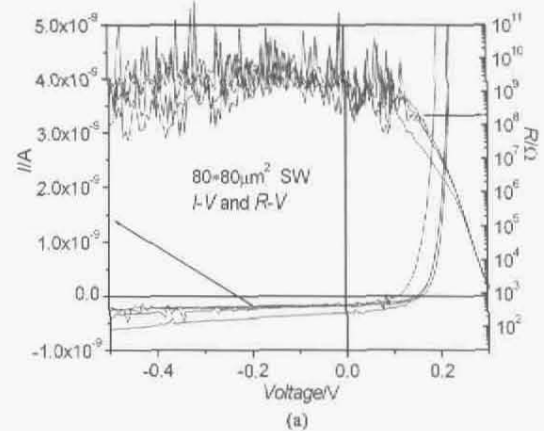


图4 双色探测器单元面积为  $80 \times 80 \mu\text{m}^2$  的 I-V 和 R-V 特性. (a) 中波 1 光电二极管; (b) 中波 2 光电二极管  
Fig. 4 I-V and R-V characteristic of unit cell area  $80 \times 80 \mu\text{m}^2$  for two-color detector. (a) MW1 photodiode; (b) MW2 photodiode

没有加冷屏. 如图 4 所示,各单元的 MW1 和 MW2 光电二极管的 I-V 曲线有很好的重复性,即性能较均匀. MW1 和 MW2 光电二极管,对应的平均  $R_{0A}$  值为  $3.852 \times 10^5 \Omega\text{cm}^2$  和  $3.015 \times 10^2 \Omega\text{cm}^2$ . 它们的 I-V 曲线明显呈现了光电二极管特性,说明我们已成功地完成了原位生长 p-n 异质结的 HgCdTe 材料、台面成形、爬坡金属化、侧向钝化和每单元两个 In 柱的制备,以及证实了双色器件的两个光电二极管信号输出的电极设计是合理的.

在 800K 的黑体辐照和液氮温度下,测试了 HgCdTe 双色探测器单元面积为  $80 \times 80 \mu\text{m}^2$  的 MW1 和 MW2 光电二极管的光电流信号. 同时测试了它们的暗电流噪声,得到了 MW1 和 MW2 光电二极管的峰值探测率分别为  $1.57 \times 10^{11} \text{cmHz}^{1/2}/\text{W}$  和  $5.63 \times 10^{10} \text{cmHz}^{1/2}/\text{W}$ , 标准偏差分别为 25.3% 和 18.85%, 说明有较高的均匀性. 这些性能参数已能与同波段常规 HgCdTe 单色光电二极管探测器的性能相比了.

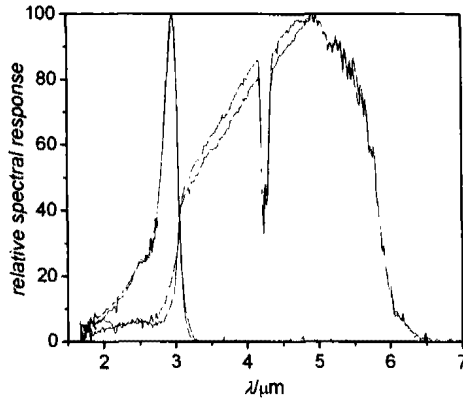


图5 双色探测器的两个波段的光谱响应  
Fig. 5 Two-band spectral response of two-color detector

同时,我们的双色器件所有单元的2个信号都被检测到,说明器件与宝石读出板互连时,连通率达到100%.

## 2.2 双色探测器光谱特性

图5是在液氮温度下,单元面积为 $80 \times 80$ 和 $120 \times 120 \mu\text{m}^2$ 的双色探测器两个波段光谱响应曲线,2个波段的光电二极管截止波长分别为 $3.04 \mu\text{m}$ 和 $5.74 \mu\text{m}$ .如图5所示,2个单元面积不同的光谱响应曲线基本重合. MW1光电二极管的截止波长和MW2光电二极管的起始响应波长基本相等,约为 $3.05 \mu\text{m}$ ,表明MW1光电二极管能让MW2辐射通过,又能完全吸收MW1辐射. MW2光电二极管的响应光谱曲线是正常的形状,但MW1响应光谱曲线只是一个尖锐的峰,相对较窄.

从图5可计算得到, MW2的光谱串音为0.46%, MW1的光谱串音为6.34%,并且MW1的光谱串音大主要也是因为MW1光电二极管的光谱响应半峰宽(FWHM)小. 这可能是因为外延HgCdTe薄膜和衬底界面的少数载流子复合速率大,也可能是MW1光电二极管的p型吸收层的少数载流子扩散长度比较短,或者台面侧向介质膜的钝化效果不好,导致MW1光电二极管的量子效率低.

MW2光电二极管的光谱串音仅有0.46%,主要是因为材料生长时,形成了很薄的中间p型少数载流子(电子)的势垒区.如图3所示,因为中间的势垒区, MW1光电二极管在P区的光生少数载流子,不能扩散到MW2光电二极管而被吸收,于是减少了MW2的光谱串音.

## 3 总结

由采用MBE和原位掺杂技术成功生长的p-p-P-N型 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 多层异质结材料,通过 $\text{B}^+$ 注入、台面腐蚀、生长钝化膜、爬坡金属化、制备In柱和倒焊互连等工艺,得到了80元的原理型n-p-p-P-N的HgCdTe红外双色探测器,且可直接测试. 它的每个单元在纵向上有背靠背的2个光电二极管,能够独立地选择工作偏压和输出光电流信号,确保了空间上同步和时间上同时的探测. 这种单元结构,在二维平面空间上周期排列,就可得到线列或面阵的双色探测器. 它适于常规的背入射工作方式,有大的空间填充因子. 在液氮温度下,测得2个波段的光电二极管有高的 $R_0A$ 和峰值探测率. 得到了2个波段的光谱响应,且MW2的光谱串音为0.46%, MW1的光谱串音为6.34%. MW2的光谱串音小与生长了少子势垒阻挡层有关,但MW1的光谱串音大,可能是因为器件的材料或工艺导致了MW1光电二极管低的量子效率引起的. 所以,为了使双色探测器得到进一步发展,如制备MW1/MW2和MW/LW的双色器件,还必须进一步改进提高材料的性能和改善台面成形、台面侧向钝化等工艺.

## REFERENCES

- [1] Norton Paul R. Status of infrared detectors [J]. *SPIE*, 1998, **3379**, 102—114.
- [2] Rajavel R D, Jamba D M, Wa O K, *et al.* High performance HgCdTe two-color infrared detectors grown by molecular beam epitaxy [J]. *J. Crystal Growth*, 1997, **175/176**, 653—658.
- [3] Rajavel R D, Jamba D M, Jensen J E. Molecular beam epitaxial growth and performance of HgCdTe-based simultaneous-mode two-color detectors [J]. *Electronic Materials*, 1998, **27**(6): 747—751.
- [4] Reine M B, Hairston A, Dette P O, *et al.* Simultaneous MW/LW dual-band MOVPE HgCdTe  $64 \times 64$  FPAS [J]. *SPIE*, 1998, **3379**: 200—212.
- [5] Reine M B, Norton P W, Starr R. Independently accessed back-to-back HgCdTe photodiodes; a new dual-band infrared detector [J]. *J. Electronic Materials*, 1995, **24**(5): 669—678.
- [6] Antoni Rogalski. Dual-band infrared detectors [J]. *SPIE*, 2000, **3948**: 17—30.