

1~3 μm HgCdTe 光伏型列阵探测器的研制

陈泉森 陈宜方 曹竟骁 刘激鸣

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

摘要: 报道了用于红外高分辨率扫描仪的 1~3 μm HgCdTe 光伏型列阵探测器的研制和性能.

关键词: 红外探测器, 离子注入, 扫描仪.

引言

机载短波红外高分辨率专题应用扫描仪的光谱探测范围为 1.5~2.5 μm, 分 16 个通道, 使用 1~3 μm 16 元光伏型 HgCdTe 列阵探测器. 对该波段的探测是靠调节 Hg_{1-x}Cd_xTe 晶体中组份 x 来实现的. 短波与长波相比, 组份 x 较高, 因此晶体的生长相对较困难. 我们采用改进的再结晶——区熔法来生长这种高组份晶体, 所获晶体具有较好的性能. 列阵器件采用 ZnS/SiO₂/HgCdTe 双层介质膜的全平面结构, P-N 结的形成是用离子注入方法完成的. 我们对 1~3 μm 光伏型 HgCdTe 器件的某些特性作了分析并经机载短波红外高分辨率专题用扫描仪的应用表明, 该列阵探测器性能优良, 效果好.

1 探测器性能的理论分析

1.1 光伏型 HgCdTe 二极管的探测率

HgCdTe P-N 结光电二极管的探测率表达式为^[1]

$$D_{\lambda}^* = \frac{\lambda}{hc} \eta e \frac{1}{[(4KT/R_0A) + 2\eta e^2 QB]^{1/2}}; \quad (1)$$

式(1)中, η 为二极管的量子效率, R_0 是二极管零偏压电阻, A 为二极管灵敏元面积, Q_B 为背景量子通量.

当二极管主要热噪声限制时, 有

$$D_{\lambda}^* = \frac{\lambda}{hc} \eta e \sqrt{\frac{R_0 A}{4KT}}; \quad (2)$$

1.2 组份 x 的选择

机载多光谱扫描仪的工作波段为 $1.5 \sim 2.5 \mu\text{m}$, 探测器工作温度为 77K , 根据禁带宽度 E_g 、组份 x 与温度 T 的关系, 可求出截止波长, 取经验关系式^[2]为

$$E_g(x, T) = -0.25 + 1.59x + 5.233 \times 10^{-4}(1 - 2.08x)T + 0.32Tx^3; \quad (3)$$

根据^[3]

$$\lambda_c = 1.24 / E_g; \quad (4)$$

可以确定 x 在 $0.4 \sim 0.5$ 范围内的 HgCdTe 晶体场可满足本工作波段的需要。

2 列阵探测器制备

采用再结晶——区熔法制备的 HgCdTe 晶体, 其晶片经长时间低温热处理和电学、光学、晶体结构特性的测定然后进行选片。

晶片的加工即晶面的预处理, 包括切、磨、抛和清洁处理。

列阵器件采用具有 $\text{SiO}_2 / \text{ZnS} / \text{HgCdTe}$ 双层介质结构的全平面工艺技术制备, 灵敏元 P-N 结采用离子注入形成。

列阵器件芯片安装在特制的金属杜瓦瓶中, 并进行排气, 然后进行列阵器件性能参数的综合测试分析。

X 射线光电子能谱 (XPS) 分析表明, 我们采用的晶片预处理工艺技术、双层介质膜结构具有较好的界面态特性; 我们选用的离子注入条件形成了较好特性的 P-N 结。

我们用常规方法对探测器列阵的探测率、噪声、光谱响应等进行测试, 还用专用变温控温杜瓦瓶对器件的温度特性进行了测量。

测试中所用黑体源为本所研制的 HFY-100 标准黑体, 其有效发射率为 0.99, 温度控制精度为 $1000 \pm 0.1\text{K}$ 。

3 列阵探测器性能

3.1 波段探测率 $D_{\Delta\lambda}^*$ $1.5 \sim 2.5 \mu\text{m}$

根据方家熊^[4]提出的, 用波段探测率表述特定工作波段探测性能的方法, 本专题扫描仪特定波段为 $\Delta\lambda = 1.5 \sim 2.5 \mu\text{m}$, 其波段探测率为

$$D_{\Delta\lambda}^* = \int_{1.5}^{2.5} P_b(\lambda) D_{\lambda}^* d\lambda / \int_{1.5}^{2.5} P_b(\lambda) d\lambda, \quad (5)$$

式 (5) 中, $P_b(\lambda)$ 为 1000K 黑体的单色辐射强度。

由黑体探测率 D_{λ}^* 及光谱测量得出分谱探测率 D_{λ}^* , 然后可计算出波段探测率 $D_{\Delta\lambda}^*$ 。10 元列阵探测器在 80K 下的各项性能见表 1。

表 1 10 元列阵探测器的性能

Table 1 The characteristics of HgCdTe arrays detector with FOV of π at 80 K

性能	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I (μA)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$D\Delta$ ($\text{cmHz}^{-1} \text{W}^{-1}$)	6.5×10^{11}	7.1×10^{11}	7.4×10^{11}	7.3×10^{11}	6.6×10^{11}	7.4×10^{11}	5.8×10^{11}	6.7×10^{11}	6.7×10^{11}	6.7×10^{11}
R_{Δ} ($\mu\text{V}/\mu\text{W}$)	3.3×10^7	3.6×10^7	3.5×10^7	3.5×10^7	3.7×10^7	3.1×10^7	3.1×10^7	3.3×10^7	3.4×10^7	3.2×10^7
λ_p (μm)	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
λ_c (μm)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
电串音 (%)	< 0.3									
R_0 (Ω)	$> 10^8$									

由表 1 可见, 该列阵器件的截止波长偏长, 最佳波段并非在 $1.5 \sim 2.5 \mu\text{m}$, 但在这波段内仍具有较好的探测特性, 而且都是在无偏置情况下获得的, 这对机载红外遥感系统是很有利的。

3.2 列阵探测器的光谱特性

图 1 是上述列阵器件中一个灵敏元的实测光谱响应曲线。由表 1 可见 λ_p 和 λ_c 具有较好的一致性, 这对多光谱扫描仪的应用是有利的。

3.3 探测器的偏置特性

图 2 给出 $1 \sim 3 \mu\text{m}$ HgCdTe 光伏探测器的偏置特性曲线。

由图 2 可见, $1 \sim 3 \mu\text{m}$ 光伏型 HgCdTe 探测器的光谱响应与偏置特性无直接关系; 但就响应率而言, 在反偏置情况下要比零偏置情况下高。

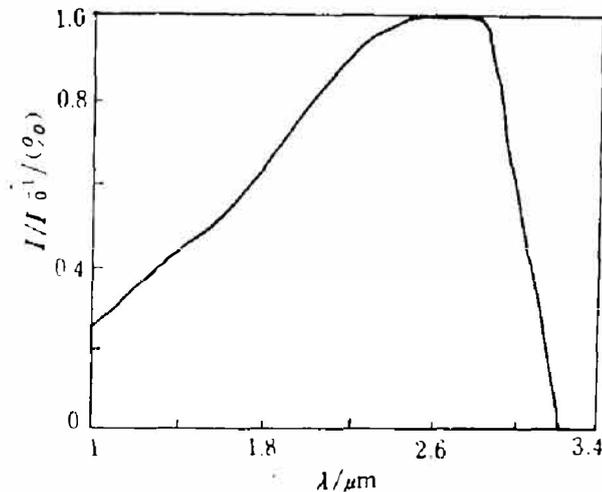


图 1 光伏 HgCdTe 列阵器件光谱响应曲线
Fig. 1 The relative spectral responsivity of the HgCdTe arrays detector

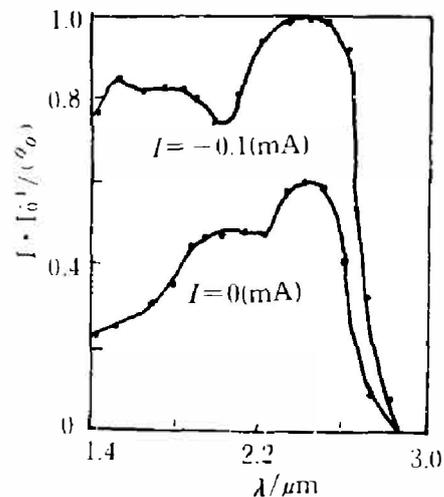


图 2 光伏 HgCdTe 列阵器件的偏置特性
Fig. 2 Signal and spectral responsivity at different bias current

3.4 探测器的温度特性

图 3 是 $1 \sim 3 \mu\text{m}$ 光伏 HgCdTe 探测器探测率和响应度的温度特性。由图可见, 与长波光导或光伏型 HgCdTe 探测器相比, 在 77 K 温度下, 其探测率和响应度并不具有最大值, 而其较好的工作温度范围在 $160 \sim 180 \text{K}$ 。显然, 这一特性对遥感系统的应用也是有利的。

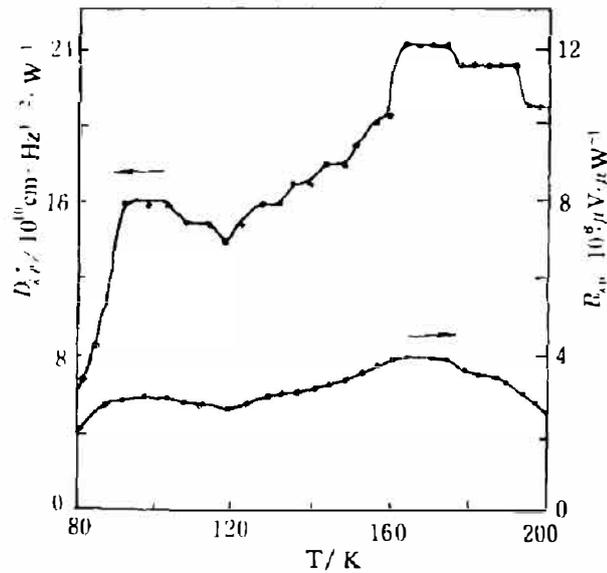


图3 光伏 $1\sim 3\ \mu\text{m}$ HgCdTe 探测器 D^* 、 R_{sp} 的温度特性
Fig. 3 The temperature dependence of the detectivity and responsivity

4 结论

我们研制成功的 $1\sim 3\ \mu\text{m}$ 光伏型 HgCdTe 列阵探测器具有在零偏置下工作, 最佳工作温度高, 光谱响应与温度依赖关系不大等特点. 该器件已在本所研制的机载波段红外高分辨率专题应用扫描仪上获得使用, 所获红外图象清晰, 器件性能稳定.

参考文献

- 1 Willardson R K. *Semiconductors and semimetals*, 1981, 18: 236
- 2 汤定元. *红外物理与技术*, 1976, 4~5: 68
- 3 汤定元, 糜正瑜 et al. *光电器件概论*, 上海: 上海科学技术文献出版社, 1989, 17
- 4 方家熊, 徐国森, 张林发 et al. *红外研究*, 1990, 9(2): 123

DEVELOPMENT OF $1\sim 3\ \mu\text{m}$ PV HgCdTe ARRAYS

Chen Quansen, Chen Yifang, Cao Jingxiao, Liu Jimin

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

Abstract: The development and performances of the $1\sim 3\ \mu\text{m}$ PV type HgCdTe arrays used in the airborne high-resolution infrared scanner system are reported.

Key words: infrared detectors, ion implantation, scanners.