

航空遥感用碲镉汞光导探测器的研究

徐国森 朱龙源 靳秀芳 唐 军

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

摘要: 介绍几种航空遥感用碲镉汞光导红外探测器的基本设计原理、结构及性能。

关键词: 碲镉汞, 光导探测器, 遥感。

引言

高性能碲镉汞 ($\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$) 红外探测器的研制成功大大促进了现代红外遥感技术的发展。调节 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 晶体中的 Cd 组份 x 值, 可以制备出 $1\sim 3$ 、 $3\sim 5$ 、 $8\sim 12$ 、 $14\sim 16\mu\text{m}$, 以至 $30\mu\text{m}$ 以上等不同响应波段的红外探测器。由于 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 晶体具有本征载流子浓度低、迁移率高、寿命长、吸收系数大等特点, 特别适合制备高性能的本征型光导或光伏红外探测器^[1]。

1 原理

红外探测器的探测率与响应率在小信号下可分别表示为

$$D_{ip}^* = \frac{\eta\lambda}{2hC_0} \sqrt{\frac{2\tau_{AI}}{n_0d}}, \quad (1)$$

$$R_{ip} = \frac{\eta\lambda V_0\tau}{hC_0LWd}, \quad (2)$$

式中 n_0 为载流子浓度, τ 为载流子寿命, λ 为入射光子浓度, L 、 W 、 d 分别为探测器的长、宽、厚, V_0 为所加偏置, η 为量子效率, C_0 为光速, h 为普朗克常数。

由式 (1)、(2) 可见, 要提高探测器性能, 对材料的要求是: 载流子浓度低、寿命长、量子效率高, 对探测器工艺的要求是使厚度 d 达到 $d \sim \frac{1}{\alpha}$ (α 为吸收系数), 即小于 $10\mu\text{m}$ 以下, 并达到尽可能低的表面复合速度。

2 带有致冷场镜和浸没透镜的探测器

在大视场下工作的航空遥感仪器,不但要求探测器灵敏度高,而且要求探测器具有大面积灵敏元,为此研制了致冷场镜型和浸没透镜型红外探测器.致冷场镜型探测器即是把中继光学系统第二透镜和 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 灵敏元同时组装在杜瓦瓶的冷块上,其接收面积取决于第二透镜的通光口径,从而扩大了探测器接收角,增大了视场.浸没透镜型探测器即是将探测器的 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 晶片粘合到一个高折射率的半球或超半球透镜的底面上,形成光学接触,从而缩小探测器灵敏元面积,扩大探测器有效面积,提高了探测率.由于浸没透镜的作用,象的高度 h 缩小到 h' .对半球形透镜, $h' = \frac{h}{n}$ (n 为透镜折射率),对

超半球透镜 ($d = \frac{r}{n} + \frac{r}{n^2}$), $h' = \frac{h}{n^2}$. 浸没前后探测率的增益可表示为

$$\frac{D^{*'}}{D^*} = \frac{S'N}{SN'} \sqrt{\frac{A}{A'}} \quad (3)$$

式(3)中 $S(S')$ 、 $N(N')$ 、 $A(A')$ 分别表示浸没前后的探测器信号,噪声和面积.实验得到 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 光导探测器浸没前后噪声值基本不变 ($N = N'$),而信号 $S(S')$ 与单位面积辐射功率和受光面积 $A(A')$ 成正比,所以探测器的增益为

$$\frac{D^{*'}}{D^*} = \sqrt{\frac{A}{A'}} \quad (4)$$

浸没透镜一般选用 Ge 材料 ($n = 4$),理论上对半球形透镜探测率可提高 n 倍,对超半球形透镜探测率可提高 n^2 倍.但实际上,由于透镜的反射和吸收,探测率的增益一般比理论值小 40% 左右.表 1 列出有致冷场镜型和浸没透镜型 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 光导探测器的性能参数:

表 1 致冷场镜型和浸没透镜型探测器性能参数

Table 1 Characteristics of the detectors with cool field lens and immersion lens

类型	$D_{ip.900.1}$ ($\text{cmH}^{1/2}/\text{W}$)	$R_{ip.900.1}$ (V/W)	λ_c (μm)	A_D (mm^2)	形状
致冷场镜型	4.0×10^{10}	2.0×10^3	12.5	$\Phi 2.2$	
浸没透镜型	1.2×10^{11}	2.5×10^3	14.3	$\Phi 2.2$	超半球
	3.3×10^{10}	1.5×10^3	12.0	$\Phi 2.2$	半球

3 3~5 和 8~12 μm 双色探测器

我们利用高折射率透镜光学技术和 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 光导探测器叠层技术制备了叠层双色光导探测器^[2]和浸没型双色光导探测器,由于 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 晶体的禁带宽度可以调节,可以制备出不同响应波段的探测器,同时 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 晶片在吸收带区域内具有很大的吸收系数 ($\alpha > 10^3 \text{ cm}^{-1}$),当探测器晶片较薄时,在波长大于峰值响应长波区,有较

陡的吸收边缘和足够高的透射率(见图 1). 所以制成的双色叠层器件仍可得到较高的量子效率.

在双色叠层探测器中, 大于短波探测器响应截止波长 λ_c 的红外辐射透过该探测器, 入射到长波探测器的灵敏元上并被吸收, 而小于截止波长 λ_c 的红外辐射被短波探测器吸收. 如果把双色器件紧紧贴在 Ge 透镜的平面上就组成浸没型双色探测器. 表 2 列出典型双色 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 光导探测器的性能参数. 图 2 是典型双色探测器的光谱响应曲线.

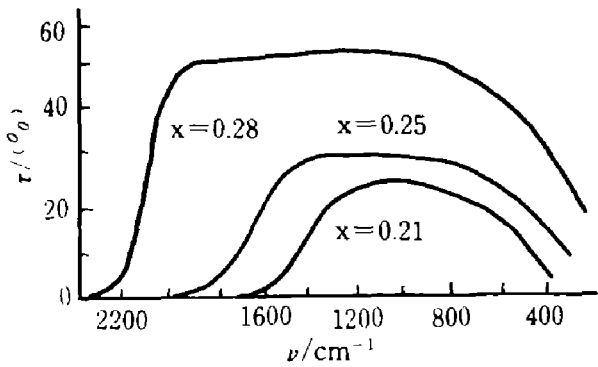


图 1 不同组份 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 材料透射曲线 (300 K)

Fig. 1 The transmission curves of $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ materials (300 K)

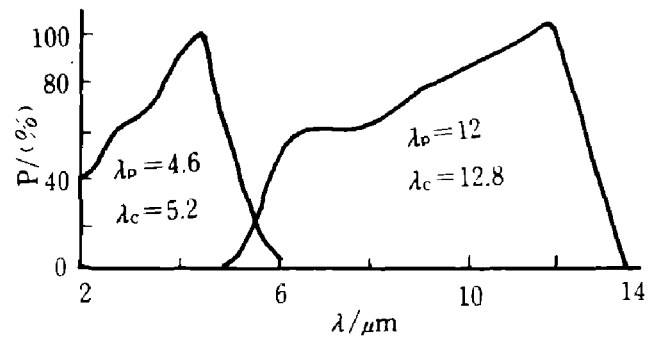


图 2 双色 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 探测器光谱响应曲线

Fig. 2 The spectral response curves of the two-color $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ detector

表 2 双色探测器性能参数

Table 2 Characteristics of the two-color detectors

类 型		$D_{ip}^{*900.1}$ ($\text{cmH}^{1/2}/\text{W}$)	$R_{ip}^{900.1}$ (V/W)	λ_p (μm)	λ_c (μm)	A_D (mm^2)
浸没 双色	短波	2.0×10^{11}	3.2×10^3	4.6	5.2	$\Phi 2.2^*$
	长波	7.0×10^{10}	2.1×10^3	12.0	12.8	$\Phi 2.2^*$
叠层 双色	短波	5.0×10^{10}	5.0×10^3	4.7	5.4	0.20×0.20
	长波	2.5×10^{10}	4.0×10^3	11.0	12.4	0.20×0.20

* 超半球.

4 密排列 12 元长波线列探测器

为适应航空遥感发展的需要, 我们用单片工艺技术研制了 $8 \sim 12 \mu\text{m}$ 12 元线列阵光导 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 探测器(见图 3), 其光敏元尺寸为 $0.20 \times 0.20 \text{ mm}^2$, 间隙小于 $20 \mu\text{m}$, 这种排列方式可使整机隔行扫描而保持无漏扫, 这样简化了整机结构, 并降低了元与元之间的串音. 目前我们器件的串音一般在 -32 dB , 线列的平均探测率 $D_{bb}^* \geq 1.1 \times 10^{10} \text{ cmH}^{1/2}/\text{W}$, 平均响应率 R 为 $2.0 \times 10^3 (\text{V}/\text{W})$, 并已通过高温 ($55^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$)、低温 ($-45^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$)、耐振 ($< 50 \text{ Hz}$ 、 0.2 mm 、 $50 \sim 80 \text{ Hz}$ 、 $2 \sim 3 \text{ g}$) 和冲击 (10 ms 、 10 g 三个方向) 等试验.

按单个器件的寿命数据推算, 12 元器件的平均寿命可大于 3000 小时. 采用相似的技术研制成的红外细分光谱仪用的大面积密排列的七元长波 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 光导探测器, 灵

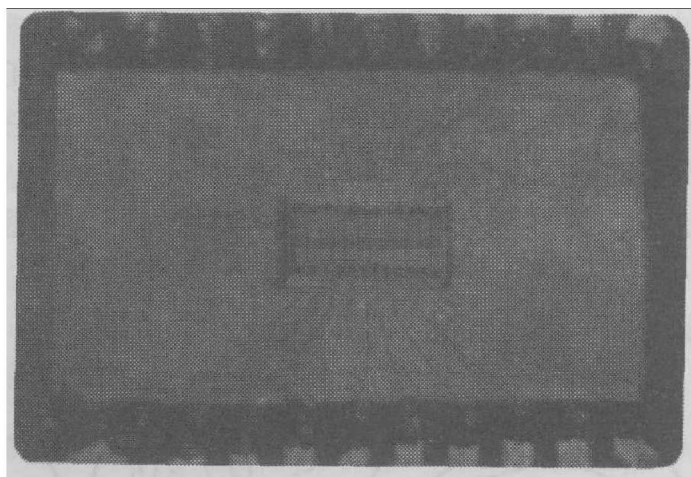


图3 12元 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 光导探测器芯片结构

Fig. 3 The structure of the 12-element $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ PC detector

敏元尺寸为 $0.6 \times 0.9 \text{ mm}^2$ ，间隙小于 0.02 mm^2 ，探测器的平均黑体探测率 D_{bb}^* 达 $10^{10} \text{ cmH}^{1/2}/\text{W}$ ，在遥感光谱仪上使用获得良好效果。

致谢：本工作是在汤定元研究员关心和指导下进行的，并且得到方家熊研究员的具体帮助，还得到本室材料组及本组其他同志的大力协助。在此表示深切感谢。

参 考 文 献

- 1 汤定元. 红外物理与技术, 1976, (4): 5
- 2 徐国森. 红外研究, 1984, 3(4): 377

HgCdTe PC DETECTORS FOR AIRBORNE REMOTE SENSORS

Xu Guosen, Zhu Longyuan, Jin Xiufang, Tang Jun

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

Abstract: The principle, special constructions and performances of HgCdTe PC-type infrared detectors for airborne remote sensors have been reported.

Key words: HgCdTe, PC detectors, remote sensing.