

363-366

# 20μm 高灵敏浸没型碲镉汞红外探测器

王子孟 王培纲

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

TN215

**A** 摘要 报道了一种新型高灵敏浸没型 HgCdTe 红外探测器的研制, 获得了  $D^* = 1.46 \times 10^{11}$   $\text{cmHz}^{1/2}\text{W}^{-1}$ ,  $R = 608\text{V/W}$ ,  $\lambda_c(20\%) \sim 20\mu\text{m}$ 、灵敏元面积  $A = 0.12 \times 0.12\text{mm}^2$  和有效通光孔径  $\varphi = 6\text{mm}$  的浸没型器件。

关键词 高灵敏, 浸没, 介质胶, 碲镉汞探测器。

红外探测器, 浸没型

## 引言

随着空间遥感技术的发展, 特别是中层大气(平流层及散逸层)的微量分析、风场与温度测量要求器件灵敏度非常高, 而且要有大的灵敏元。我们已研制出  $1 \times 1 \sim 2 \times 2\text{mm}^2$  的长波碲镉汞红外探测器, 并采用低温聚光器, 使光斑接收面扩大到  $\varphi$  为 5.6mm,  $D^*$  可大于  $5 \times 10^{10}\text{cmHz}^{1/2}\text{W}^{-1}$ [1], 但仍然满足不了需要, 为此本文研究了浸没型的高灵敏碲镉汞红外探测器。

## 1 原理

浸没型碲镉汞光导红外探测器中入射的红外光子通过 Ge 透镜, 被碲镉汞灵敏元吸收, 产生自由载流子, 从而改变响应元的电导率。

n 型碲镉汞材料在恒定偏流下工作, 探测器的响应率( $R_1$ )和探测率( $D_1^*$ )可表示为:

$$R_1 = \frac{\eta \lambda V_0 \tau_A}{h C n_0 I W d} = \frac{\eta \lambda V_0 \tau_A}{h C n_0 A d} = \frac{V_s}{P} \quad (1)$$

$$D_1^* = \frac{\eta \lambda}{2 h c} \sqrt{\frac{2 \tau_A}{n_0 d}} = \frac{V_s / V_n}{P} \sqrt{A \cdot \Delta f} \quad (2)$$

式中  $\eta$  为量子效率,  $J, W, d$  分别为灵敏元的长度、宽度和厚度,  $A$  为浸没透镜的有效通光口径,  $\lambda$  为入射波长,  $V_0$  为探测器偏压,  $n_0$  为载流子浓度,  $\tau_A$  为碰撞复合寿命,  $V_s/V_n$  为探测器信噪比,  $P$  为入射到探测器的功率。

从式中可知, 要有高的响应率和探测率, 要求材料具有尽可能低的载流子浓度, 高的载流子寿命, 且敏感元应尽可能薄, 量子效率尽可能高。

小尺寸的探测器噪声小、灵敏度高、均匀性好, 但由于探测器接收辐射的面积太小, 难以接收目标的足够辐射能量产生实际可用的信噪比, 因此在实际应用中, 需要利用光学系统增

\* 传感技术国家重点实验室基金资助项目  
本文 1995 年 3 月 22 日收到, 修改稿 1996 年 3 月 4 日收到

大接收孔径,把目标辐射汇集到小尺寸探测器上,使探测器灵敏面上有较高的目标辐射照度;从而产生足够大的信噪比。光学系统扩大接收孔径,汇集辐射的能力受到基本光学定律的制约。在空气中光学系统有效  $F$  数不能超过 0.5,为了提高光学系统的会聚能力,可以把光学系统的像面(即探测器安放位置)浸没在折射率为  $n(n>1)$  的介质中,这样系统的有效  $F$  数就可以提高  $n$  倍,所以浸没透镜优于一般光学透镜。

为方便用户,采用浸没技术把碲镉汞芯片与光学透镜做成组件,用户可不再加配光学系统就可直接使用红外探测器。考虑到长波碲镉汞红外探测器多用于探测小视场、无穷远的红外辐射目标(如激光接收等),浸没透镜按目标在无穷远处设计,即探测器浸没于第一个折射球面的焦点处。对于近距离目标探测,可采用准直技术将目标辐射先变成平行光辐射,再配用本组件即可,由于是用在平行光束中,组装与对准十分方便。

可以证明,本浸没透镜的光学增益为:

$$G = \eta \cdot \frac{D^2}{d_1^2} = \eta_1 \left( \frac{2n \sin \theta}{\sqrt{n^2 - 2n \cos \theta + 1}} \cdot \frac{r}{d_1} \right)^2, \quad (3)$$

式(3)中: $\eta_1$  为浸没透镜光学效率, $r$  为球面半径, $D$  为浸没透镜的有效接收孔径, $d_1$  为探测器直径, $\theta$  为浸没介质的全反射角。

$$\theta = \sin^{-1} \left( \frac{n'}{n} \right), \quad (4)$$

式(4)中, $n'$ 、 $n$  分别是浸没介质和透镜材料的折射率。

从式(3)和式(4)可知,要增大浸没透镜的光学增益,就要选高折射率的材料做浸没介质,增大全反射角限,并增大球面半径  $r_1$ ,但增大球面半径会增大体积,提高成本,降低透过率,因此设计时要综合考虑。

浸没透镜的有效  $F$  数为  $F_e$ ,  $F_e = \frac{r}{(n-1)D}$ ,本设计中的  $F_e$  约为 0.3,显然具有相当高的会聚目标辐射的能力。

## 2 设计与制造

### 2.1 芯片

根据探测器波长和性能的要求,研制并挑选出光学参数、电学参数、组份  $x$  和貌相等符合要求的晶片,制造出高性能低损伤的芯片。

### 2.2 浸没透镜

考虑到碲镉汞浸没组件主要用于接收无穷远长波红外辐射,因此把透镜设计成平凸物镜形式,第一面为凸球面,第二面为平面,透镜的焦平面位置由计算机优选确定,浸没透镜的主要技术指标为:有效接收口径  $\varphi=6\text{mm}$ 、通频带  $=2\sim 20\mu\text{m}$ 、焦距  $=7.33\text{mm}$ 。

选用高折射率( $n=4$ )低色散 Ge 做透镜材料,浸没介质选用折射率高的材料,为减少锩透镜反射损失,在表面蒸镀厚度为  $\lambda/4$  的抗反射层 ZnSe( $\lambda$  的大小等于被探测的红外辐射波长)。经过蒸镀 ZnSe 的 Ge 透射特性如图 1 所示。

### 2.3 浸没介质

选择合适的浸没介质胶是关键, 我们经大量实验, 选取在 2~25 $\mu\text{m}$  波段范围内有较好的透射特性(见图 1)、折射率较高的浸没胶, 并解决了碲镉汞芯片和 Ge 平面的粘合工艺. 经过试验该介质胶具有良好的粘结性能和热传导性能, 热膨胀系数接近于碲镉汞芯片.

### 3 探测器性能

#### 3.1 主要参数

我们研制的部分探测器在  $LN_2$  条件下进行了测试, 其主要参数见表 1.

#### 3.2 $R$ 、 $D^*$ 、 $V_n$ 与 $I_b$ 关系

响应率  $R$ 、探测率  $D^*$ 、噪声  $V_n$  与偏流  $I_b$  的关系如图 2 所示.

#### 3.3 探测器的光谱特性

采用傅里叶光谱仪测量探测器的相对光谱(见图 3).

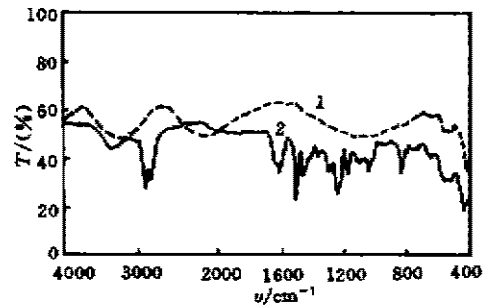


图 1 蒸镀 ZnSe(1)和浸没介质(2)的锗基片(厚度 1mm)的透射特性  
Fig. 1 transmittance of Ge substrate (thickness 1mm) with ZnSe(1) and immersion glue(2)

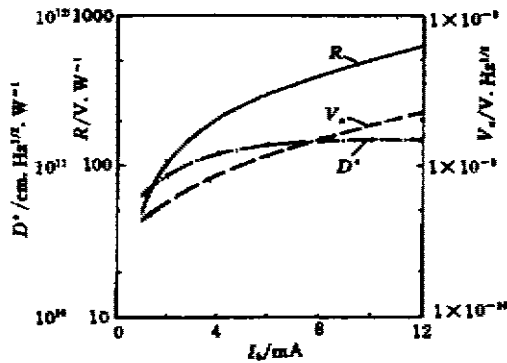


图 2  $R$ 、 $D^*$ 、 $V_n$  与  $I_b$  关系  
Fig. 2  $D^*$ 、 $R$ 、 $V_n$  as a function of  $I_b$

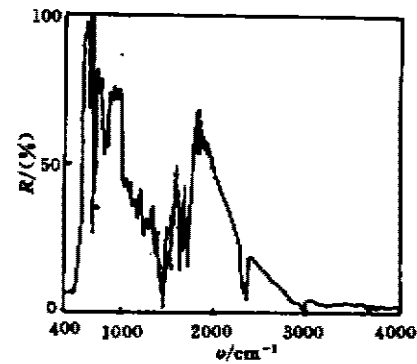


图 3 探测器的相对光谱  
Fig. 3 Relative spectrum of the detector

表 1 探测器主要参数  
Table 1 Main parameters of the detectors

编号	$I_b$ (mA)	$R$ (V/W)	$D^*$ ( $\text{cmHz}^{1/2}/\text{W}$ )	$V_n$ ( $\text{V}/\text{Hz}^{1/2}$ )	通光接收面积 ( $\text{mm}^2$ )	$\lambda(20\%)$ ( $\mu\text{m}$ )
203	12	608	$1.46 \times 10^{11}$	$2.21 \times 10^{-9}$	28.77	~20
208	12	388	$1.40 \times 10^{11}$	$1.47 \times 10^{-9}$	28.27	~20
207	12	830	$1.58 \times 10^{11}$	$2.8 \times 10^{-9}$	28.27	~16

#### 4 特点和应用

本探测器具有响应波长范围宽、响应率高、稳定可靠和使用方便等特点,特别适用于探测小视场和无穷远的红外辐射等.对于近距离目标探测,采用准直技术将目标辐射先变成平行光辐射,再配用本组件即可.本器件的研制成功为航天飞行遥感技术提供了一种新型探测器,特别适用于中层大气的风场、温度测量、气体的微量分析、高分辨率光谱测量、空地观测和其它科学实验,对推动我国航天飞行器的发展,对于发展空地观测技术、高分辨率细光谱技术、气象学研究和中长期天气预报,对于人类生存和生态平衡的科学研究都具有实用意义.

**致谢** 感谢查茵,新秀芳和测试组同志对本工作的帮助.

#### 参考文献

- 1 王子孟,方家熊,等.红外与毫米波学报,1992,11(4):277~282

### HIGH SENSITIVITY IMMERSED-TYPE HgCdTe INFRARED DETECTOR FOR $20\mu\text{m}^*$

Wang Zimeng Wang Peigang

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

**Abstract** The research on a new type of high-sensitivity immersed-type HgCdTe infrared detector was reported. An immersed detector with  $D^* = 1.46 \times 10^{11} \text{ cmHz}^{1/2} \text{ W}^{-1}$ ,  $R = 608 \text{ V/W}$ ,  $\lambda_c(20\%) \sim 20\mu\text{m}$ , sensitive area  $A = 0.12 \times 0.12 \text{ mm}^2$  and effective pupil  $\phi = 6 \text{ mm}$  was obtained.

**Key words** high sensitivity, immersion, medium glue, HgCdTe detector.

---

\* The project supported by the National Laboratory of Sensor Technology