

# 光导 HgCdTe 探测器电阻和性能的关系

姚英 梁宏林

(昆明物理研究所, 云南, 昆明, 650223)

TN204

**摘要** 为描述光导 HgCdTe 探测器低温与室温不同的导电机构, 本文定义了一个易于测量的参数  $\gamma$ ——液氮温度与室温电阻之比. 实验结果表明: 多数情况下,  $\gamma$  与黑体探测率密切相关.

**关键词** HgCdTe, 光导探测器, 器件电阻, 探测率, 统计特性.

红外探测

## 引言

器件电阻是光导 HgCdTe 探测器制备过程和性能检测中的重要测量参数. 器件电阻反映了器件的导通和电极接触的状况, 综合反映了材料的输运特性. 总结器件电阻和探测器性能的关系, 给出合理的解释, 可指导器件的研制工作. 文献[1]研究了用再结晶方法制备的短波 HgCdTe 材料和光导探测器性能的对应关系, 发现 70% 以上有较高探测率的器件的平均电阻和体材料的电阻率有对应关系.

⑤

## 1 理论分析

图 1 是有扩展电极的光导 HgCdTe 探测器结构示意图. 不考虑表面电导的影响, 对  $n$  型 HgCdTe 材料, 器件总电阻  $R_s$  与光敏区有效电阻  $R_{eff}$  之间的关系为

$$R_s = kR_{eff} = k \frac{L}{wden_e\mu_e} \quad (1)$$

式(1)中  $k$  为一常数因子,  $L, w, d$  分别为器件的长、宽和厚,  $n_e$  为材料的热平衡电子浓度,  $\mu_e$  为电子迁移率. 若忽略材料的热膨胀, 可得器件液氮温度电阻  $R_{sN}$  和室温电阻  $R_{sR}$  之比  $\gamma$  为

$$\gamma = \frac{R_{sN}}{R_{sR}} = \frac{n_{eR}\mu_{eR}}{n_{eN}\mu_{eN}} \quad (2)$$

式(2)中带角标  $N$  和  $R$  的电学参数分别是 HgCdTe 材料在液氮温度和室温时的电学参数. 从式(2)看, 器件的  $\gamma$  值等于材料液氮温度和室温的电阻率之比. 在 293K 和 77K,  $Hg_{0.80}Cd_{0.20}Te$  材料  $n_e$  和  $\mu_e$  的典型值分别为  $2.7 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ ,  $1.1 \times 10^4 \text{cm}^2/\text{Vs}$  和  $5 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ ,  $1.2 \times 10^5 \text{cm}^2/\text{Vs}$ . 将这些值代入式(2)可算得  $\gamma \approx 4.8$ .

在小信号条件下, 器件的输出信号  $V_s$  为

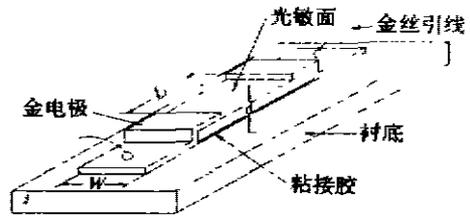


图 1 光导 HgCdTe 探测器结构示意图  
Fig. 1 Schematic of the Structure of PC HgCdTe detector

$$V_i = \frac{\sigma_s}{\sigma_s + en_{eN}\mu_{eN}} V_0 \quad (3)$$

式(3)中  $\sigma_s$  为信号光引入的电导率,  $\sigma_b$  为背景辐射引入的电导率,  $V_0$  为器件的偏置电压, 测量时  $\sigma_b$  和  $V_0$  可视为常数, 式(3)表明:  $n_{eN}$  和  $\mu_{eN}$  减小,  $V_i$  增加, 即  $V_i$  与 HgCdTe 材料液氮温度的电阻率成反比, 并通过式(2)与  $n_{eR}$  和  $\mu_{eR}$  相关.  $n_{eN}$  和  $\mu_{eN}$  反映了材料平衡态的输运特性.  $V_i$  正比于  $\sigma_s$ ,  $\sigma_s$  是非平衡少数载流子寿命的函数, 它反映了材料的非平衡态输运特性, 因此, 式(3)也可理解为探测器输出信号是 HgCdTe 材料平衡态输运和非平衡态输运叠加的结果. 所以好器件的 HgCdTe 材料必定同时具有正常的平衡和非平衡态的输运特性.

HgCdTe 材料非平衡态输运与平衡态输运是相关的. 从室温到液氮温度时, 正常 HgCdTe 材料载流子机构从本征激发转变为杂质导电,  $n_e$  从  $10^{16}\text{cm}^{-3}$  降到  $10^{14}\text{cm}^{-3}$ , 声子散射减小, 使  $\mu_e$  从  $10^4\text{cm}^2/\text{Vs}$  增加到  $10^5\text{cm}^2/\text{Vs}$ , 使材料的  $n_{eR}\mu_{eR} > n_{eN}\mu_{eN}$ , 故有  $\gamma > 1$ ; 当杂质浓度高到使  $n_e$  从  $10^{16}\text{cm}^{-3}$  降低到  $10^{15}\text{cm}^{-3}$ , 在 HgCdTe 材料中, 50K 以下杂质散射才起主要作用, 如果  $n_e$  减少比  $\mu_e$  的增加慢或相等, 则有  $n_{eR}\mu_{eR} \leq n_{eN}\mu_{eN}$ , 因而器件有  $\gamma \leq 1$ .  $n_e$  高会降低非平衡少数载流子寿命, 恶化材料的非平衡输运特性, 所以材料有好的平衡态输运特性才会有好的非平衡态输运特性. 由于器件  $\gamma$  值反映了材料平衡态输运特性, 而器件性能又与此相关, 所以可将其作为衡量 HgCdTe 材料电学特性是否正常和预言器件性能的参量.  $\gamma > 1$ , 器件有正常的材料特性, 将有高性能;  $\gamma \leq 1$ , 则情况比较复杂.

## 2 实验和讨论

实验中测量了探测器室温和液氮温度的电阻, 还在标准条件下测量了器件的黑体探测率. 根据上述分析, 按  $\gamma > 1$  和  $\gamma \leq 1$  将器件分为两类. 另外, 按  $D_s^*$  的高低将其分为三类:  $D_s^* \geq 1 \times 10^{10}\text{cmHz}^{1/2}/\text{W}$  为高性能器件,  $D_s^* < 1 \times 10^9\text{cmHz}^{1/2}/\text{W}$  为低性能器件, 介于两者之间的为中等性能器件. 表 1 列出 5772 元探测器  $\gamma$  和  $D_s^*$  关系的统计结果.

表 1 5772 元光导 HgCdTe 探测器  $\gamma$  和  $D_s^*$  关系的统计结果

Table 1 Statistics of  $\gamma$  and  $D_s^*$  of 5772 PC HgCdTe detectors

探测率	$\gamma$	$\gamma > 1$		$\gamma \leq 1$		总计
		数量 (个)	百分比 (%)	数量 (个)	百分比 (%)	
$D_s^* \geq 1 \times 10^{10}$	数量(个)	2866	74.3	991	25.7	3857
	百分比(%)	74.6		51.3		66.8
$1 \times 10^9 \leq D_s^* < 1 \times 10^{10}$	数量(个)	819	64.4	454	35.6	1273
	百分比(%)	21.3		23.5		22.1
$D_s^* < 1 \times 10^9$	数量(个)	157	24.5	485	75.5	642
	百分比(%)	4.1		25.2		11.1
总计		3842	66.6	1930	33.4	总元数 5772

注:  $D_s^*$  单位为  $\text{cmHz}^{1/2}/\text{W}$

从器件电阻的统计结果看: 在 5772 个器件中, 有 3842 个的  $\gamma > 1$ , 占总数 66.6%. 其中高性能的有 2866 个, 占电阻关系正常器件的 74.6%; 中等性能的有 819 个, 占 21.3%; 低性能的有 157 个, 仅占 4.1%. 而在低性能的 642 个器件中, 有 75.5% 的满足  $\gamma \leq 1$ . 这些数据从

正反两个方面说明,就多数情况而言, $\gamma$  与器件的探测率有对应关系.

表 2 列出  $\gamma > 1$  的 3857 个高性能器件电阻比值分布. 表 1 和表 2 的数据包含了不同制备方法和不同材料的实验结果. 从中可见绝大部分器件  $\gamma$  小于计算值 4.8. 造成这种差别原因有:(1)背景光子流对 77K 的器件电阻有贡献.  $\pi$  视场的室温背景辐射在器件中产生的载流子浓度约为  $5 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ , 这可使器件液氮温度的电阻变小. 因背景辐射不改变  $n_{eR}$ 、 $\mu_{eR}$  和  $\mu_{eN}$ 、 $n_{eN}$  为热平衡载流子浓度和背景激发载流子浓度之和, 进行背景辐射修正后  $\gamma \approx 2.5 \sim 4.1$ . (2)制成器件后, HgCdTe 材料的  $n_e$  和  $\mu_e$  发生了变化, 可根据式(3)估计其变化范围.  $\gamma$  取实验值  $1.1 \sim 2$ ,  $n_{eN}$  仍为热平衡和背景激发的载流子浓度之和, 算得  $\mu_{eN} \approx 1.5 \sim 4.5 \times 10^5 \text{cm}^2/\text{Vs}$ ; 如  $\mu_{eN}$  不变, 算得  $n_{eN} \approx 1.2 \sim 2.3 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ . 从计算看,  $n_{eN}$  和  $\mu_{eN}$  的计算值都高于 HgCdTe 晶片的测量值. 一般认为器件工艺引入的缺陷增强载流子散射, 因此工艺引起  $n_e$  升高较为合理. (3)在以上计算时, 未考虑表面电导的影响. 通常钝化膜内的累积正电荷在 HgCdTe 材料表面引入  $n^+$  层, 室温本征激发使表面电导对电阻的影响不大, 但到低温, 体内电导减小, 故表面电导的影响增大, 这样对  $\gamma$  值的修正就比较大了. 表面对器件电阻-温度、探测率的影响较为复杂, 还需深入研究.

表 2  $\gamma > 1$  的 3,857 个高性能器件电阻比值分布  
Table 2 Resistivity ratio of 3,857 high-performance devices with  $\gamma > 1$

$\gamma$	$\gamma \leq 1.5$	$1.5 < \gamma \leq 2$	$2 < \gamma \leq 3$
数量(个)	3409	345	103
百分比(%)	88.4	8.9	2.7

在  $\gamma \leq 1$  的 1,930 个器件中, 高性能的占 51.3%. 而在  $D_e^* \geq 1 \times 10^{10} \text{cmHz}^{1/2}/\text{W}$  的 3,857 元中,  $\gamma \leq 1$  的有 991 元, 占高性能器件的 25.7%. 这部分器件的  $\gamma$  和  $D_e^*$  关系不符合上述分析的原因可能是:(1)样品表面钝化不好, 影响器件的  $\gamma$  值;(2) $\gamma$  值给出的信息量还不能完全确定器件 HgCdTe 材料非平衡态的输运特性, 该问题有待进一步研究.

### 3 结语

光导 HgCdTe 探测器探测红外信号是材料平衡态输运和非平衡态输运叠加的结果, 所以, 材料的输运特性决定着探测器的性能; 器件  $\gamma$  值反映了 HgCdTe 材料的平衡态输运特性, 因而和探测器的性能有关系. 实验和分析结果显示: 探测器的  $\gamma > 1$  表明 HgCdTe 材料有正常的电阻率-温度关系, 因而大部分器件都有高性能.

致谢 作者衷心感谢朱惜辰、潘万德、吴思晋、袁 萍、徐植春、冯永康、张玉棠、苏 岗、陈爱萍、杨文运、王开元、康 蓉、顾伯奇等同志在器件制备和测量中所做的工作.

### 参考文献

- 1 曾光丽,史向华. *红外研究*, 1986, 5(6): 479~482

## RELATIONSHIP BETWEEN RESISTANCE AND DETECTIVITY OF PHOTOCONDUCTIVE HgCdTe DETECTORS

Yao Ying Liang Honglin

*(Kunming Institute of Physics, Kunming, Yunnan 650223, China)*

**Abstract** To describe different conductive mechanisms of PC HgCdTe detector at low temperature and room temperature, a parameter  $\gamma$ , the ratio of the resistivity at liquid nitrogen temperature to that at room temperature was defined, which can be measured easily. The experiment results show that  $\gamma$  is closely correlated to the blackbody detectivity in most cases.

**Key words** HgCdTe, PC detector, device resistance, detectivity, statistic character.