

# 横向热导限制的热释电探测器的噪声等效功率\*

徐平茂

(山东大学光学系, 山东, 济南)

**摘要**——给出受横向热导温度涨落限制的热释电探测器噪声等效功率的解析表达式, 计算分析了横向热导对热释电探测器噪声等效功率的影响, 并与已发表的近似结果作了比较。

**关键词**——热释电探测器, 横向热导, 噪声等效功率。

## 1. 引言

为了消除衬底对热释电探测器性能的不良影响, 以便提高探测器的探测率, 多采用悬空装配敏感元件的方法。对于不带衬底的热释电探测器, 横向热扩散涨落导致的温度噪声已成为器件的主要噪声之一<sup>[1,2]</sup>。因此, 深入地研究横向热扩散对热释电探测器噪声等效功率 NEP 的影响便成为研制热释电探测器的主要内容之一。参考文献[1]和[3]给出了由横向热扩散限制的器件噪声等效功率的近似结果。本文利用在红外辐照下探测器的温度分布及由横向热扩散导致的横向热导, 给出了一个比较精确的横向热导限制噪声等效功率的表达式, 并以 LATGS 热释电探测器为例对横向热导限制的噪声等效功率作了计算, 与已发表的近似结果作了比较。

## 2. 横向热导纳

试验样品呈圆形薄片, 结构如图 1 所示, 其中  $0 \leq r \leq r_1$  区域是带有电极的部分,  $r \geq r_1$  区域是未镀电极部分。

采用上述结构, 我们在文献[4]中已经计算过横向热导对热释电探测器响应率的影响。当正弦调制辐照均匀照射电极面时, 在稳定情况下, 探测器元件温度变化的交变部分为  $\Delta T(r, t) = T(r, t) - T_0 = T(r) e^{j\omega t}$ , 这里,  $T(r, t)$  是元件的瞬时温度分布;  $T_0$  是环境温度

本文 1988 年 9 月 3 日收到, 修改稿 1989 年 1 月 12 日收到。

\* 国家自然科学基金资助课题。

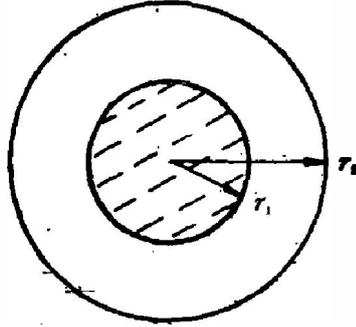


图 1 器件结构示意图

Fig. 1 Geometry of the detector.

$T(r)$  是  $\Delta T(r, t)$  的空间分布;  $\omega$  是调制的入射辐照功率的调制角频率, 并有  $\omega = 2\pi f$ ,  $f$  是调制频率;  $j = \sqrt{-1}$ .  $T(r)$  的解析表达式为<sup>[4]</sup>

$$T(r) = \frac{\eta p_0}{j\omega C_p \mu} \left[ 1 - \frac{I_0(\beta r) \frac{K_1(\beta r_1)}{I_1(\beta r_1)}}{\frac{K_1(\beta r_1)}{I_1(\beta r_1)} + \frac{K_0(\beta r_1)}{I_0(\beta r_1)}} \right], \quad (1)$$

式中  $I_0$  和  $K_0$  是零阶修正的贝塞尔函数;  $I_1$  和  $K_1$  是一阶修正的贝塞尔函数; 宗量  $\beta r$  和  $\beta r_1$  中的  $\beta = \frac{1+j}{\delta}$  和  $\delta = \left( \frac{2g}{\omega C_p \mu} \right)^{1/2}$  是热释电材料的热扩散长度, 其中  $C_p$ 、 $\mu$  和  $g$  分别是材料的比热、密度和热导率;  $p_0$  是单位体积内的入射功率;  $\eta$  是探测器电极面的吸收率.

利用公式

$$I_0(\beta r_1) K_1(\beta r_1) + I_1(\beta r_1) K_0(\beta r_1) = \frac{1}{\beta r_1}, \quad (2)$$

方程(1)可化为

$$T(r) = \frac{\eta p_0}{j\omega C_p \mu} [1 - \beta r_1 K_1(\beta r_1) I_0(\beta r)]. \quad (3)$$

$T(r)$  是探测器半径  $r$  的函数, 其空间平均值为

$$\bar{T} = \frac{1}{\pi r_2^2} \int_0^{r_1} T 2\pi r dr = \frac{\eta p_0}{j\omega C_p \mu} [1 - 2I_1(\beta r_1) K_1(\beta r_1)]. \quad (4)$$

根据文献[3], 器件的热导纳公式应为

$$\mathcal{A} = - \frac{(2\pi r_1 d) g}{\bar{T}} \left. \frac{\partial T(r)}{\partial r} \right|_{r_1}, \quad (5)$$

式中  $d$  为器件的厚度.

应用式(3)~(5), 得器件的热导纳

$$\mathcal{A} = -2\pi d g R_1^2 \frac{E_2 - j[E_1(1 - 2E_1) - 2E_2^2]}{F^2}, \quad (6)$$

式中引用了宗量为  $R_1$  的开尔芬函数, 具体形式如下:

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= \sqrt{2} r_1 / \delta, \\ E_1 &= b e r_1(R_1) K e r_1(R_1) - b e i_1(R_1) K e i_1(R_1), \\ E_2 &= b e r_1(R_1) K e i_1(R_1) + b e i_1(R_1) K e r_1(R_1), \\ F &= [(1 - 2E_1)^2 + (2E_2)^2]^{1/2}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

横向热扩散引起的横向热导  $G'$  由横向热导纳  $\mathcal{A}$  的实部给出:

$$G' = R_e \mathcal{A} = -2\pi d g R_1^2 \frac{E_2}{F^2}. \quad (8)$$

### 3. 横向热导限制的噪声等效功率

利用式(8)可以得到由横向热导引起的温度起伏限制的热释电探测器噪声等效功率为

$$\text{NEP} = (4kT_0^2 G')^{1/2} / \eta = \frac{4\pi T_0 (dkC_p \mu)^{1/2}}{\eta} \frac{\tau_1 f^{1/2} (-E_2)^{1/2}}{F}, \quad (9)$$

式中  $k$  是玻尔兹曼常数. 当  $\delta/r_1 \rightarrow 0$  时, 式(9)可简化为

$$\text{NEP} = 2\pi^{3/4} T_0 \eta^{-1} k^{1/2} (C_p \mu g)^{1/4} d^{1/2} \tau_1^{1/2} f^{1/4}. \quad (10)$$

式(10)与文献[3]给出的近似结果是一致的. 因为开尔芬函数的宗量

$$R_1 = \frac{\sqrt{2} \tau_1}{\delta} = \left( \frac{2\pi C_p \mu}{g} \right)^{1/2} \tau_1 f^{1/2},$$

从式(7)、(9)和(10)可见, 由横向热导引起的温度涨落限制的热释电探测器的噪声等效功率与材料参数、器件的几何尺寸、工作频率和温度以及器件电极面的吸收率有关. 与工作频率相比, 电极面尺寸对器件噪声等效功率的影响程度更大些.

以 LATGS 热释电探测器为例, 应用式(9)计算了器件的噪声等效功率并与以往的近似结果作了比较. 计算中选用的材料参数为  $g = 7 \times 10^{-3} \text{ Jcm}^{-1}\text{K}^{-1}\text{s}^{-1}$ ,  $C_p \mu = 2.5 \text{ Jcm}^{-3}\text{K}^{-1}$ ; 结构参数为  $\eta = 1$ ,  $d = 10 \mu\text{m}$ ; 工作温度为  $T_0 = 300 \text{ K}$ .

由于文献[1]中把热导纳定义为流过边界的热流与边界处温度变化之比, 而更确切的定义应为流过边界的热流与器件平均温度变化之比<sup>[3]</sup>, 因此文献[1]中的热导纳为本文的两倍. 为了与参考文献[1]的结果进行比较, 文献[1]的 NEP 值应被除以  $\sqrt{2}$ . 比较计算结果如图 2 所示. 当  $\tau_1 f^{1/2}$  较小时, 文献[1]的结果偏低, 这是因为他们假设器件局部温度起伏不产生噪声、并采用器件对边界处设想的温度起伏的热响应来推算热导纳和 NEP 的, 这种情况对大面积和低频工作的器件是适用的, 而对小面积和低频工作的器件, 其近似性是不容忽视的.

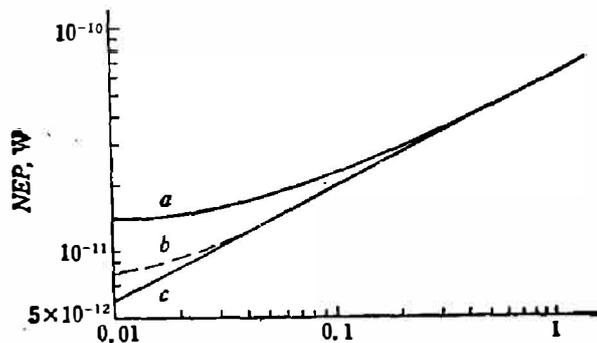


图 2 器件的 NEP 与  $\tau_1 f^{1/2}$  的关系

- a: 本文式(9)的计算结果;
- b: 文献[1]式(23)的计算结果;
- c: 本文式(10)或文献[3]式(54)的计算结果

Fig. 2 NEP of the detector vs  $\tau_1 f^{1/2}$ .

### 4. 结 论

横向热导对热释电探测器 NEP 的影响与材料参数、器件的几何尺寸和工作频率密切相关; 当  $\tau_1 f^{1/2} > 4 \left( \frac{g}{C_p \mu} \right)^{1/2}$  时, 本文的结果与已发表的近似结果相同, 因此, 可以应用近似

表达式(10)或已发表的近似表达式来估算由横向热导引起温度噪声限制的热释电探测器 NEP; 但当  $r_1 f^{1/2} < 4 \left( \frac{g}{\sigma_{plb}} \right)^{1/2}$  时, 本文的结果大于已发表的近似结果, 其差别是不应忽视的, 而且  $r_1 f^{1/2}$  越小, 差别越大. 因此, 对于低频工作的小面积器件, 应采用式(9)来推算横向热导引起温度噪声限制的热释电探测器 NEP.

### 参 考 文 献

- [1] Logan R. M., *Infrared phys.*, **13**(1973), 91.
- [2] 文忠民, 红外研究, **6**(1987), 2:87.
- [3] 陈祖培, 红外研究, **1**(1982), 4:287.
- [4] 徐平茂, 红外研究, **3**(1984), 3:161.

## LATERAL HEAT CONDUCTION LIMITED NEP OF PYROELECTRIC DETECTORS\*

XU PINGMAO

(Department of Optics, Shandong University, Jinan, Shandong, China)

### ABSTRACT

An analytic expression of NEP of pyroelectric detector limited by the temperature fluctuation due to lateral heat conduction is given. The NEP is calculated and analysed and compared with the published approximate data.

---

\* Project supported by the Fund of the Natural Sciences of China.